



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS CFD TURBIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA  
ARUS LAUT PADA KAPASITAS 1.2 KW**

**SKRIPSI**

**FASRI HATOMI  
0806330106**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JUNI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS CFD TURBIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA**

**ARUS LAUT PADA KAPASITAS 1.2 KW**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik**

**FASRI HATOMI**

**0806330106**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JUNI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi/Tesis/Disertasi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Fasri Hatomi**

**NPM : 0806330106**

**Tanda Tangan : **

**Tanggal : 19-juni -2012**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Fasri Hatomi  
NPM : 0806330106  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Analisis CFD turbin pembangkit listrik tenaga arus laut pada kapasitas 1.2 kw

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Dr-Ing. Ir. Nasruddin.MEng

Penguji 1 : Dr.Ir. Budihardjo. Dipl.Ing

Penguji 2 : Dr.Ir. M. Indrus Alhamid .M.Eng

Penguji 3 : Arfie Firmansyah

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : Juni 2012

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT karena hanya dengan rahmat dan karunia-Nya lah penulis mampu menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan sebagai salah satu syarat kelulusan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis sadar bahwa tanpa adanya bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak, penulisan skripsi ini tidak akan berjalan lancar dan sulit untuk diselesaikan. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr-Ing. Ir. Nasruddin.MEng, selaku Dosen Pembimbing dari Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia yang telah memberikan waktu, tenaga, dan pikiran serta membimbing penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
2. Orang tua penulis, Sir Amin dan Fatimah serta adik-adik tercinta, Fadli Umam, Fadra Sirvy, dan Fawair Fauzy yang selalu memberikan doa dan semangat serta menjadi alasan utama penulis dalam menyelesaikan skripsi ini sebaik-baiknya.
3. Arfie Firmansyah, ST.MT. yang telah banyak membantu serta membimbing penulis dalam melakukan penelitian mulai dari awal hingga selesainya skripsi ini
4. Dr. A. Indra Siswantara yang banyak memberikan masukan pada penelitian ini demi kesempurnaan skripsi ini
5. Seluruh teman-teman Teknik Mesin 2008 dan semua pihak yang telah berkontribusi membantu dan mendukung penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik maupun saran yang membangun sangat penulis harapkan agar bisa menjadi yang lebih baik kedepannya. Akhir kata semoga apa yang sudah diberikan dan dihasilkan dari skripsi ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan di Indonesia.

Depok, Juni 2011

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fasri Hatomi  
NPM : 0806330106  
Program Studi : Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**ANALISIS CFD TURBIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA  
ARUS LAUT PADA KAPASITAS 1.2 KW**

berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 12 Juni 2012

Yang menyatakan

  
(Fasri Hatomi)

## ABSTRAK

Nama : Fasri Hatomi  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul : Analisis CFD turbin pembangkit listrik tenaga arus laut pada kapasitas 1.2 kw

Turbin arus laut memiliki banyak parameter yang harus diperhatikan sehingga turbin dapat berputar secara optimal. Pemilihan type Naca menjadi salah satu parameter yang harus diperhatikan. Naca 0018 merupakan salah satu type naca simetris yang banyak digunakan dalam menghasilkan energi. Untuk mengetahui kondisi dimana hydrofoil terjadi stall dilakukan pendekatan secara 2 dimensional sehingga pada saat berada pada sistem turbin dapat menghasilkan energi secara optimal.

Selain itu pula Penelitian ini memaparkan tentang penggunaan turbin dengan type naca 0018 untuk kecepatan arus laut yang bervariasi. Selain itu pula blade turbin berpenampang hydrofoil memiliki konfigurasi sudut yang berbeda dari 10 ,15, 20 derajat sehingga diperoleh perbedaan torsi yang dihasilkan terhadap kecepatan dari arus laut.

Dari penelitian ini akan diketahui hubungan antara kecepatan arus laut dengan sudut pitch tertentu yang menghasilkan putaran rotor yang paling optimal. Seluruh proses dilakukan pendekatan computational flids dynamics dengan menggunakan software solidworks flowsimulation 2012. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan torsi yang dihasilkan sebelum dan sesudah terjadi stall dan perbedaan torsi yang dihasilkan antara turbin darrieus dan turbin gorlov.

Kata kunci :  
*Naca 0018, CFD, hydrofoil, stall, lift, angle of attack.*

## ABSTRACT

Name : Fasri Hatomi  
Program Studi : Mechanical Engineering  
Title : CFD Analysis sea water current plant turbine with capacity 1.2

Sea water current turbine have a lot of parameters that must be analyzed to get turbine rotation optimally. Characteristic of naca can be consideration that must be identified. Naca 0018 is one of simetris naca that commonly used to get energy. To find out condition where stall happened using computational fluids dynamics either 2 dimensional or 3 dimensional

Besides that, this researches explain about utilizing turbine by naca 0018 with various sea water current velocity. Configuration of angle from 10,15,20 degree will influence torque that produced towards sea water current velocity. Through this researches find out correlation between sea water current velocity with pitch angle to produce torque optimally. All process through computational fluids dynamics using solidworks flow simulation 2012 software. The results show torque where before and after stall condition and difference between darrieus and gorlov turbine.

