



## TUGAS AKHIR - MO184804

**ANALISIS KINERJA HIDRODINAMIK VERTICAL AXIS WATER TURBINE (VAWT) TIPE GORLOV DENGAN VARIABEL JENIS HIDROFOIL DAN JUMLAH BILAH MENGGUNAKAN PENDEKATAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)**

Reynaldi Surya Pratama

NRP. 04311640000074

**Dosen Pembimbing :**

Dr. Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc.

Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T.

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020**



## **FINAL PROJECT - MO184804**

### **HYDRODYNAMIC PERFORMANCE ANALYSIS OF VERTICAL AXIS WATER TURBINE (VAWT) GORLOV TYPE WITH NUMBER OF BLADES AND TYPE OF HIDROFOIL VARIABLE USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) APPROACH**

Reynaldi Surya Pratama

NRP. 04311640000074

#### **Supervisors :**

Dr. Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc.

Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T.

**DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020**

## LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS KINERJA HIDRODINAMIKA VERTICAL AXIS WATER TURBINE (VAWT) TIPE GORLOV DENGAN VARIABEL JENIS HIDROFOIL DAN JUMLAH BILAH MENGGUNAKAN PENDEKATAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)**

### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**REYNALDI SURYA PRATAMA**

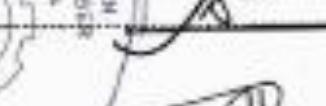
NRP. 04311640000074

Disetujui oleh:

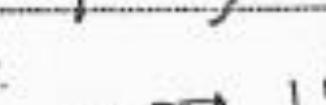
1. Dr. Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc.  (Pembimbing 1)

2. Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T.  (Pembimbing 2)

3. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.  (Penguji 1)

4. Murdjito, M.Sc. Eng.  (Penguji 2)

5. Dr. Eng. Rudi Walujo, S.T., M.T.  (Penguji 3)

6. Wimala Lalitya Dhanista, S.T., M.T.  (Penguji 4)

**ANALISIS KINERJA HIDRODINAMIKA VERTICAL AXIS WATER TURBINE (VAWT) TIPE GORLOV DENGAN VARIABEL JENIS HIDROFOIL DAN JUMLAH BILAH MENGGUNAKAN PENDEKATAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)**

**Nama** : Reynaldi Surya Pratama  
**NRP** : 04311640000074  
**Departemen** : Teknik Kelautan FTK - ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc.  
Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T.

**ABSTRAK**

Kebutuhan energi listrik di Indonesia setiap tahun selalu mengalami peningkatan. Permintaan energi listrik ini akan terus bertambah selama jumlah penduduk di Indonesia mengalami peningkatan. Menurut data BPS pada tahun 2019, jumlah penduduk di Indonesia ialah 267 juta jiwa. Jumlah ini akan diperkirakan mengalami pelonjakan pada tahun 2045 sejumlah 450 juta jiwa (BPS). Untuk mewujudkan ketahanan energi, Indonesia harus bisa melihat potensi yang dimilikinya yaitu sebagai negara maritim. Sebagai negara maritim dengan total luas lautan hampir 8 juta km<sup>2</sup> Indonesia bisa menerapkan energi yang bersumber dari laut, conothnya energi arus laut. Pada penelitian ini, penulis mensimulasikan secara numerik turbin eksperimental dari data sekunder menggunakan CFD. Software yang penulis pakai ialah ANSYS V18.1. Model aliran yang dipakai ialah laminar karena sesuai dengan analisis data sekunder. Setelah hasil simulasi numerik didapat, dilakukanlah validasi. Apabila tingkat *error* rata-rata lebih dari 10%, simulasi harus diulang. Variasi yang dipilih pada penelitian ini adalah jumlah bilah sejumlah 2, 3, 4, 5, dan 6 dan jenis hidrofoil S1210. Setelah dilakukan perbandingan, terbukti bahwa dengan meningkatnya jumlah bilah yang dipakai, torsi turbin akan semakin naik. Namun, jumlah bilah yang lebih dari 4 akan menurunkan torsi yang disebabkan besarnya efek wake pada area downstream. Begitu juga dengan hidrofoil S1210. Adanya camber positif yang cukup besar membuat torsi turbin meningkat. Hasil efisiensi turbin NACA 4 bilah tertinggi kemudian disusul berurutan dengan S1210 2 bilah, NACA 0012 3 bilah, NACA 0012 2 bilah, NACA 0012 5 bilah, dan NACA 0012 6 bilah yaitu 25%, 22%, 20%, 19%, 16%, dan 13%.

**Kata Kunci:** turbin heliks, model numerik, jumlah bilah, jenis hidrofoil, torsi

# **HYDRODYNAMIC PERFORMANCE ANALYSIS OF VERTICAL AXIS WATER TURBINE (VAWT) GORLOV TYPE WITH NUMBER OF BLADES AND TYPE OF HIDROFOIL VARIABLE USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) APPROACH**

**Name** : Reynaldi Surya Pratama  
**NRP** : 04311640000074  
**Departement** : Teknik Kelautan FTK - ITS  
**Supervisors** : Dr. Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc.  
Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T.

## **ABSTRACT**

The need for electricity in Indonesia is increasing every year. The demand for electricity will continue to increase as long as the population in Indonesia has increased. According to BPS data in 2019, the population in Indonesia is 267 million. This number will be estimated to increase by 2045 by 450 million people (BPS). To realize energy security, Indonesia must be able to see its potential as a maritime country. As a maritime country with a total sea area of nearly 8 million km<sup>2</sup>, Indonesia can apply energy sourced from the sea, for example the energy of ocean currents. In this study, the authors numerically simulate experimental turbines from secondary data using CFD. The software that I use is ANSYS V18.1. The flow model used is laminar because it is consistent with secondary data analysis. After the numerical simulation results are obtained, validation is performed. If the average error rate is more than 10%, the simulation must be repeated. The variations chosen in this study were the number of blades of 2, 3, 4, 5, and 6 and the type of S1210 hydrofoil. After a comparison, it is proven that with the increasing number of blades used, the torque of the turbine will increase. However, the number of blades that are more than 4 will reduce torque due to the large wake effect on the downstream area. Likewise with the S1210 hydrofoil. The presence of a positive camber that is large enough to make the turbine torque increases. The highest efficiency of NACA 4 blades is followed by S1210 2 blades, NACA 0012 3 blades, NACA 0012 2 blades, NACA 0012 5 blades, and NACA 0012 6 blades namely 25%, 22%, 20%, 19%, 16% and 13%.

**Keywords:** helical turbine, numerical model, number of blades, hydrofoil type, torque

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah penulis ucapan karena atas izinNya penulis bisa menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Analisis Kinerja Hidrodinamik *Vertical Axis Water Turbine* (VAWT) Tipe Gorlov dengan Variabel Jenis Hidrofoil dan Jumlah Bilah Menggunakan Pendekatan *Computational Fluid Dynamics (CFD)*”.

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi prasyarat supaya mendapatkan gelar sarjana teknik pada Program Studi Sarjana (S-1) Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tugas akhir jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk evaluasi dan perbaikan agar tugas akhir ini dan penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan tugas akhir ini menjadi lebih baik lagi. Akhir kata, semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan kontribusi untuk Indonesia khususnya pada bidang kemaritiman dan energi terbarukan.

Surabaya, 13 Juni 2020

Reynaldi Surya Pratama

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak yang telah membantu penulis dalam proses penggerjaan tugas akhir dan dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini, yaitu

1. Allah SWT yang mengizinkan penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini;
2. Kedua orang tua penulis yang tidak pernah berhenti untuk memberikan dukungan secara moril, material, dan doa baiknya selama ini;
3. Bapak Dr. Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc. selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberikan ilmu dan rela meluangkan waktunya untuk melakukan bimbingan selama proses penggerjaan tugas akhir hingga penyusunan laporan ini;
4. Ibu Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing 2 yang telah memberikan masukan demi hasil laporan tugas akhir yang lebih baik;
5. Mas Elyas Nur Fridayana, S.T. yang telah membimbing penulis dalam belajar software dan masukan mengenai laporan tugas akhir;
6. Patner tugas akhir penulis, Natasha Keniraras, yang telah memberi masukan pada tugas akhir ini;
7. Serta sahabat penulis, Eva Melisa Damayanti, S. Farm, yang telah memberi membantu penulis dalam menata laporan tugas akhir.

## Daftar Isi

<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>iv</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH .....</b>	<b>v</b>
<b>Daftar Isi .....</b>	<b>vi</b>
<b>Daftar Gambar .....</b>	<b>viii</b>
<b>Daftar Tabel.....</b>	<b>x</b>
<b>Bab I Pendahuluan .....</b>	<b>1</b>
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	2
1.3    Tujuan Penelitian.....	2
1.4    Manfaat Penelitian.....	3
1.5    Batasan Masalah.....	3
1.6    Sistematika Penulisan.....	3
<b>BAB II Tinjauan Pustaka.....</b>	<b>5</b>
2.1    Arus Laut.....	5
2.1.1    Arus Ekman.....	5
2.1.2    Arus Geostropik .....	6
2.1.3    Arus Termohalin .....	7
2.2    Turbin Air .....	8
2.3    Turbin Gorlov .....	9
2.4    Parameter Turbin .....	10
2.4.1    Tip Speed Ratio (TSR).....	10
2.4.2    Koefisien Daya.....	11
2.5    Aspek Hidrodinamika.....	12
2.5.1    Hidrofoil.....	12

2.5.2	Airfoil NACA .....	14
2.6	Computational-Fluid Dynamics (CFD).....	16
<b>BAB III Metodologi Penelitian .....</b>	<b>19</b>	
3.1	Diagram Alir.....	19
3.2	Penjelasan Diagram Alir .....	20
3.3	Tahapan Penggerjaan Simulasi Numerik .....	21
3.3.1	Desain Turbin.....	21
3.3.2	Pembuatan Boundary Layer.....	27
3.3.3	Proses Meshing .....	28
3.3.4	Solving Steady State .....	29
3.3.5	Solving Transient .....	34
3.3.6	Post Processor .....	36
3.3.7	Validasi Hasil Simulasi.....	36
<b>Bab IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>37</b>	
4.1	Analisis Keakurasan Mesh .....	37
4.2	Validasi.....	37
4.3	Variasi Jenis Jumlah Bilah .....	41
4.4	Karakteristik Kontur Tekanan Aliran .....	43
4.4	Variasi Jenis Hidrofoil.....	48
4.5	Diskusi .....	55
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>59</b>	
5.1	Kesimpulan.....	59
5.2	Saran .....	59
<b>Bab VI Daftar Pustaka .....</b>	<b>60</b>	
<b>LAMPIRAN A .....</b>	<b>62</b>	
<b>LAMPIRAN B .....</b>	<b>76</b>	

## Daftar Gambar

Gambar 2. 1 Spiral Ekman .....	6
Gambar 2. 2 Arus Geostropik .....	6
Gambar 2. 3 Arus Termohalin di Seluruh Dunia .....	7
Gambar 2. 4 Turbin Arus Laut Tipe Horizontal .....	8
Gambar 2. 5 Turbin Arus Laut Tipe Vertikal .....	8
Gambar 2. 6 Turbin Gorlov.....	9
Gambar 2. 7 Hubungan TSR dengan Cp.....	11
Gambar 2. 8 Lift force dan Drag force.....	12
Gambar 2. 9 Hidrofoil.....	13
Gambar 3. 1 Diagram Alir .....	18
Gambar 3. 2 NACA 0012.....	20
Gambar 3. 3 Turbin Heliks 2 Bilah 3 Dimensi .....	21
Gambar 3. 4 Meshing Model Hidrofoil 2 Dimensi .....	21
Gambar 3. 5 Kontur tekanan pada hidrofoil saat (a) 30°, (b) 60°, dan (c) 90° .....	22
Gambar 3. 6 Grafik validasi performa Hidrofoil .....	22
Gambar 3. 7 Hidrofoil S1210.....	23
Gambar 3. 8 Mesh Hidrofoil S1210.....	23
Gambar 3. 9 Kontur Tekanan Hidrofoil S1210 pada saat (a) 0° (b) 30° (c) 60° (d) 90° .....	24
Gambar 3. 10 Grafik CL/CD terhadap Alpha Hidrofoil S1210 .....	24
Gambar 3. 11 (a), (b), (c), (d), dan (e) Variasi Jumlah Bilah.....	25
Gambar 3. 12 Turbin dengan boundary layer .....	26
Gambar 3. 13 Contoh jenis domain yang ada pada metode steady MRF dan Transient .....	27
Gambar 3. 14 Proses Meshing Turbin Heliks 3 Dimensi .....	27
Gambar 3. 15 Penamaan boundary layer .....	28
Gambar 3. 16 Tampilan awal Solver.....	28
Gambar 3. 17 Viscous Model.....	29
Gambar 3. 18 Material properties .....	30
Gambar 3. 19 Cell-Zone Condition Stationary .....	30
Gambar 3. 20 Pengaturan Moving Domain .....	31
Gambar 3. 21 Penentuan kondisi inlet .....	31
Gambar 3. 22 Solution Method.....	32
Gambar 3. 23 Residual Monitors .....	32
Gambar 3. 24 Pemilihan metode dan model aliran .....	33
Gambar 3. 25 Pemilihan Material .....	33
Gambar 3. 26 Pengaturan Moving domain .....	34

Gambar 4. 1 Perbandingan Steady MRF dan Eksperimental.....	37
Gambar 4. 2 Grafik Perbandingan Torsi Eksperimental dan Hasil Simulasi Transient State.....	38
Gambar 4. 3 Grafik CM terhadap NTS .....	38
Gambar 4. 4 Grafik Hasil Torsi Metode Transient 6 Putaran .....	39
Gambar 4. 5 Grafik Torsi Data Eksperimental, Simulasi Steady State dan Transient State.....	40
Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan Torsi Turbin dengan Variasi Jumlah Bilah.....	41
Gambar 4. 7 Perbandingan Rata-Rata Torsi .....	42
Gambar 4. 8 NACA 0012 2 Bilah pada $0^\circ$ .....	42
Gambar 4. 9 NACA 0012 3 Bilah pada $0^\circ$ .....	43
Gambar 4. 10 NACA 0012 4 Bilah pada $0^\circ$ .....	43
Gambar 4. 11 NACA 0012 5 Bilah pada $0^\circ$ .....	44
Gambar 4. 12 NACA 0012 6 Bilah pada $0^\circ$ .....	44
Gambar 4. 13 NACA 0012 2 Bilah pada $90^\circ$ .....	45
Gambar 4. 14 NACA 0012 3 Bilah pada $90^\circ$ .....	45
Gambar 4. 15 NACA 0012 4 Bilah pada $90^\circ$ .....	46
Gambar 4. 16 NACA 0012 5 Bilah pada $90^\circ$ .....	46
Gambar 4. 17 NACA 0012 6 Bilah pada $90^\circ$ .....	47
Gambar 4. 18 Grafik Variasi Hidrofoil .....	48
Gambar 4. 19 Kontur Tekanan Hidrofoil S1210 pada $0^\circ$ .....	48
Gambar 4. 20 Kontur Tekanan Hidrofoil S1210 pada $30^\circ$ .....	49
Gambar 4. 21 Kontur Tekanan Hidrofoil S1210 pada $60^\circ$ .....	49
Gambar 4. 22 Kontur Tekanan Hidrofoil NACA 0012 pada $0^\circ$ .....	50
Gambar 4. 23 Kontur Tekanan Hidrofoil NACA 0012 pada $30^\circ$ .....	50
Gambar 4. 24 Kontur Tekanan Hidrofoil NACA 0012 pada $60^\circ$ .....	51
Gambar 4. 25 Kontur Tekanan Hidrofoil S1210 pada $90^\circ$ .....	51
Gambar 4. 26 Kontur Tekanan Hidrofoil NACA 0012 pada $90^\circ$ .....	52
Gambar 4. 27 Kontur Tekanan Hidrofoil S1210 pada $150^\circ$ .....	53
Gambar 4. 28 Kontur Tekanan Hidrofoil NACA 0012 pada $150^\circ$ .....	53
Gambar 4. 29 Grafik Perbandingan Variasi .....	54
Gambar 4. 30 Perbandingan CL/CD Jenis Hidrofoil .....	55
Gambar 4. 31 Perbandingan Torsi Variasi.....	55
Gambar 4. 32 Perbandingan Gaya Semua Variasi .....	56
Gambar 4. 33 Perbandingan Efisiensi Turbin Tiap Variasi .....	56

## **Daftar Tabel**

Tabel 2. 1 Jenis turbin, efisiensi, dan kelajuan pergerakan awal .....	9
Tabel 3. 1 Spesifikasi Hidrofoil NACA 0012.....	20
Tabel 3. 2 Data Geometri Turbin .....	21
Tabel 3. 3 Spesifikasi Hidrofoil Selig S1210.....	22
Tabel 4. 1 Perbandingan data torsi ekperimental dan simulasi steady state .....	36
Tabel 4. 2 Perbandingan data torsi ekperimental dan simulasi transient state.....	37
Tabel 4. 3 Data torsi ekperimental, simulasi steady state dan simulasi transient state .....	39
Tabel 4. 4 Perbandingan Torsi Jumlah Bilah .....	41
Tabel 4. 5 Perbandingan Torsi Hidrofoil .....	47
Tabel 4. 6 Urutan Efisiensi Tertinggi ke Terendah.....	57

## Bab I

### Pendahuluan

#### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik di Indonesia setiap tahun selalu mengalami peningkatan. Permintaan energi listrik ini akan terus bertambah selama jumlah penduduk di Indonesia mengalami peningkatan. Menurut data BPS pada tahun 2019, jumlah penduduk di Indonesia ialah 267 juta jiwa. Jumlah ini akan diperkirakan mengalami pelonjakan pada tahun 2045 sejumlah 450 juta jiwa (BPS). Di sisi lain, penggunaan energi terbarukan di Indonesia sangat sedikit. Tercatat bahwa 96 persen kebutuhan energi listrik di Indonesia pada tahun 2012 masih didominasi oleh penggunaan bahan bakar fosil, yaitu minyak bumi, gas, dan batu bara (Bappenas, 2014). Bahan bakar jenis fosil ini selain susah untuk diperbarui, ia juga menimbulkan polusi yang berdampak buruk bagi masyarakat sekitar. Menurut data RPJMN 2019-2024, suplai energi domestik hanya mampu mencukupi 75 persen permintaan energi nasional pada tahun 2030 dan akan menjadi 28 persen di tahun 2045. Untuk mewujudkan ketahanan energi, Indonesia harus bisa melihat potensi yang dimilikinya yaitu sebagai negara maritim. Sebagai negara maritim dengan total luas lautan hampir 8 juta km<sup>2</sup> Indonesia bisa menerapkan energi yang bersumber dari laut, conothnya energi arus laut.

Arus laut merupakan pergerakan massa air laut dari satu tempat ke tempat yang lain. Salah satu gaya utama yang menyebabkan terjadinya arus laut selain pengaruh perbedaan dan pemanasan air laut yang terjadi di laut adalah angin (Azis, 2006). Arus laut bisa dikonversikan ke energi listrik dengan cara mengubah energi kinetik yang dihasilkan oleh *blade* dari turbin air ke generator. Pemanfaatan energi arus adalah yang paling memungkinkan dibandingkan dengan energi pasang surut, karena untuk pembangunan suatu Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL) tidak dibutuhkan anggaran yang terlalu besar, lahan yang luas, teknologinya cukup sederhana dan sudah dikembangkan di Indonesia (Rahmat, 2012). Turbin Gorlov

ialah salah satu jenis turbin air yang mempunyai tingkat efisiensi cukup tinggi yaitu sekitar 35 persen. Turbin ini juga sudah bisa dioperasikan pada kecepatan arus yang relatif rendah, dan bisa berputar tanpa fluktuasi (Lopulalan dkk, 2016). Penulis menggunakan turbin air model vertikal (VAWT) karena turbin VAWT mempunyai beberapa kelebihan, yaitu mempunyai struktur yang sederhana, pemasangan yang relatif mudah, bisa bergerak di arus yang rendah, bisa menerima arus dari segala arah. Oleh karena bisa bergerak dari segala arah dan dari kecepatan arus yang kecil, turbin VAWT lebih unggul dalam menghasilkan energi listrik (Sargolzaei, 2007).

CFD atau *Computational Fluid Dynamics* adalah *software* komputer yang berfungsi untuk mengelolah data numeris tentang pola fluida dinamis. Pada tugas akhir ini, penulis menggunakan *Ansys Fluent* dan menggunakan dua variabel yang akan diuji coba, yaitu jenis hidrofoil dan jumlah bilah dari turbin Gorlov. Hasilnya berupa koefisien momen ( $C_m$ ) dan koefisien daya ( $C_p$ ) dari analisis CFD menggunakan *Ansys*. Untuk pemodelan 3D, penulis menggunakan *Solidworks*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berikut ini rumusan masalah yang ada di dalam penelitian ini:

1. Bagaimana pengaruh variasi jenis hidrofoil pada turbin air tipe Gorlov terhadap kinerja hidrodinamiknya?
2. Bagaimana pengaruh variasi jumlah bilah pada turbin air tipe Gorlov terhadap kinerja hidrodinamiknya?

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh variasi jenis hidrofoil pada turbin air tipe Gorlov terhadap kinerja hidrodinamiknya.
2. Mengetahui pengaruh variasi jumlah bilah pada turbin air tipe gorlov terhadao kinerja hidrodinamiknya.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Dari penelitian ini, penulis berharap bisa memberikan sumbangsih pada perkembangan turbin air vertikal tipe Gorlov.

## **1.5 Batasan Masalah**

Berikut ini ada beberapa batasan masalah yang ada dalam penelitian ini, yaitu

1. Simulasi CFD dilakukan pada *blade* dengan mengikutsertakan struktur pendukung.
2. Pada simulasi CFD, efek friksi akibar *bearing* diabaikan.
3. Simulasi dilakukan pada 110 RPM dan kecepatan fluida bebas 1 m/s

## **1.6 Sistematika Penulisan**

### **1. Bab I pendahuluan**

Bab ini menjelaskan hal-hal yang melatarbelakangi penulis melakukan penelitian ini. Dalam bab ini, penulis memberikan rumusan masalah, tujuan penelitian, dan manfaat penelitian guna menjelaskan lebih detil mengenai harapan yang ingin penulis capai pada penelitian tugas akhir ini. Adapula batasan penelitian untuk mempermudah penelitian yang dilakukan dan sistematika penulisan untuk menjelaskan alur dari penulisan tugas akhir ini.

### **2. Bab II Tinjauan Pustaka**

Dalam bab ini, penulis memberikan beberapa referensi yang digunakan sebagai sumber tulisan. Referensi-referensi tersebut berasal dari jurnal lokal, jurnal internasional, buku, literature, serta tugas akhir.

### **3. Bab III Metode Penelitian**

Bab ini menjelaskan alur penelitian. Penulis menggunakan diagram alir (*flowchart*) untuk memudahkan pembaca memahami langkah kerja penelitian.

**4. Bab IV Analisis dan Pembahasan**

Bagian ini berisi analisis dan pembahasan dari penelitian ini

**5. Bab V Penutup**

Bagian ini berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian dan juga saran untuk penelitian selanjutnya

**6. Bab VI Daftar Pustaka**

Bagian ini berisi daftar pustaka yang penulis sertakan untuk mendukung penelitian ini.

## **BAB II**

### **Tinjauan Pustaka**

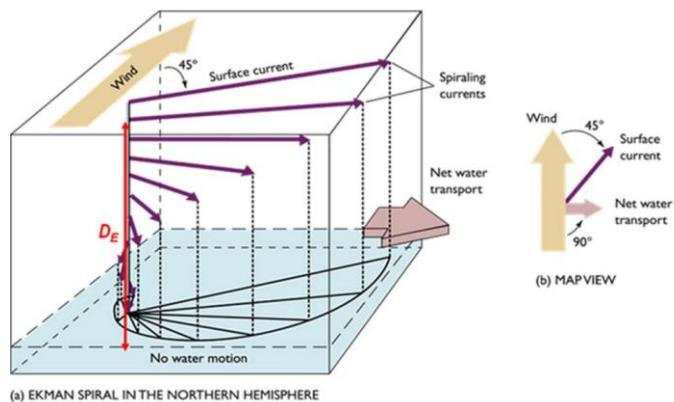
#### **2.1 Arus Laut**

Arus laut adalah gerakan massa air laut dari suatu tempat ke tempat lain. Pada hakekatnya, energi dari gerakan massa air laut tersebut berasal dari matahari. Perbedaan lokasi di bumi dalam menerima cahaya panas matahari akan mengakibatkan pergerakan angin. Pergerakan angin itu kemudian mengakibatkan gerakan air laut di permukaan (Azis, 2006). Tenaga angin memberikan pengaruh terhadap arus permukaan sekitar 2 persen dari kecepatan angin itu sendiri. Kecepatan arus akan berkurang sesuai dengan semakin bertambahnya kedalaman perairan sampai pada akhirnya angin tidak berpengaruh pada kedalaman 200 meter. Semakin dalam, faktor dari angin juga akan semakin mengecil (Awalia, 2014).

Keuntungan energi arus laut ialah selain ramah lingkungan, juga mempunyai intensitas kinetic yang besar. Kerapatan air laut mencapai 830 kali dari kerapatan udara sehingga ukuran turbin air bisa lebih kecil dibanding turbin angin. Ditambah lagi, Indonesia mempunyai beberapa selat yang terhubung langsung dengan samudera. Kecepatan arus laut yang melewati selat akan lebih besar (Surinati, 2011).

##### **2.1.1 Arus Ekman**

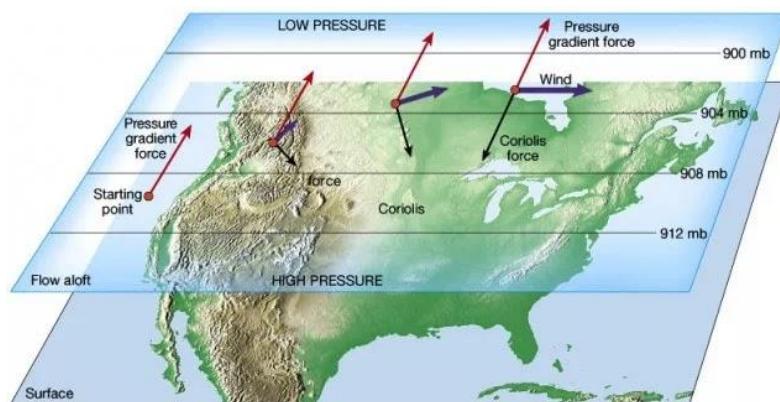
Vagn Walfrid Ekman lahir di Stockholm 1874 adalah seorang ahli oseanografi yang menemukan Spiral Ekman pada tahun 1905. Ekman menyatakan bahwa arus di permukaan akan dibelokkan 45 derajat dari arah angin baik ke kiri atau ke kanan bergantung pada gaya Coriolis yang bekerja. Jika semakin dalam, arah pembelokan akan semakin berlawanan dari arah angin (Pond, 1983).



Gambar 2.1 Spiral Ekman

(sumber :<https://offshoreengineering.com>)

### 2.1.2 Arus Geostropik



Gambar 2.2 Arus Geostropik

(sumber :[www.climate4life.info](http://www.climate4life.info))

Arus geostropik merupakan arus yang dipengaruhi oleh gradien tekanan horisontal dan gaya Coriolis. Gaya Coriolis yaitu gaya perputaran bumi di mana di BBS arah arus laut akan cenderung dibelokkan ke arah kiri dari arah angin. Angin yang bergerak dari arah tenggara akan menuju barat laut.

Menurut Alawiyah (2018), arus geostropik dapat digunakan untuk mendekripsi dan menganalisis munculnya beberapa fenomena di lautan lepas, antara lain arus eddy, upwelling dan downwelling. Pemanfaatan arus

geostropik lebih lanjut dapat dimaksimalkan di sektor perikanan, yakni mendeteksi zona yang berpotensi dalam penangkapan ikan. Arus ini terletak dalam kedalaman 1000 meter di bawah permukaan laut dan bergerak dengan sangat lamban sehingga dapat diasumsikan sebagai fluida statis. Dalam asumsinya, setiap partikel air laut yang berada dalam kedalaman tersebut memiliki kecepatan gerak partikel yang sama atau dengan kecepatan yang sangat kecil sehingga dianggap tidak bergerak sama sekali (Awalia, 2014).

### 2.1.3 Arus Termohalin

Selain faktor angin, arus laut juga disebabkan oleh faktor perbedaan suhu dan salinitas antara air laut di permukaan dan di dasar laut. Perbedaan tersebut disebut termohalin. Arus termohalin cenderung akan mengarah vertikal, sedangkan arus laut yang disebabkan oleh angin, cenderung akan mengarah horizontal.



Gambar 2.3 Arus Termohalin di Seluruh Dunia

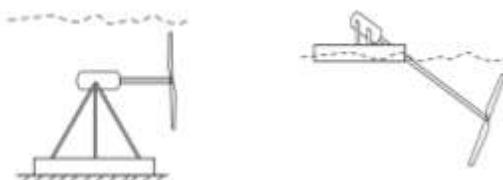
(Sumber : gurugeografi.id)

## 2.2 Turbin Air

Turbin menurut KBBI adalah mesin atau motor yang roda penggeraknya berporos dengan baling-baling yang digerakkan oleh fluida dalam hal ini adalah air. Menurut Kasharjanto di dalam Jurnal Wave Volume 11:2 (2017), jenis turbin ada dua tipe, yaitu

### a. Turbin Tipe Horizontal

Jenis turbin ini mempunyai poros yang sejajar dengan sumbu x atau bisa mempunyai kemiringan tertentu dengan sumbu x-nya.

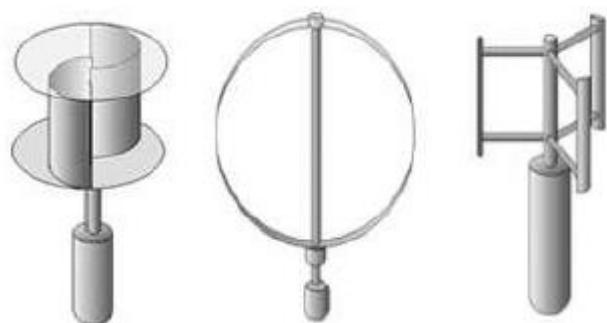


Gambar 2.4 Turbin Arus Laut Tipe Horizontal

(Sumber : Rivantoro, 2015)

### b. Turbin Tipe Vertikal

Berbeda dengan turbin horizontal, turbin ini mempunyai poros tegak lurus dengan sumbu x atau arah arus laut. Ada beberapa jenis turbin vertikal yang pernah dicoba antara lain, turbin Savionus, Darrieus, dan H rotor.

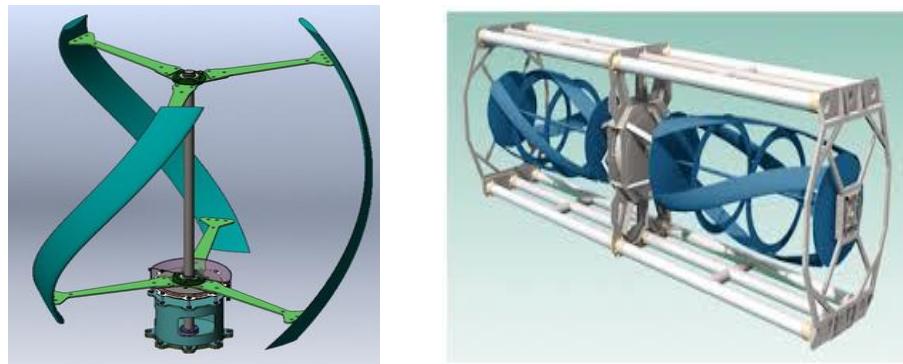


Gambar 2.5 Turbin Arus Laut Tipe Vertikal

(Sumber : Rivantoro, 2015)

### 2.3 Turbin Gorlov

Turbin Gorlov adalah salah satu jenis turbin air yang dikembangkan oleh Alexander M. Gorlov pada tahun 1995. Turbin ini dikembangkan dari jenis turbin Darrieus, namun sudu pada turbin Gorlov berbentuk heliks. Turbin ini bisa bertipe vertikal maupun horizontal



Gambar 2.6 Turbin Gorlov

(Sumber : grabcad.com dan pdfs.semanticscholar.org)

Turbin vertikal jenis Gorlov mempunyai beberapa kelebihan dibanding jenis yang lain, yaitu :

- Bisa beroperasi dari segala arah
- Efisiensi mencapai 35 persen
- Bisa bergerak pada kecepatan rendah (0.6 m/s) sehingga bisa ditempatkan di mana saja.
- Struktur sederhana

Tabel 2. 1 Jenis turbin, efisiensi, dan kelajuanan pergerakan awal  
(Lopulalan, 2015)

Jenis Turbin	Efisiensi	Daerah Operasi Arus
Gaman	15%-18%	>0,5m/s
Tyson	5%	>0,5m/s
Savionus	19%	>2m/s
Seaflow	20%	>2m/s
Darrieus	23%	>2m/s
Gorlov	35%	>0,6m/s
Verdant	43%	>2m/s

## 2.4 Parameter Turbin

Dalam mendesain turbin air, ada beberapa faktor penting yang harus diperhatikan supaya mendapatkan daya yang besar, efisiensi besar, kekuatan turbin, dan yang pasti biaya yang tidak terlalu mahal. Untuk itu seorang insinyur harus bisa mengetahui faktor-faktor yang penting dalam mendesain suatu alat. Di dalam penelitian ini, penulis menyertakan dua faktor yang penting dalam mendesain turbin air. Faktor ini berkaitan dengan efisiensi dan daya yang didapatkan dalam turbin Gorlov.