Keywords :  
Naca 0018, CFD, Hydrofoil, angle of attack, stall



## DAFTAR ISI

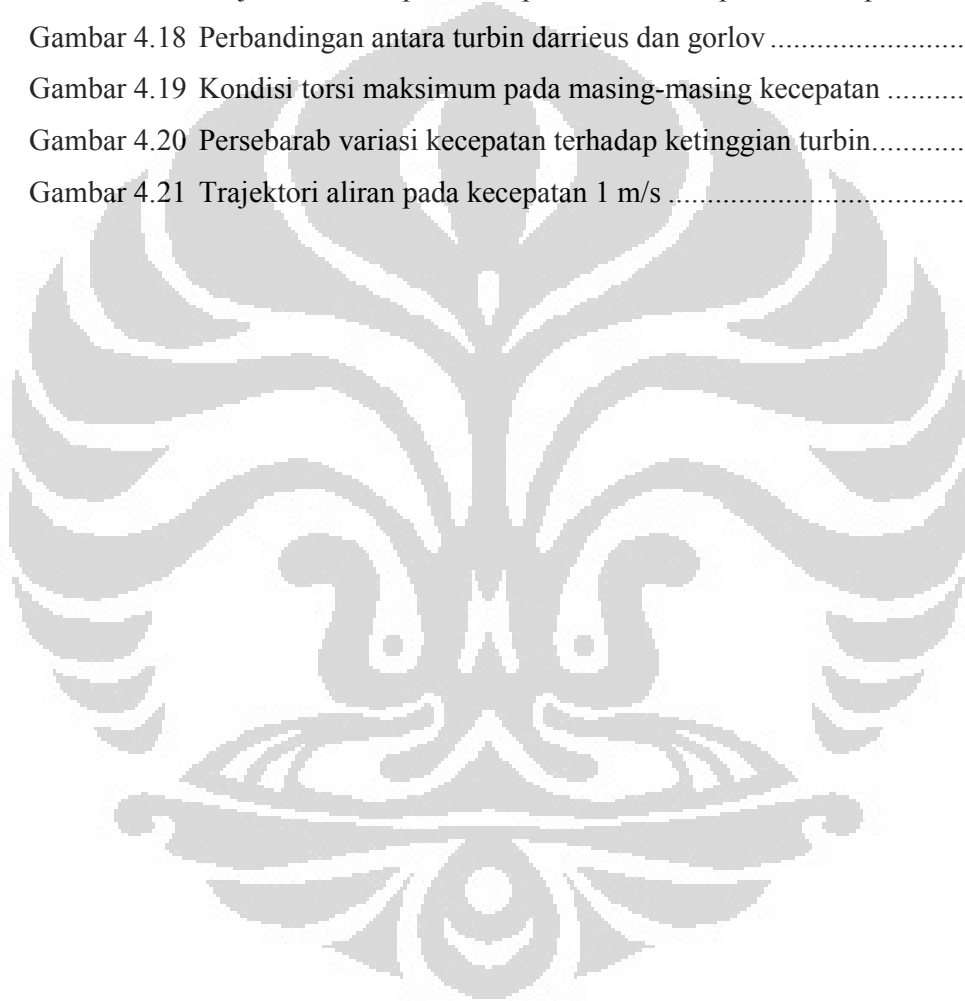
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	vi
ABSTRAK .....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR NOTASI .....	xv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvi
<b>1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Pembahasan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	3
<b>2. LANDASAN TEORI.....</b>	<b>4</b>
2.1 Energi Arus Laut .....	5
2.1.1 Gambaran umum .....	5
2.1.2 Potensi arus laut .....	6
2.1.3 Konveksi arus laut .....	6
2.2 Konsep dasar Hydrofoil .....	8
2.2.1 Hydrofoil .....	8
2.2.2 Vorteks .....	10
2.2.3 wake .....	11
2.2.4 Self-start .....	12
2.2.5 Sudut serang .....	12
2.2.6 Tip speed ratio .....	13
2.3 Gaya Lift Hydrodinamika .....	14
2.4 Lapisan Batas dan Separasi Aliran .....	14
2.4.1 Lapisan batas .....	14
2.4.2 Separasi aliran .....	16
2.4.3 Separasi aliran pada model hydrofoil .....	16
2.5 Perancangan Turbin .....	17
2.5.1 Penentuan jumlah blade .....	17
2.5.2 Perhitungan chord .....	17
2.6 Kajian Aliran Fluida .....	18
2.6.1 Metode komputasi numerik .....	19
2.6.2 Diskritisasi .....	20
2.6.3 Kondisi batas .....	20

2.6.4 Tahapan CFD .....	21
2.7 Metode K-epsilon .....	21
<b>3. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>23</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	23
3.2 Metode Model .....	25
3.2.1 Pemilihan naca .....	25
3.2.2 Desain daya.....	26
3.2.2.1 Penentuan jumlah blade.....	26
3.2.2.2 Penentuan chord.....	27
3.2.2.3 Penentuan daya.....	28
3.2.3 Kondisi batas dan model simulasi naca.....	28
3.2.3.1 Tahapan simulasi.....	28
3.2.3.2 Initial meshing.....	29
3.2.3.3 Meshing.....	29
3.2.4 Geometri turbin .....	31
3.2.5 Alur simulasi CFD .....	33
<b>4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>35</b>
4.1 Naca dan Penentuan Center of Pressure .....	35
4.1.1 Naca.....	35
4.1.2 Penentuan center of pressure .....	40
4.2 Turbin Gorlov.....	45
4.2.1 Analisa turbin gorlov.....	46
4.2.1.1 Verifikasi data lapangan.....	46
4.2.1.2 Daya.....	47
4.3 Turbin darrieus .....	52
4.3.1 Analisa turbin darrieus .....	52
4.2.1.1 Perbandingan turbin darrieus dan gorlov.....	53
4.2.1.2 Analisa torsi maksimum.....	54
4.2.1.3 Variasi pitch angle.....	56
<b>5. PENUTUP.....</b>	<b>61</b>
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran .....	62
<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>63</b>

## DAFTAR GAMBAR

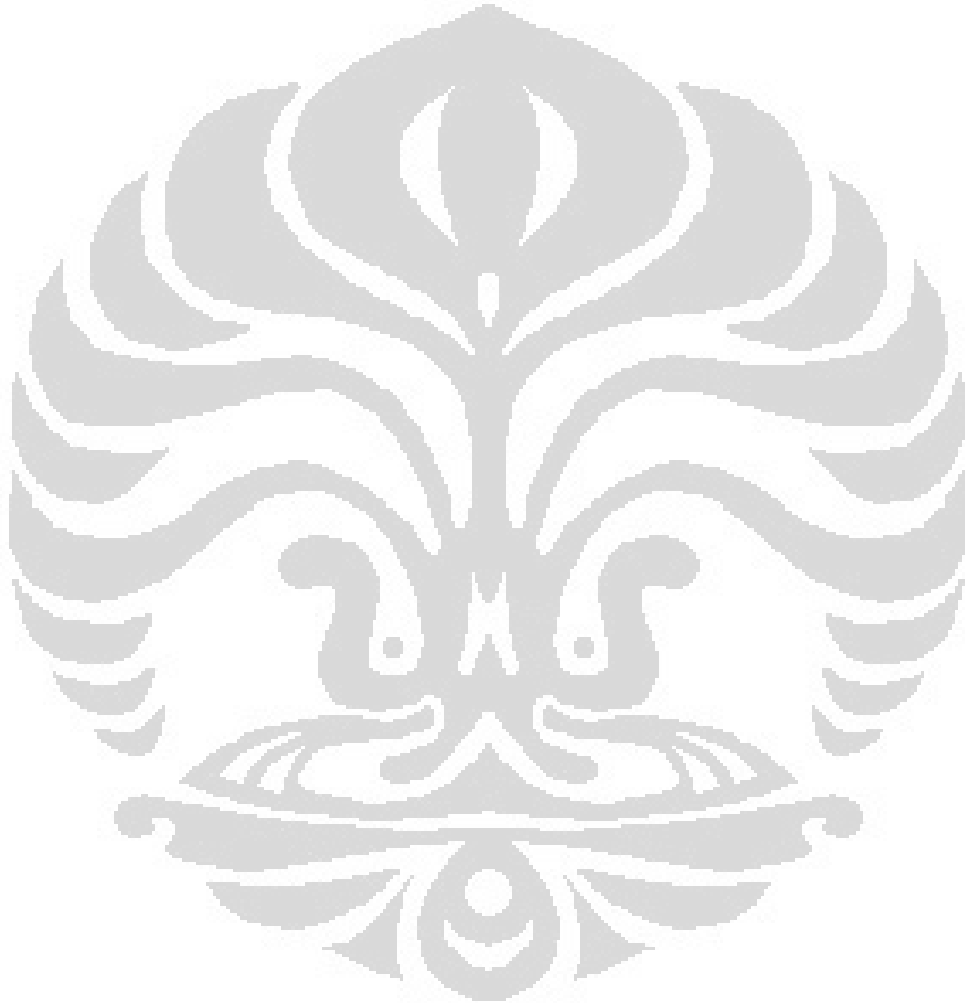
Gambar 1.1	Potensi kecepatan energi arus Indonesia .....	6
Gambar 2.1	Potensi lokasi pengukuran arus laut Nusa Penida.....	6
Gambar 2.2	Turbin vertikal aksis .....	7
Gambar 2.3	Turbin horizontal aksis .....	7
Gambar 2.4	Geometri pada naca.....	6
Gambar 2.5	Geometri pada naca .....	7
Gambar 2.6	Waking pada foil .....	8
Gambar 2.7	Angle of attack pada naca .....	7
Gambar 2.8	Lapisan batas di sepanjang plat rata .....	7
Gambar 2.9	Separasi aliran pada silinder .....	7
Gambar 2.10	Penampang blade .....	7
Gambar 3.1	Geometri naca 0018 .....	23
Gambar 3.2	Geometri pada blade .....	24
Gambar 3.3	Koordinat pada naca.....	24
Gambar 3.4	Domain aliran pada naca .....	25
Gambar 3.5	Separasi aliran terhadap sudut serang .....	25
Gambar 3.6	Geometri turbin darrieus .....	26
Gambar 3.7	Geometri tampak atas turbin darrieus .....	27
Gambar 3.8	Geometri turbin gorlov.....	28
Gambar 3.9	Simulasi CFD.....	24
Gambar 4.1	<i>Perbandingan simulasi naca dengan acuan</i> .....	39
Gambar 4.2	Perbandingan simulasi naca dengan perbedaan panjang chord .....	40
Gambar 4.3	<i>Coefficient drag pada panjang chord 0.3</i> .....	42
Gambar 4.4	<i>Variasi seperasi aliran pada sudut serang</i> .....	42
Gambar 4.5	<i>Grafik center of pressure naca 0018</i> .....	42
Gambar 4.6	<i>Kondisi pitch angle standart</i> .....	43
Gambar 4.7	<i>Kondisi pitch angle 20 derajat</i> .....	44
Gambar 4.8	<i>Kondisi pitch angle 25 derajat</i> .....	46
Gambar 4.9	Perbandingan pitch angle turbin darrieus.....	48