### 2.4.1 Tip Speed Ratio (TSR)

*Tip speed ratio* adalah rasio antara kelajuan angin dengan kelajuan ujung baling-baling.

$$TSR (\Lambda) = \frac{\text{Kecepatan ujung bilah}}{\text{Kecepatan arus fluida}} \quad (2-1)$$

$$TSR (\Lambda) = \frac{\omega R}{V_o}$$

Keterangan :

$\omega$  = kecepatan angular turbin

R = radius bilah dari poros turbin

$V_o$  = kecepatan fluida bebas

TSR adalah salah satu faktor terpenting dalam perancangan desain turbin. Jika rotor dari suatu turbin bergerak lamban, itu berarti arus laut banyak yang tidak menggerakan sudu Gorlov. Sedangkan, apabila rotor turbin bergerak sangat cepat, air di sekitarnya akan mengalami turbulensi yang akan mengakibatkan ketidakseimbangan pengonversian energi. Jika nilai TSR di atas 1, hal itu berarti bahwa kelajuan sudu lebih kencang daripada kelajuan angin. Jika TSR di bawah 1, koefisien drag membesar. Mengetahui TSR akan memudahkan pemodelan supaya model didesain menjadi lebih efisien dan maksimal dalam menghasilkan daya (mmpa.org). Semakin tinggi TSR, sudu akan semakin ramping (Hestyandhoko, 2009)

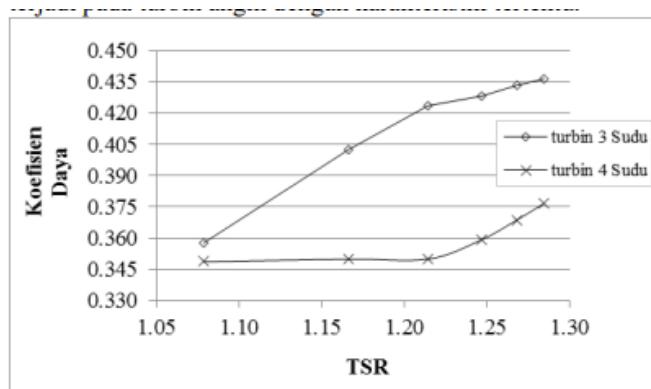
#### 2.4.2 Koefisien Daya

Koefisien daya juga sangat penting untuk diketahui dalam mendesain sebuah turbin. Pengukuran efisiensi turbin erat kaitannya dengan koefisien daya dan TSR.

$$C_p = \frac{P_t}{P_a} = \frac{\frac{M\omega}{2\rho S V_o^3}}{Pa}$$
 (2-2)

Keterangan :

- P<sub>t</sub> = daya output dari turbin  
P<sub>a</sub> = daya yang tersedia dari arus laut  
M = total momen yang dihasilkan turbin  
 $\omega$  = kecepatan angular turbin  
V<sub>o</sub> = kecepatan aliran bebas fluida (arus laut)  
S = area penampang melintang turbin



Gambar 2.7 Hubungan TSR dengan C<sub>p</sub>

(Sumber : Taufiqurrahman, 2017)

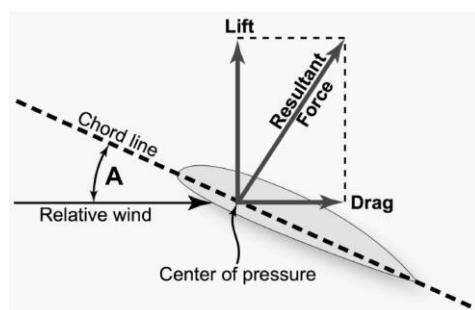
Suatu bentuk konversi energi tidaklah mungkin akan mempunyai efisiensi 100 persen. Jika hal itu terjadi, energi kinetik yang akan bernilai nol. Turbin dengan *aspect ratio* yang rendah memiliki koefisien daya yang lebih tinggi (Taufiqurrahman, 2017).

## 2.5 Aspek Hidrodinamika

Dalam mendesain turbin air, hidrodinamika adalah suatu hal yang wajib untuk dipahami. Hal itu supaya turbin air bergerak dengan efektif jika diletakkan pada suatu tempat. Ditambah lagi, bentuk sudu turbin Gorlov yang heliks dan mirip dengan bentuk sayap pesawat terbang (*airfoil*). Gaya *lift* dan *drag* adalah dua gaya yang memainkan peran penting dalam pergerakan turbin. Seperti yang penulis tuliskan pada bab parameter turbin bahwa gaya *drag* yang berlebihan akan mengurangi koefisien daya. Pada penelitian ini, penulis akan membahas mengenai hidrofoil.

### 2.5.1 Hidrofoil

Bentuk geometri yang apabila ditempatkan di suatu aliran air akan memproduksi gaya angkat (lift) lebih besar dari gaya hambat (drag). Issac Newton pada hukum aksi-reaksi pernah menyatakan bahwa jika benda A memberikan suatu gaya kepada benda B, benda B akan memberikan reaksi gaya pula kepada benda A. Hal itu sama dengan hubungan antara gaya *lift* dan gaya *drag* pada hydrofoil. Gaya *lift* pada turbin Gorlov terletak pada saat arus laut mendorong air ke arah sudu turbin yang berbentuk heliks. Gaya *lift* tersebut akan berkurang ketika menumbuk sudu turbin. Gaya *lift* yang berkurang tadi diakibatkan oleh adanya gaya *drag* karena ada gesekan antara arus laut dengan sudu turbin. Oleh karena itu bentuk hidrofoil, sudut serang (pitch), kecepatan arus, dan jumlah sudu berperan penting dalam menentukan keluaran daya dari turbin.



Gambar 2.8 *Lift force* dan *Drag force*

(Sumber : <https://www.presticebdt.com/aerodynamics-lesson-2-drag-and-lift>)

$$Cl = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho AV^2} = \frac{2L}{\rho AV^2} \quad 2-3$$

$$Cd = \frac{Fd}{\frac{1}{2}\rho AV^2} = \frac{2Fd}{\rho AV^2} \quad 2-4$$

Keterangan :

Cl = koefisien lift

Cd = koefisien drag

L = gaya lift

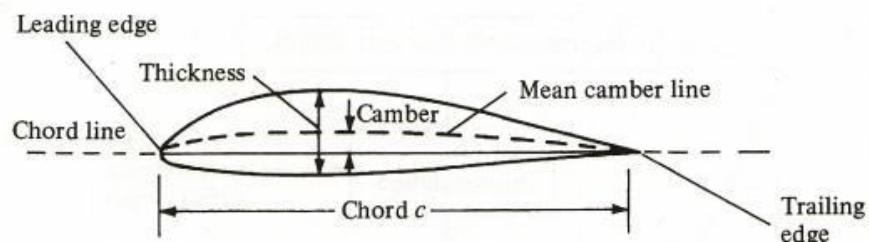
Fd = gaya drag

A = penampang melintang turbin

V = *free-flow fluid*

Berikut ini gambar dan istilah-istilah yang ada pada sudut turbin

Gorlov :



*Gambar 2. 512 Hidrofoil*

(Sumber :<http://www.pilotfriend.com/>)

Keterangan :

- Leading Edge* adalah bagian yang paling depan dari sebuah *hidrofoil*
- Trailing Edge* adalah bagian yang paling belakang dari sebuah *hidrofoil*.
- Chamber line* adalah garis yang membagi sama besar antara permukaan atas dan permukaan bawah dari *hidrofoil mean chamber line*.
- Chord line* adalah garis lurus yang menghubungkan *leading edge* dengan *trailing edge*.
- Chord (c)* adalah jarak antara *leading edge* dengan *trailing edge*.

- f) *Maximum chamber* adalah jarak maksimum antara *mean chamber line* dan *chord line*. Posisi maksimum *chamber* diukur dari *leading edge* dalam bentuk persentase *chord*.
- g) *Maximum thickness* adalah jarak maksimum antara permukaan atas dan permukaan bawah *hidrofoil* yang juga diukur tegak lurus terhadap *chord line*.

### 2.5.2 Airfoil NACA

NACA airfoil adalah bentuk airfoil sayap pesawat udara yang dikembangkan oleh National Advisory Committee for Aeronautics (NACA). Sampai sekitar Perang Dunia II, airfoil yang banyak digunakan adalah hasil riset Gottingen. Selama periode ini banyak pengujian arifoil dilakukan diberbagai negara, namun hasil riset NACA lah yang paling terkemuka. Pengujian yang dilakukan NACA lebih sistematis dengan membagi pengaruh efek kelengkungan dan distribusi ketebalan atau thickness serta pengujinya dilakukan pada bilangan Reynold yang lebih tinggi dibanding yang lain (Hidayat, 2016).

Menurut Mariasa (2013), dalam pengidentifikasi geometri dari airfoil NACA, nomor seri harus diketahui terlebih dahulu. Ada jenis beberapa seri yang harus dipahami, yaitu

a. Seri “Satu”

- Angka pertama ialah angka serinya
- Angka kedua menunjukkan letak tekanan minimum dalam persepuluh *chord* dari *trailing edge*
- Angka ketiga menunjukkan koefisien gaya angkat (cl) rancangan dalam persepuluh *chord*.
- Dua angka terakhir menunjukkan *maximum thickness* atau ketebalan maksimum dalam perseratus *chord*

Sebagai contoh yaitu airfoil dengan NACA 16-123, angka 1 adalah serinya (seri satu angka). Memiliki letak tekanan minimum 60

persen chord dari *trailing edge*. Memiliki koefisien gaya angkat rancangan 0.1 dan mempunyai ketebalan maksimum 23 persen *chord*.

b. Seri “ Enam “

- Angka pertama menunjukkan serinya.
- Angka kedua menunjukkan letak tekanan minimum dalam sepersepuluh chord dari *trailing edge*.
- Angka ketiga menunjukkan koefisien gaya angkat (cl) rancangan dalam sepersepuluh *chord*
- Dua angka terakhir adalah *maximum thickness* dalam seperseratus *chord*.

Misalnya untuk airfoil dengan NACA 65-218, angka 6 adalah serinya (seri enam angka), tekanan minimum terjadi pada 0.5c untuk distribusi tebal simetrik dasar pada gaya angkat nol, memiliki koefisien gaya angkat rancangan cl 0.2c, dan tebal maksimum 18 persen chord. Airfoil jenis ini dirancang sebagai airfoil laminar untuk kecepatan tinggi, dirancang untuk menghasilkan clmax yang tinggi, dan cd yang lebih rendah pada cl yang tinggi.

c. Seri “ Tujuh “

- Angka pertama adalah serinya.
- Angka kedua adalah letak tekanan minimum pada *bagian upper surface* perseratus *chord*.
- Angka ketiga adalah letak tekanan minimum pada bagian *lower surface* perseratus *chord*.
- Satu huruf menunjukkan profil standar dari *airfoil*
- Angka kelima adalah koefisien gaya angkat rancangan dalam persepuuh *chord*
- Dua angka terakhir adalah ketebalan maksimum dalam perseratus *chord*.

Sebagai contoh, airfoil NACA 71-2A315 mempunyai angka 7 yang berarti serinya, mempunyai letak tekanan minimum 10 persen *chord* dari *trailing edge* pada *upper surface*, letak tekanan minimum pada *lower surface* pada 20 persen *chord* dari *trailing edge*, menggunakan standar “A“ airfoil, memiliki koefisien gaya angkat rancangan 0.3, dan mempunyai ketebalan maksimum 15 persen *chord*.

d. Seri “ Delapan “

Identifikasi pada airfoil ini sama dengan airfoil pada seri 7, namun angka 8 merupakan serinya. Airfoil seri delapan merupakan airfoil superkritis, didesain supaya aliran udara yang melewati bagian *upper* dan *lower surface* pada airfoil dibuat lebih maksimum dan drag yang dihasilkan seminim mungkin. Ciri-ciri airfoil ini mempunyai *chamber* yang besar dan radius yang besar pada *leading edge* biasanya digunakan pada pesawat yang mempunyai kecepatan transonic ( $1 > M > 1$ ).

## 2.6 Computational-Fluid Dynamics (CFD)

Computational-Fluid Dynamics (CFD) adalah pemodelan numerik menggunakan komputer yang berguna dalam mensimulasikan pola fluida, perpindahan panas, serta penggunaan lainnya. CFD mempunyai banyak manfaat untuk bidang keteknikan, contohnya

- Desain ruang atau lingkungan yang aman dan nyaman.
- Desain kendaraan untuk memaksimalkan karakter aerodinamikanya.
- Desain blok mesin untuk mengoptimalkan pembakarannya.
- Analisis petrokimia untuk strategi optimasi oil recovery.
- Mempelajari sistem arterial (computational hemodynamics) bagi dokter dan ahli bedah.
- Analisis kegagalan (failure) untuk mencari sumber-sumber kegagalan misalnya pada sistem pembakaran, aliran uap panas, dan perpipaan.
- Mempelajari reaksi pembakaran dan pendinginan.

Dalam mengoperasikan CFD, ada 3 tahapan utama, yaitu *pre-processor*, *solver*, dan *post-processor*.

a. *Pre-processor*

Pada tahap ini, parameter-parameter yang akan dimasukkan pada proses analisis dimasukkan seperti kecepatan fluida sebelum melewati turbin, kecepatan setelah keluar dari turbin, dan *boundary condition* juga harus didefinisikan. Proses *meshing* dilakukan juga supaya hasil yang diinginkan mendekati hasil nyatanya. Semakin banyak *mesh*, semakin akurat hasilnya.

b. *Solver*

Pada tahap ini, model dari turbin Gorlov di *run* dengan parameter yang sudah dimasukkan saat tahapan *pre-processing*. Simulasi akan berhenti ketika hasil analisis muncul.

c. *Post-processor*

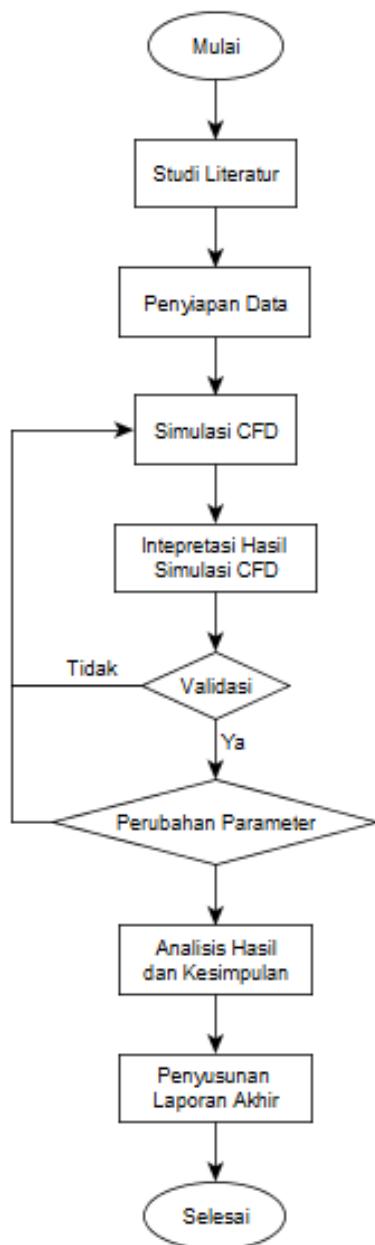
Tahap terakhir, *Post-processing*, yaitu tahap pada saat hasil analisis komputasi numerik diinterpretasikan ke dalam gambar, grafik, bahkan animasi dengan pola-pola warna tertentu. Pada analisis ini, diambil nilai momen persudut, gaya drag, gaya angkat, dan gambar persebaran tekanan turbin.

**(Halaman Sengaja Dikosongkan)**

## BAB III

### Metodologi Penelitian

#### 3.1 Diagram Alir



Gambar 3. 1 Diagram Alir

### **3.2 Penjelasan Diagram Alir**

Dari gambar diagram alir di atas, langkah-langkah penelitian tugas akhir ini bisa dijelaskan sebagai berikut :

#### **1. Studi Literatur**

Penulis mencari dasar teori khususnya mengenai turbin Gorlov, energi arus laut, serta mencari referensi mengenai CFD untuk mendukung penelitian pada tugas akhir ini. Referensi-referensi tersebut penulis kumpulkan dari berbagai jurnal lokal, internasional, buku, maupun internet.

#### **2. Penyiapan Data**

Pada tahap ini, dilakukanlah pengumpulan dan penyiapan data pendukung. Data tersebut yaitu desain CAD 3D berupa turbin Gorlov. Adapun spesifikasi jenis turbin tersebut yaitu NACA 0012 (data sekunder untuk validasi desain).

#### **3. Simulasi CFD**

Data yang disiapkan telah sebelumnya dimasukkan ke dalam *software Ansys Fluent*. Pada penelitian ini, penulis memvariasikan jenis hidrofoil dan jumlah bilah untuk koefisien momen.

#### **4. Interpretasi Hasil Simulasi CFD**

Hasil simulasi CFD yang berupa koefisien momen. Koefisien momen tersebut kemudian diformulasikan untuk mencari torsi.

#### **5. Validasi**

Validasi dilakukan untuk mengetahui bahwa hasil model yang telah *running* sama dengan hasil yang ada pada data sekunder. Hasil torsi dari percobaan desain penulis akan dibuat grafik. Grafik tersebut akan dibandingkan dengan grafik validasi dari data sekunder.

#### **6. Perubahan Parameter**

Perubahan parameter dilakukan untuk mengetahui perbedaan hasil akhir. Perubahan dalam penelitian ini terdiri dari dua variabel, yaitu jenis hidrofoil dan jumlah bilah.

#### **7. Analisis Hasil dan Kesimpulan**

Pada tahap ini, dilakukanlah analisis antara desain percontohan dengan desain penulis sesuai dengan variabel yang digunakan. Hasil analisis ini berupa grafik efisiensi daya.

## 8. Penyusunan Laporan Akhir

Pada tahap ini, laporan mengenai percobaan VAWT turbin Gorlov disusun secara rapi.

### 3.3 Tahapan Penggerjaan Simulasi Numerik

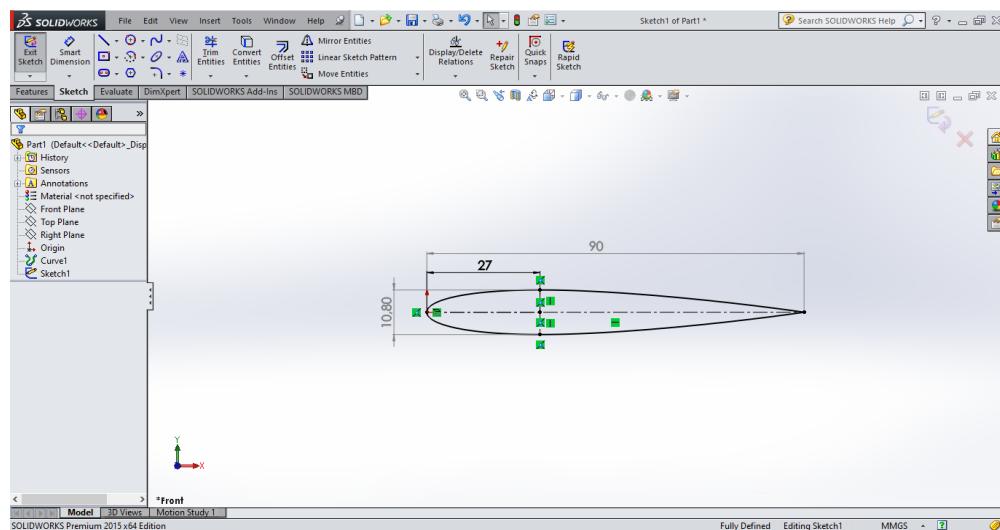
#### 3.3.1 Desain Turbin

##### A. Untuk Validasi

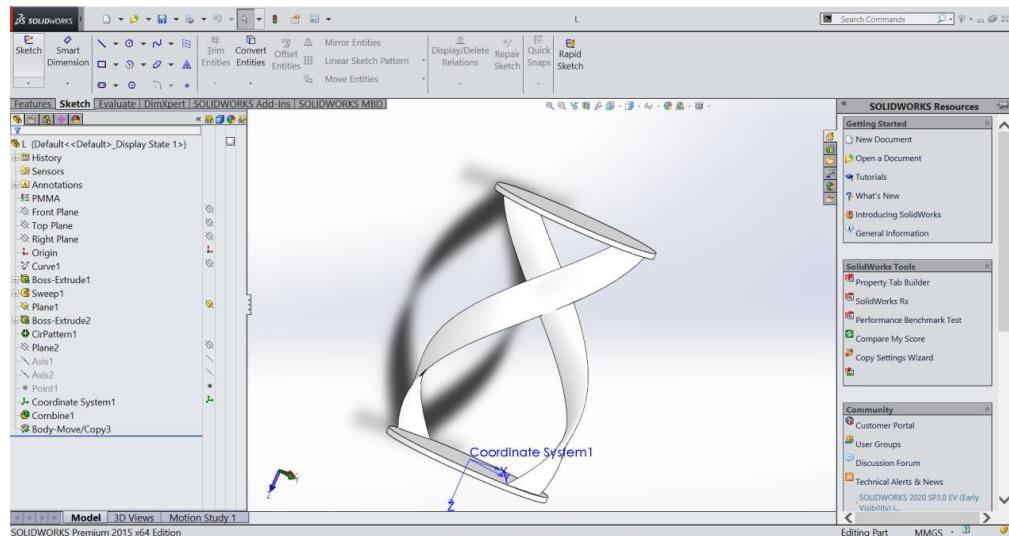
Penulis menggunakan *software SolidWorks v.15* untuk mendesain turbin heliks 3 dimensi. Jenis bilah yang digunakan ialah NACA 0012 dengan panjang *chord* yang telah diskala sebesar 90 mm sesuai dengan data eksperimen.

*Tabel 3. 1 Spesifikasi Hidrofoil NACA 0012*

Spesifikasi Hidrofoil	
Untuk Validasi	
Nama :	NACA 0012
Panjang Chord :	90 mm
Ketebalan Maksimum :	12 % pada 30% panjang chord (10.80 mm)
Maksimum Camber :	0%



*Gambar 3. 2 NACA 0012*

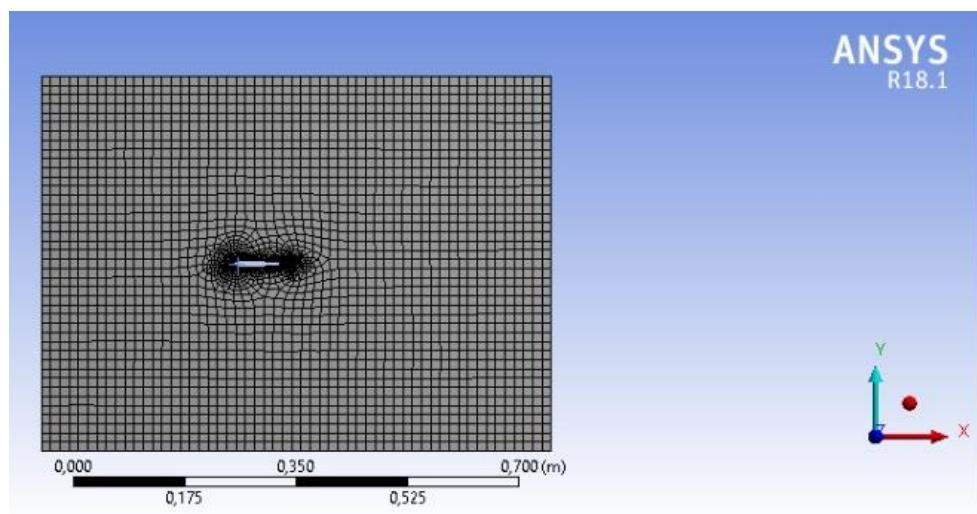


Gambar 3. 3 Turbin Heliks 2 Bilah 3 Dimensi

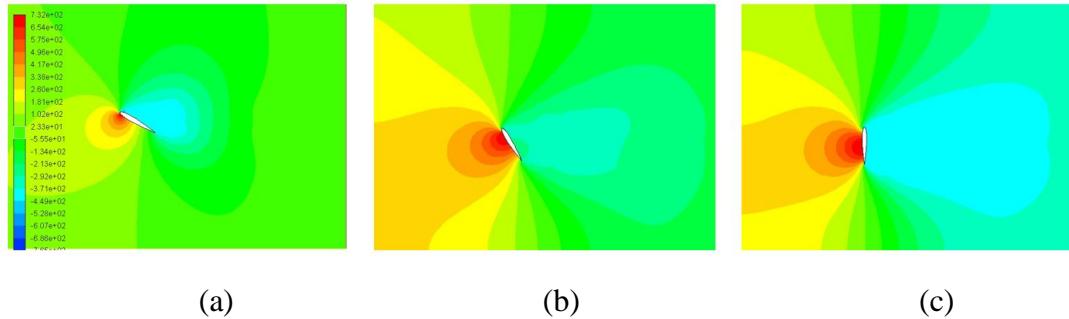
Tabel 3. 2 Data Geometri Turbin

<b>Diameter Turbin</b>	300 mm
<b>Tinggi Turbin</b>	450 mm
<b>Panjang Chord Bilah</b>	90 mm
<b>Jumlah Bilah</b>	2
<b>Soliditas Turbin</b>	0,191
<b>Sudut Kemiringan Bilah (Φ)</b>	43,68°

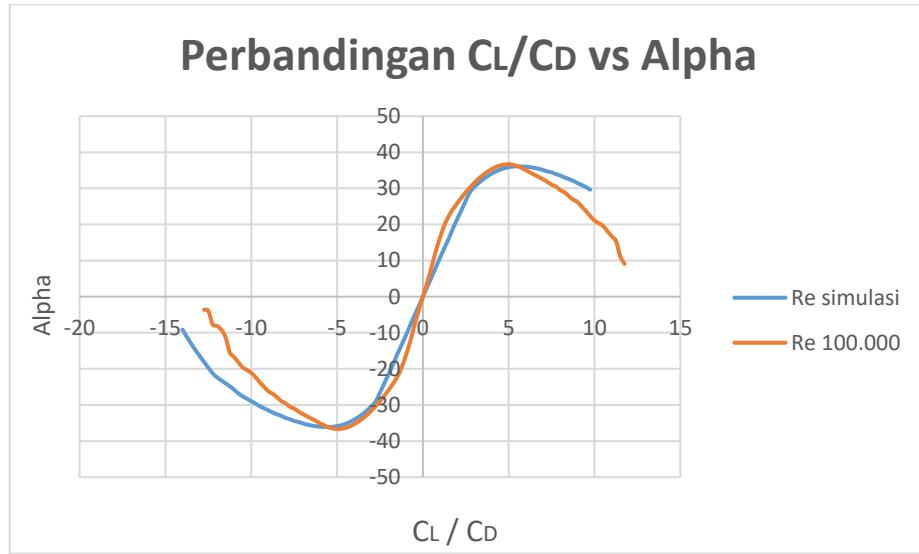
Penulis sertakan juga model NACA 0012 dalam bentuk meshing, hasil kontur kecepatan dan tekanan, serta grafik validasi nilai CL dan CD hasil - simulasi dengan data pada laman [www.airfoiltools.com](http://www.airfoiltools.com) :



Gambar 3. 4 Meshing Model Hidrofoil 2 Dimensi



Gambar 3. 5 Kontur tekanan pada hidrofoil saat (a)  $30^\circ$ , (b)  $60^\circ$ , dan (c)  $90^\circ$



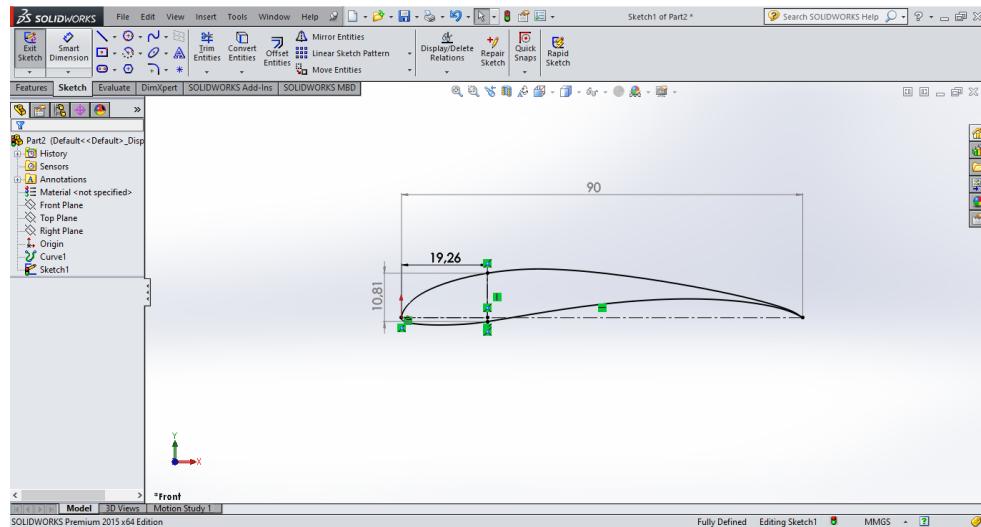
*Gambar 3. 6 Grafik validasi performa Hidrofoil*

### B. Untuk Variasi

## 1. Variasi Jenis Hidrofoil

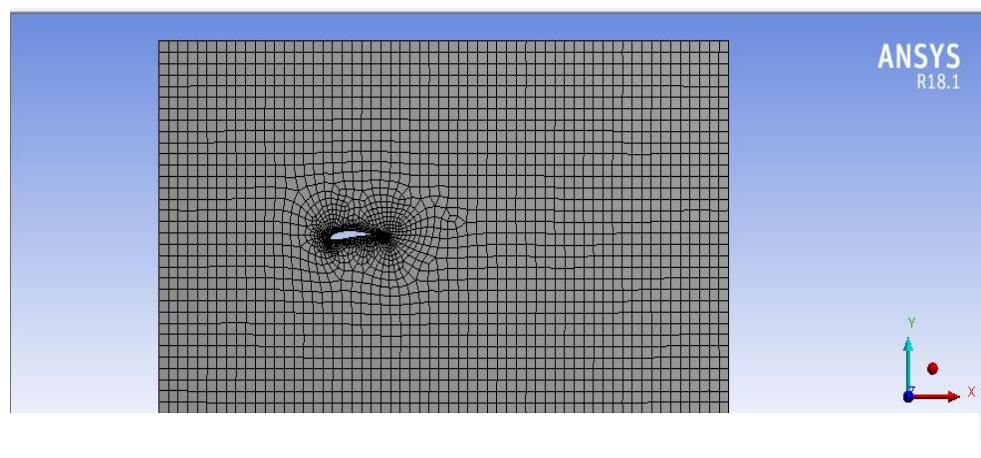
*Tabel 3. 3 Spesifikasi Hidrofoil S1210*

Spesifikasi Hidrofoil Untuk Variasi	
Nama :	S1210 (High Lift)
Panjang Chord :	90 mm
Ketebalan Maksimum :	12 % pada 21.4% panjang chord (10.80)
Maksimum Camber :	6.7% dari 51.1% panjang chord (6.03 mm)

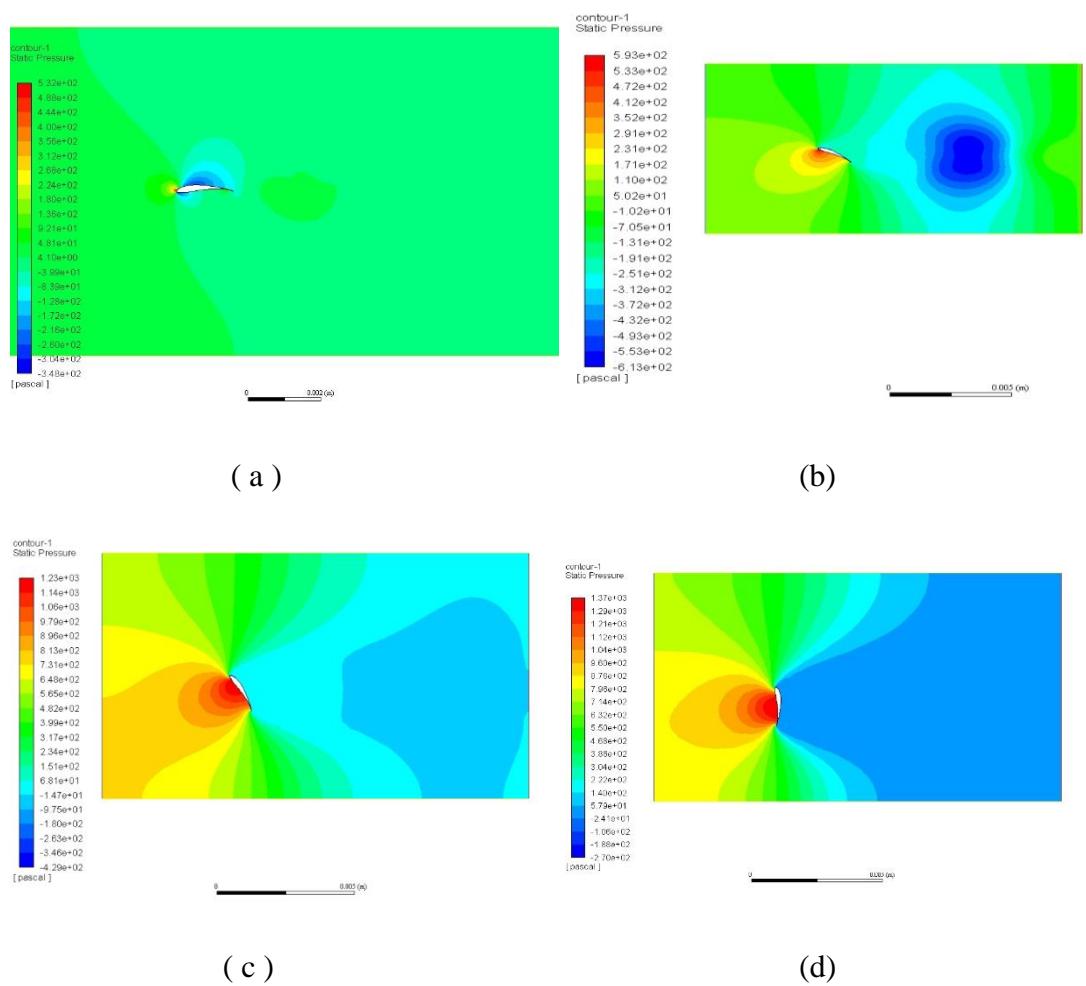


Gambar 3. 2 Hidrofoil S1210

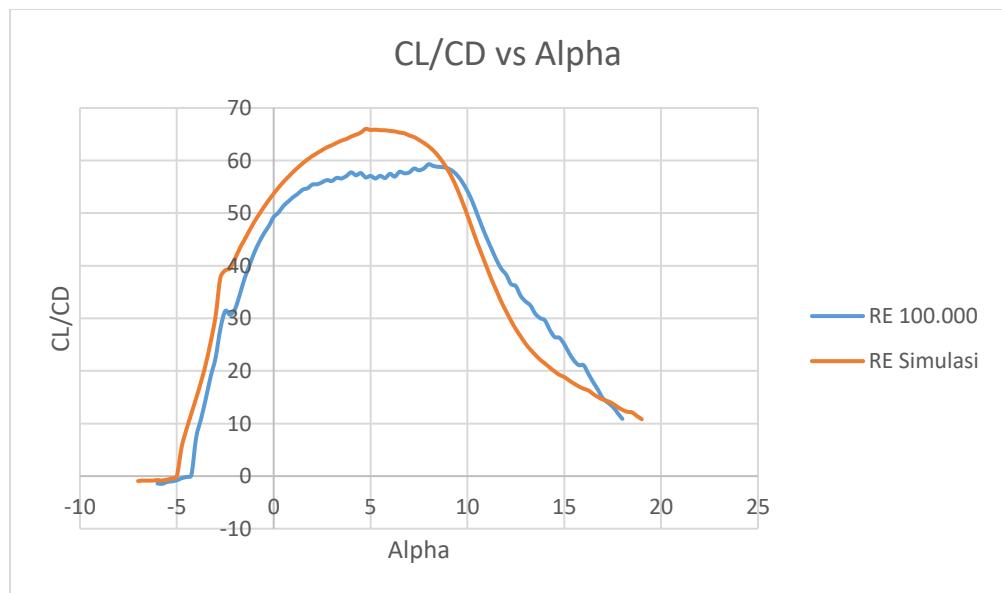
Penulis memvariasikan hidrofoil berjenis asimetris yang bernama S1210. Hidrofoil S1210 ini ditemukan oleh Professor Emeritus Michael S. Selig dari Amerika Serikat. (Letcher 2017: 194) berpendapat bahwa jenis hidrofoil S1210 diklaim mempunyai gaya angkat tinggi dan cocok untuk digunakan pada Reynolds number kecil. Adanya *camber* yang cukup besar bisa menaikkan gaya hambat sehingga turbin mempunyai *self-starting* yang baik. Berikut ini, penulis akan menambahkan gambar mesh dari hidrofoil S1210, gambar analisis aliran di ANSYS, beserta perbandingan grafik CL/CD terhadap Alpha.



Gambar 3. 3 Mesh Hidrofoil S1210



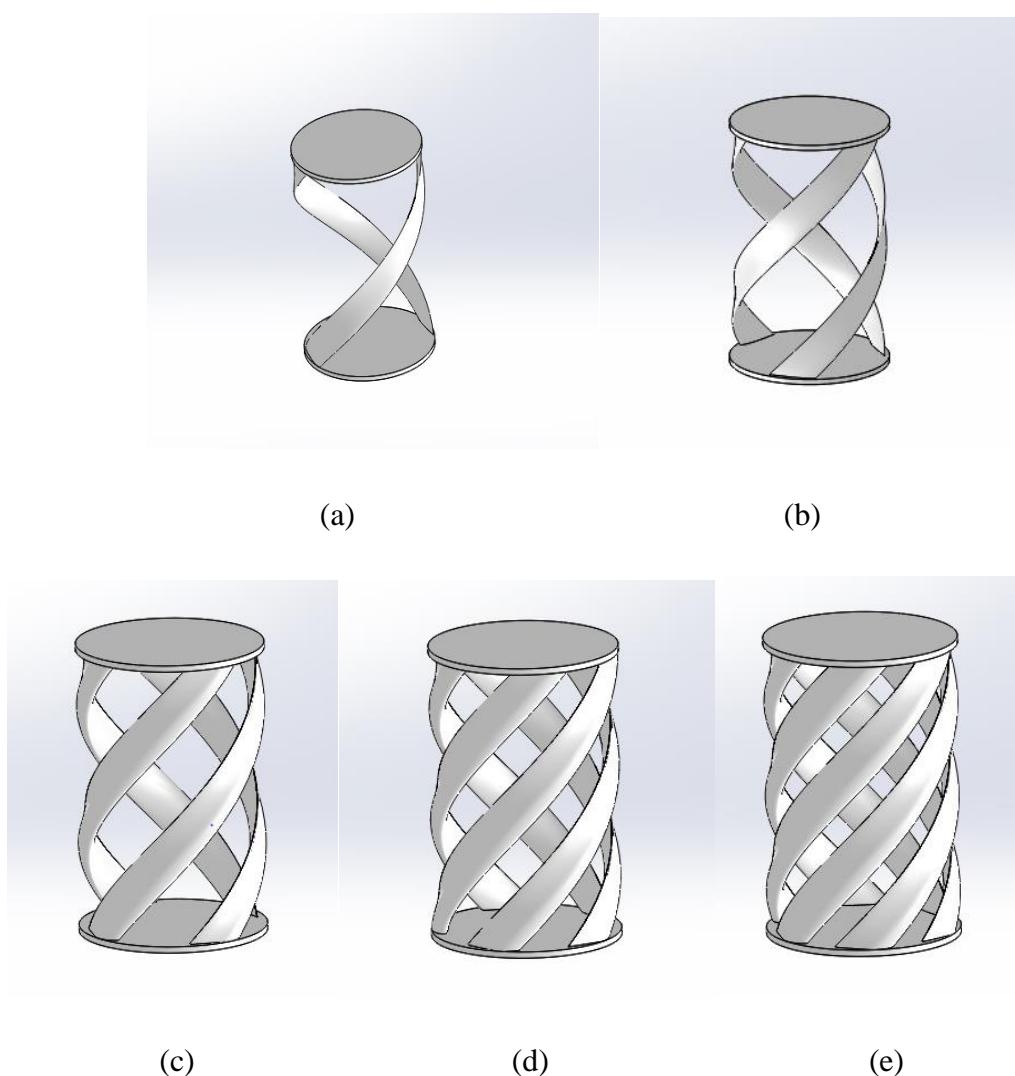
Gambar 3. 4 Kontur Tekanan Hidrofoil S1210 pada saat (a)  $0^\circ$   
(b)  $30^\circ$  (c)  $60^\circ$  (d)  $90^\circ$



Gambar 3. 10 Grafik CL/CD terhadap Alpha Hidrofoil S1210

## 2. Jumlah Bilah

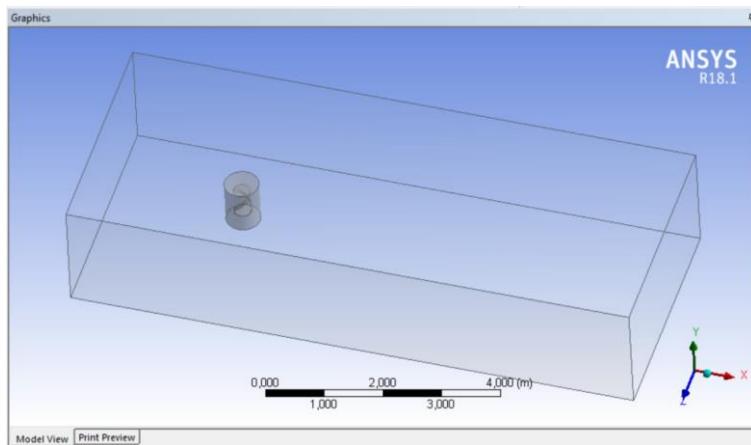
Pada tugas akhir ini, penulis juga memvariasikan jumlah bilah yaitu sebesar 2, 3 , 4, 5, dan 6 bilah dengan hidrofoil NACA 0012. Menurut (Aryanto, 2013), penambahan bilah bisa membuat efisiensi turbin naik karena bilah tersebut bisa menangkap gaya kinetik dari air lebih banyak. Namun, jika bilah tersebut terlalu banyak, putaran turbin akan turun akibat gaya datang kecil yang diperoleh bilah yang berada di belakang.



Gambar 3. 11 (a), (b), (c), (d), dan (e) Variasi Jumlah Bilah

### 3.3.2 Pembuatan Boundary Layer

Langkah selanjutnya ialah pembuatan *boundary layer* atau layar batas digunakan untuk melihat pola pergerakan air di sekitar turbin. Penulis mendesain *boundary layer* dengan dimensi P x L x T yaitu 10 x 6 x 4 m menggunakan ANSYS v18.1



Gambar 3. 12 Turbin dengan boundary layer

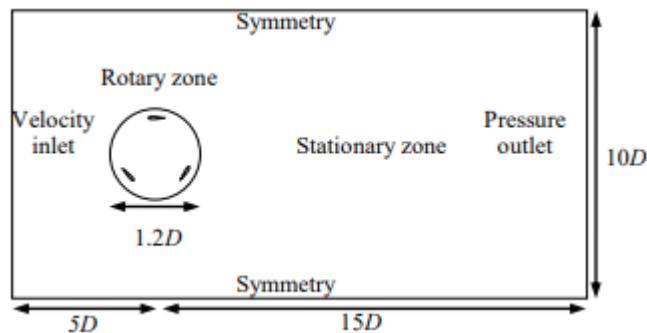
Jika dilihat pada penampang di atas, bentuk balok dinamakan *stationary wall*, sedang bentuk silinder yang terdapat turbin di dalamnya disebut *moving wall*. Pada ANSYS FLUENT, ada dua jenis pendekatan yang biasanya digunakan yaitu,

1. *Steady-State*
2. *Transient*

Pada pendekatan *steady-state* ada dua subkategori lagi, yaitu *Single Reference Frame* (SRF) dan *Multiple Reference Frame* (MRF). Perbedaan dua subkategori di atas ialah adanya daerah *moving wall* yang hanya ada pada metode MRF dan Transient sedangkan pada Metode SRF, hanya ada daerah *stationary wall*. Metode MRF biasanya digunakan untuk benda yang kompleks.

Metode *steady* MRF dan Transient adalah dua metode yang berbeda, namun memiliki kesamaan yang terletak pada jenis domainnya. Kedua metode tersebut memiliki *moving domain* dan *stationary domain*. Hal yang membedakan antara pendekatan *steady-state* MRF dan transient yaitu

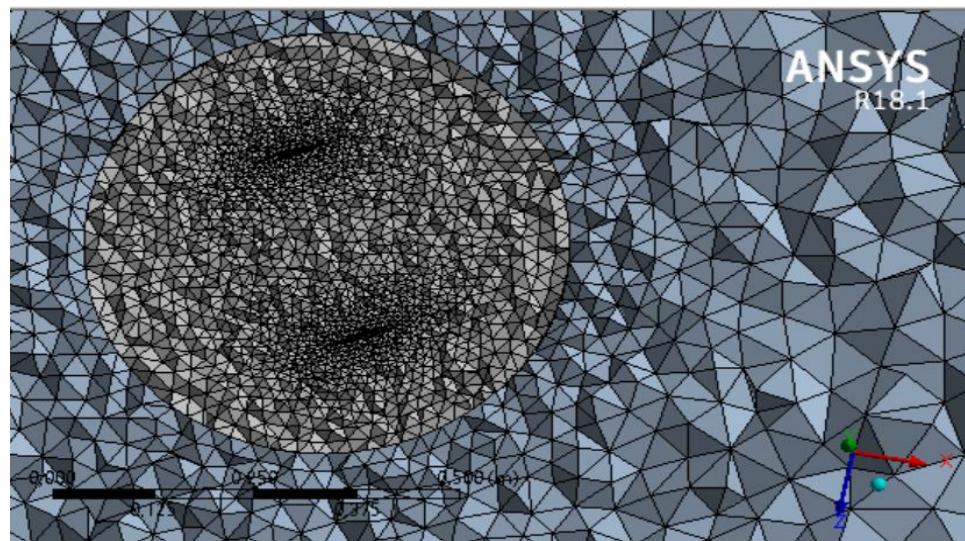
terletak pada turbinnya. Pada metode MRF, turbin hanya diam. Akan tetapi, pada metode Transient, turbin bergerak.



*Gambar 3. 13 Contoh jenis domain yang ada pada metode steady MRF dan Transient*

### 3.3.3 Proses Meshing

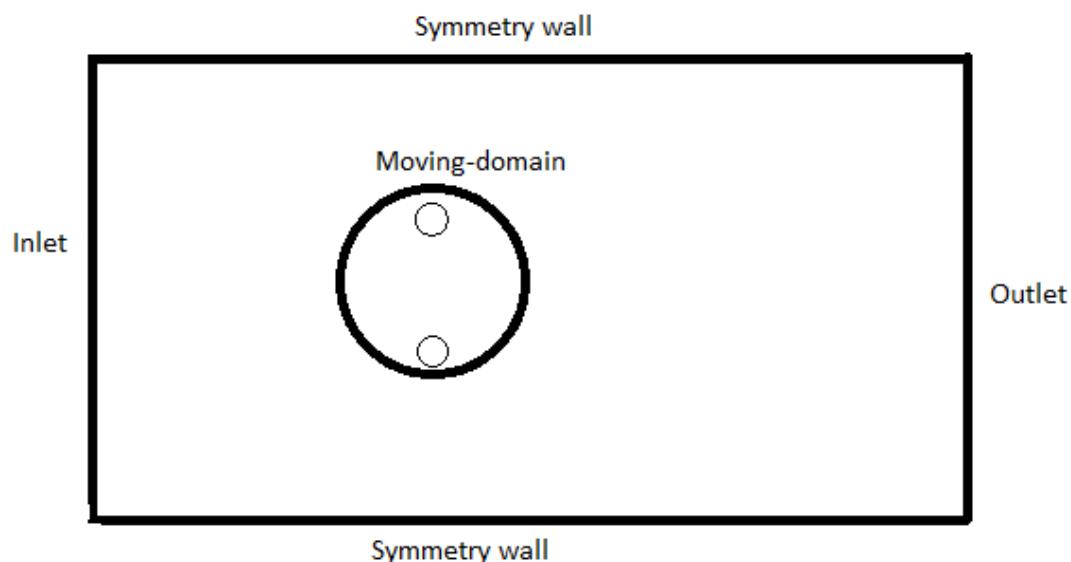
Tahap ini, turbin serta *boundary layer* di-mesh atau dibentuk seperti jaring-jaring. Proses ini sangat berefek pada nilai yang akan dikalkulasikan nanti seperti torsi, gaya *drag*, gaya *lift*, serta bentuk turbulensi aliran. Semakin tinggi elemen yang digunakan, semakin akurat kalkulasi yang dilakukan. Namun, membutuhkan waktu yang semakin lama pula.



*Gambar 3. 5 Proses Meshing Turbin Heliks 3 Dimensi*

Setelah dilakukan meshing, tahapan selanjutnya adalah penamaan *boundary layer*. Penamaan wajib dilakukan supaya hasil simulasi yang

diinginkan sesuai dengan hasil eksperimen. Berikut ini adalah penamaan pada simulasi numerik ini.

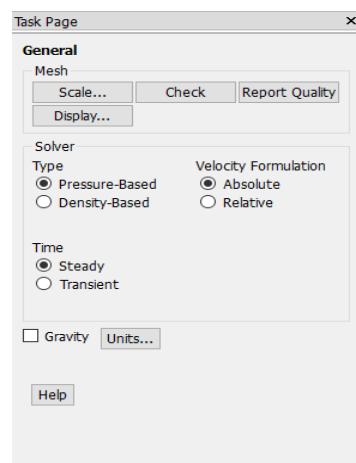


Gambar 3. 15 Penamaan boundary layer

### 3.3.4 Solving Steady State

Penyelesaian metode *steady* di ANSYS pada penelitian ini memerlukan waktu sekitar satu jam. Oleh karena itu, untuk memudahkannya, penulis memutar turbin per-30 derajat untuk melihat kesesuaian torsi yang ada pada hasil simulasi.

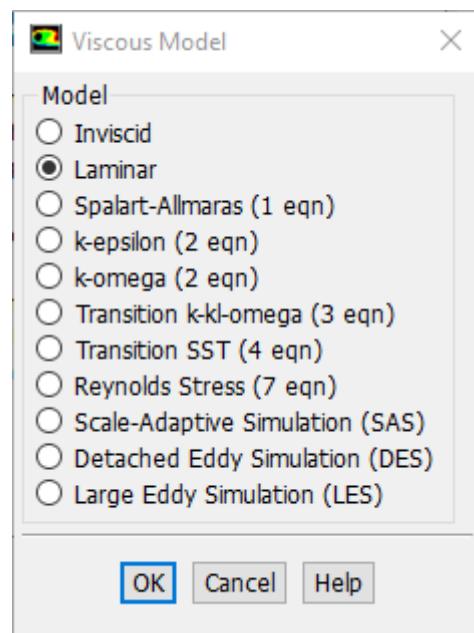
#### 1. Tampilan awal (General)



Gambar 3. 16 Tampilan awal Solver

Tahap ini yang membedakan antara penggunaan metode *steady-state* dengan *Transient*. Terdapat dua pilihan antara *Steady* dan *Transient*. Ada juga pilihan antara *Pressure-Based* dan *Density-Based*. Perbedaan itu didasarkan kepada kecepatan aliran yang dilalui turbin. Oleh karena kecepatan arus laut cenderung rendah, penulis memilih *Pressure-Based*. Sedangkan untuk aliran supersonic  $> 410-1702$  m/s, *Density-Based* bisa digunakan.

## 2. Viscous Model

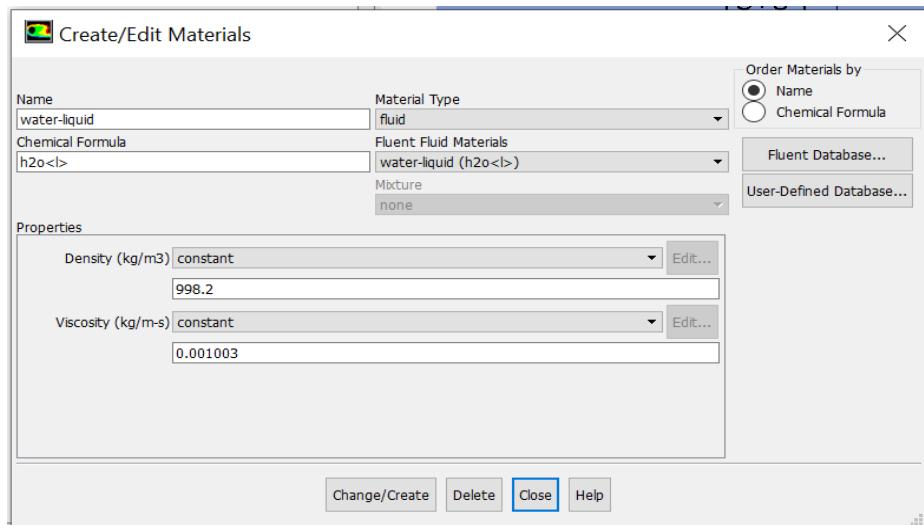


Gambar 3. 6 Viscous Model

Pada tahap ini, penulis memilih model aliran laminar karena pada data sekunder terdapat bahwa aliran turbulen sangat kecil sehingga bisa diabaikan (Yang:2017)

## 3. Materials

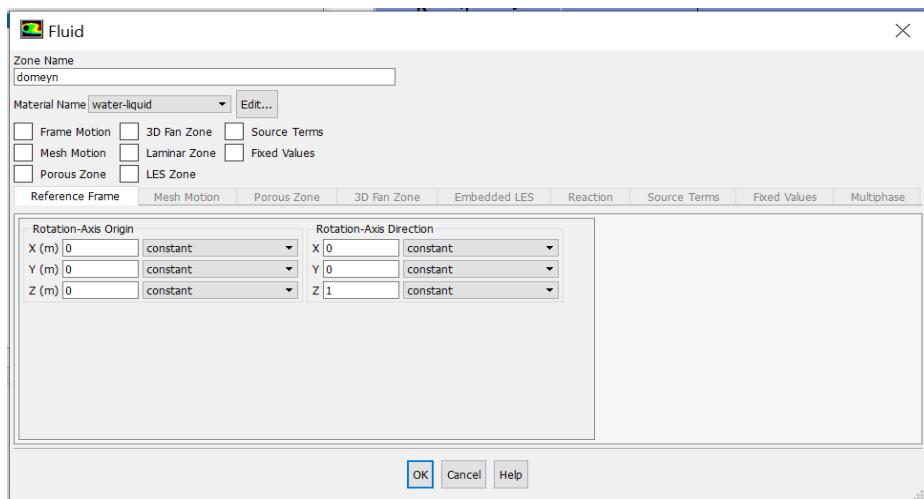
Selanjutnya masuk ke tahap pemilihan material aliran. Penulis memilih jenis air tawar dengan *density*  $998.2 \text{ kg/m}^3$  dan *viscosity*  $0.001003 \text{ kg/m-s}$ . Pemilihan material penting dilakukan untuk menentukan bilangan Reynolds. Pada penelitian ini, penulis memilih bilangan  $Rn = 1.5 \times 10^5$  sesuai dengan data eksperimen.



*Gambar 3. 18 Material properties*

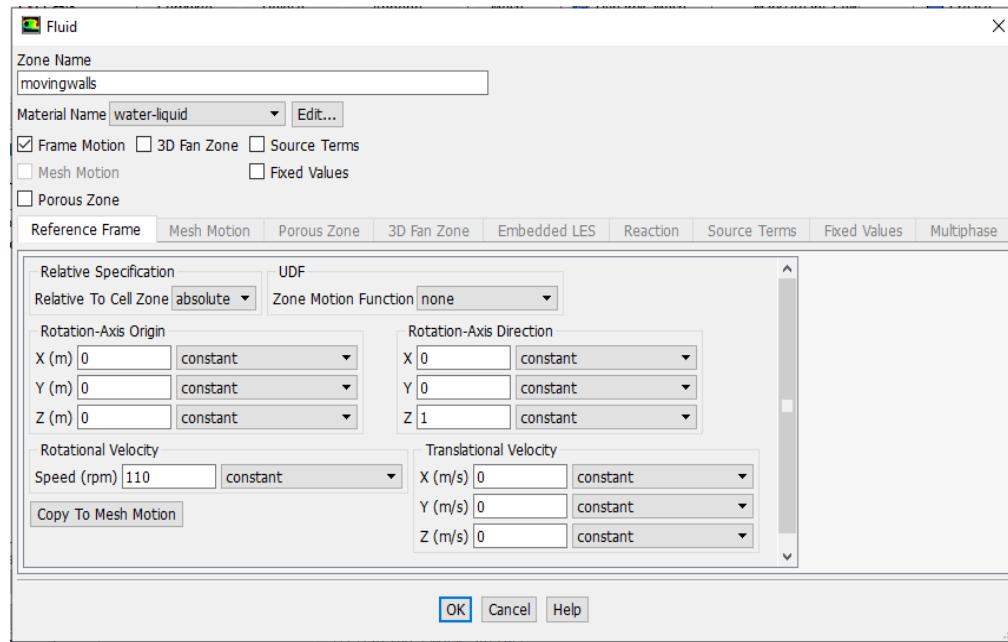
#### 4. Menentukan Cell-Zone Condition

Pada pendekatan *steady* MRF, ada dua jenis *cell-zone*. Untuk *Sationary-Zone*, tampilannya seperti gambar di bawah ini.



*Gambar 3. 19 Cell-Zone Condition Stationary*

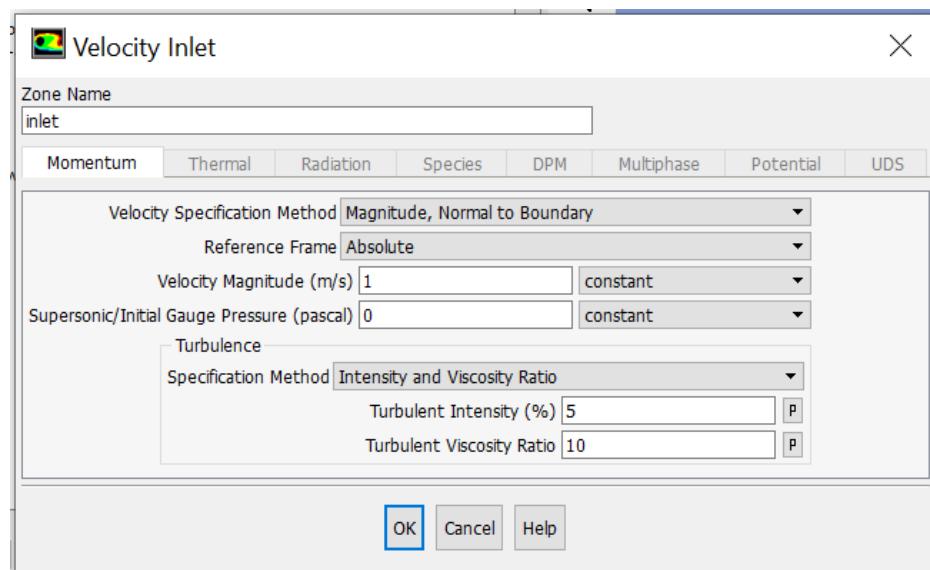
Sedang untuk moving domain, pengaturannya seperti gambar di bawah ini.



*Gambar 3. 20 Pengaturan Moving Domain*

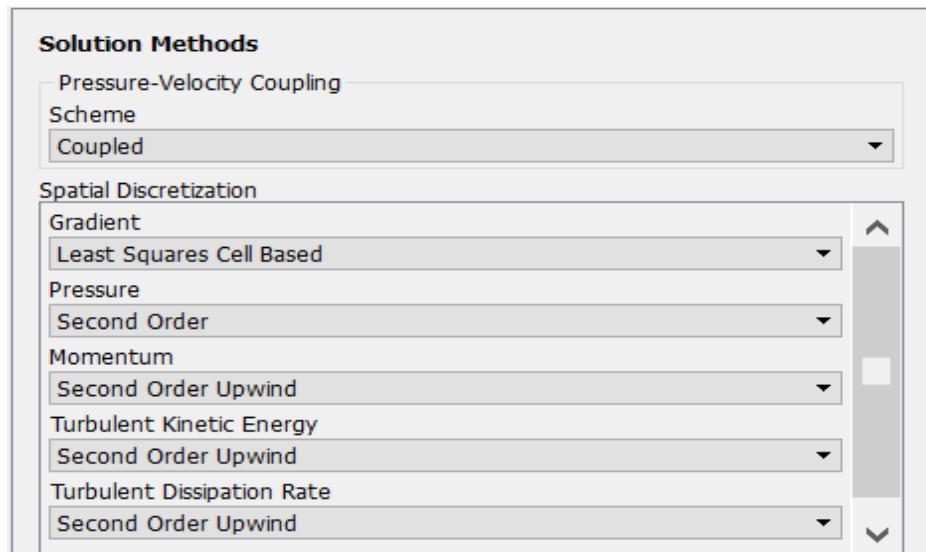
### 5. Menentukan Kondisi Batas

Pada daerah inlet, penulis mengisi kecepatan sebesar 1 m/s sesuai dengan data eksperimen.

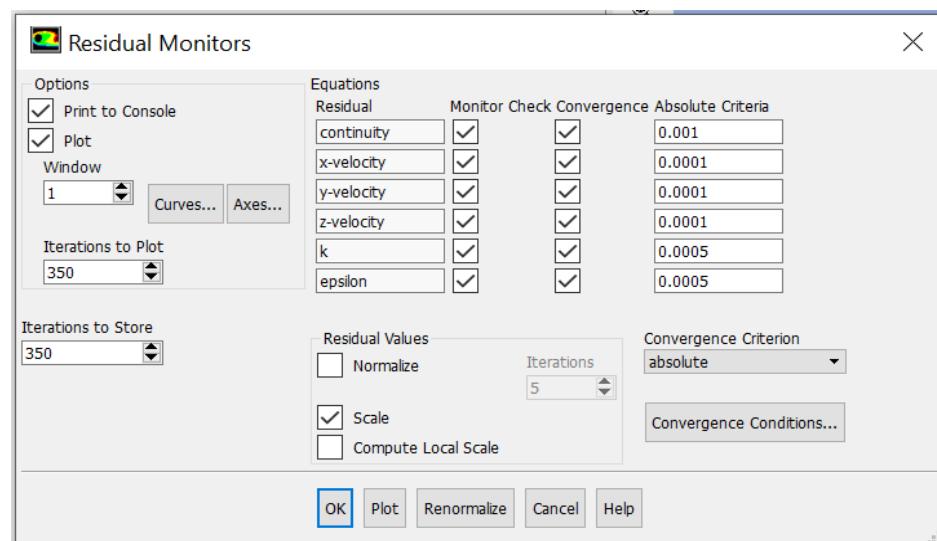


*Gambar 3. 21 Penentuan kondisi inlet*

## 6. Pendefinisian *Solution Method* dan Residual Monitors



Gambar 3. 22 Solution Method



Gambar 3. 7 Residual Monitors

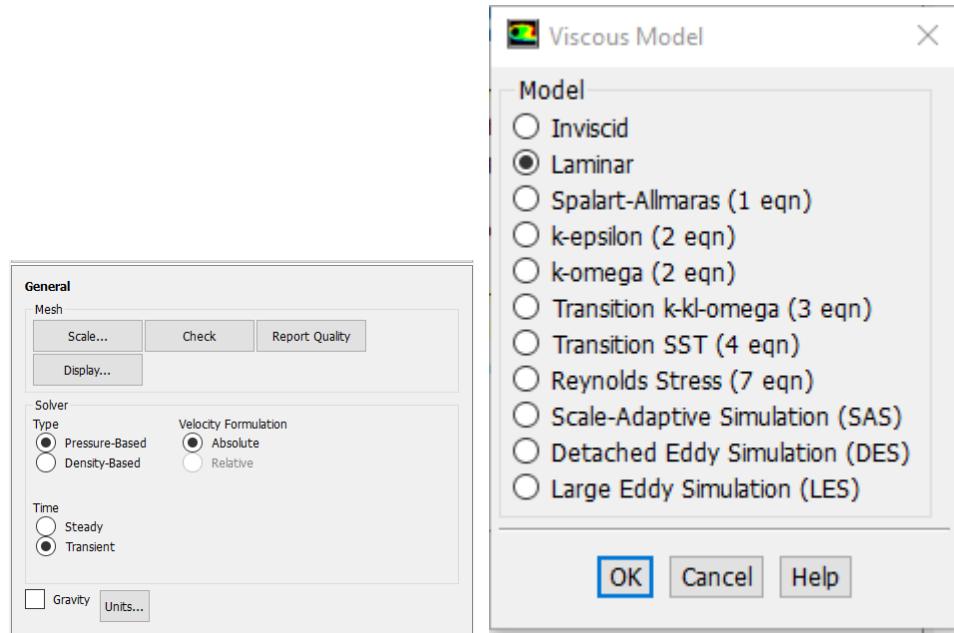
Pada tahap di atas, penting untuk diatur supaya nilai yang diinginkan seperti torsi, drag force dan lift force akurat. Semakin kecil, semakin akurat. Namun pada *default settingnya*, nilai 0.001 adalah standar ANSYS.

## 7. Initialization dan Calculation

### 3.3.5 Solving Transient

Pada metode ini, ada beberapa pengaturan yang berbeda dengan metode MRF.

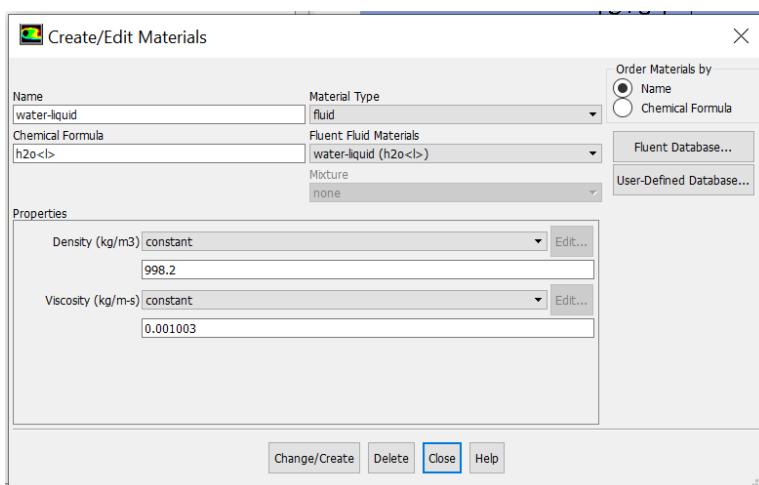
#### 1. Tahap General dan Pemilihan Model Aliran



Gambar 3. 8 Pemilihan metode dan model aliran

Pada tahap ini, yang berbeda dengan metode MRF terletak pada opsi *Steady* dan *Transient*. Penulis memilih *Transient*.

#### 2. Materials

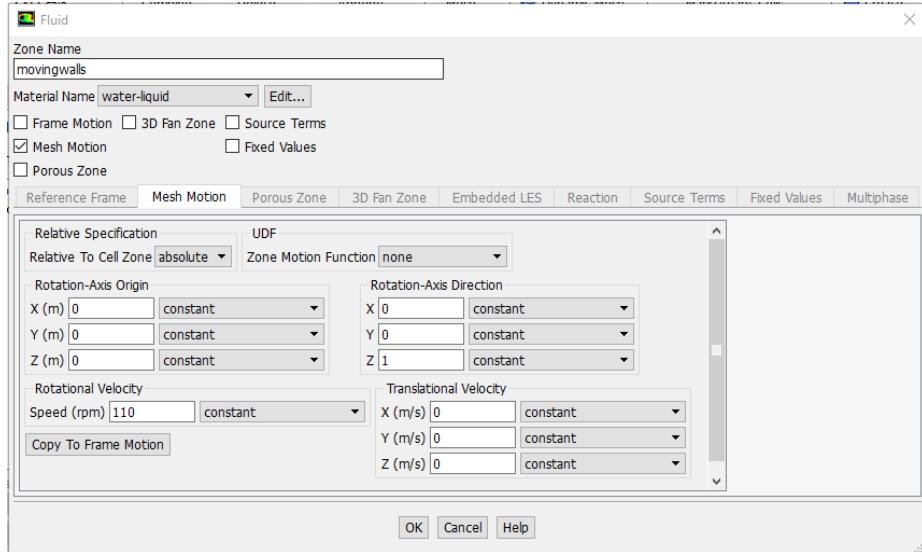


Gambar 3. 25 Pemilihan Material

Material yang digunakan air sama seperti pada metode MRF.

### 3. Pengaturan Cell-Zone Condition

Pada tahap ini, ada yang membedakan ketika mengatur *moving domain* antara metode MRF dan Transient.



Gambar 3. 9 Pengaturan Moving domain

### 4. Pengaturan Kondisi Batas

Pada tahap ini sama seperti metode MRF.

### 5. Penejelasan Kalkulasi

Penulis memilih perubahan sudut sebesar 3 derajat. Untuk mengatur supaya perubahan pergerakan turbin sebesar 3 derajat, penulis menggunakan rumus seperti di bawah ini.

$$NTS = N \frac{360}{\theta}$$

$$TSS = \frac{N}{(\omega 0.15915) \times NTS}$$

NTS adalah *Number of Timestep* atau jumlah gerakan yang diinginkan. N adalah jumlah rotasi yang direncanakan. Θ adalah perubahan sudut yang diinginkan. Sedangkan TSS adalah *Timestep size* atau waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan total rotasi yang direncanakan. ω adalah

kecepatan rotasi turbin (rad/s). Sehingga pada contoh perhitungan ini didapatkan nilai *time step* sebagai berikut:

$$\text{time step} = \frac{6}{11.52 \times 0.15915 \times 720} = 0.0045 \text{ s}$$

Sedangkan *Number of Step* adalah jumlah *time step* yang akan dihitung. Pada simulasi ini turbin akan menjalani 3 kali rotasi sehingga :

$$\text{Number of Step} = \frac{360}{\Delta\theta} \times 6$$

$$\text{Number of Step} = \frac{360}{3} \times 6 = 720$$

Ada pengulangan iterasi pada setiap time-step. Penulis menentukan 50 iterasi. Iterasi ini tidak perlu banyak karena pada metode Transient, pengulangan putaran dilakukan sampai dengan 6 kali. Setelah beberapa kali dilakukan pemutaran, iterasi tersebut akan konvergen.