Gambar 4.10 Gaya-gaya pada blade .....	49
Gambar 4.11 Mekanisme kerja turbin gorlov.....	50
Gambar 4.12 RPM terhadap torsi yang dihasilkan .....	53
Gambar 4.13 Perbandingan studi lapangan dengan simulasi .....	55
Gambar 4.14 Pengaruh kecepatan arus laut dengan daya .....	56
Gambar 4.16 Perbandingan type naca 0018 dan 0020 turbin gorlov.....	57
Gambar 4.17 Trajektori aliran pada kecepatan 1 m/s dan putaran 30 rpm .....	57
Gambar 4.18 Perbandingan antara turbin darrieus dan gorlov .....	57
Gambar 4.19 Kondisi torsi maksimum pada masing-masing kecepatan .....	57
Gambar 4.20 Persebaran variasi kecepatan terhadap ketinggian turbin.....	57
Gambar 4.21 Trajektori aliran pada kecepatan 1 m/s .....	57



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik arus laut .....	5
Tabel 2.2	Tip speed ratio .....	17
Tabel 4.1	Data dari hasil simulasi lift coefficient .....	29
Tabel 4.2	Data dari hasil simulasi turbin gorlov .....	33
Tabel 4.3	Data dari hasil simulasi turbin darrieus .....	43



## DAFTAR NOTASI

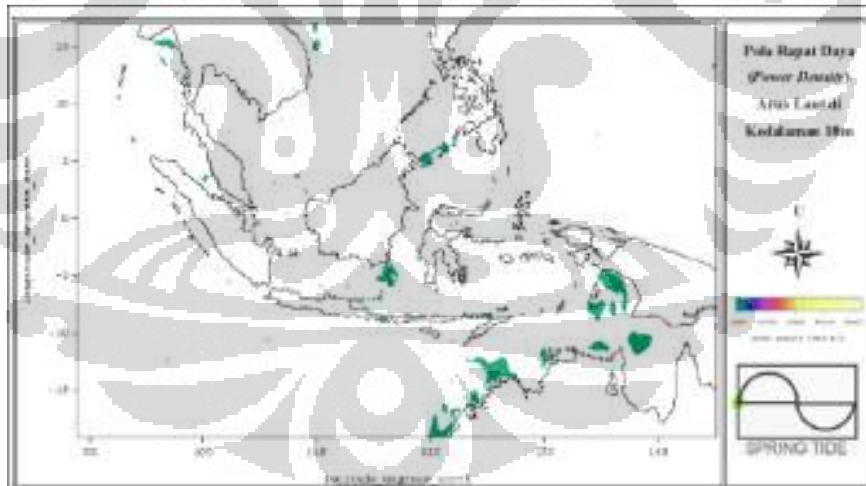
$A$	= Luas area benda ( $m^2$ )
$D$	= Total gaya drag (N)
$L$	= Panjang blade (m)
$P$	= Tekanan pada permukaan (Pa)
$\rho$	= Massa jenis fluida ( $kg/m^3$ )
$\mu$	= Viskositas dinamik ( $Ns/m^2$ )
$\nu$	= Viskositas kinematik ( $m^2/s$ )
$Re$	= Bilangan Reynolds
$C_D$	= Koefisien hambatan
$C_l$	= Coefficient lift
$C_p$	= Koefisien tekanan
$P_o$	= Tekanan (Pa)

## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan Negara kepulauan terbesar di dunia, dimana 63% wilayahnya terdiri dari samudera. Indonesia memiliki banyak pulau dan selat sehingga dimungkinkan terbentuk arus laut sebagai akibat interaksi bumi-bulan-matahari yang mengalami percepatan. Indonesia adalah tempat pertemuan arus laut yang diakibatkan pasang surut dominan di Samudera Hindia dengan periode sekitar 12 jam dan pasang surut dominan di Samudera Pasifik dengan periode lebih kurang 24 jam. Pasang surut yang dominan di Samudera Hindia diakibatkan gerak bulan mengelilingi bumi, sedangkan pasang surut yang dominan di Samudera Pasifik diakibatkan oleh kecenderungan orbit bulan saat mengelilingi bumi. Hasil kajian laut mempunyai potensi energi kinetik berupa angin, gelombang, dan arus laut yang mencapai 2.4 MW /m<sup>2</sup> (angin dan gelombang) seperti terlihat pada gambar yang diambil dari data PPPTKEBTKE:



**Gambar 1.1:** Potensi kecepatan energi arus Indonesia<sup>[8]</sup>

Berdasarkan data dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) permintaan akan energi akan terus meningkat dari tahun ke tahun. Diprediksikan sepuluh tahun kedepan, kenaikan permintaan menjadi 9% setiap tahunnya. Sementara sumber

energi konvensional yang merupakan sumber energi utama di Indonesia masih terbatas.

Maka dari itu, langkah yang dilakukan pemerintah untuk mengantisipasi kelangkaan energi di Indonesia antara lain melalui Kebijakan Energi Nasional, Kebijakan Strategis Nasional Pembangunan Iptek, serta Kebijakan Nasional Eksploitasi Laut yang menekankan sustainability energi melalui penciptaan dan pemanfaatan sumber energi terbarukan.