## 6. Kalkulasi

Setelah tahap di atas selesai dilakukan, bisa dilakukan kalkukasi

### 3.3.6 Post Processor

Tahap ini adalah tahap terakhir dari seluruh rangkaian analisis di ANSYS V18. Pada tahap ini, penulis mengambil data seperti gaya hambat, gaya angkat, dan torsi. Selain itu juga, penulis bisa mendapatkan gambar aliran yang dianalisis yaitu turbin heliks.

### 3.3.7 Validasi Hasil Simulasi

Setelah hasil torsi didapatkan dari simulasi, penulis kemudian memvalidasikan antara data eksperimen yang didapatkan dari jurnal dengan data simulasi numerik dengan software ANSYS V18. Menurut (Amarta, 2016), apabila rata-rata error yang didapatkan lebih besar dari 10% maka harus dilakukan simulasi ulang.

## Bab IV

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisis Keakuriasan Mesh

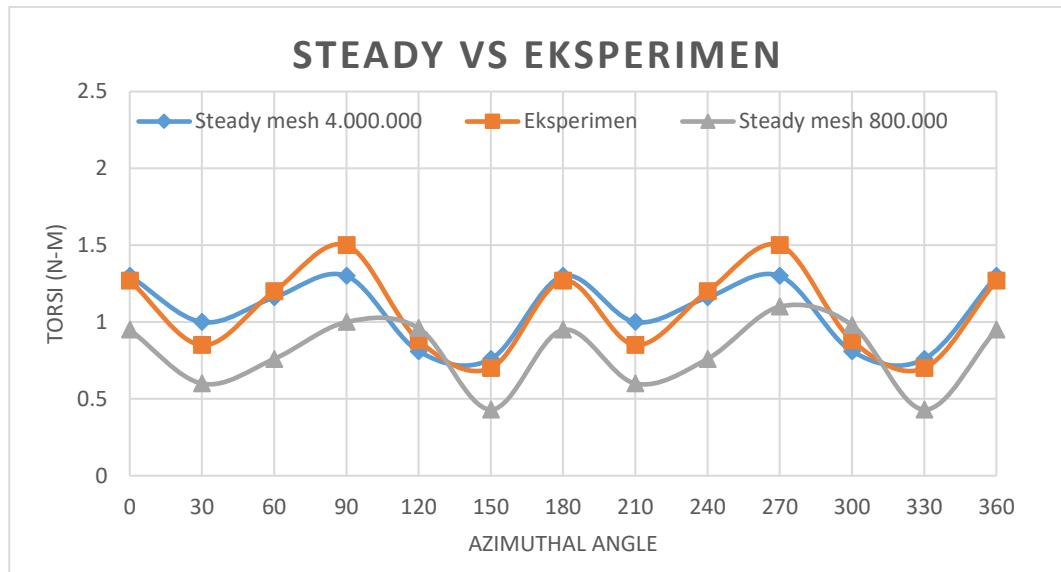
Pada penelitian ini, beberapa percobaan telah dilakukan dari mesh yang sedikit, sekitar 800.000 elemen sampai dengan 4.000.000 elemen. Pada kasus elemen yang sangat sedikit, konvergensi tidak akan bisa dicapai dan akhirnya muncul kondisi divergensi yang berarti jumlah elemen harus ditambah. Akhirnya, penulis memutuskan untuk mengatur elemen dengan range 3.000.000 s.d. 4.000.000 elemen. Pada model ini dalam sekali *running* simulasi *steady state* dibutuhkan waktu selama ±120 menit dengan kemampuan komputer standar (CPU AMD A10-9600P Radeon R5) dengan RAM 8 gigabyte. Sedangkan simulasi *transient state* membutuhkan waktu ± 72 jam untuk 6 kali rotasi turbin.

#### 4.2 Validasi

Berikut ini tertera tabel perbandingan antara hasil eksperimental, metode MRF, dan metode Transient dengan TSR 1.4 dan 110 RPM.

*Tabel 4. 1 Perbandingan data torsi eksperimental dan simulasi steady state*

Steady vs Eksperimen			
Azimuthal Angle	Steady mesh (800.000)	Steady mesh (4.000.000)	Eksperimen
0	0.95	1.3	1.27
30	0.60	1	0.85
60	0.76	1.16	1.2
90	1.00	1.3	1.5
120	0.96	0.81	0.88
150	0.43	0.76	0.7
180	0.95	1.3	1.27
210	0.60	1	0.85
240	0.76	1.16	1.2
270	1.10	1.3	1.5
300	0.98	0.81	0.88
330	0.43	0.76	0.7
360	0.95	1.3	1.27

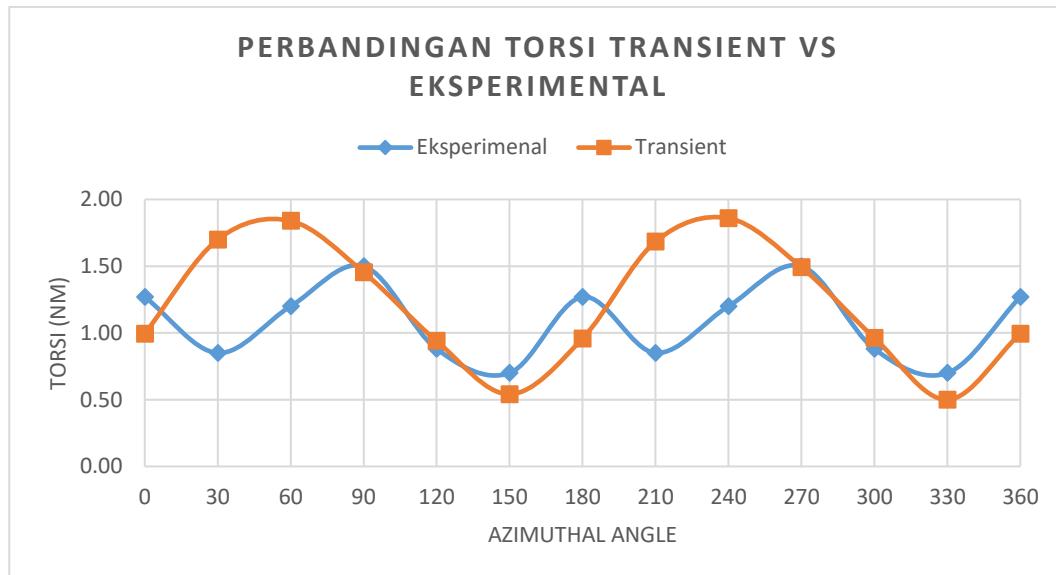


Gambar 4. 1 Perbandingan Steady MRF dan Eksperimental

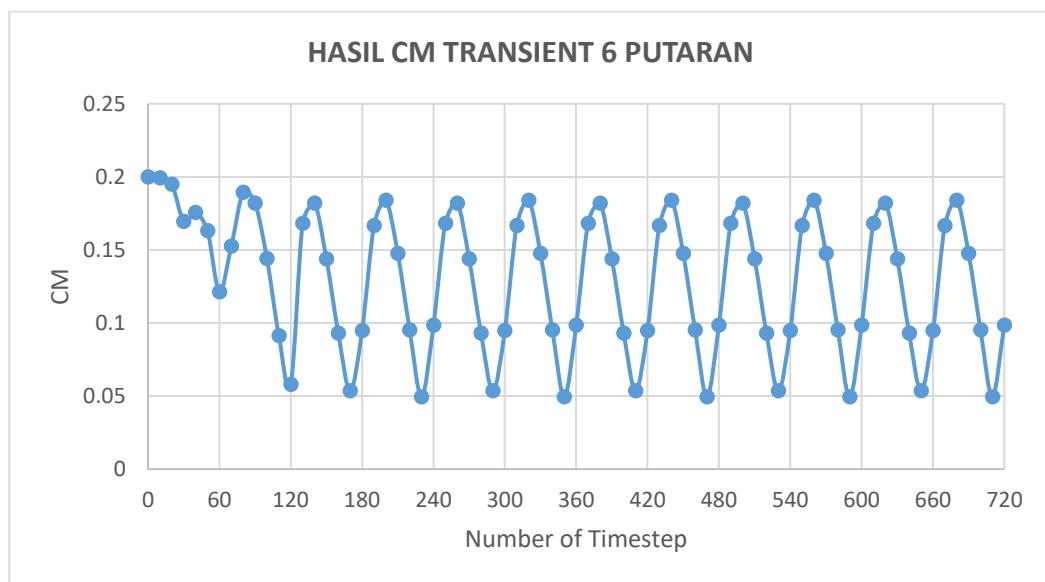
Serta perbandingan antara eksperimental dan transient seperti data di bawah ini. Di bawah ini, penulis sertakan hasil running metode transient 6 kali putaran, namun yang dibuat perbandingan ialah pada putaran ke-6.

Tabel 4. 2 Perbandingan data torsi eksperimental dan simulasi transient state

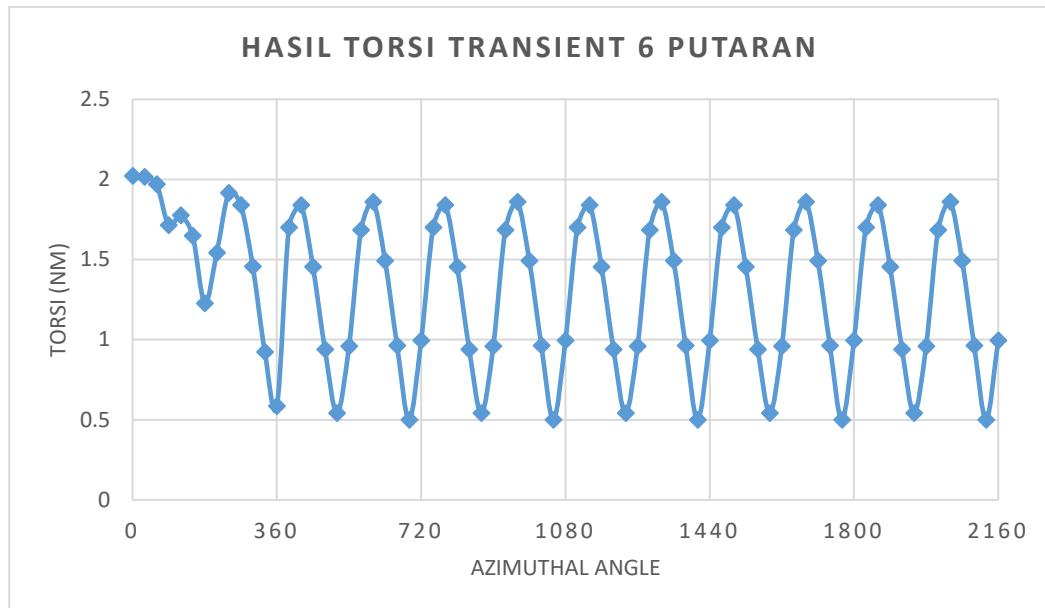
Transient vs Eksperimen		
Azimuthal Angle	Numerik (Transient)	Eksperimen
0	0.99	1.27
30	1.70	0.85
60	1.84	1.2
90	1.45	1.5
120	0.94	0.88
150	0.54	0.7
180	0.96	1.27
210	1.70	0.85
240	1.84	1.2
270	1.45	1.5
300	0.94	0.88
330	0.54	0.7
360	0.99	1.27



*Gambar 4. 1 Grafik Perbandingan Torsi Eksperimental dan Hasil Simulasi Transient State*



*Gambar 4. 3 Grafik CM terhadap NTS*

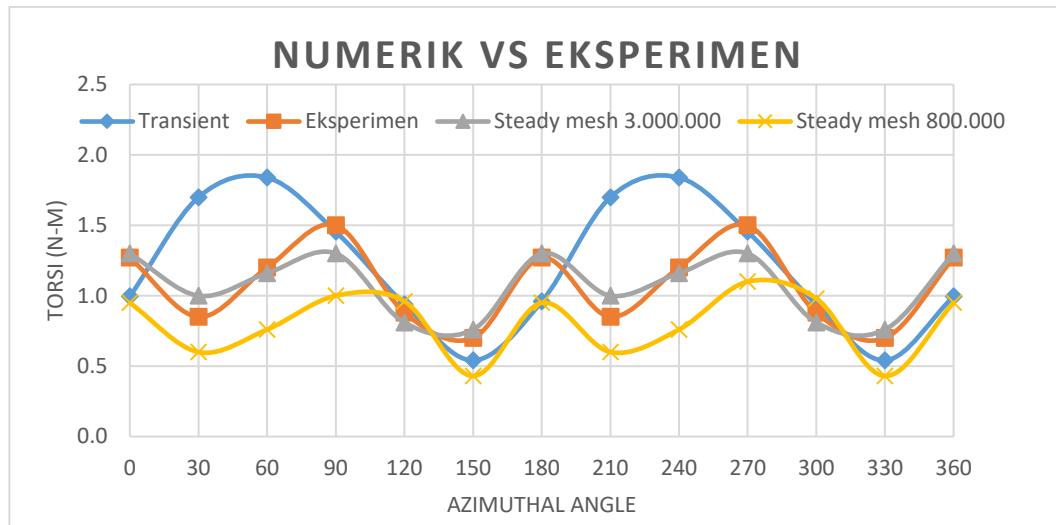


Gambar 4. 4 Grafik Hasil Torsi Metode Transient 6 Putaran

Berikut perbandingan nilai perhitungan besar torsi hasil simulasi *steady state*, eksperimental dan *transient state* :

Tabel 4. 3 Data torsi eksperimental, simulasi steady state dan simulasi transient state

Perbandingan Perhitungan Numerik dengan Eksperimen				
Azimuthal Angle	Steady mesh (800.000)	Steady mesh (4.000.000)	Numerik (Transient)	Eksperimen
0	0.95	1.30	0.99	1.27
30	0.60	1.00	1.70	0.85
60	0.76	1.16	1.84	1.20
90	1.00	1.30	1.45	1.50
120	0.96	0.81	0.94	0.88
150	0.43	0.76	0.54	0.70
180	0.95	1.30	0.96	1.27
210	0.60	1.00	1.70	0.85
240	0.76	1.16	1.84	1.20
270	1.10	1.30	1.45	1.50
300	0.98	0.81	0.94	0.88
330	0.43	0.76	0.54	0.70
360	0.95	1.30	0.99	1.27



*Gambar 4. 5 Grafik Torsi Data Eksperimental, Simulasi Steady State dan Transient State*

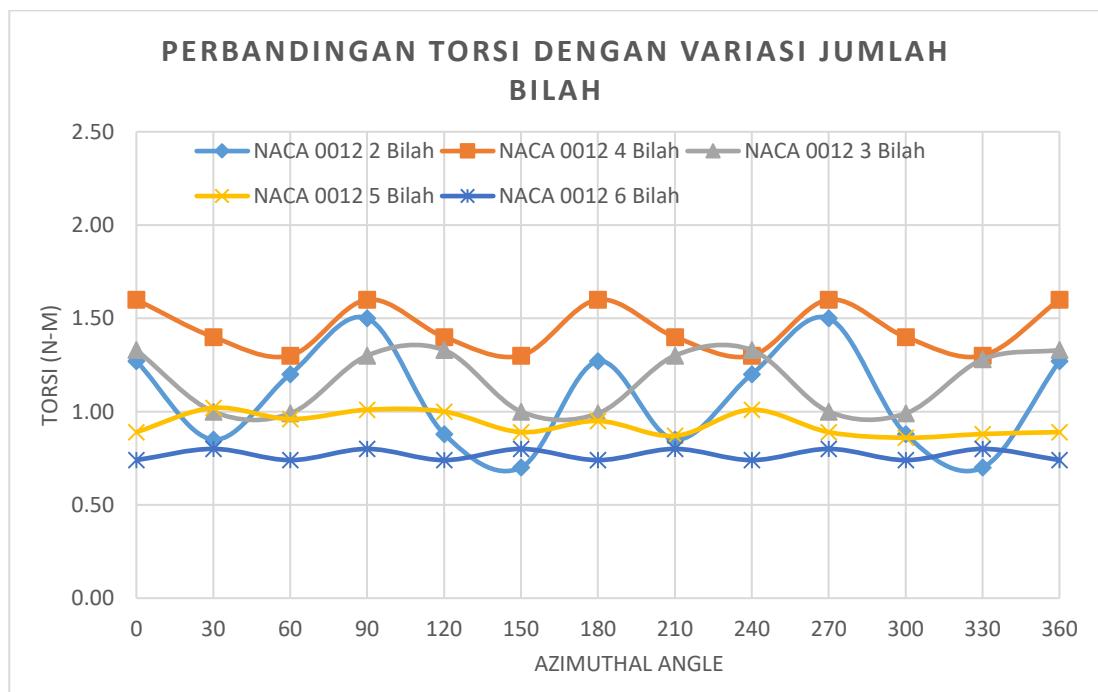
Setelah penulis mengelola data di atas, didapatkanlah rata-rata error metode *steady MRF* dengan mesh berturut-turut 800.000 dan 4.000.000 sebesar 28% dan 8%. Sedangkan pada metode Transient dengan mesh 4.000.000, rata-rata errornya sebesar 23%. Error yang besar pada metode Transient dikarenakan simulasi transient membutuhkan lebih banyak putaran lagi dan juga mesh yang lebih besar daripada metode *steady*. Oleh karena itu, untuk mensimulasikan variasi pada tugas akhir ini, penulis menggunakan metode *steady MRF* dengan mesh sebesar 3.000.000 s.d. 4.000.000 dengan pola aliran laminar.

#### 4.3 Variasi Jenis Jumlah Bilah

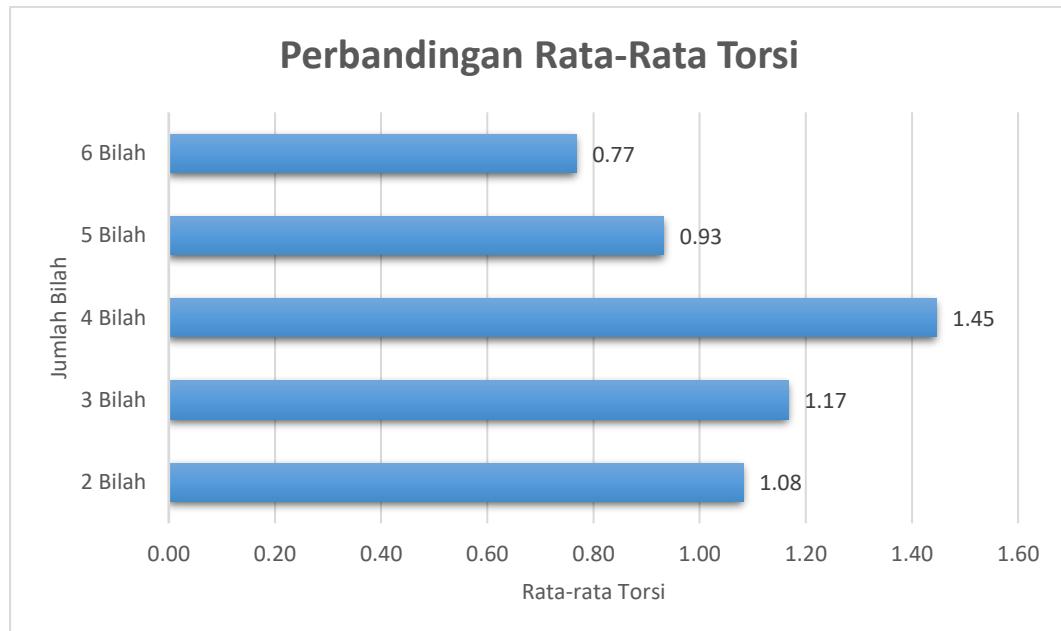
Variasi yang dikembangkan pada tugas akhir ini salah satunya jumlah bilah. Dengan menambahkan bilah pada turbin, pergerakan turbin semakin cepat karena mengurangi *losses* energi di celah bilah. Namun, semakin banyak bilah yang ditambahkan, torsi turbin mengalami penurunan. Hal itu disebabkan gaya dorong pada bilah di bagian *downstream* mengalami penurunan drastis akibat banyaknya bilah pada bagian *upstream* yang menahan aliran air. Hal itu bisa dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 4 Perbandingan Torsi Jumlah Bilah

NACA 0012							
Azimuthal Angle	2 Bilah	3 Bilah	4 Bilah	5 Bilah	6 Bilah	Torsi Tertinggi	
0	1.27	1.33	1.60	0.89	0.74	1.60	4 Bilah
30	0.85	1.00	1.40	1.02	0.80	1.40	4 Bilah
60	1.20	0.99	1.30	0.96	0.80	1.30	4 Bilah
90	1.50	1.30	1.60	1.01	0.80	1.60	4 Bilah
120	0.88	1.33	1.40	1.00	0.74	1.40	4 Bilah
150	0.70	1.00	1.30	0.89	0.80	1.30	4 Bilah
180	1.27	0.99	1.60	0.95	0.74	1.60	4 Bilah
210	0.85	1.30	1.40	0.87	0.80	1.40	4 Bilah
240	1.20	1.33	1.30	1.01	0.74	1.33	3 Bilah
270	1.50	1.00	1.60	0.89	0.80	1.60	4 Bilah
300	0.88	0.99	1.40	0.86	0.74	1.40	4 Bilah
330	0.70	1.28	1.30	0.88	0.80	1.30	4 Bilah
360	1.27	1.33	1.60	0.89	0.74	1.60	4 Bilah
Torsi rata-rata	1.08	1.17	1.45	0.93	0.77		



Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan Torsi Turbin dengan Variasi Jumlah Bilah

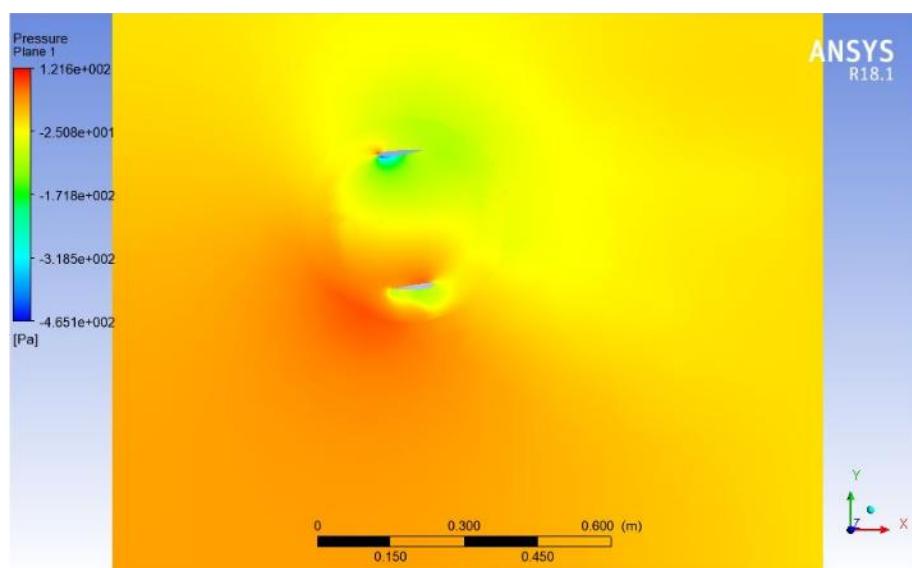


*Gambar 4. 7 Perbandingan Rata-Rata Torsi*

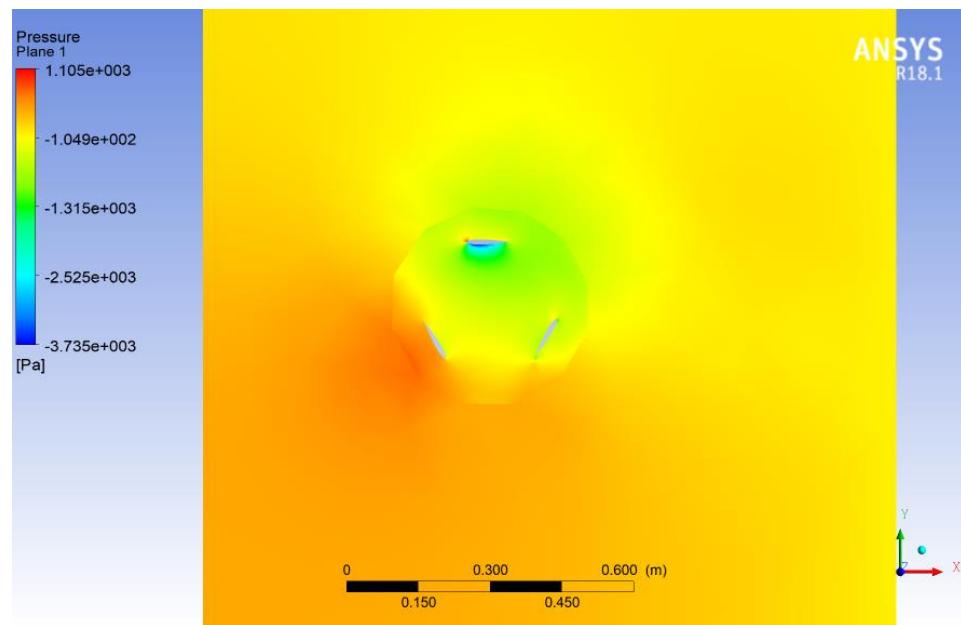
Jika dilihat dari tabel dan grafik di atas, terlihat bahwa torsi mengalami peningkatan dari 2 bilah ke 4 bilah. Namun, pada 5 bilah dan 6 bilah, turbin mengalami penurunan putaran.

#### 4.4 Karakteristik Kontur Tekanan Aliran

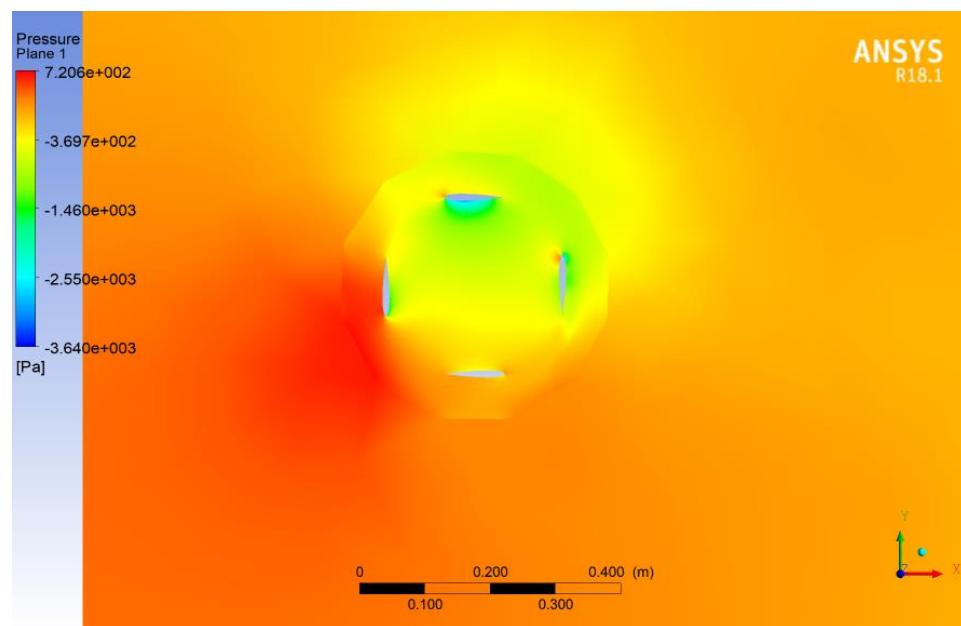
Di bawah ini penulis memberikan perbandingan gambar kontur tekanan pada sudut azimuth 0 derajat dan 90 derajat. Hal ini karena di dua sudut ini, turbin mendapatkan torsi yang rata-rata tinggi.



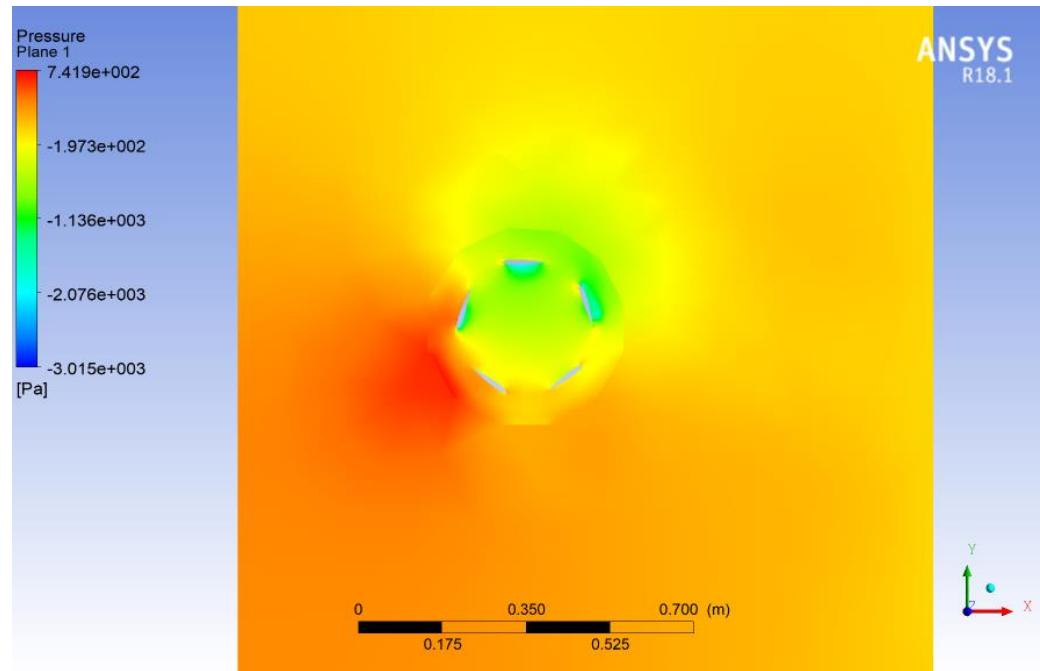
*Gambar 4. 8 NACA 0012 2 Bilah pada 0°*



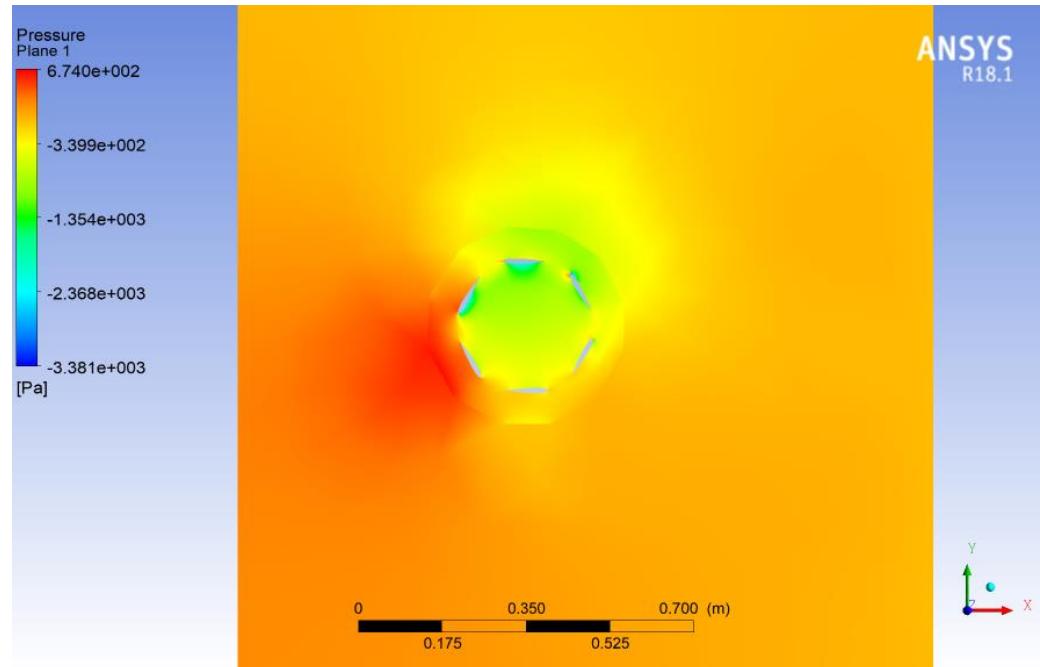
Gambar 4. 9 NACA 0012 3 Bilah pada  $0^\circ$



Gambar 4. 10 NACA 0012 4 Bilah pada  $0^\circ$

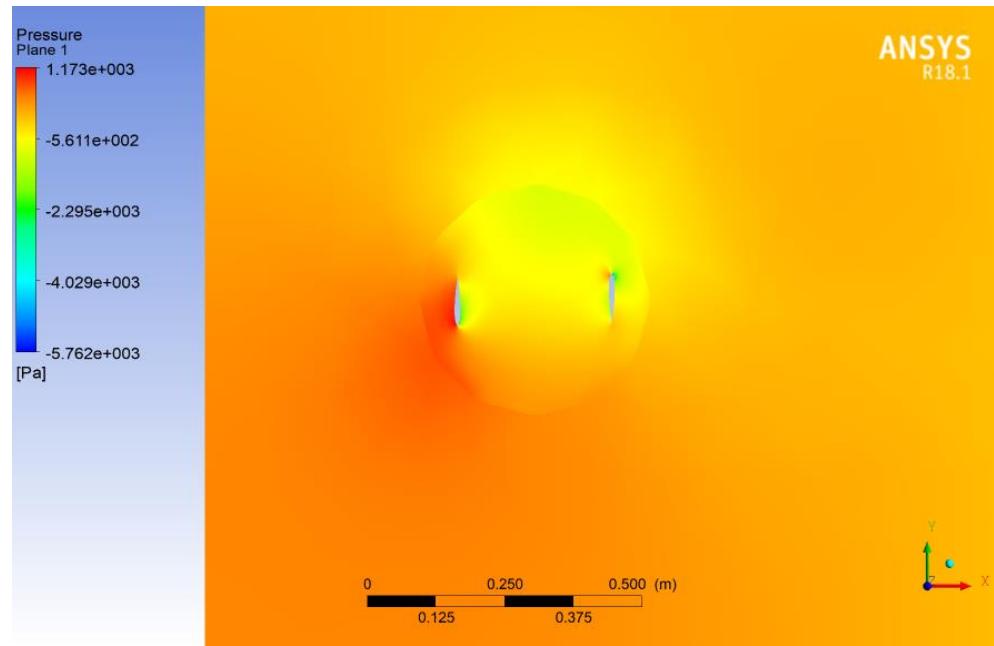


Gambar 4. 11 NACA 0012 5 Bilah pada  $0^\circ$

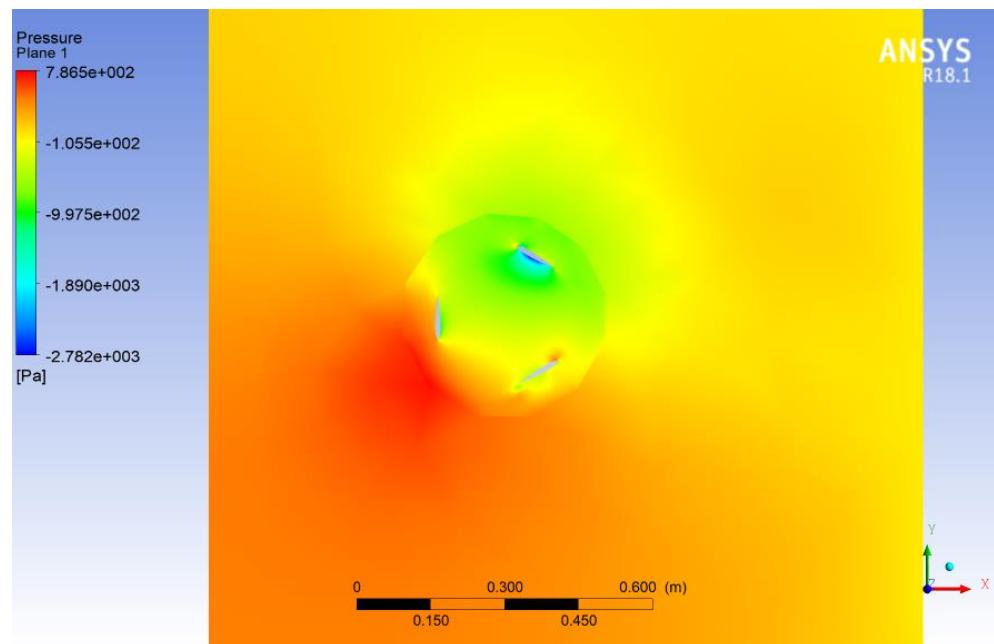


Gambar 4. 12 NACA 0012 6 Bilah pada  $0^\circ$

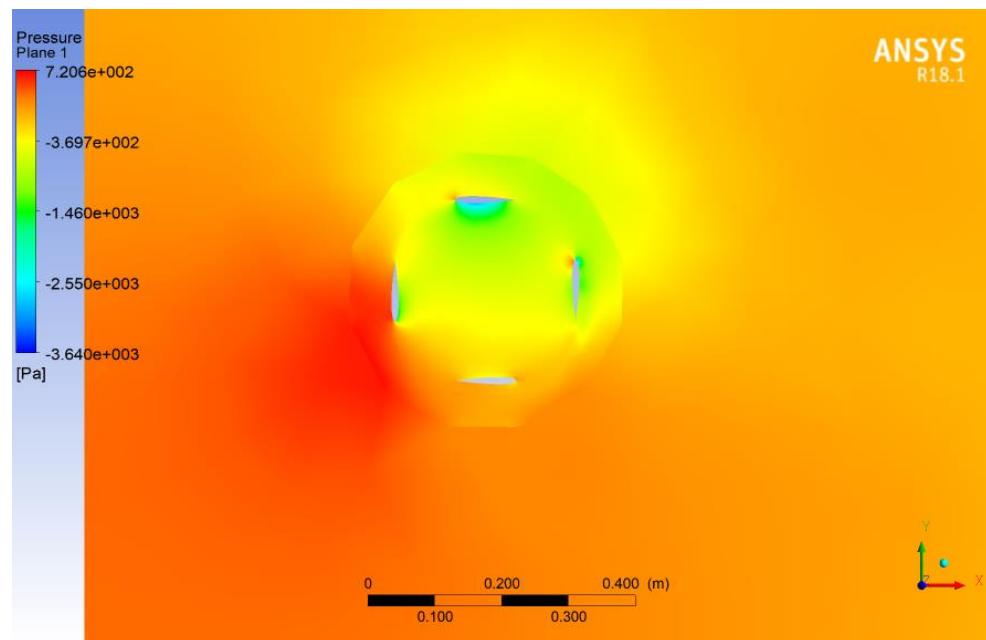
Pada gambar di atas, terlihat jika turbin dengan variasi lebih 4 bilah, efek *wake* terlihat jelas pada leading edge terutama di bagian *downstream*.



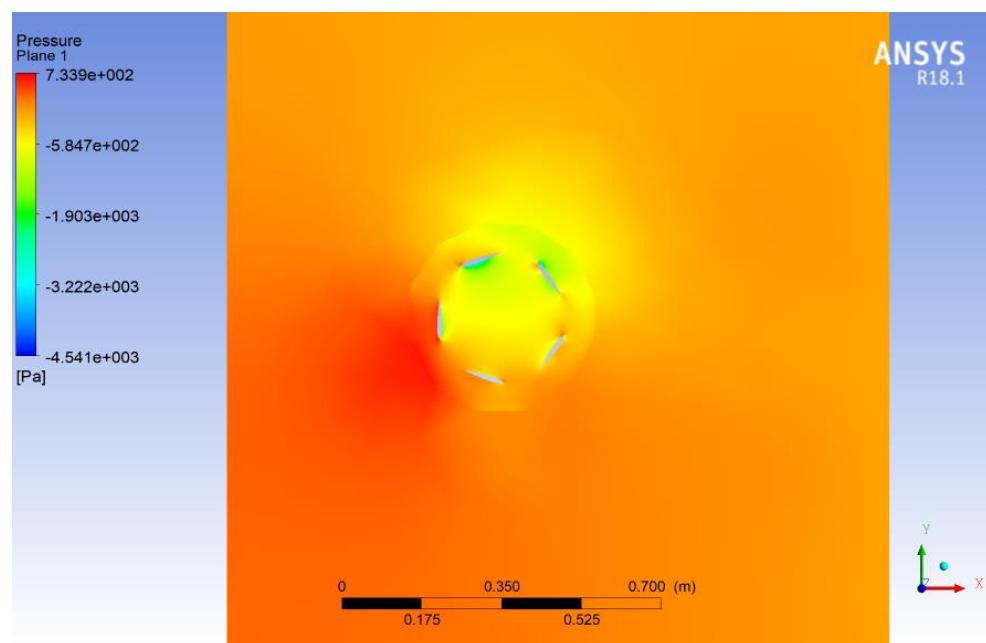
Gambar 4. 13 NACA 0012 2 Bilah pada  $90^\circ$



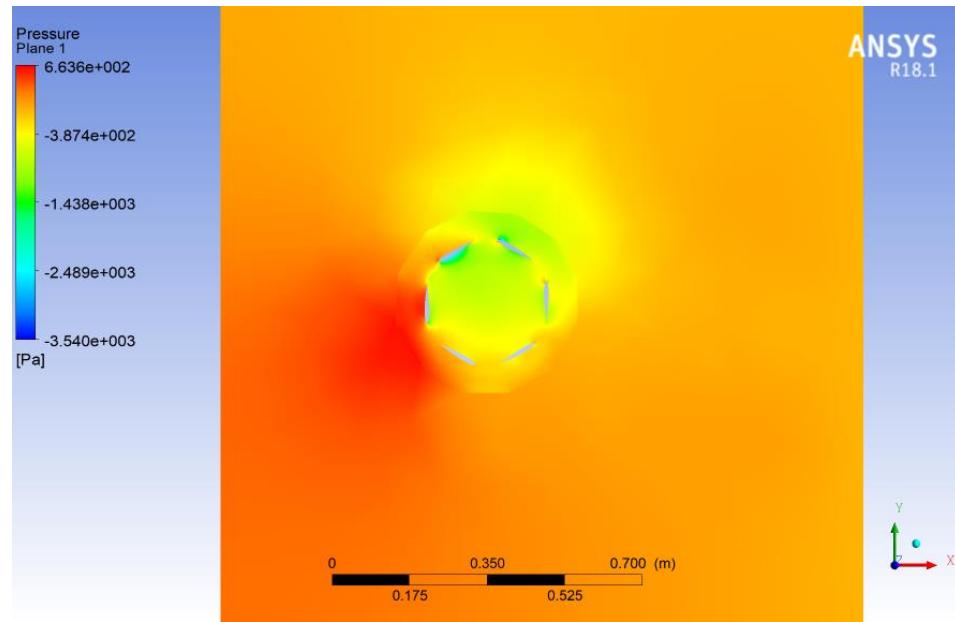
Gambar 4. 14 NACA 0012 3 Bilah pada  $90^\circ$



Gambar 4. 15 NACA 0012 4 Bilah pada  $90^\circ$



Gambar 4. 16 NACA 0012 5 Bilah pada  $90^\circ$



Gambar 4. 17 NACA 0012 6 Bilah pada 90°

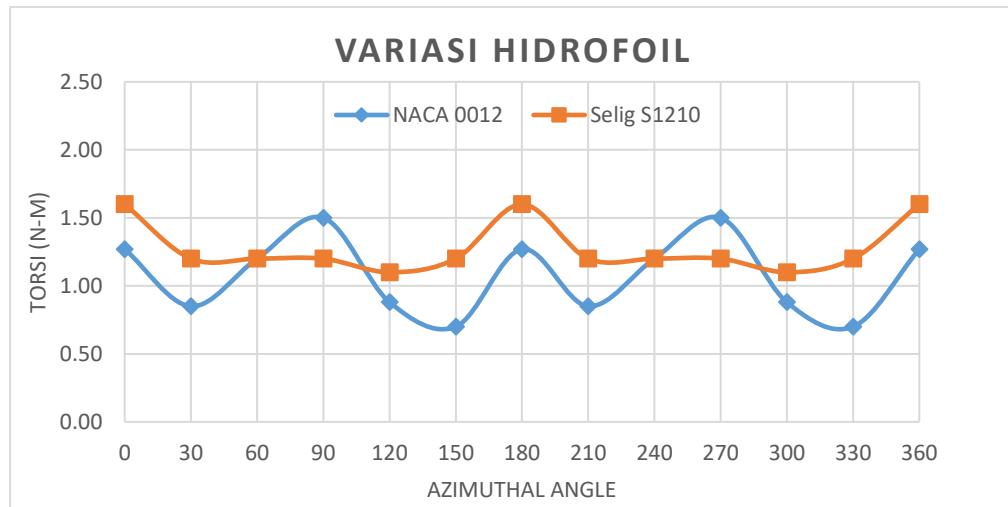
Karakteristik yang sama juga terlihat pada saat sudut azimuth 90 derajat. Tekanan yang diterima oleh bilah semakin menurun dengan bertambahnya jumlah bilah.

#### 4.4 Variasi Jenis Hidrofoil

Selain jumlah bilah, penulis juga memvariasikan jenis hidrofoil. Hidrofoil yang penulis pilih ialah S1210. Berikut ini adalah grafik, tabel, dan visualisasi dari S1210.

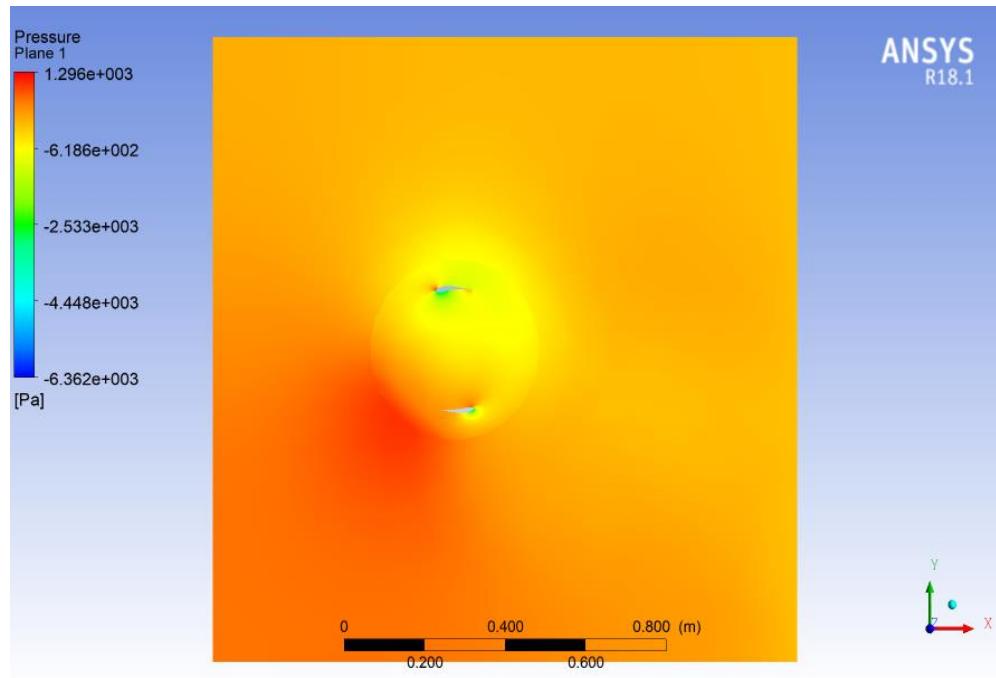
Tabel 4. 5 Perbandingan Torsi Hidrofoil

NACA 0012 vs S1210			
Azimuthal Angle	NACA 0012	S1210	Torsi Tertinggi
0	1.27	1.60	S1210
30	0.85	1.23	S1210
60	1.20	1.21	S1210
90	1.50	1.20	NACA 0012
120	0.88	1.10	S1210
150	0.70	1.20	S1210
180	1.27	1.60	S1210
210	0.85	1.23	S1210
240	1.20	1.21	S1210
270	1.50	1.20	NACA 0012
300	0.88	1.10	S1210
330	0.70	1.20	S1210
360	1.27	1.60	S1210

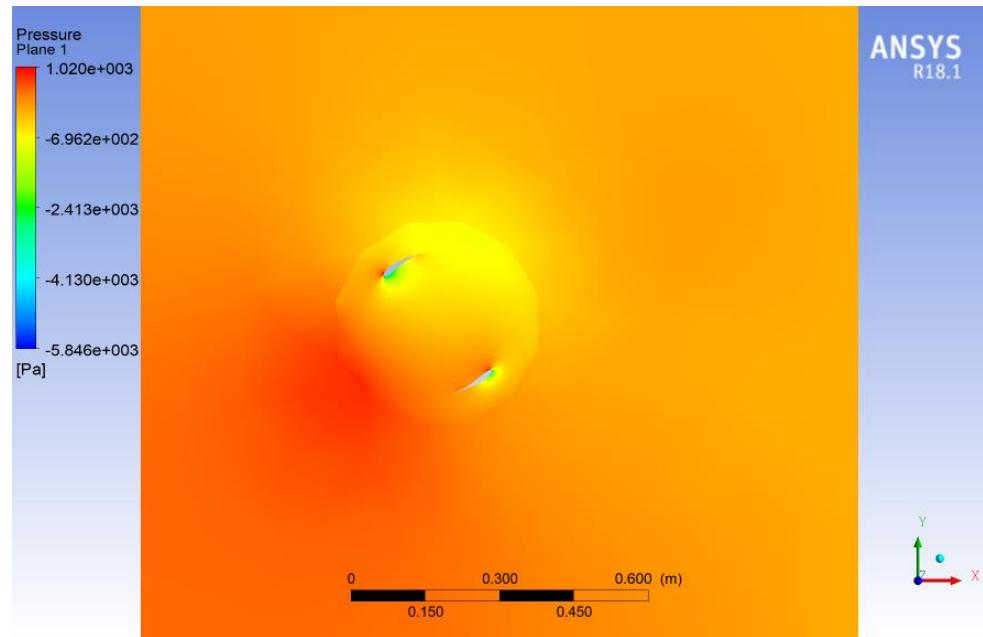


Gambar 4. 18 Grafik Variasi Hidrofoil

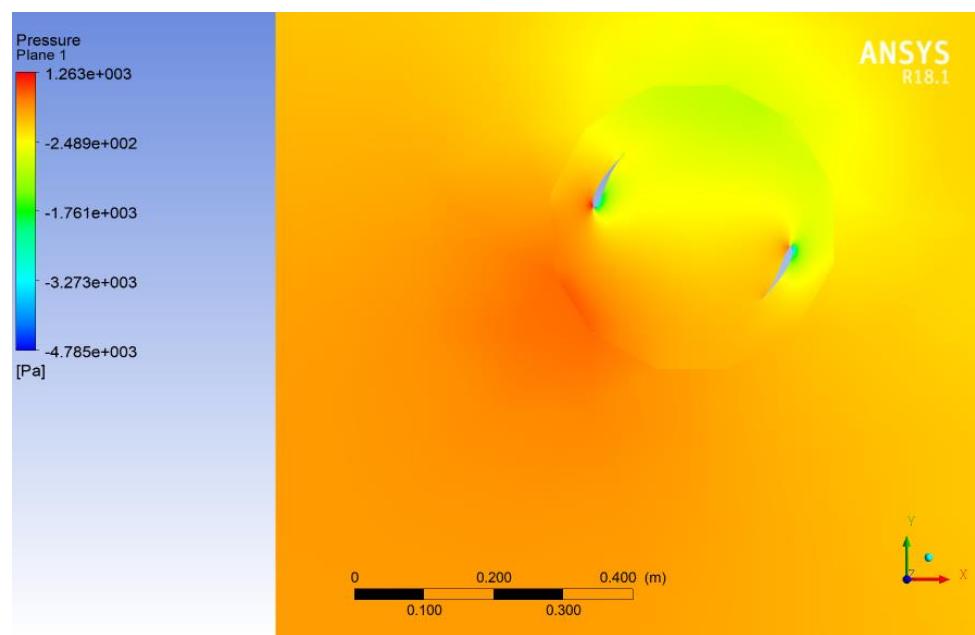
Pada tabel dan grafik di atas terlihat jika hidrofoil S1210 mempunyai torsi yang lebih tinggi dibanding NACA 0012. Selain itu juga, pergerakan S1210 ini relatif stabil di semua sudut.



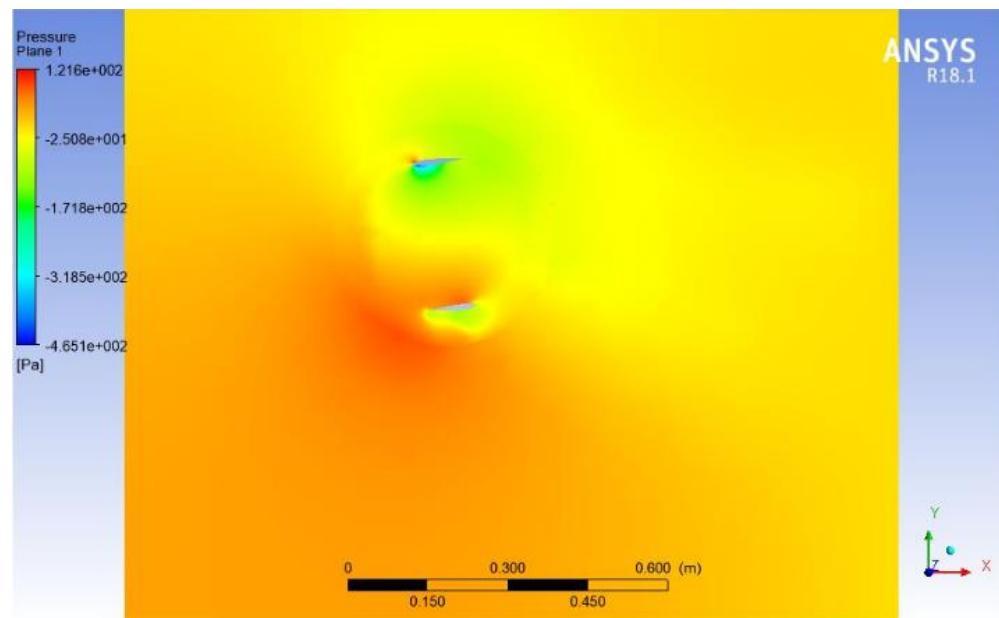
Gambar 4. 19 Kontur Tekanan Hidrofoil S1210 pada 0°



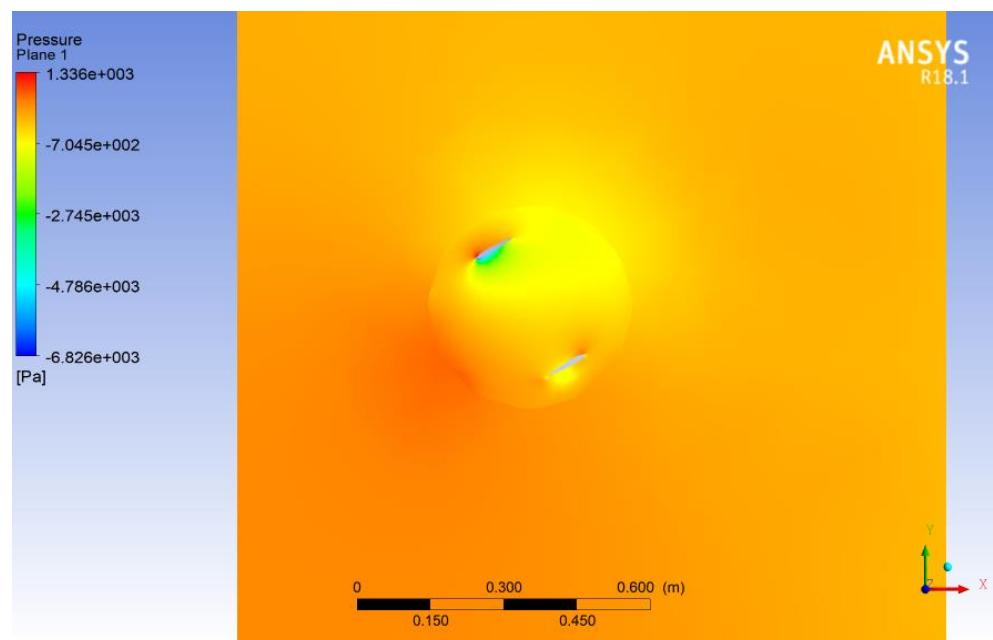
Gambar 4. 20 Kontur Tekanan Hidrofoil S1210 pada  $30^\circ$



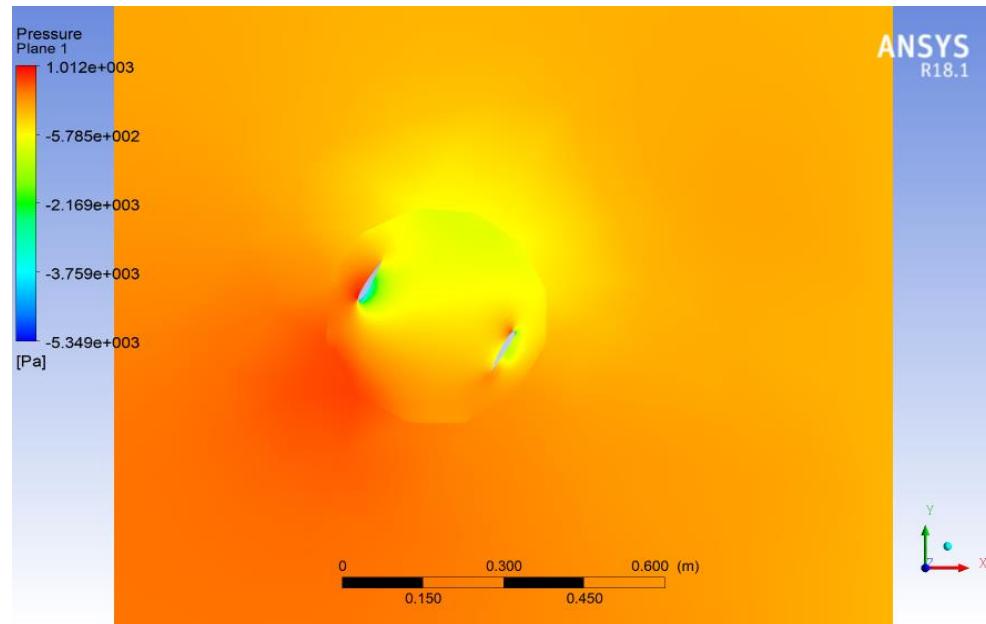
Gambar 4. 21 Kontur Tekanan Hidrofoil S1210 pada  $60^\circ$



Gambar 4. 22 Kontur Tekanan Hidrofoil NACA 0012 pada  $0^\circ$

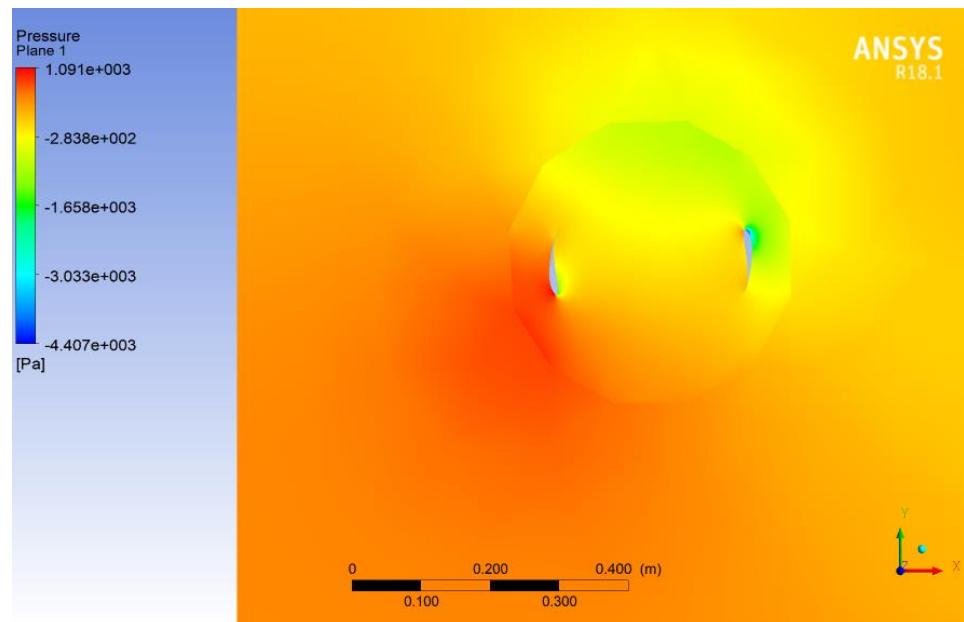


Gambar 4. 23 Kontur Tekanan Hidrofoil NACA 0012 pada  $30^\circ$

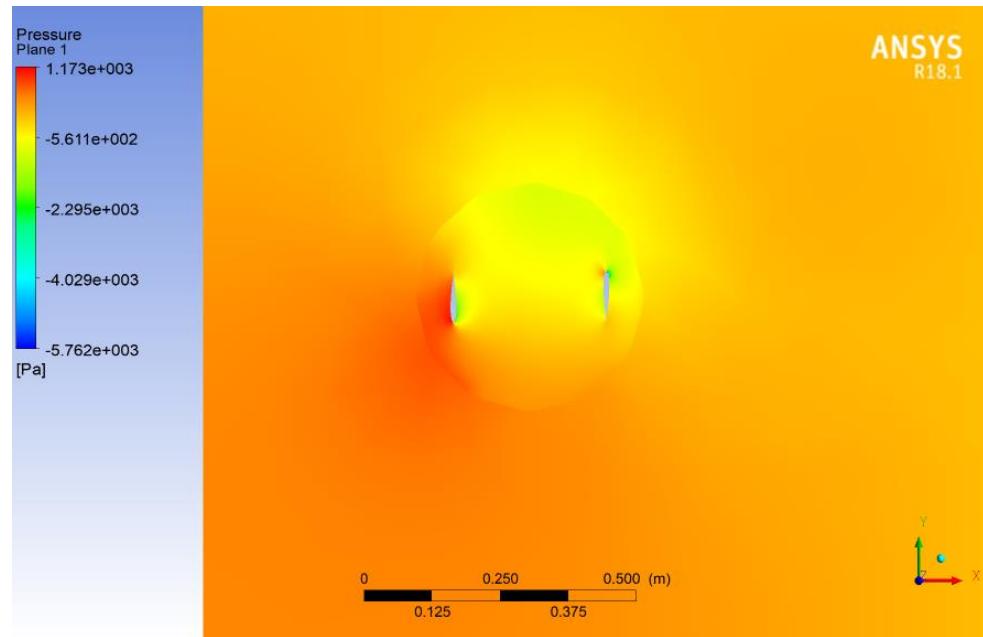


Gambar 4. 24 Kontur Tekanan Hidrofoil NACA 0012 pada  $60^\circ$

Pada saat turbin berada pada  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ , dan  $60^\circ$ , terlihat bahwa hidrofoil S1210 lebih menguntungkan daripada NACA 0012. Hal itu tampak pada *trailing edge* S1210 dengan adanya tekanan di bawah hidrofoilnya yang mendorong turbin berputar. Selain itu juga, tekanan pada hidrofoil NACA 0012 terlihat sama baik di atas hidrofoil maupun di bawah hidrofoilnya.

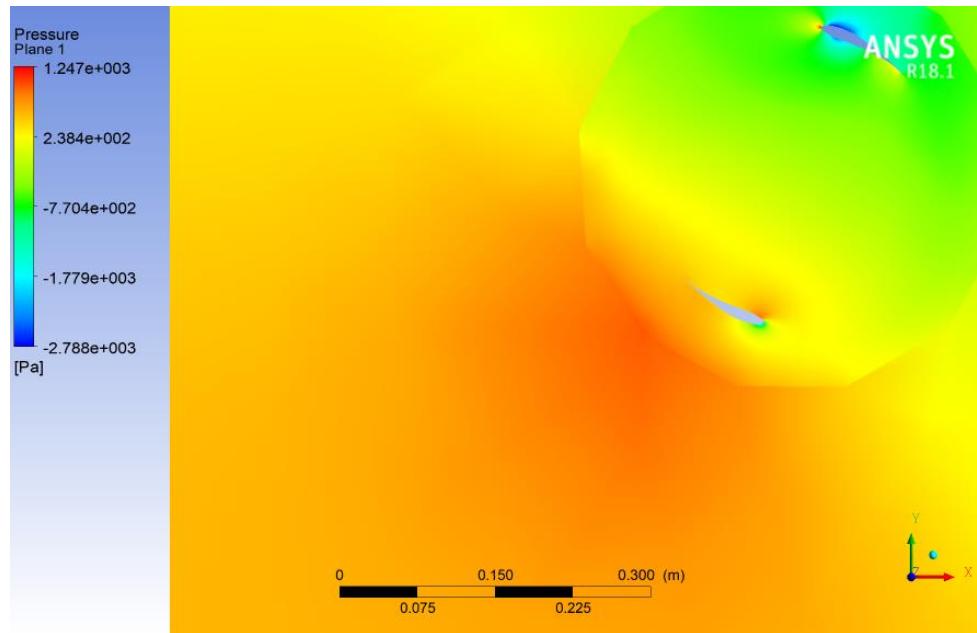


Gambar 4. 25 Kontur Tekanan Hidrofoil S1210 pada  $90^\circ$

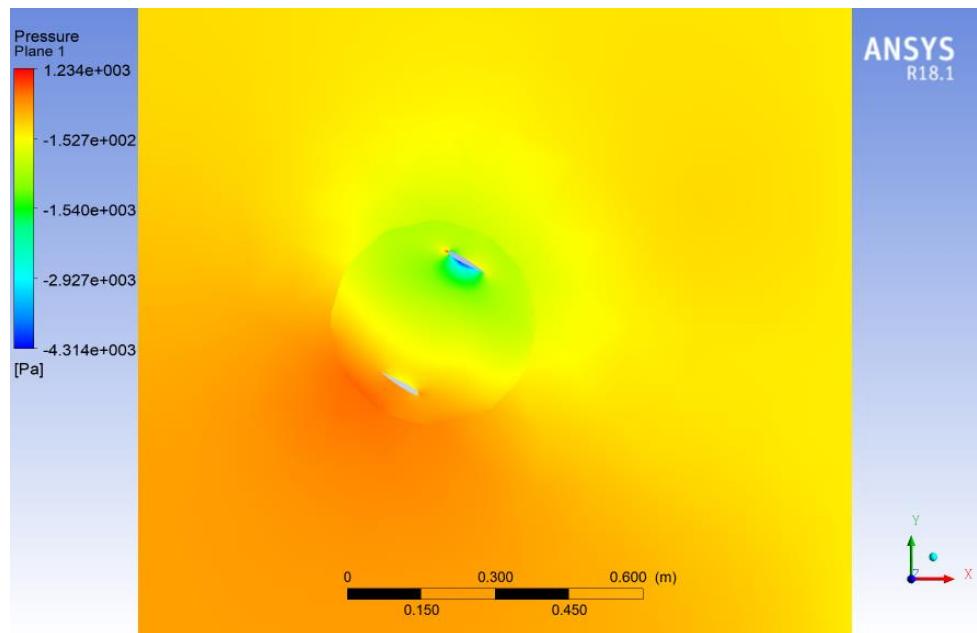


Gambar 4. 26 Kontur Tekanan Hidrofoil NACA 0012 pada  $90^\circ$

Namun, pada saat hidrofoil berada pada sudut  $90^\circ$ , tekanan yang diperoleh NACA 0012 lebih besar daripada S1210. *Trailing edge* yang berada di bawah S1210 juga tidak ada tekanan yang bisa mendorong seperti pada sudut  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ , dan  $60^\circ$ . Hal ini bisa juga diamati pada legenda lokal tekanan tampak jika tekanan NACA 0012 lebih besar. Oleh karena itu, torsi yang dihasilkan NACA 0012 lebih tinggi dibanding S1210.