Fenomena pasang dan surut air laut akibat rotasi bumi dan bulan mengelilingi matahari mengakibatkan arus laut dari beda ketinggian saat laut pasang dan surut. Perubahan kecepatan arus air laut tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan energi listrik<sup>[5]</sup>. Energi pada pembangkit arus laut diakibatkan gaya gravitasi bulan dan matahari, rotasi bumi dan factor lain seperti topografi satu tempat dengan lainnya, konfigurasi benua antara lain selat, tanjung, teluk kemiringan tanah,dll.

Pada langkah selanjutnya, pada studi PLT-arus laut dilakukan analisa performa bilah turbin PLT-arus laut. Analisis performa PLT-arus laut dilakukan dengan menggunakan metode simulasi Computational fluids dynamics (CFD). Simulasi ini dilakukan untuk model aliran viskos turbulen 3 dimensi berbasis pendekatan finite volume. Analisa dilakukan untuk berbagai kondisi aliran seperti kecepatan arus laut dan putaran rotor. Parameter-parameter desain penting seperti torsi, koefisien daya, dan efisiensi bilah turbin.

## **1.2. Perumusan Masalah**

Pada penelitian ini dianalisa proses simulasi pola aliran dari turbin darrieus berdasarkan kondisi arus bawah laut dengan menggunakan Jenis Naca 0018 dan 0020. Penelitian ini menganalisis pengaruh sudut serang terhadap gaya angkat yang dihasilkan dengan pendekatan computational fluids dynamics.



### **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan desain turbin yang optimal dari turbin arus laut sehingga dapat menghasilkan daya rotor secara maksimal

### **1.4. Batasan Masalah**

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Aliran fluida yang melewati turbin arus laut bersumbu vertikal merupakan fluida satu fase.
2. Tipe blade yang digunakan adalah NACA 0018 dan NACA 0020 dengan jumlah blade 3 buah
3. Metode yang digunakan adalah simulasi CFD 2D dan 3D secara steady state.
4. Aliran yang mengalir adalah steady state

### **1.5. Manfaat penelitian**

Tujuan dari pengerjaan tugas akhir ini berusaha untuk dapat memanfaatkan energi arus laut sebagai pembangkit listrik.

### **1.6. Sistematika Penulisan**

Penulisan hasil penelitian ini dibagi dalam beberapa bab yang saling berhubungan. Adapun urutan dalam penulisan laporan ini terlihat pada uraian di bawah ini :

#### **BAB I : PENDAHULUAN**

Pada bab ini dijelaskan tentang latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

#### **BAB II : DASAR TEORI**

Pada bab ini diuraikan tentang studi literature yang berkaitan dengan penelitian skripsi ini

#### **BAB III: METODE PENELITIAN**

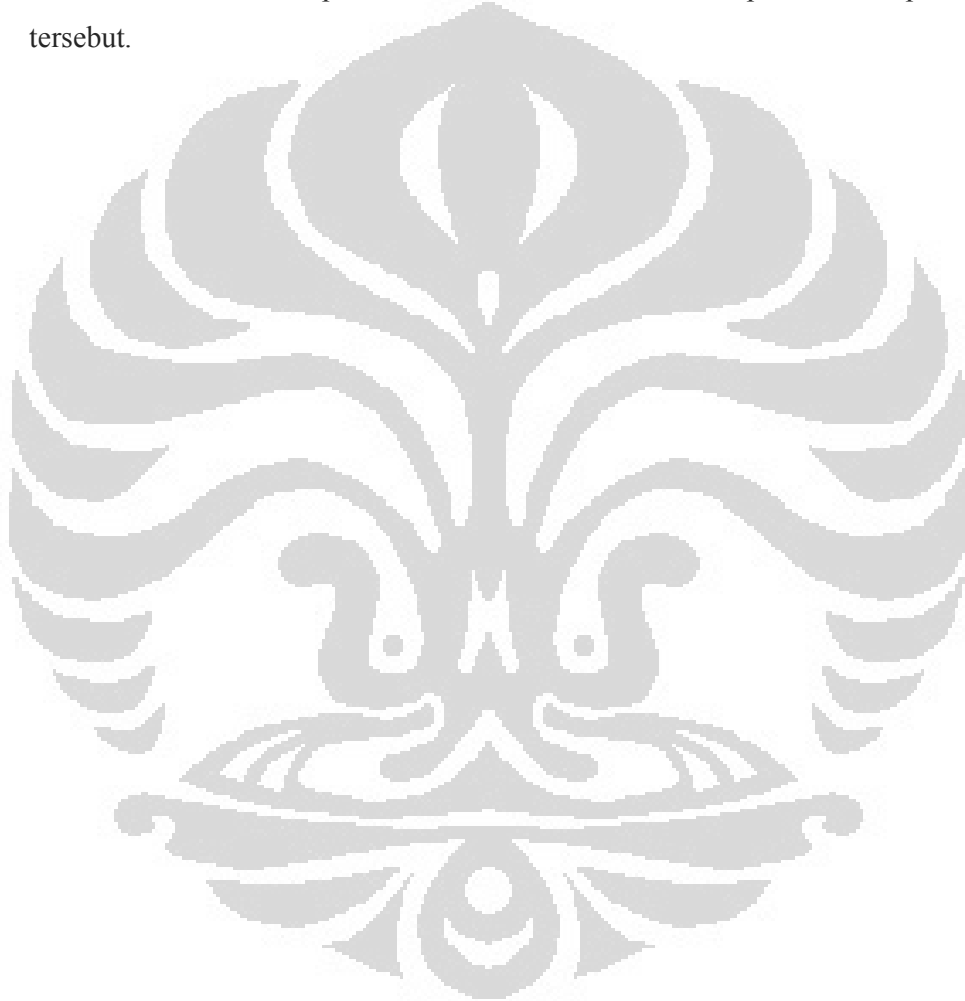
Pada bab ini berisi data-data hasil penelitian dan analisa dari hasil penelitian tersebut yang dibandingkan dengan hasil studi literature

#### BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi data-data hasil penelitian dan analisa dari hasil penelitian tersebut yang dibandingkan dengan hasil studi literature.

#### BAB V: PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan akhir berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian tersebut.



## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1. Energi arus laut

##### 2.1.1. Gambaran umum

Energi arus laut sebagai energi terbarukan dimana energi yang cukup potensial diwilayah pesisir terutama pulau-pulau kecil di kawasan timur <sup>[1]</sup>. Kawasan timur Indonesia seperti Propinsi Nusa Tenggara Timur umumnya berupa selat-selat sempit diantara 2 gugusan pulau seta penduduknya mayoritas hidup dari hasil laut.

Pemanfaatan teknologi pembangkit listrik tenaga arus laut dilakukan dengan studi potensi arus terbesar, dimana biasanya potensi kecepatan arus tertinggi untuk pembangkit listrik tenaga arus laut ditemukan diselat antar pulau. Berdasarkan data kecepatan arus laut yang dilakukan oleh pusat penelitian dan pengembangan teknologi kelautan di peroleh data-data kecepatan arus laut :

Tabel 2.1: Karakteristik arus laut

Kedalaman (m)	Kecepatan arus min (m/s)	Kecepatan arus maks (m/s)
3	0.011	3.436
5	0.004	3.676
7	0.011	3.531
9	0.016	3.462
11	0.015	3.441
13	0.014	3.505
15	0.026	3.527
17	0.014	3.350
19	0.014	3.283
21	0.006	3.087
23	0.010	3.105
25	0.019	2.928
27	0.015	2.381

Dari data yang diperoleh , pada daerah dengan arus yang dilewati seperti data di atas memiliki kecepatan yang memenuhi syarat sebagai pembangkit listrik tenaga arus (Gordon,2003).