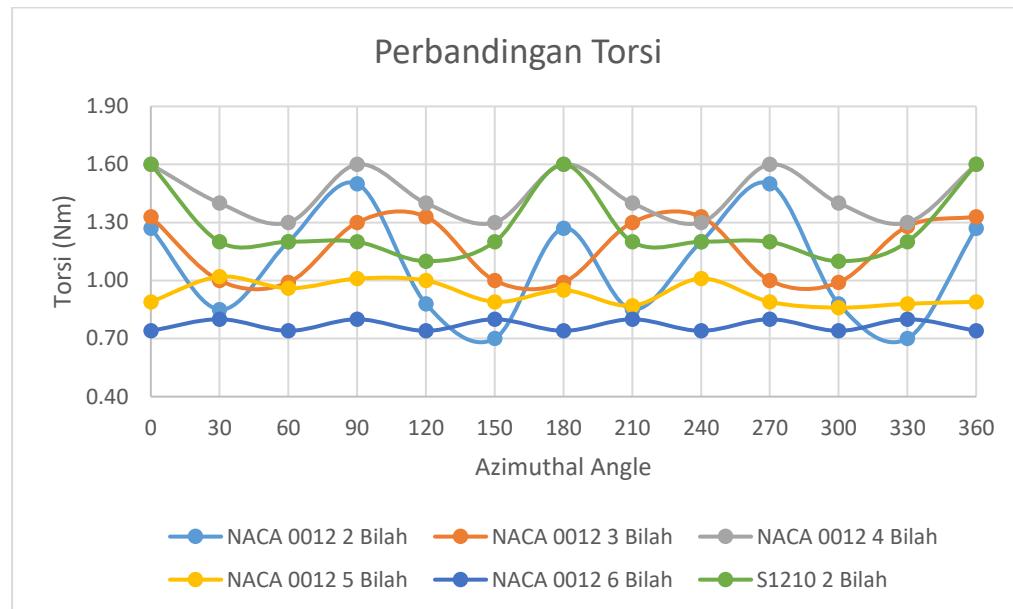
Gambar 4. 27 Kontur Tekanan Hidrofoil S1210 pada  $150^\circ$



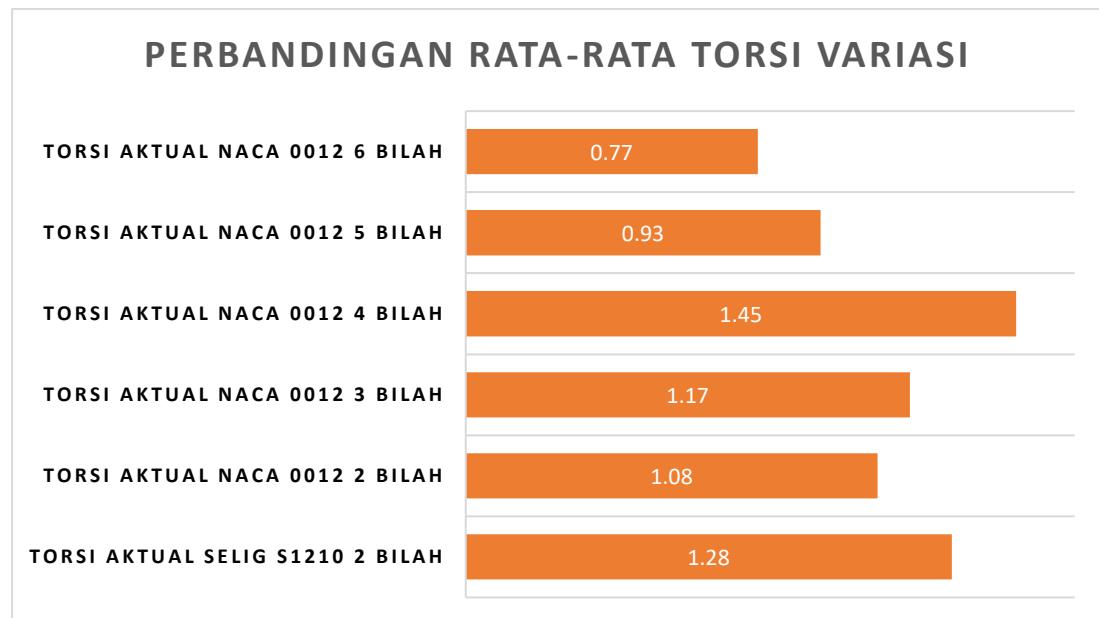
Gambar 4. 28 Kontur Tekanan Hidrofoil NACA 0012 pada  $150^\circ$

Pada saat turbin membentuk sudut  $150^\circ$ , torsi turbin NACA 0012 mengalami penurunan sedangkan torsi turbin S1210 mengalami peningkatan. Apabila diamati pada gambar di atas, terlihat bahwa *trailing edge* pada turbin NACA 0012 yang bersudut  $330^\circ$  mempunyai tekanan rendah, sedangkan pada turbin S1210 tekanan pada *trailing edgenya* tinggi.

Berikut ini penulis lampirkan grafik perbandingan variasi:



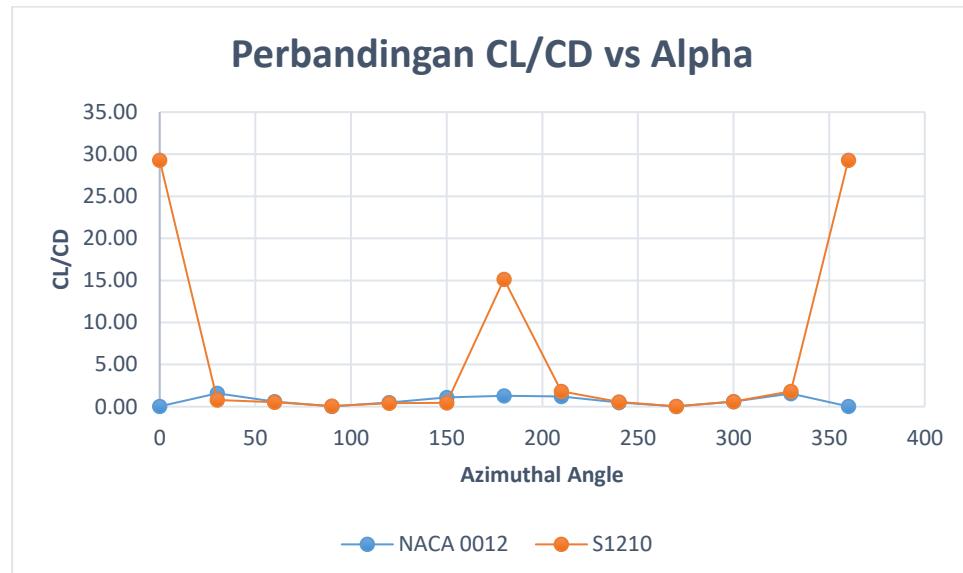
Gambar 4. 29 Grafik Perbandingan Variasi



#### 4.5 Diskusi

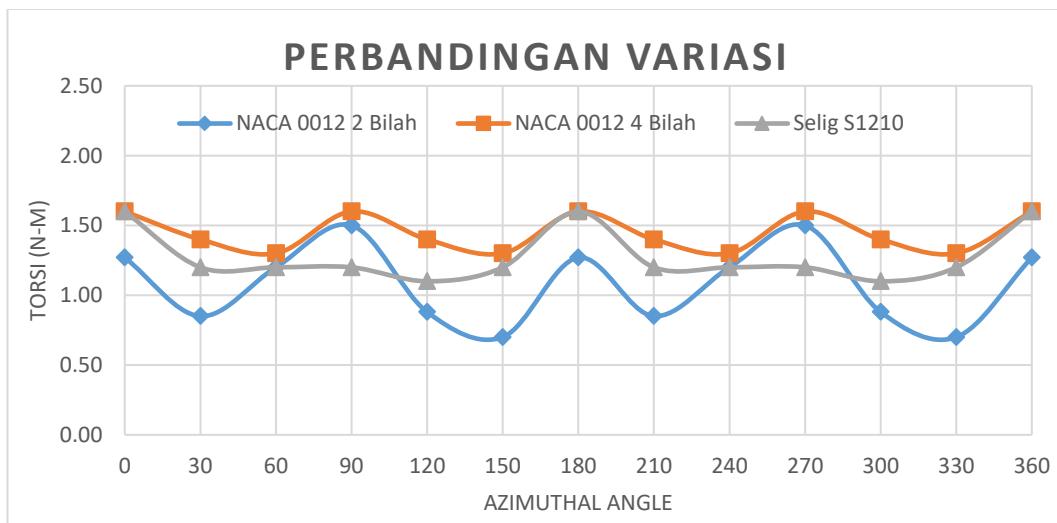
Dari percobaan variasi antara jumlah bilah dan jenis hidrofoil, terlihat bahwa penambahan jumlah bilah bisa memaksimalkan potensi energi air. Namun, torsi turbin mengalami penurunan jika bilah yang ditambahkan terlalu banyak. Hal itu disebabkan karena besarnya efek *wake* pada aliran downstream turbin. Selain itu juga, jenis hidrofoil juga memengaruhi nilai

torsi. Spesifikasi hidrofoil S1210 mempunyai CL/CD yang tinggi dibanding NACA 0012 pada sudut 0 derajat.

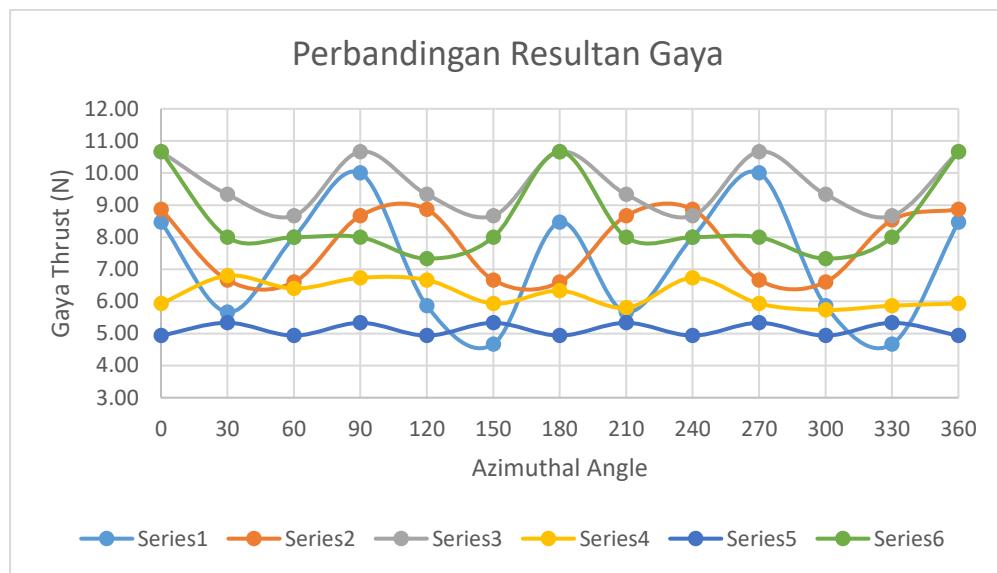


Gambar 4. 30 Perbandingan CL/CD Jenis Hidrofoil

Namun, Bila dibandingkan dengan turbin NACA 0012 4 Bilah, turbin S1210 dengan 2 bilah masih mempunyai torsi yang lebih rendah.



Gambar 4. 31 Perbandingan Torsi Variasi

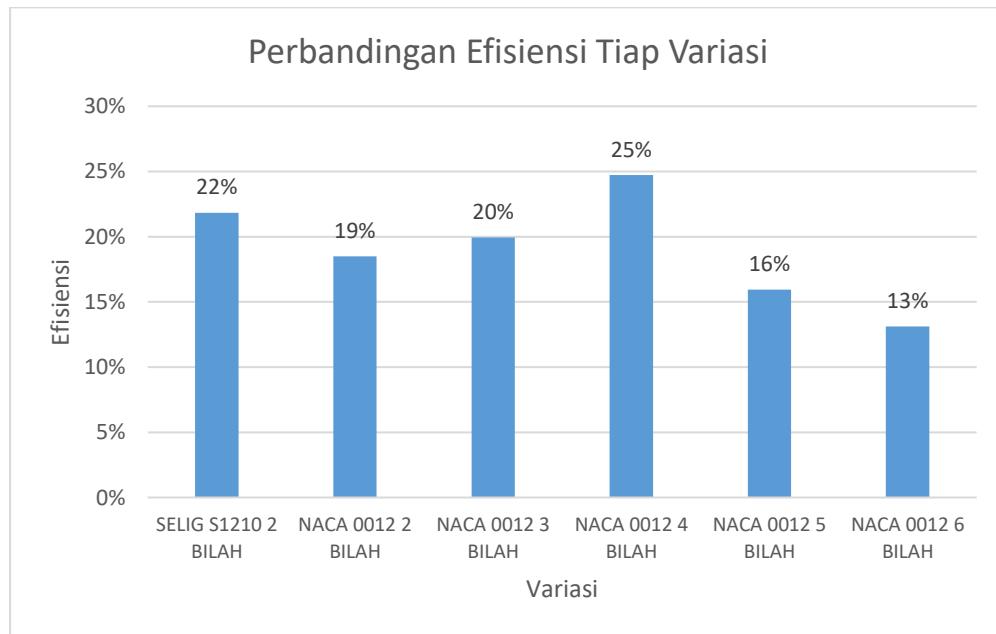


Gambar 4. 32 Perbandingan Gaya Semua Variasi

Apabila torsi turbin kemudian dihitung dengan rumus :

$$Efisiensi (\eta) = \frac{\tau x \omega}{0,5 \rho A V^3}$$

$\omega$  adalah kecepatan angular rad/s,  $\tau$  adalah torsi turbin, didapatkanlah efisiensi seperti gambar di bawah ini.



Gambar 4. 33 Perbandingan Efisiensi Turbin Tiap Variasi

Hasil efisiensi turbin NACA 4 Bilah tertinggi kemudian disusul berurutan dengan S1210, NACA 0012 3 Bilah, NACA 0012 2 Bilah, NACA 0012 5 Bilah, dan NACA 0012 6 Bilah seperti tabel di bawah ini.

*Tabel 4. 6 Urutan Efisiensi Tertinggi ke Terendah*

No	Urutan Efisiensi	Tertinggi ke Terendah
1	25%	NACA 0012 4 Bilah
2	22%	S1210 2 Bilah
3	20%	NACA 0012 3 Bilah
4	19%	NACA 0012 2 Bilah
5	16%	NACA 0012 5 Bilah
6	13%	NACA 0012 6 Bilah

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil simulasi numerik, analisis data, dan pembahasan yang telah penulis lakukan maka berikut ini adalah kesimpulan yang bisa penulis berikan pada tugas akhir kali ini :

- Turbin dengan jumlah bilah 4 bisa menangkap arus laut lebih banyak dibanding dengan turbin 2 bilah dan 3 bilah. Namun, jika turbin memiliki lebih dari 4 bilah, torsi turbin akan menurun dikarenakan efek *wake* yang memengaruhi bilah di daerah downstream turbin.
- Turbin dengan hidrofoil S1210 mempunyai torsi yang lebih besar juga dibanding turbin dengan hidrofoil NACA 0012. Hidrofoil S1210 diuntungkan dengan adanya camber yang positif sehingga pada trailing edge di bawah turbin terdapat tekanan yang bisa mendorong turbin bergerak.
- Self-starting turbin dengan hidrofoil S1210 lebih baik daripada NACA 0012 dikarenakan adanya chamber yang besar pada S1210 yang membuat tekanan pada hidrofoil S1210 lebih besar.
- Penambahan jumlah bilah membuat pergerakan turbin semakin stabil. Hal itu membuat maintainance yang dilakukan semakin lama karena rendahnya guncangan.
- Hasil efisiensi turbin NACA 4 bilah tertinggi kemudian disusul berurutan dengan S1210 2 bilah, NACA 0012 3 bilah, NACA 0012 2 bilah, NACA 0012 5 bilah, dan NACA 0012 6 bilah yaitu 25%, 22%, 20%, 19%, 16%, dan 13%.

#### **5.2 Saran**

Pada penelitian ini, penulis hanya menganalisis pola pergerakan turbin hanya pada 110 RPM sehingga penulis tidak bisa memberikan kriteria terbaik bagi semua variasi.

## **Bab VI**

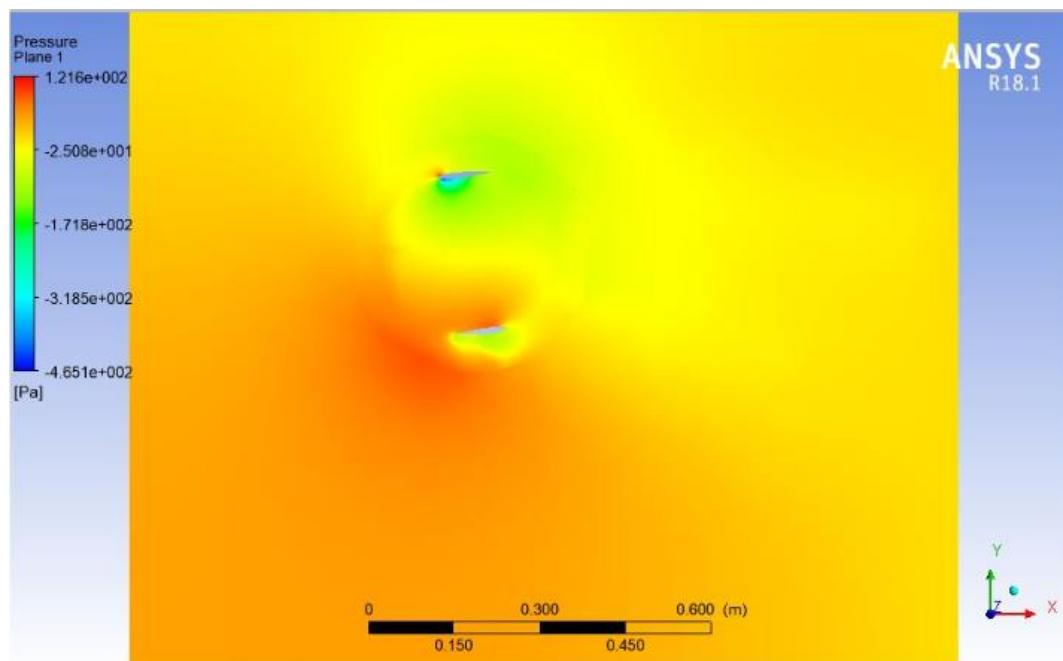
### **Daftar Pustaka**

- Alawiyah, dkk. 2018. Analisis Pola Arus Geostropik Perairan Samudera Hindia untuk Identifikasi Upwelling Menggunakan Data Satelit Altimetri. *Jurnal Geodesi Undip*. Teknik Geodesi. Universitas Diponegoro.
- Al-Dabbagh, Mohammad. 2018. Simulation and Comparison of Helical and Straight-Bladed Hydrokinetic Turbines. *International Journal of Renewable Energy Research*.
- Amarta, Zain. 2016. *Analisis Pengaruh Jumlah Foil Terhadap Performansi Turbin Arus Air Vertikal Aksis Jenis Helical Dengan Cascade Foil Berbasis CFD*. Tugas Akhir Departemen Teknik Fisika FTI ITS: Surabaya
- Awalia, W. 2014. *Studi Konsep Pemanfaatan Arus Laut di Selat Lalang sebagai Sumber Energi Terbarukan untuk FSO Ladinda*. Tugas Akhir Departemen Teknik Kelautan FTK ITS: Surabaya.
- Azis. 2006. Gerak Air di Laut. *Jurnal Oseana*, Volume XXX1:4.
- Badan Pusat Statistik. 2019. <http://databoks.katadata.co.id/datapublish/2019/01/04/jumlah-penduduk-indonesia-2019-mencapai-267-juta-jiwa>. Diakses tanggal 7 Maret 2020
- Bappenas. 2014. *Ketahanan Energi Indonesia : Gambaran Permasalahan dan Strategi Memperbaikinya*. Bappenas. Edisi XX.
- Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konversi Energi. 2011. <http://ebtke.esdm.go.id/post/2011/04/25/138/pengembangan.energi.arus.laut>. Diakses tanggal 7 Maret 2020
- Hestyandhoko. 2009. *Optimasi Desain Blade pada Turbin Angin Poros Horizontal untuk Memenuhi Kebutuhan Daya Penerangan Squid Fishing Vessel*. Tugas Akhir. Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS: Surabaya.

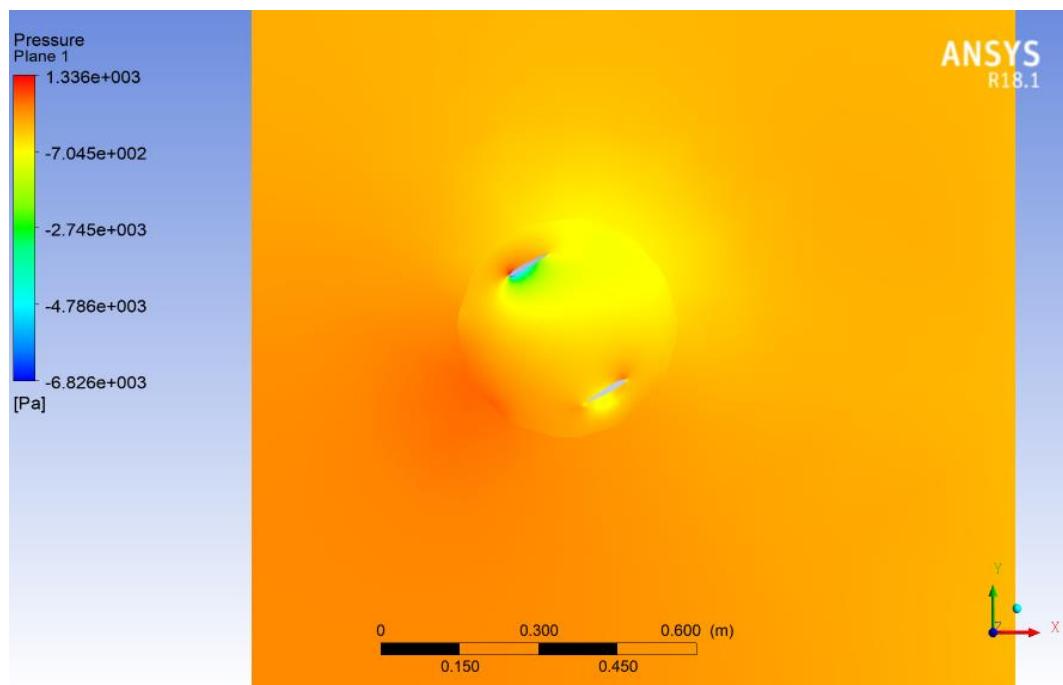
- Hidayat, M. Fajri. Analisa Aerodinamika Airfoil NACA 0012 dengan Ansys Fluent. *Jurnal Kajian Teknologi*. Volume 10:2.
- Kasharjanto, dkk. 2017. Kajian Pemanfaatan Energi Arus Laut di Indonesia. *Jurnal Wave*. Volume 11:2.
- Letcher, Trevor. M. 2017. Wind Energy Engineering: A Handbook for Onshore and Offshore Wind Turbines. Elsevier Inc.
- Lopulalan, R. M., dkk. 2016. Desain Blade Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut di Banyuwangi Berbasis CFD. *Jurnal Teknik ITS*. Volume 5:2.
- Mariasas., dkk. 2013. Karakteristik airfoil NACA “00XX” dengan variasi sudut serang. *Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika*. Volume 1:1.
- Rachmat, B., dkk. 2012. Potensi Arus Laut dan Konversi Daya Listrik sebagai Energi Baru Terbarukan di Perairan Palalawan dan Indragiri Hilir, Provinsi Riau. *Jurnal Geologi Kelautan*, Volume 10:2.
- Rivantoro, F dan Irfan, S. A. 2015 Studi Pemilihan Desain Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL) Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP). *Jurnal Teknik ITS*. Volume 4:2.
- Sargolzaei, J. 2007. Prediction of the power ratio in wind turbine Savonius rotors using artificial neural networks. *Issue 2*, Vol 1.
- Surinati, Dewi. 2011. Energi Arus Laut. *Oseana*, Volume XXXVI:1
- Yang. B., dan Shu. X. W. 2012. Hydrofoil optimization and experimental validation in helical vertical axis turbine for power generation from marine current. [www.elsevier.com/locate/oceaneng](http://www.elsevier.com/locate/oceaneng)

## LAMPIRAN A

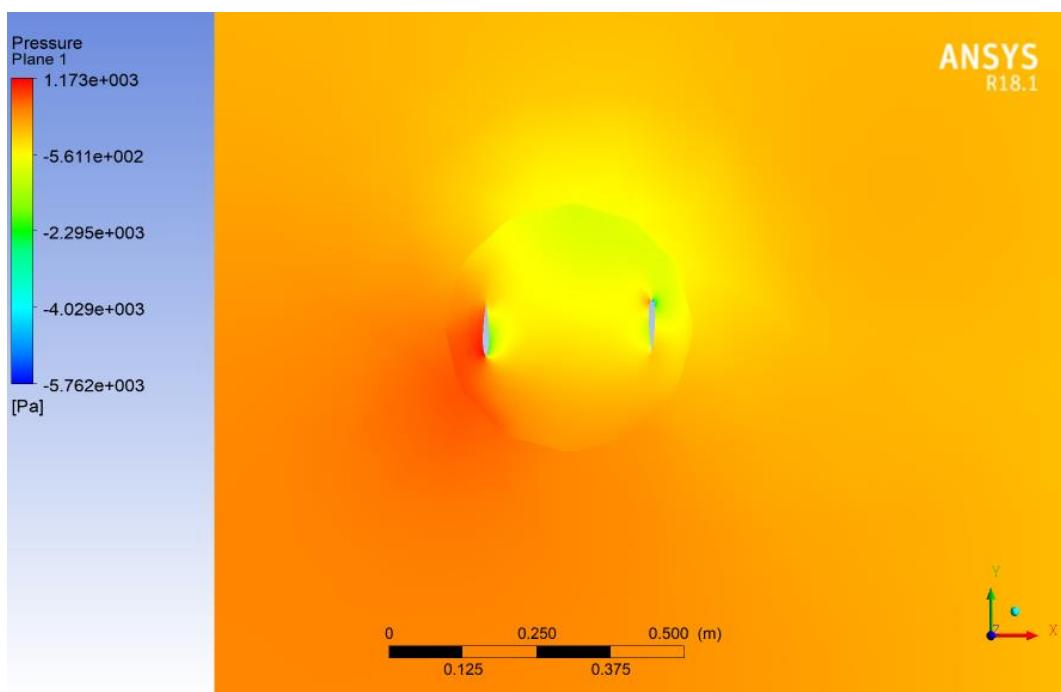
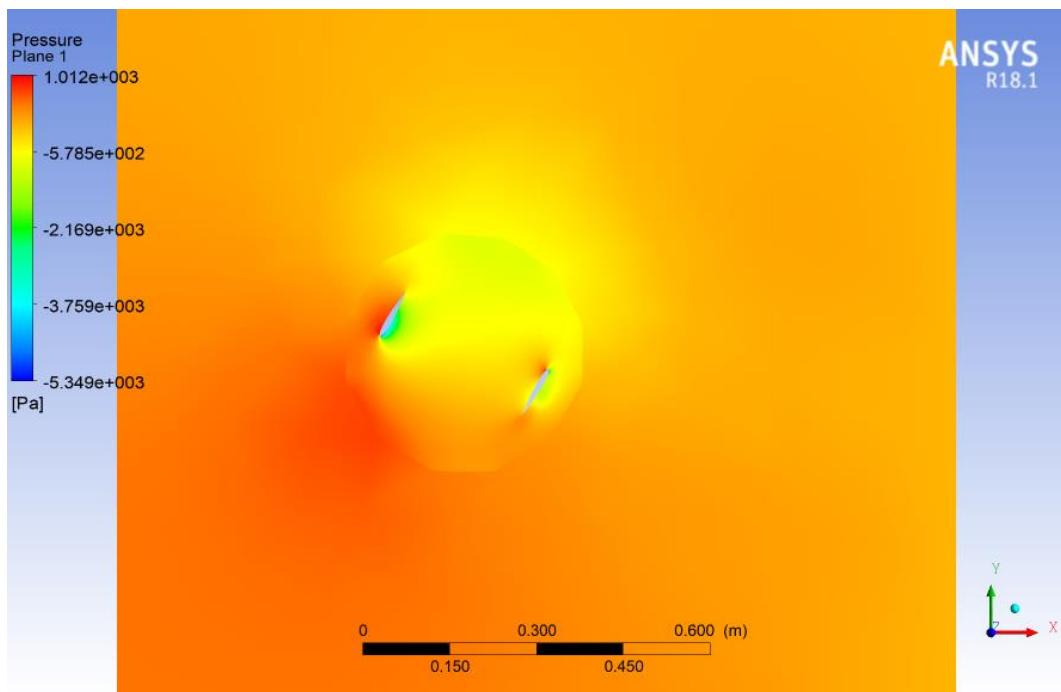
Kontur Tekanan NACA 0012 2 Bilah, 3 Bilah, 4 Bilah, 5 Bilah, dan 6 Bilah,  
Perbandingan Torsi Turbin dan Resultan Gaya pada Variasi Jumlah Bilah.

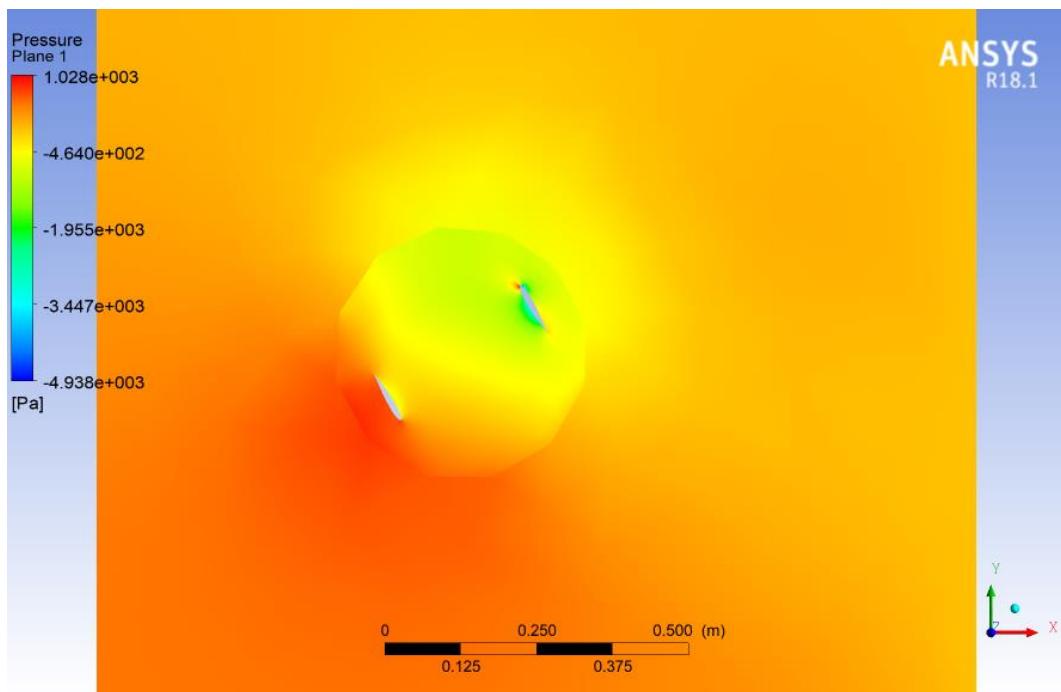


(a)

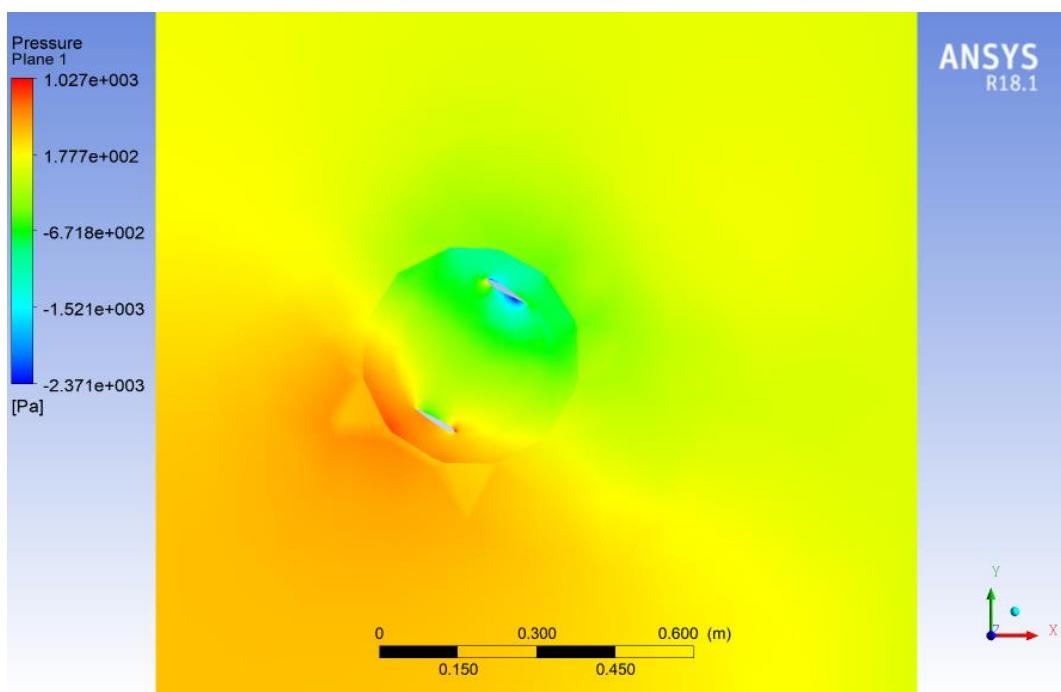


(b)