### 2.1.2. Potensi arus laut

Pemilihan lokasi penelitian potensi arus laut yang dilakukan oleh PPPGL antara pulau nusa penida dengan pulau lembongan. Kecamatan Nusa Penida merupakan kecamatan terluas yang ada di kabupaten Klungkung. Dengan batas disebelah utara dan barat selat badung, sebelah timur selat Lombok dan sebelah selatan samudera Indonesia.



Gambar 2.1: Peta lokasi pengukuran potensi arus laut di pulau Nusa Penida

Hasil pengukuran arus laut yang dilakukan PPPGL di Selat Toyapakeh, Kabupaten Klungkung, Provinsi Bali, menunjukkan kecepatan rata-rata 1.0303 m/s pada kedalaman 4m, 1.1380 m/s pada kedalaman 6m, 1.2097 m/s pada kedalaman 8m dan 1.2786 m/s pada kedalaman 10m. Pada kecepatan arus laut pada kedalaman 4-10 m ini merupakan kedalaman potensial untuk memanfaatkan energi arus laut sebagai PLT-Arus Laut. Berdasarkan studi keekonomian arus laut yang potensial dijadikan PLT-Arus Laut memiliki kecepatan arus laut 1 m/s ke atas.

### 2.1.3. Konversi arus laut

Jenis turbin yang digunakan untuk pembangkit arus laut secara garis besar terbagi atas 2 bagian

- a) Vertical axis turbine

Vertikal aksis turbin dirancang tegak lurus dengan arah arus laut. Pada vertical aksis turbin memiliki efisiensi yang lebih besar, tetapi tidak stabil dan getaran yang dihasilkan lebih tinggi<sup>[8]</sup>. Keuntungan yang lain adalah ukuran blade pada turbin jenis VAT dapat ditingkatkan tanpa adanya batasan seperti pada turbin jenis HAT. Kerugian dari turbin jenis VAT adalah memiliki sifat self-start yaitu kekuatan suatu turbin untuk memulai berputar.



Gambar 2.2: Turbin vertical aksis<sup>[14]</sup>

b) Horizontal axis turbine

Pada horizontal aksis turbin dimana bilah turbin dirancang berlawanan arah dengan arah arus laut, karena kecepatan arus dan arah arus maka bilah turbin berputar. Konversi energi terjadi dari kecepatan dan arus air laut menjadi putaran turbin yang digunakan untuk memutar turbin. Hal ini juga dipengaruhi oleh perubahan beban-beban gaya, kedalaman, dan kemungkinan terjadinya kavitas.



**Gambar 2.3:** Turbin horizontal aksis<sup>[14]</sup>

Berdasarkan pertimbangan itu juga Turbin vertical axis memiliki torsi yang kecil pada saat start dikarenakan adanya tahanan dari bilah turbin yang berseberangan dari bilah turbin yang mendapatkan gaya.

Sehingga untuk mengantisipasi hal tersebut, turbin jenis ini memerlukan motor untuk start. Sebaliknya, turbin horizontal axis tidak membutuhkan motor penggerak awal karena tidak ada tahanan saat turbin mulai berputar.

Karena turbin horizontal harus dapat mengikuti perubahan arah dan perubahan inklinasi arus. Alat yang dibutuhkan oleh turbin ini memiliki desain yang kompleks dan biaya yang tinggi dan beberapa penyesuaian agar dapat beroperasi dan bertahan di dalam laut.

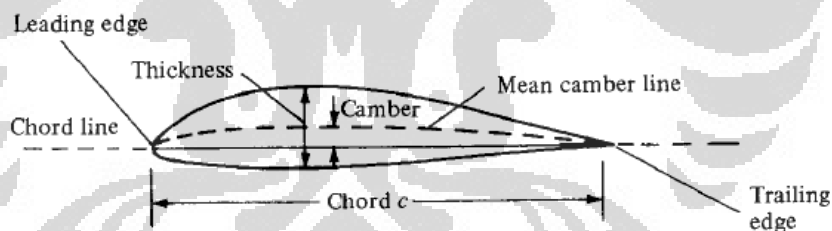
Dari pemikiran diatas, dapat disimpulkan bahwa turbin vertical axis sangat cocok untuk tempat yang arus lautnya cepat dan sering berubah. Dan turbin horizontal axis cocok untuk tempat yang arus laut stabil dan mudah diprediksi.

## **2.2. Konsep Dasar Hydrofoil**

### **2.2.1. Hydrofoil**

Pengertian hydrofoil adalah suatu penampang benda yang dirancang sedemikian rupa untuk mendapatkan reaksi terhadap aliran fluida yang dilaluinya<sup>[3]</sup>. Gaya-gaya hidrodinamika yang bekerja pada sebuah hydrofoil diperoleh dari sebuah hasil penjumlahan atau integrasi distribusi tekanan static dan tegangan geser sepanjang permukaan atas dan bawah hydrofoil, sehingga akhirnya diperoleh bilangan-bilangan tak berdimensi atau koefisien-koefisien seperti koefisien gaya angkat (coefficient of lift), koefisien gaya hambat (coefficient of drag) , dan koefisien gaya moment (coefficient of moment). Koefisien-koefisien tersebut dan koordinat titik pusat tekan aerodinamika adalah harga-harga yang dibutuhkan guna menentukan sifat-sifat dan karakteristik performa aerodinamika dari bentuk-bentuk hydrofoil sebagai fungsi sudut serangnya<sup>[3]</sup>.

Geometri serta karakteristik hidrodinamika dari hydrofoil sangat dipengaruhi kondisi dari aliran yang terdapat disekitarnya. Oleh karena itu dalam tahap awal perlu dilakukan pemahaman pada bagian –bagian hydrofoil seperti : Leading edge, Trailing edge, Chord line , Chamber , Mean Chamber , Mean chamber line, dan Thickness



**Gambar 2.4:** Geometri pada naca<sup>[3]</sup>

Jika hydrofoil tidak memiliki chamber , maka hydrofoil disebut hydrofoil simetris<sup>[1]</sup>. Hydrofoil simetris tidak menimbulkan lift jika sudut serang adalah  $0^0$ . Hal ini berbeda untuk jenis hydrofoil yang memiliki chamber dimana sudah dapat menghasilkan lift pada sudut serang  $0^0$ . Hydrofoil mempunyai bentuk streamline sehingga dapat menimbulkan aliran sirkulasi pada wilayah sekelilingnya. Pada bagian bawah hydrofoil akan bertekanan tinggi sedangkan bagian atas permukaan hydrofoil akan bertekanan rendah. Aliran sepanjang hydrofoil terdiri-dari :

- a. Aliran streamline

b. Aliran vorteks yang menyelubungi hydrofoil

Dimana menurut hukum Bernoulli<sup>[2]</sup>:

$$P_d + 1/2 \rho (v_r - v_c)^2 = P_z + 1/2 \rho (v_r + v_c)^2$$

$$\Delta P = P_d - P_z$$

$$\Delta P = 2 \cdot \rho \cdot v_r \cdot v_c$$

$$\Delta v = v_c - (-v_c) = 2v_c$$

Sehingga  $\Delta P = \rho \cdot v_r \cdot \Delta v$

Dimana :

$\Delta P$  = Perbedaan tekanan di atas dan di bawah pada hydrofoil

$\Delta v$  = Perbedaan kecepatan di atas dan di bawah hydrofoil

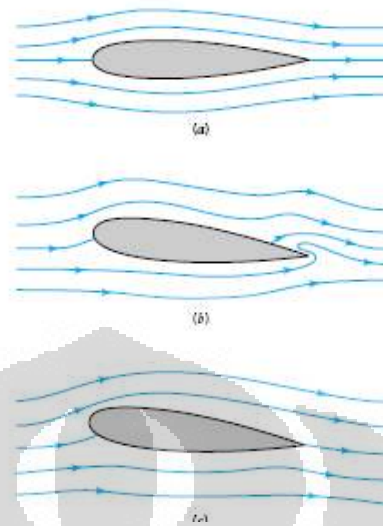
### 2.2.2. Vorteks

Untuk menganalisa dari aliran menggunakan sistem vorteks. Sistem vorteks pada hydrofoil merupakan Sesuatu yang bergerak didalam fluida. Sistem vorteks dibagi menjadi 3 bagian utama yaitu starting vorteks, trailing vorteks, dan bound vorteks.

Untuk menyederhanakan sistem, dapat disederhanakan dalam tinjauan daerah 2 dimensi. Karena adanya tekanan yang tinggi di daerah belakang titik stagnasi, maka akan menyebabkan partikel-partikel fluida yang mengalir menyusuri sepanjang trailing edge akan terlempar di jauhkan dari permukaan trailing edge<sup>[1]</sup>.

Gerakan-gerakan dari partikel fluida tersebut akan merupakan sirkulasi (vorteks) kecil-kecil yang merupakan suatu free vorteks yang terlepas dari boundary layar yang menyelubungi penampang hydrofoil (Burton, 2000). Vorteks tersebut di sebut sebagai starting vorteks. Starting vorteks menyebabkan terjadinya rangkaian tertutup yang akan merubah bentuk atau pola aliran streamline yang menyelubungi penampang hydrofoil. Kemudian titik stagnasi akan bergerak dan bergeser ke belakang mendekati trailing edge.



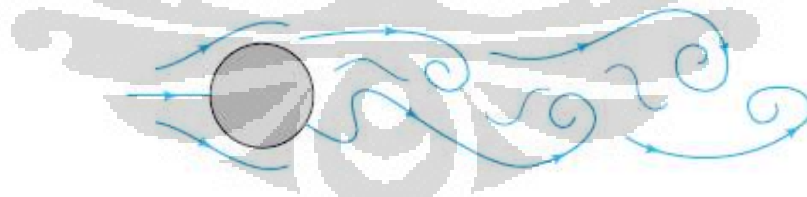


Gambar 2.5: Geometri pada naca<sup>[2]</sup>

Kekuatan dari starting vorteks dan sirkulasi bertambah besar hingga dimana pada saat itu titik stagnasi telah sampai dan berhenti di titik ujung belakang trailing edge dan kemudian starting vorteks akan hanyut menjadi satu dengan aliran fluida.

### 2.2.3. Wake

Wake adalah daerah aliran sirkulasi segera balik benda padat yang bergerak yang disebabkan oleh aliran disekitarnya <sup>[12]</sup>. Di dalam sistem aliran dinamika fluida, wake adalah aliran terganggu (biasanya bergolak) dari sebuah benda padat bergerak melalui sebuah fluida.



Gambar 2.6: Waking pada foil<sup>[2]</sup>

### 2.2.4. Self start

Self –start merupakan salah satu ciri khas yang dimiliki oleh turbin vertical aksis. Self start juga dapat dikatakan sebagai kemampuan turbin untuk dapat berakselerasi dari keadaan diam sampai pada keadaan dimana dapat

menghasilkan daya untuk berotasi. Menurut lunt (2005), saat ketika mesin dianggap mempunyai gaya awalan jika telah berakselerasi dari keadaan diam dimana blade beroperasi pada keadaan kecepatan tetap yang melebihi kecepatan fluida.

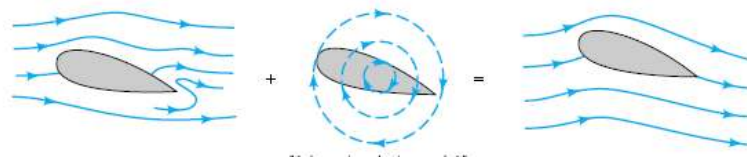
Self start terjadi ketika terdapat hydrofoil yang mempunyai sudut serang atau angle of attack besar. Ketika sebuah hydrofoil dalam turbin mulai berputar kearah rotasi turbin, maka gaya yang terjadi pada hydrofoil tersebut akan berubah. Berikut juga yang terjadi pada hydrofoil yang lain dalam suatu turbin. Gaya yang terjadi akan berubah sesuai dengan azimuth yang terjadi<sup>[7]</sup>. Hal ini dikarenakan pada posisi tertentu, turbin akan menghasilkan resultan gaya angkat nol dan terjadi stall pada turbin.

### 2.2.5. Sudut Serang (Angle of Attack)

Sudut serang adalah sudut yang dibentuk oleh tali busur sebuah airfoil dan arah aliran udara yang melewatinya yang diberi notasi  $\alpha$ <sup>[2]</sup>. Untuk hydrofoil simetris, besar lift yang dihasilkan akan nol, sedangkan pada hydrofoil tidak simetris, walaupun sudut serang tidak nol gaya angkat tetap timbul. Gaya angkat menjadi nol bila airfoil tidak simetris membentuk sudut negative terhadap aliran udara sehingga sudut serang dimana gaya angkat menjadi nol disebut zero lift angle.

Terdapat 2 jenis sudut serang pada hydrofoil<sup>[2]</sup> :

- Sudut serang mutlak  
Sudut serang mutlak adalah sudut serang sebuah hydrofoil diukur dari kedudukan zero angle lift ( cari gambarnya)
- Sudut serang kritis  
Sudut serang kritis adalah sudut serang dimana gaya angkat yang dihasilkan akan mencapai maksimum. Kondisi dimana diatas sudut serang tersebut gaya angkat akan turun sedang hambatan air akan membesar dengan cepat.



Gambar 2.7: Angle of attack pada naca<sup>[2]</sup>

### 2.2.6. TSR ( Tip Speed Ratio)

Tip Speed ratio menentukan karakteristik keluaran dari daya blade. Hal ini dapat dilihat dengan keluaran daya yang sama dimana blade pada keadaan turbin yang mempunyai TSR yang besar akan menghasilkan torsi yang besar.

Dengan demikian dalam pemanfaatan energi yang dihasilkan oleh turbin , jenis beban yang hendak diberikan harus disesuaikan dengan karakteristik keluaran agar mencapai hasil yang maksimal <sup>[9]</sup>. TSR ( Tip Speed ratio) merupakan perbandingan antara kecepatan tangensial pada ujung rotor dengan kecepatan air laut.