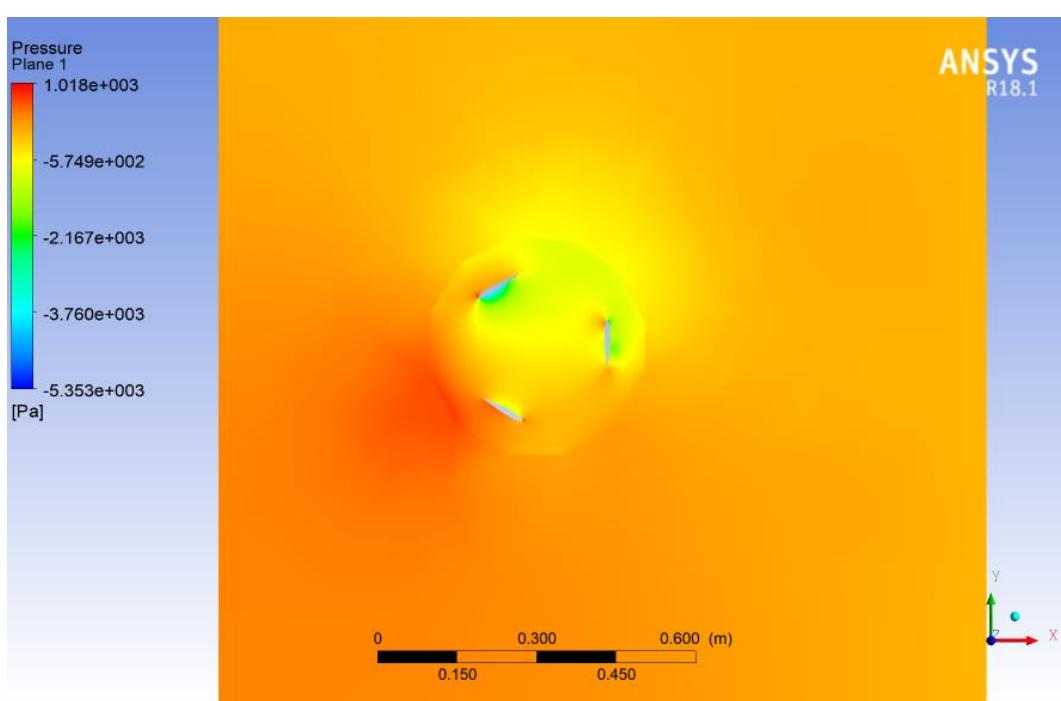
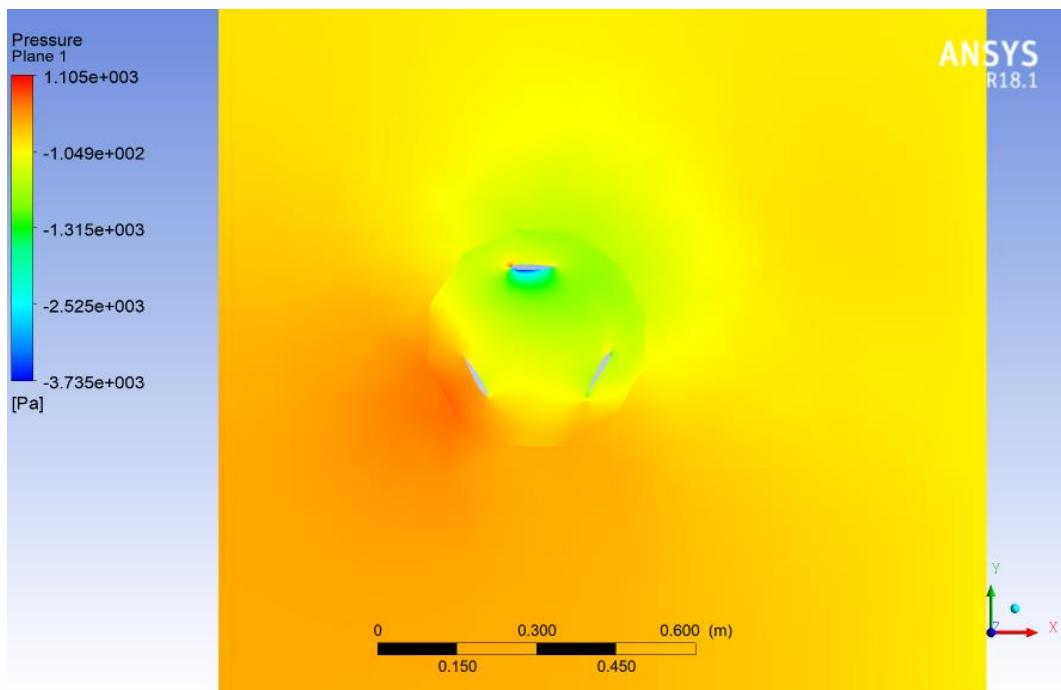


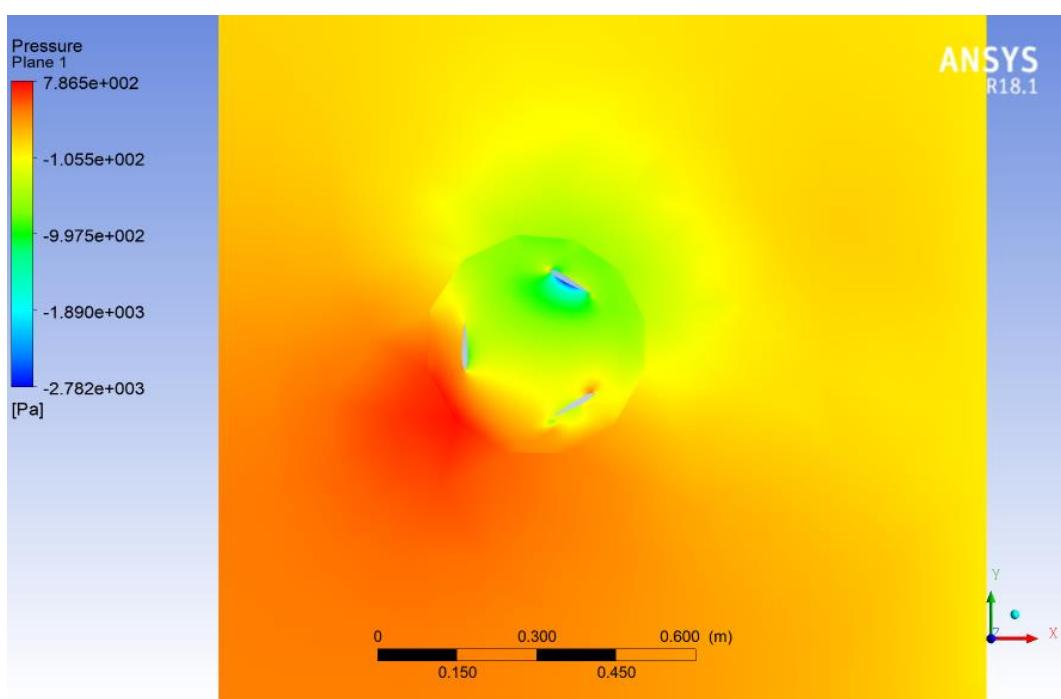
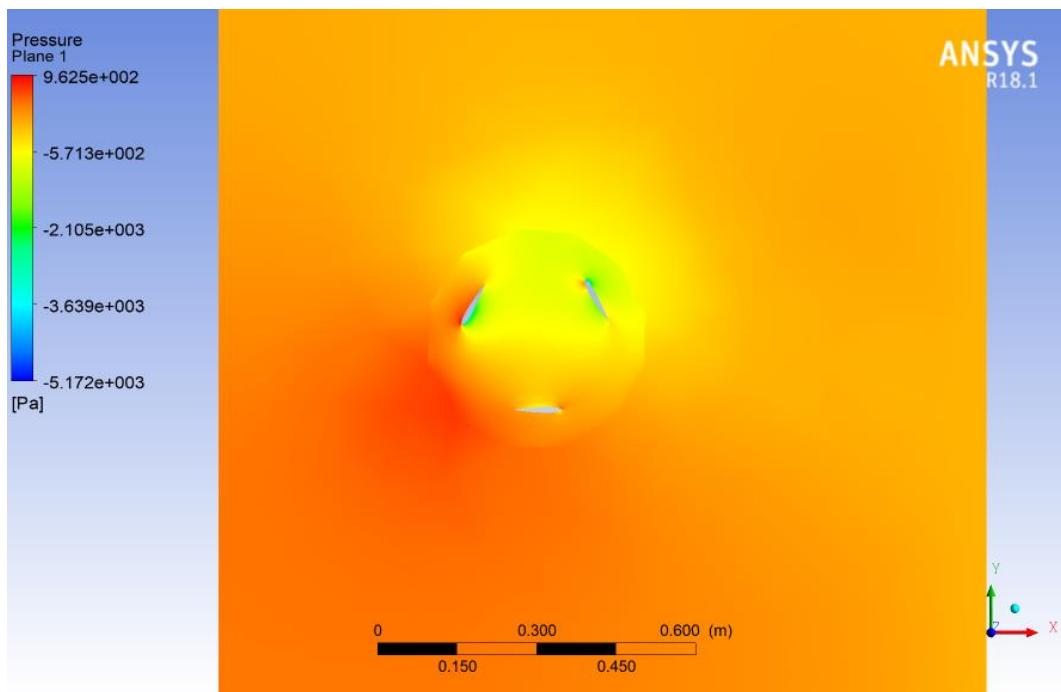
(e)



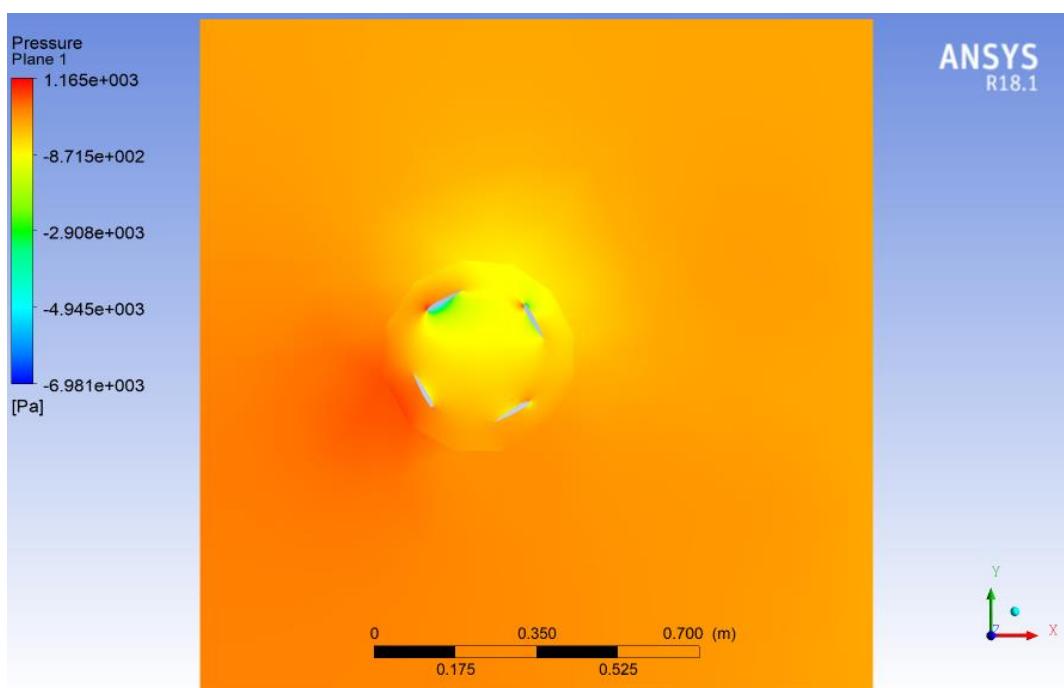
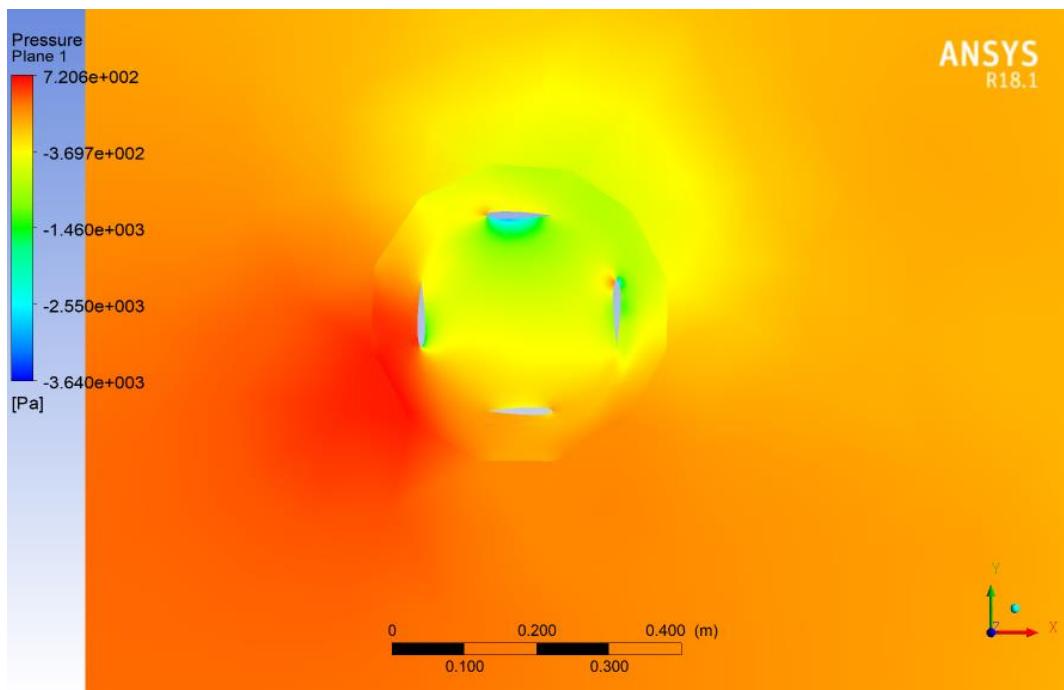
(f)

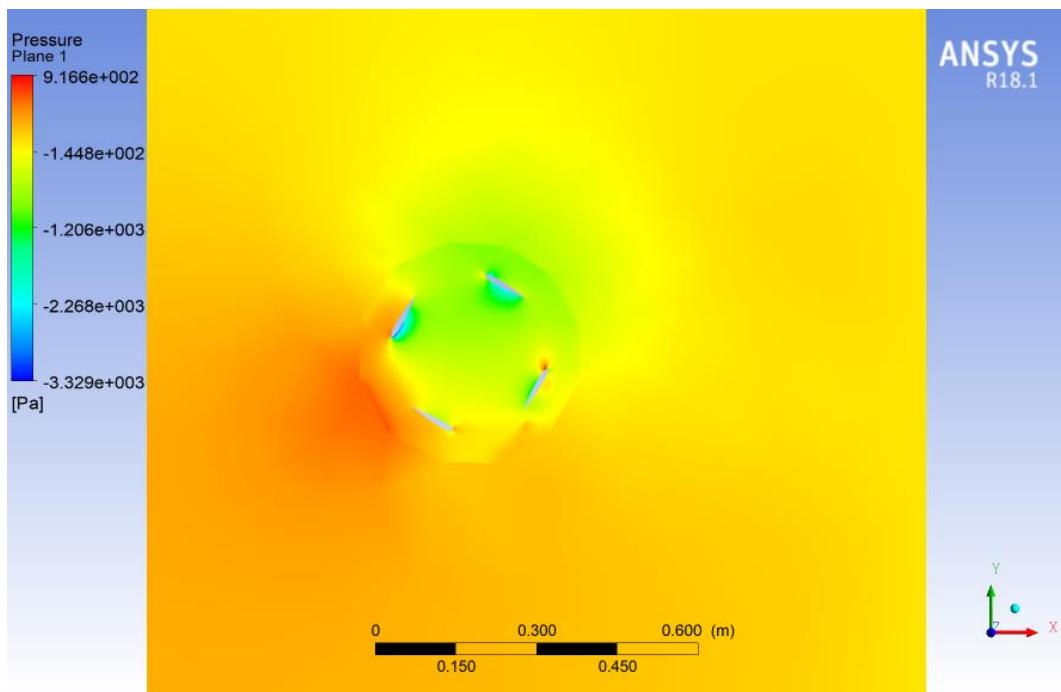
Gambar (a), (b), (c), (d), (e), dan (f) Kontur Tekanan Turbin NACA 0012 2 bilah





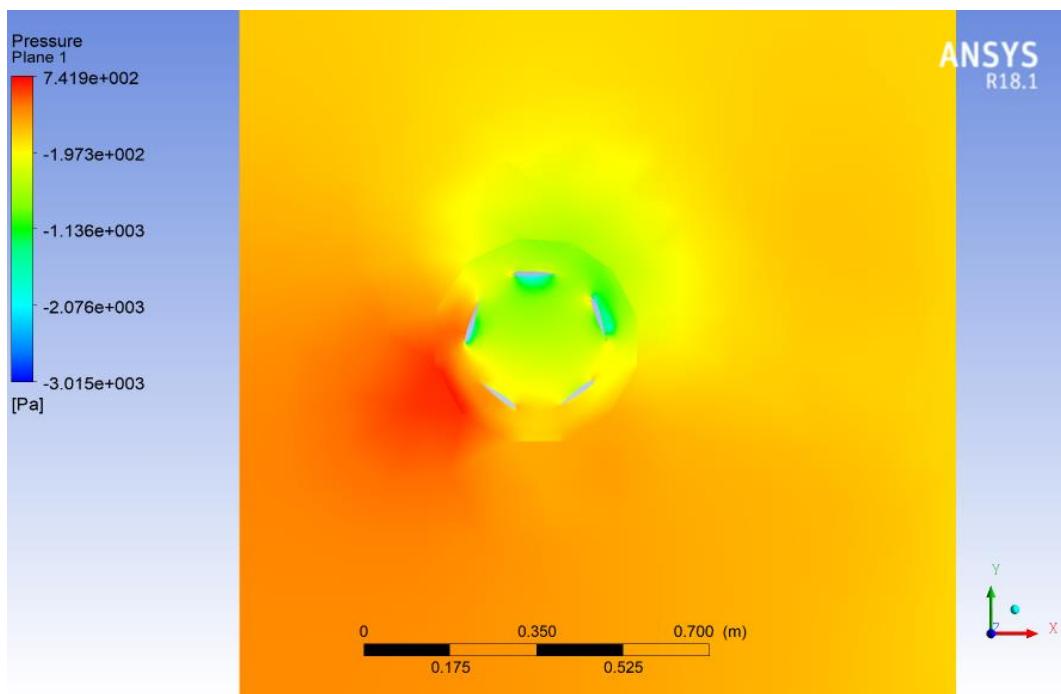
Gambar (a), (b), (c), dan (d) Kontur Tekanan Turbin NACA 0012 3 bilah



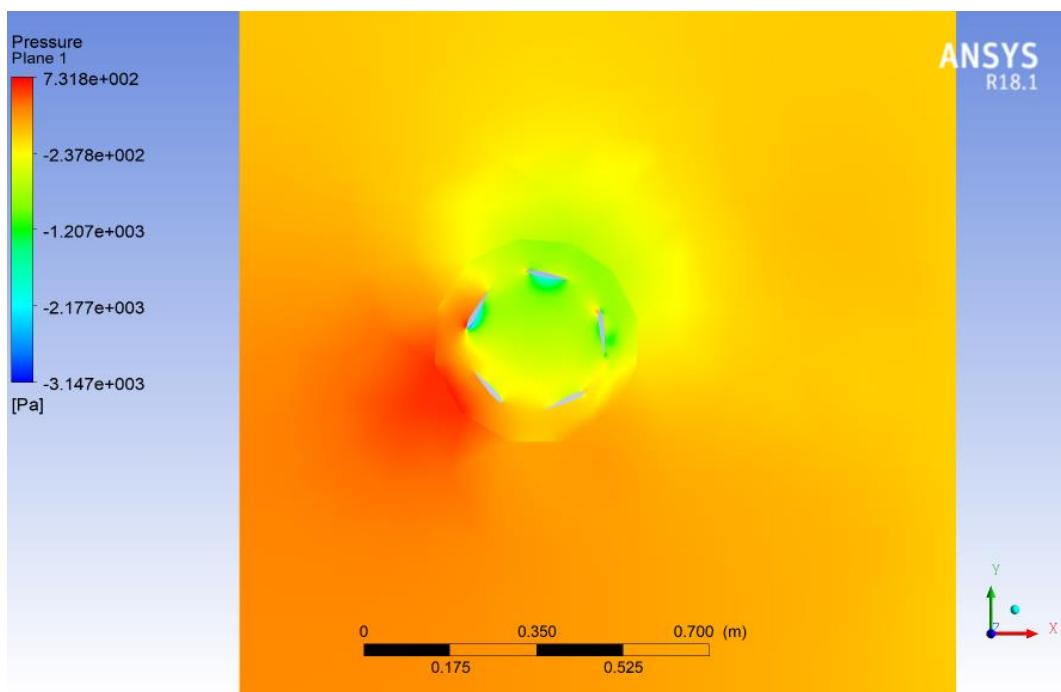
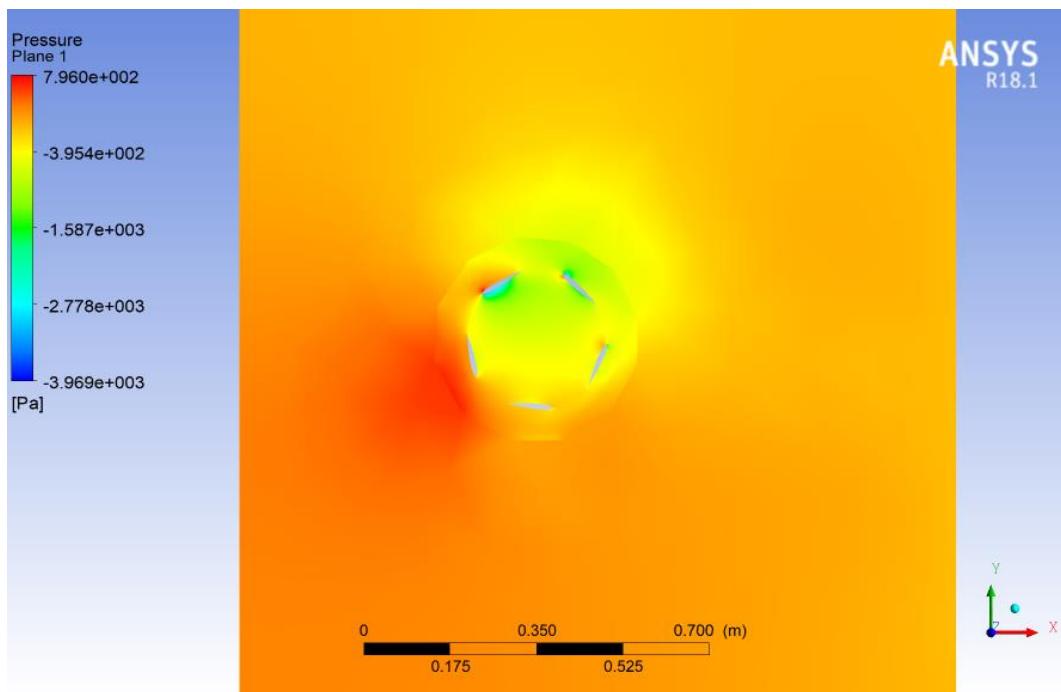


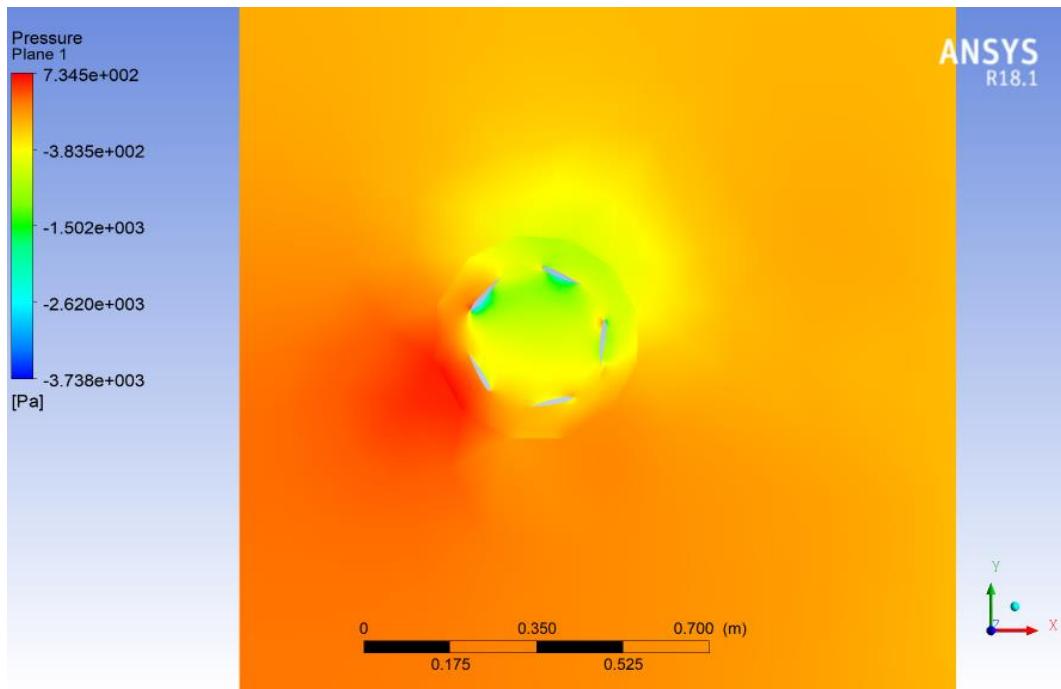
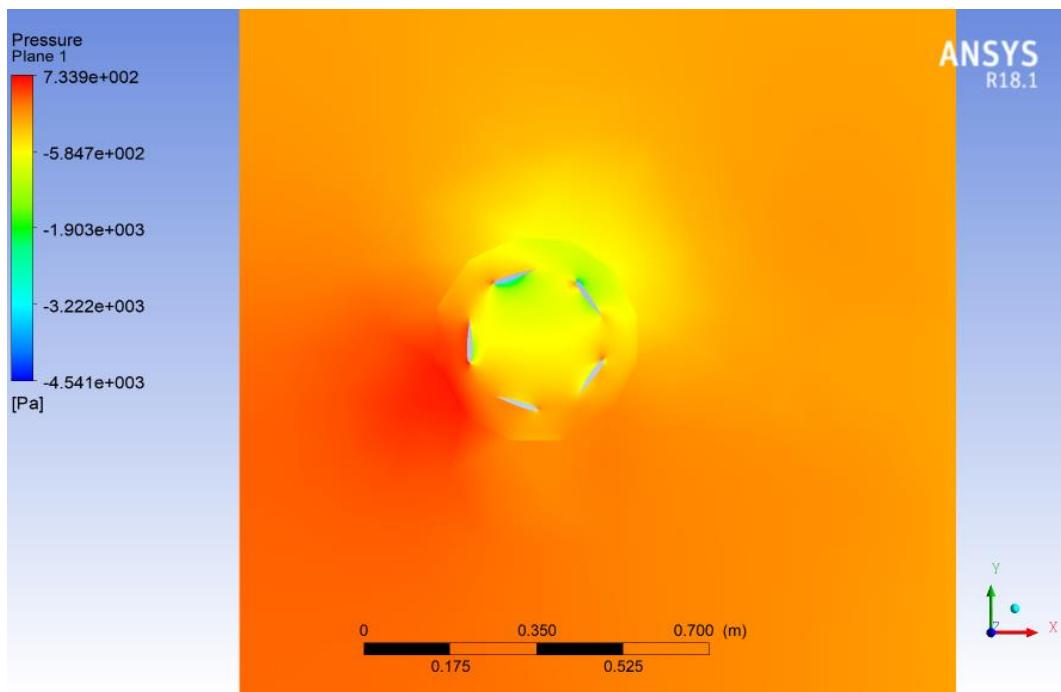
( c )

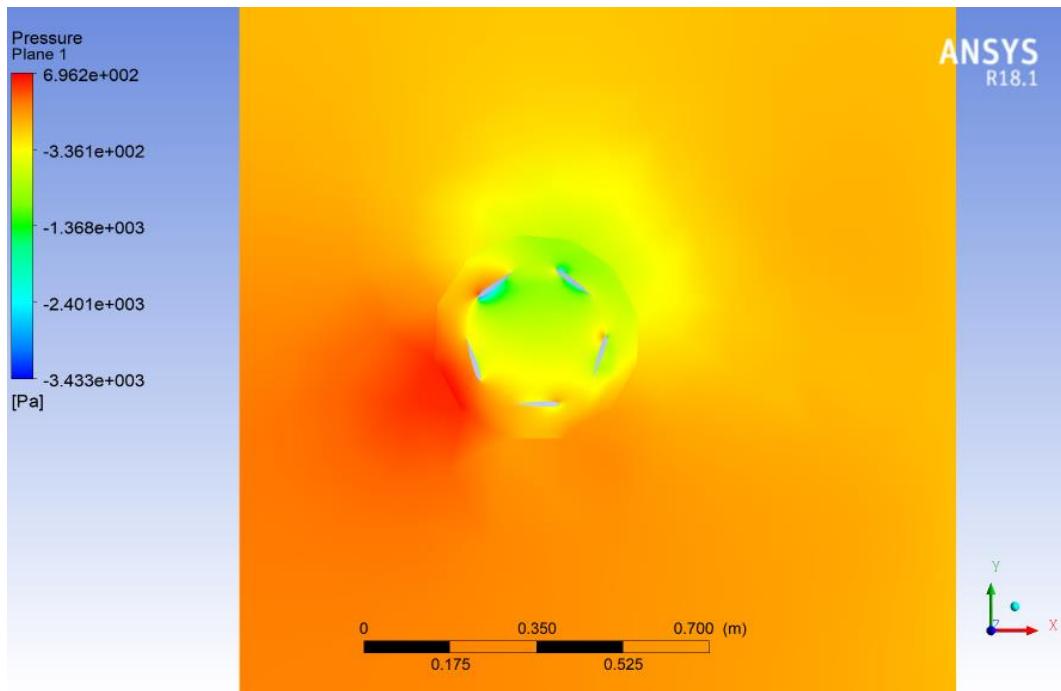
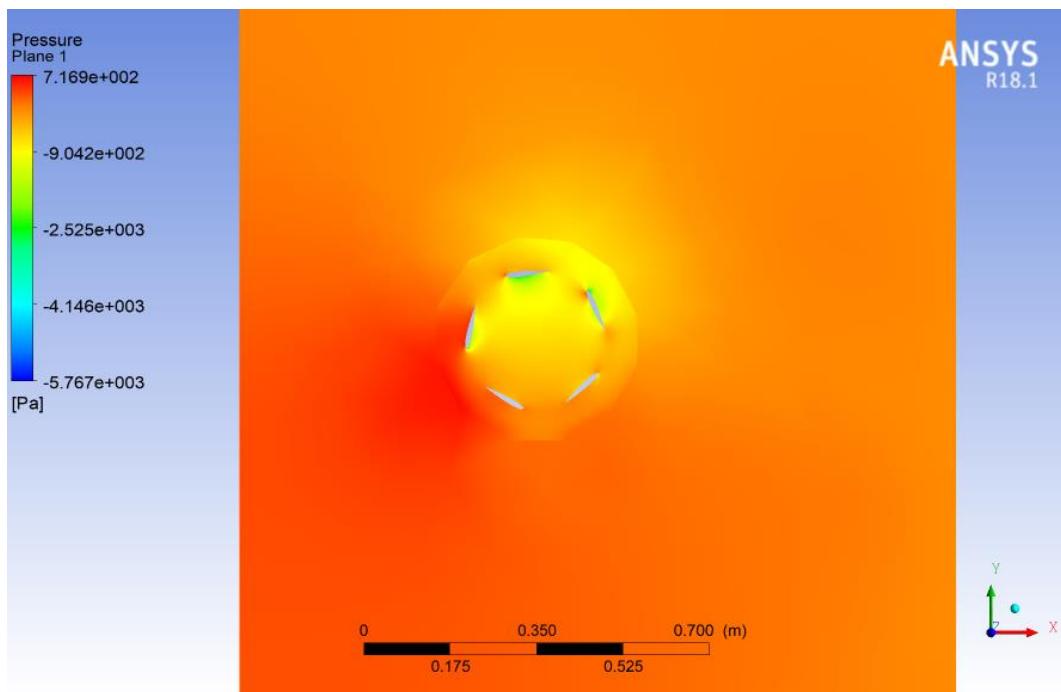
Gambar (a), (b), dan (c) kontur tekanan pada turbin 4 bilah

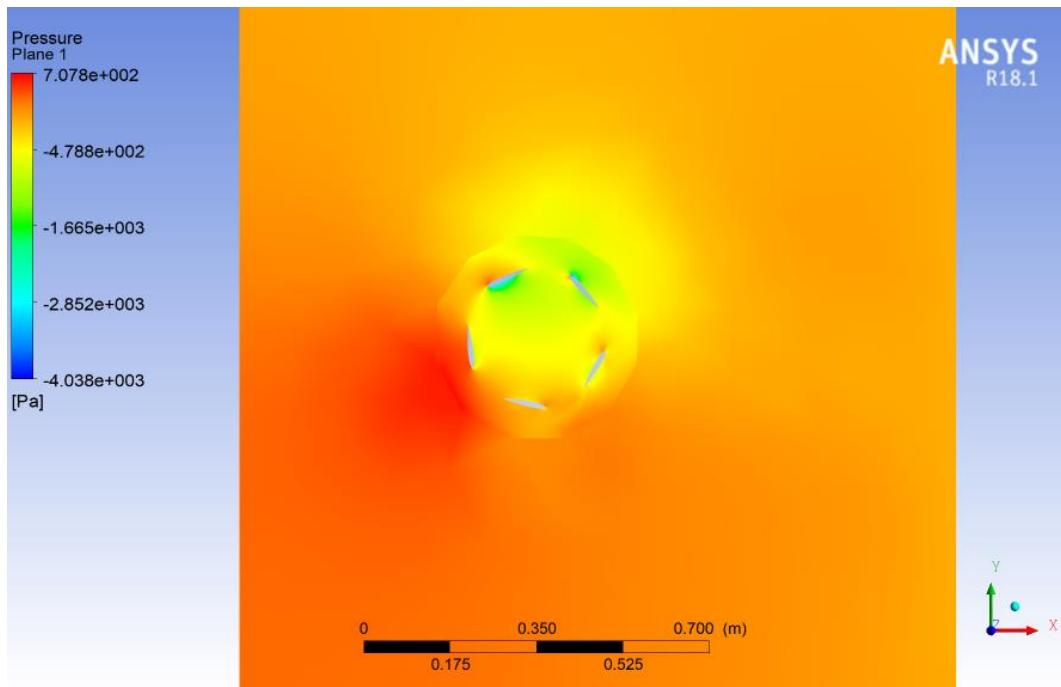
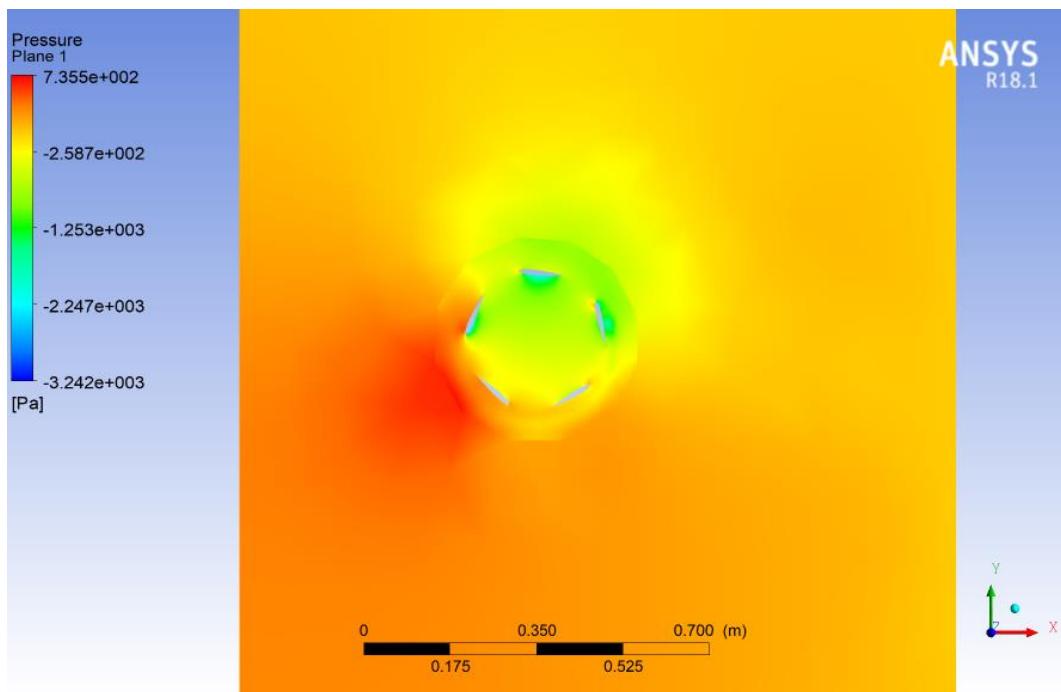