Perhitungan tip speed ratio dapat ditentukan dengan cara berikut :

$$\text{Tip speed ratio } (\alpha) = \frac{\text{Speed of rotor speed}}{\text{fluids ppeed}} = \frac{v}{V} = \frac{\omega r}{V}$$

Dengan V=Kecepatan fluida

$\alpha$ =Tip speed ratio

$$v = \omega \cdot r$$

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

F=frekuensi rotasi

Setelah didapatkan nilai tip speed ratio , maka dapat ditentukan nilai dari shaft speed dan torsi :

$$\text{Shaft speed} = \frac{60 \alpha \cdot v}{\pi \cdot D}$$

Dengan :

$\alpha$ = Tip Speed ratio

v= kecepatan air laut

$$\pi = 3.14$$

D= diameter blade

### 2.3. Gaya Lift Hydrodinamika

Setiap benda yang bergerak melalui sebuah fluida akan mengalami gaya netto dari fluida pada benda. Hal ini dapat berupa tegangan-tegangan geser,  $\tau_w$  akibat efek viskos dan tegangan normal akibat tekanan,  $p^{[2]}$ . Gaya lift memiliki arah tegak lurus terhadap arah kecepatan hulu. Gaya lift dirumuskan sebagai hasil kali koefisien lift, tekanan dinamis arus bebas dan luas karakteristik dari benda. Dapat ditulis sebagai berikut :

$$C_l = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho U^2 A}$$

Dengan  $C_l$ =coefficient lift  
 $L$ =gaya angkat  
 $\rho$  =densitas fluida  
 $U$  =kecepatan fluida  
 $A$  =luas area

Pada gaya lift, tegangan geser dinding,  $\tau_w$  hanya sedikit memberikan kontribusi terhadap lift dan kebanyakan berasal dari distribusi tekanan permukaan. Suatu alat yang didesain untuk menghasilkan lift bisa bekerja dengan menghasilkan suatu distribusi tekanan yang berbeda antara permukaan bagian bawah dan bagian atas. Untuk aliran dengan bilangan Reynolds yang besar, distribusi tekanan ini biasanya berbending langsung dengan tekanan dinamik,  $\frac{\rho U^2}{2}$ .

### 2.4. Lapisan Batas dan Separasi Aliran

#### 2.4.1. Lapisan Batas

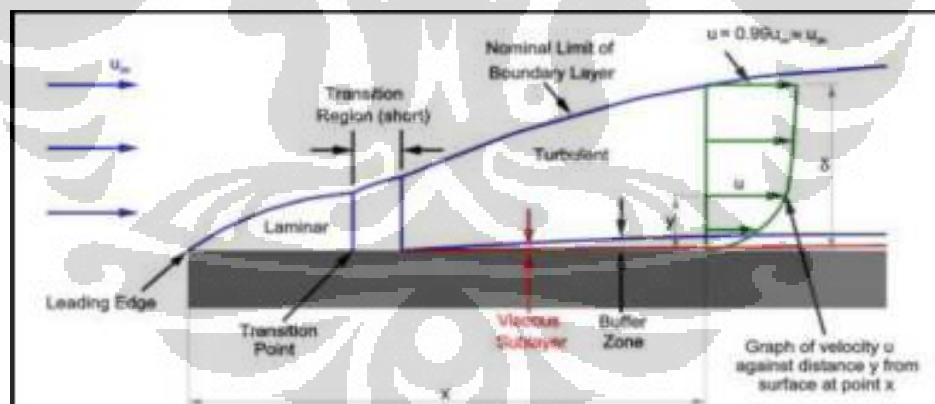
Konsep lapisan batas merupakan konsep yang dikembangkan oleh Ludwig Prandtl (1874-1953), seorang ilmuwan dari Universitas Göttingen. Lapisan batas muncul pada permukaan benda karena sifat viskositas dari fluida yang cenderung menempel pada permukaan. Lapisan tepat di atas permukaan yang bersifat stationer menyebabkan aliran fluida di atasnya melambat karena interaksi berupa

tumbukan antar molekul. Kecepatan pada daerah lapisan batas meningkat secara perlahan hingga mencapai kecepatan aliran bebas (freestream). Di luar daerah lapisan batas, fluida dengan kecepatan aliran bebas dapat dimodelkan sebagai fluida inviscid.

Lapisan batas menebal dengan arah yang sama dengan arah aliran, akibatnya perubahan kecepatan dari nol dipermukaan plat hingga freestream,  $U$  pada jarak  $x$  semakin jauh menjadi semakin besar. Laju perubahan kecepatan tadi menentukan gradient kecepatan di permukaan plat dan juga tegangan gesernya. Tegangan geser untuk lapisan batas laminar adalah<sup>[3]</sup> :

$$\tau = \mu \left( \frac{dv}{dy} \right)_{y=0}$$

Harga ini bervariasi terhadap jarak disepanjang permukaan karena profil kecepatan juga bervariasi terhadap jarak. Saat lapisan batas laminar mulai menebal, akan terjadi ketidakmampatan sehingga akan terbentuk lapisan turbulen. Peralihan dari lapisan batas laminar ke lapisan batas turbulen pada kekasaran permukaan dan tingkat turbulensi aliran bebas. Gambar 2.2 menunjukkan perkembangan lapisan batas pada sebuah plat datar sejajar dengan arah aliran.



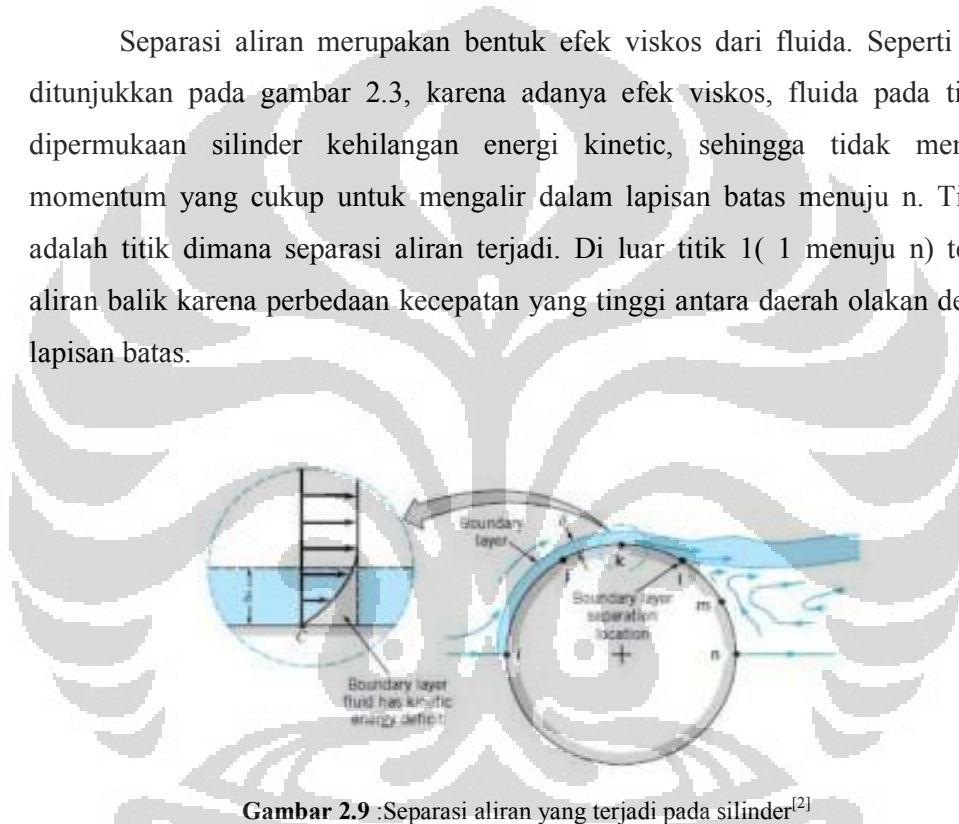
Gambar 2.8: Lapisan batas disepanjang sebuah plat rata<sup>[2]</sup>

Hal ini membutuhkan sebuah energi, sehingga lapisan dengan aliran yang lebih cepat pada daerah atas turut melambat, dan menghasilkan gradient kecepatan yang lebih tinggi, sehingga meningkatkan gaya gesekan viskos.