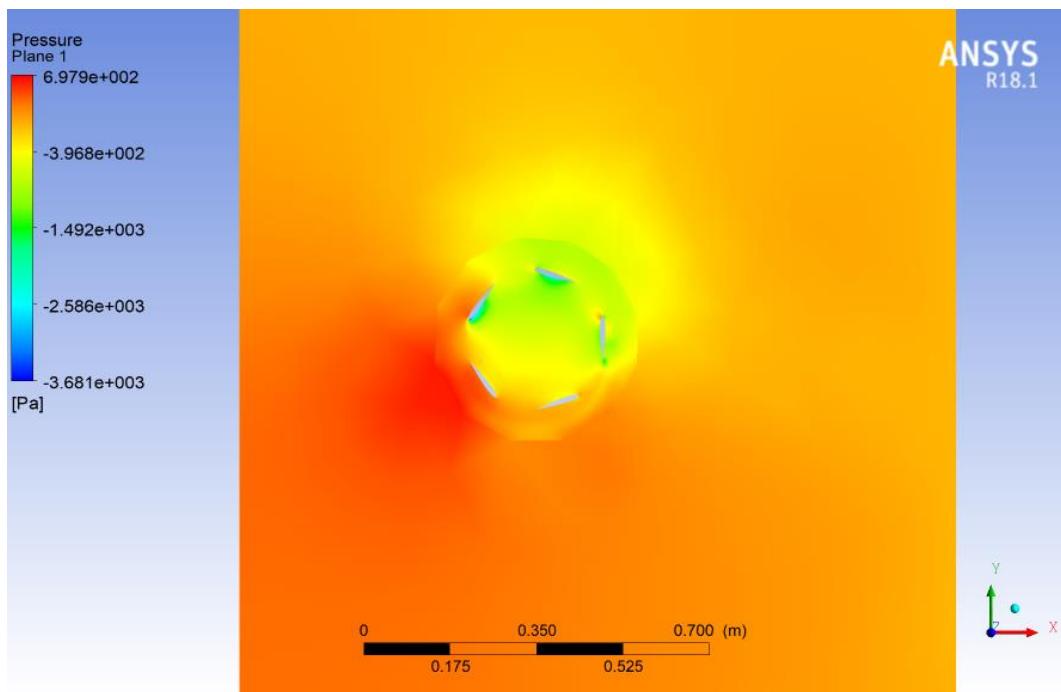
(a)





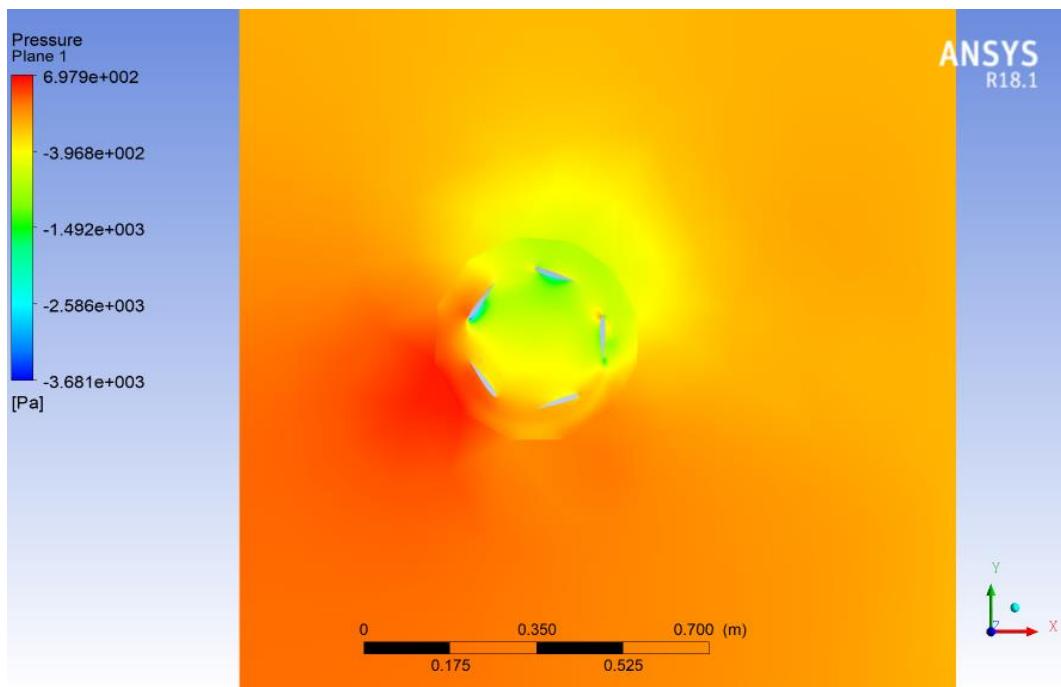




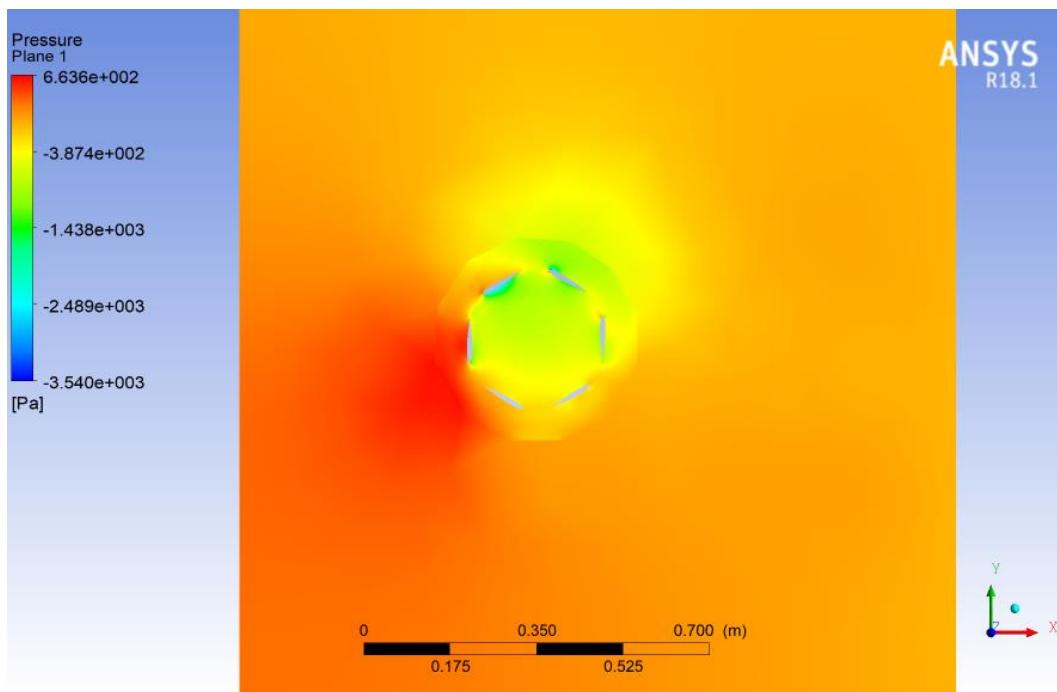


(j)

Gambar (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g), (h), (i), dan (j) kontur tekanan NACA 0012 5 bilah



(a)

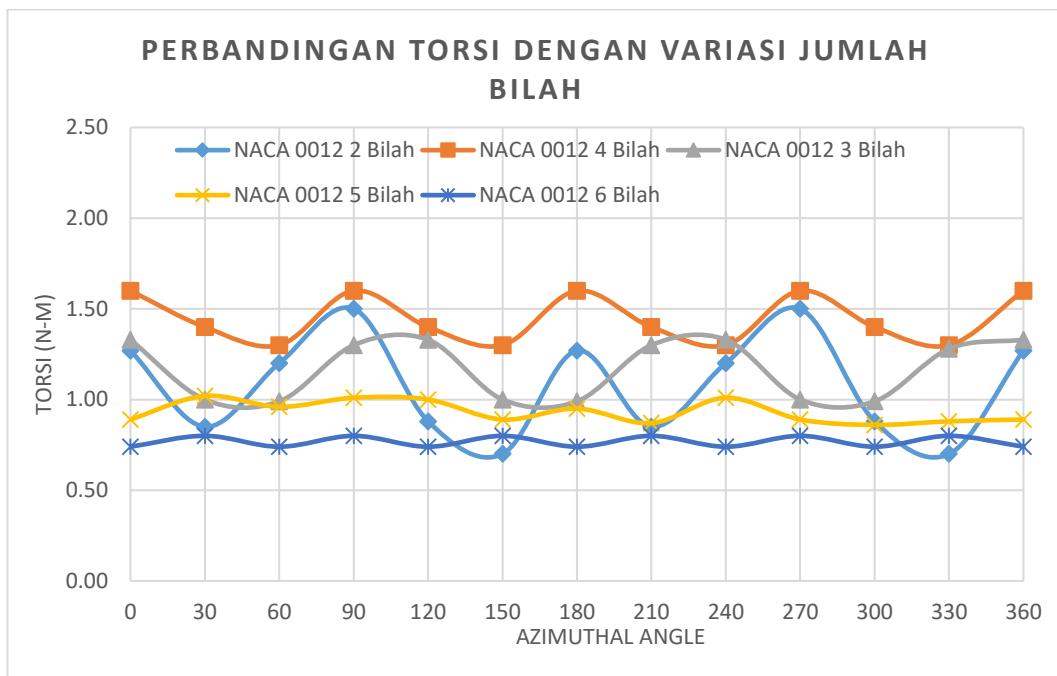


(b)

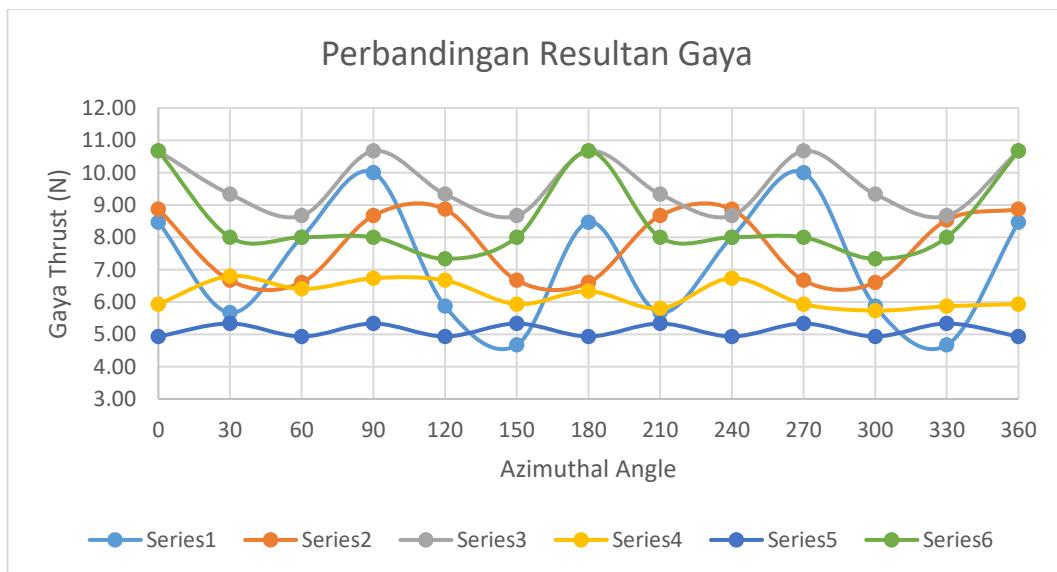
Gambar (a) dan (b) Kontur Tekanan NACA 0012 6 Bilah

Tabel Perbandingan Torsi Variasi Jumlah Bilah

NACA 0012							
Azimuthal Angle	2 Bilah	3 Bilah	4 Bilah	5 Bilah	6 Bilah	Torsi Tertinggi	
0	1.27	1.33	1.60	0.89	0.74	1.60	4 Bilah
30	0.85	1.00	1.40	1.02	0.80	1.40	4 Bilah
60	1.20	0.99	1.30	0.96	0.74	1.30	4 Bilah
90	1.50	1.30	1.60	1.01	0.80	1.60	4 Bilah
120	0.88	1.33	1.40	1.00	0.74	1.40	4 Bilah
150	0.70	1.00	1.30	0.89	0.80	1.30	4 Bilah
180	1.27	0.99	1.60	0.95	0.74	1.60	4 Bilah
210	0.85	1.30	1.40	0.87	0.80	1.40	4 Bilah
240	1.20	1.33	1.30	1.01	0.74	1.33	3 Bilah
270	1.50	1.00	1.60	0.89	0.80	1.60	4 Bilah
300	0.88	0.99	1.40	0.86	0.74	1.40	4 Bilah
330	0.70	1.28	1.30	0.88	0.80	1.30	4 Bilah
360	1.27	1.33	1.60	0.89	0.74	1.60	4 Bilah
Torsi rata-rata	1.08	1.17	1.45	0.93	0.77		



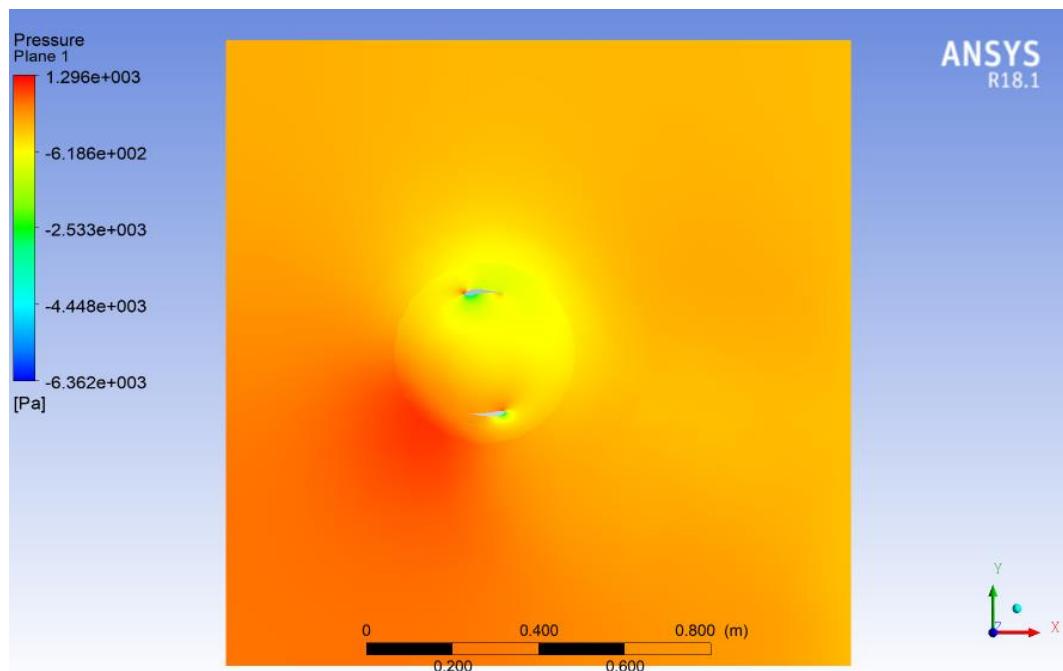
Grafik perbandingan torsi terhadap variasi jumlah bilah



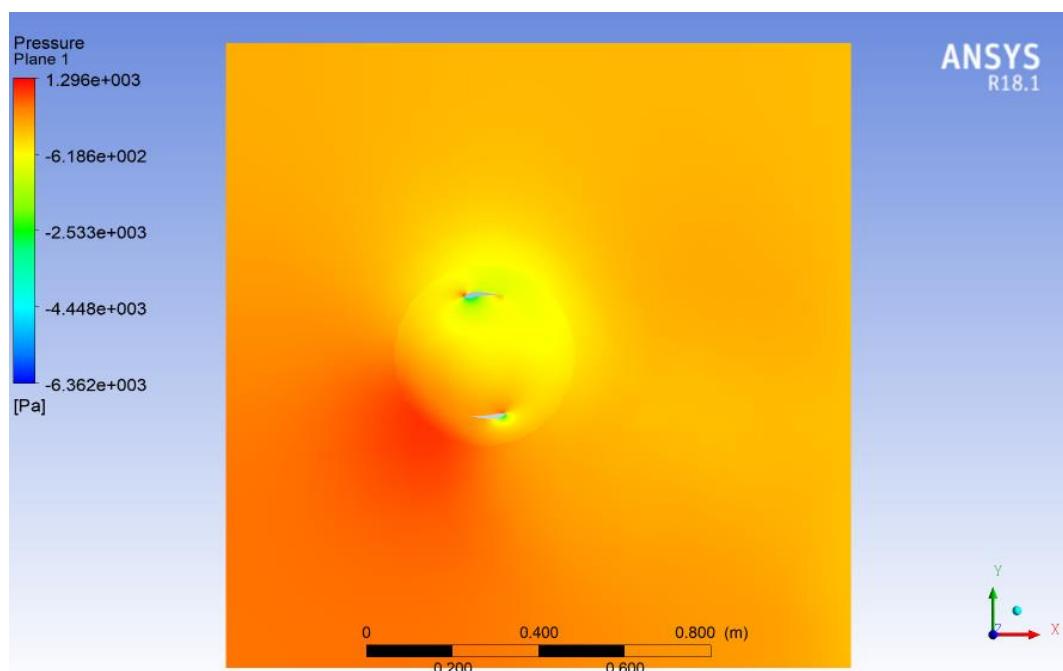
Grafik perbandingan resultan gaya terhadap variasi jumlah bilah

## LAMPIRAN B

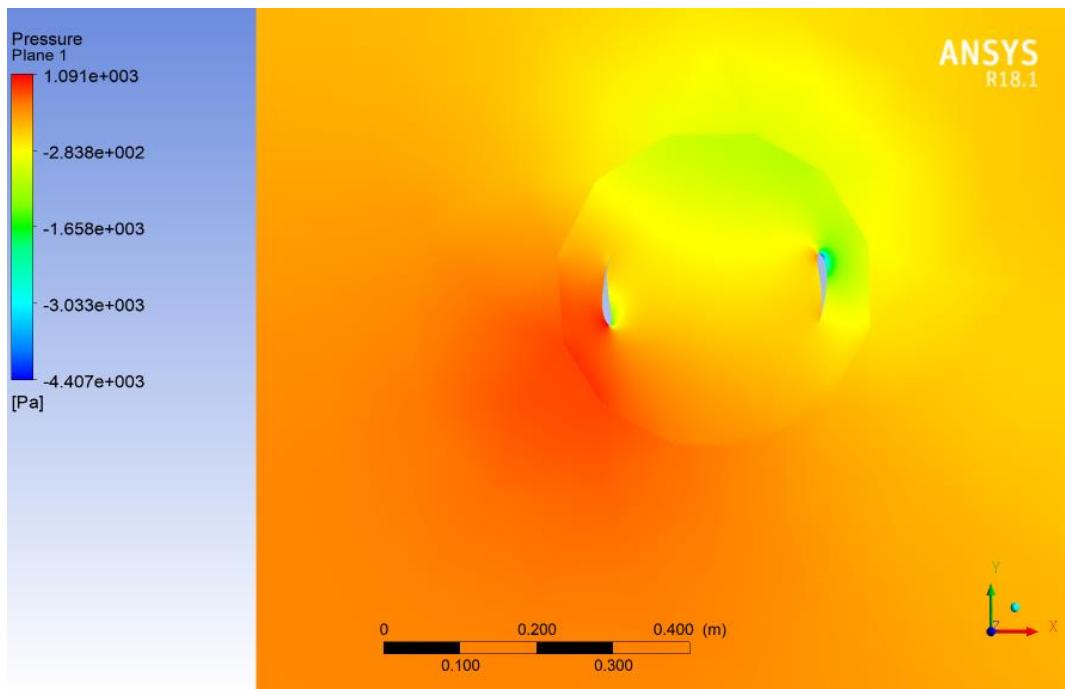
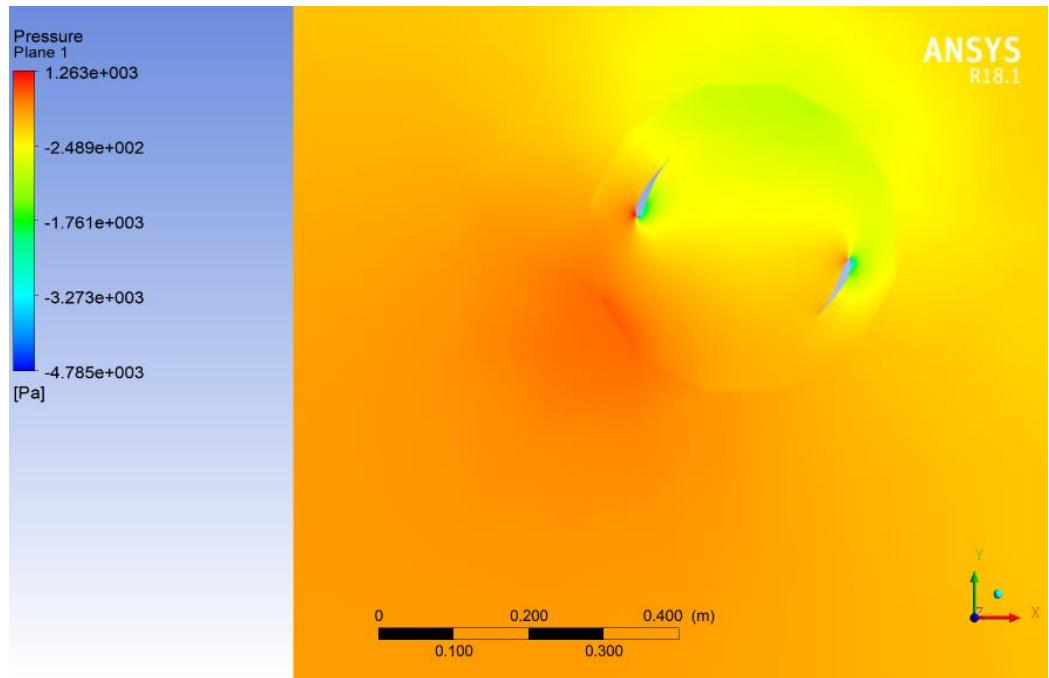
Kontur Tekanan S1210, Perbandingan Torsi Turbin dan Resultan Gaya NACA  
0012 2 Bilah dengan S1210 2 Bilah

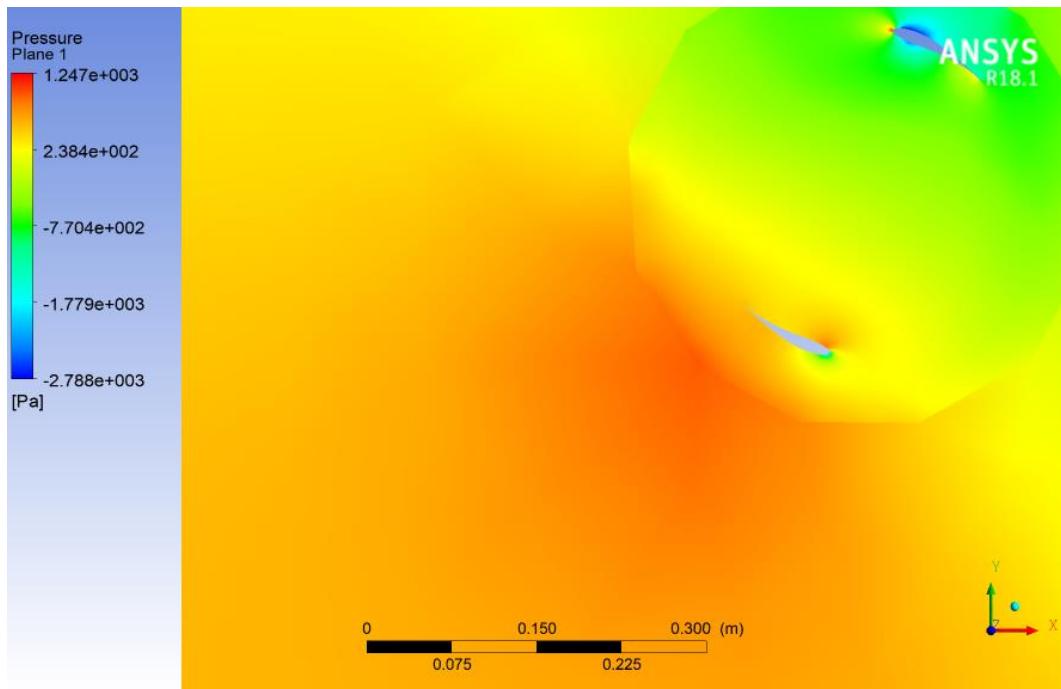
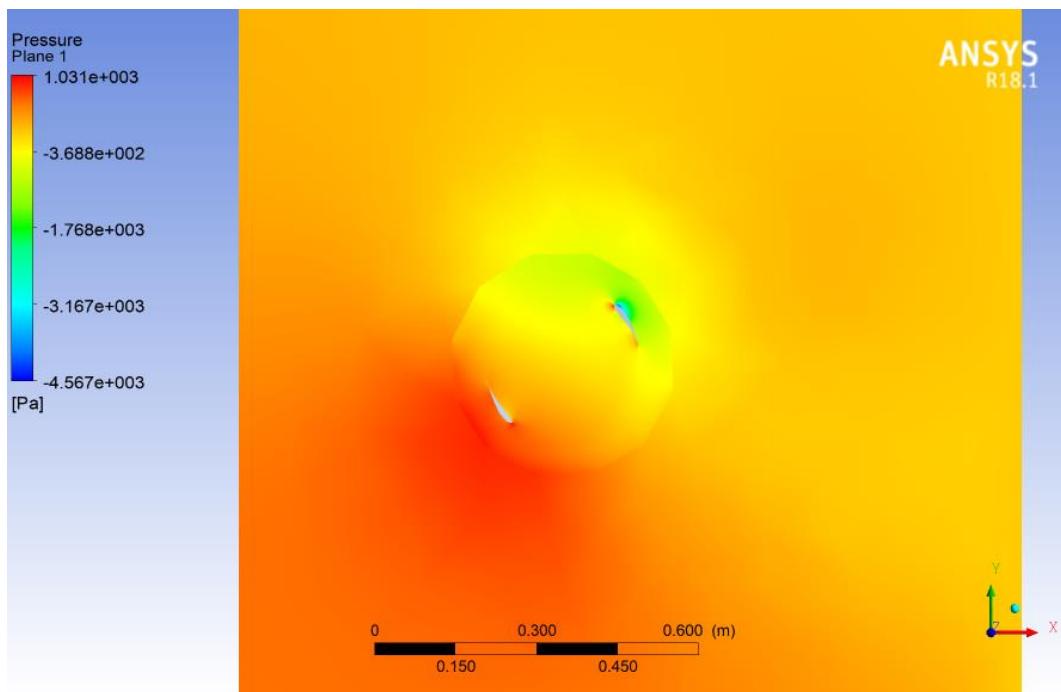


( a )



( b )

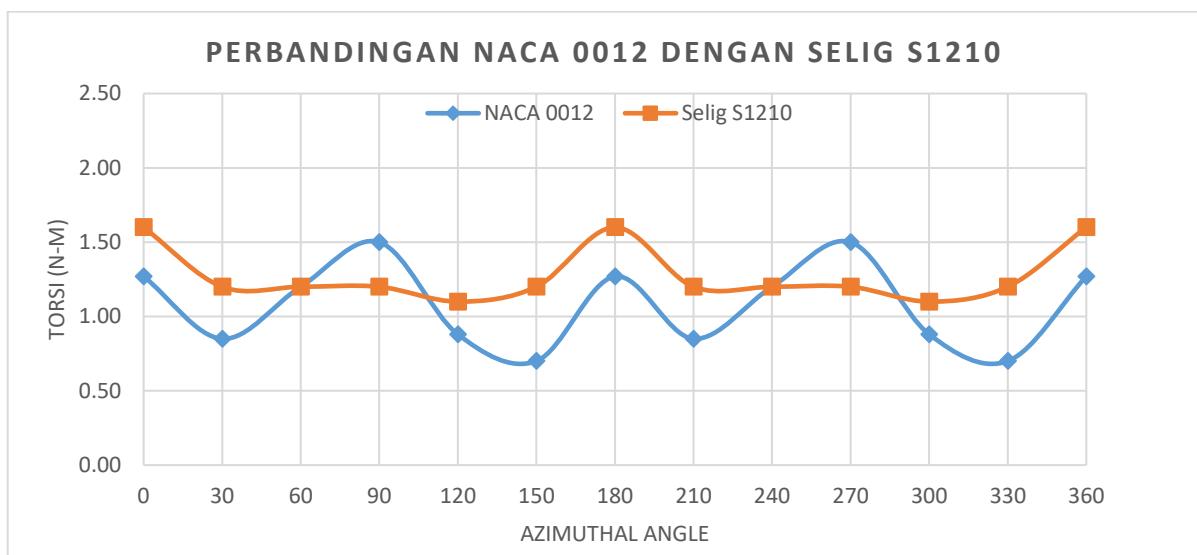




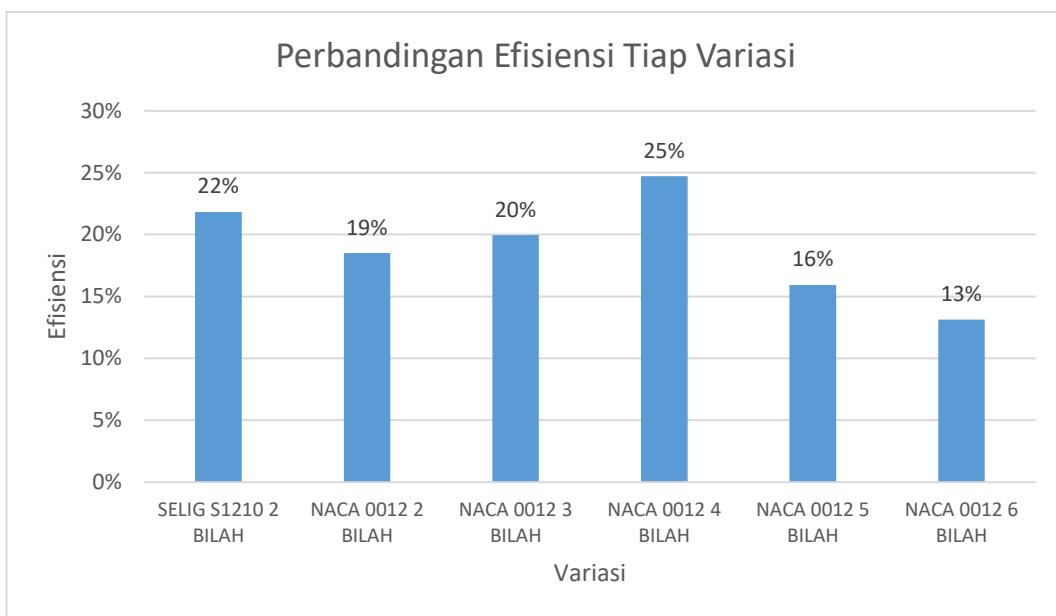
Gambar (a), (b), (c), (d), (e), dan (f) adalah kontur tekanan dari turbin S1210 pada sudut 0, 30, 60, 90, 120, dan 150 derajat

Tabel perbandingan torsi antara Hidrofoil NACA 0012 dan S1210

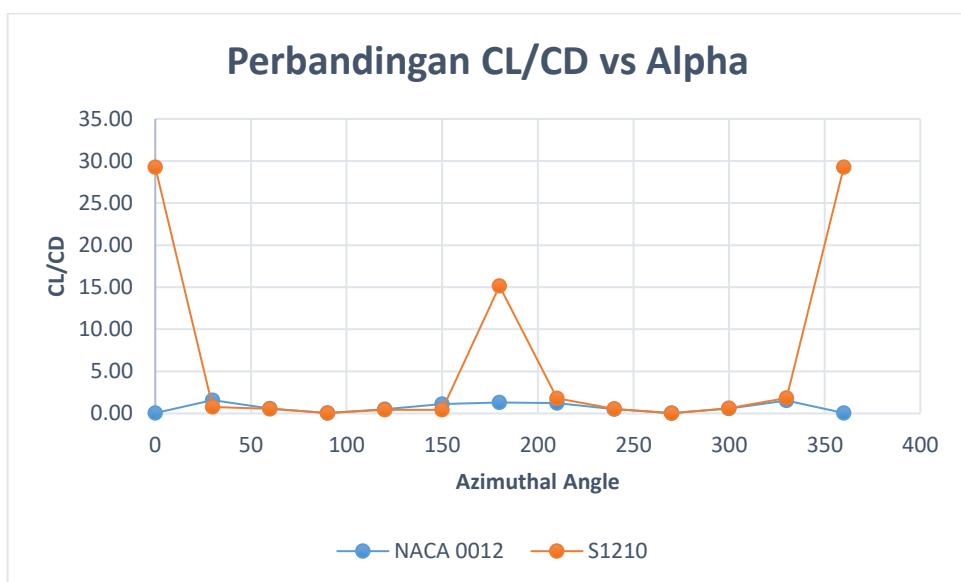
NACA 0012 vs S1210			
Azimuthal Angle	NACA 0012	S1210	Torsi Tertinggi
0	1.27	1.60	S1210
30	0.85	1.20	S1210
60	1.20	1.20	S1210
90	1.50	1.20	NACA 0012
120	0.88	1.10	S1210
150	0.70	1.20	S1210
180	1.27	1.60	S1210
210	0.85	1.20	S1210
240	1.20	1.20	S1210
270	1.50	1.20	NACA 0012
300	0.88	1.10	S1210
330	0.70	1.20	S1210
360	1.27	1.60	S1210



Grafik perbandingan NACA 0012 dengan S1210



Grafik efisiensi pada setiap variasi



Grafik CL/CD S1210 dengan NACA 0012 dengan Chord 90 m