### 2.4.2. Separasi Aliran

Ketika kontur permukaan suatu benda berubah secara drastic, aliran fluida pada kondisi tertentu tidak mampu untuk bergerak mengikuti kontur tersebut dan mengalami separasi aliran. Separasi aliran menyebabkan munculnya daerah olakan yang memiliki tekanan rendah sehingga mempengaruhi gaya lift. Adanya daerah bertekanan rendah ini menyebabkan perbedaan tekanan antara bagian atas dan bawah.

Separasi aliran merupakan bentuk efek viskos dari fluida. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3, karena adanya efek viskos, fluida pada titik k dipermukaan silinder kehilangan energi kinetic, sehingga tidak memiliki momentum yang cukup untuk mengalir dalam lapisan batas menuju n. Titik 1 adalah titik dimana separasi aliran terjadi. Di luar titik 1( 1 menuju n) terjadi aliran balik karena perbedaan kecepatan yang tinggi antara daerah olakan dengan lapisan batas.



**Gambar 2.9** :Separasi aliran yang terjadi pada silinder<sup>[2]</sup>

Parameter yang menjadi ukuran terjadinya separasi aliran adalah bilangan  $Re$  yang menentukan perbandingan antara efek inersia dengan efek viskos pada aliran. Untuk sebuah silinder pada aliran terendam, pada bilangan  $Re$  rendah, separasi aliran terjadi karena lapisan batas laminar. Keberadaan lapisan batas memberikan pengaruh yang sangat besar pada gaya lift yang dialami oleh benda pada aliran terendam. Oleh karena itu mempertahankan agar lapisan batas tetap menempel pada permukaan menjadi penting dalam peningkatan gaya angkat.

### 2.4.3. Separasi Aliran pada Model Airfoil

Untuk memodelkan separasi aliran dalam kajian hydrodinamika aliran terendam, digunakan model airfoil dengan type Naca 0018. Bentuk dari airfoil ini

memiliki karakteristik pola simetris pada bagian atas dan bawah. Penelitian yang dilakukan oleh Robert E shaldahl secara eksperimen , untuk type Naca 0018 dengan panjang chord 152.4 mm dengan nilai Reynolds Number 80000 menunjukkan perbedaan gaya lift pada sudut serang.

Penelitian yang dilakukan Untuk Reynolds number 80000 memvariasikan sudut serang mulai dari  $0^0$  hingga  $180^0$ . Pola aliran pada sudut  $10^0$  masih menempel pada permukaan bidang dengan lift coefficient sebesar 0.6248 dan pada sudut  $11^0$  telah mengalami stall dimana terjadi penurunan nilai coefficient lift yang mengakibatkan gaya angkat berkurang dan gaya geser bertambah<sup>[2]</sup>. Penurunan lift coefficient terjadi hingga sudut serang  $16^0$  dan mengalami kenaikan pada sudut serang  $20^0$ . Separasi aliran pada kondisi stall menunjukkan pola aliran yang sudah tidak menempel pada permukaan bidang.

## 2.5. Perancangan turbin

### 2.5.1. Penentuan jumlah blade

Jumlah blade (B) dipengaruhi oleh nilai *tip speed ratio* ( $\lambda$ ) desain, yang diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut<sup>[3]</sup>:

$$\lambda = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot n}{60 \cdot V}$$

Dimana : R = radius turbin angin  
n = putaran generator  
V = kecepatan angin

Dari table berikut ini, ditentukan jumlah blade (B) yang dipergunakan, yaitu

**Tabel 2.2** : Tip speed ratio

$\lambda$	B
1	6 – 20
2	4 – 12
3	3 – 6
4	2 – 4
5 – 8	2 – 3
8 – 15	1 – 2

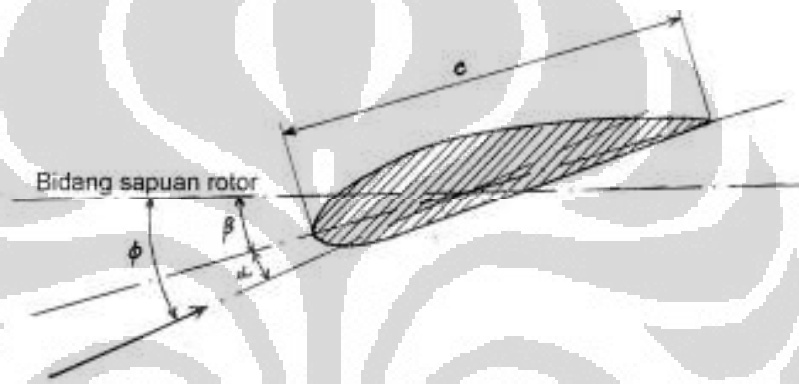
### 2.5.2. Perhitungan chord

Perhitungan chord dan blade setting dilakukan dengan beberapa langkah sebagai berikut:

- Membagi blade dengan radius R menjadi beberapa bagian yang sepadan. Untuk desain ini, blade dibagi menjadi 7 bagian. Masing –masing bagian akan menghasilkan penampang blade.
- Tiap penampang mempunyai jarak r terhadap sumbu rotor. Local speed ratio ( $\lambda_r$ ) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$(\lambda_r) = \lambda \cdot \frac{r}{R}$$

- Nilai local speed ratio di atas dipergunakan dalam persamaan berikut untuk mendapatkan sudut inklinasi ( $\Phi$ ) untuk tiap penampang blade.



**Gambar 2.10** : Penampang blade

$$\Phi = \frac{2}{3} \arctg \frac{1}{\lambda_r}$$

- Nilai chord (c) untuk tiap penampang diperoleh dengan rumusan berikut:

$$c = \frac{8 \cdot \pi \cdot r}{B \cdot Cl} (1 - \cos \Phi)$$

dimana : B = jumlah blade

Cl = coefficient lift

- Dengan rumus berikut, didapatkan blade setting dengan sudut  $\beta$  untuk tiap penampang blade.

$$\beta = \Phi - \alpha$$

## 2.6. Kajian Aliran Fluida

Kajian teoritis dan eksperimental di dalam fenomena aliran fluida dikembangkan atas beberapa metode. Untuk memahami fenomena aliran fluida umumnya digunakan 3 pendekatan yang terdiri-dari :



- Pendekatan teoritis
- Pendekatan eksperimental
- Pendekatan komputasi numerical

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode komputasi numerical

### 2.6.1. Metode Komputasi Numerikal

Persamaan dasar mekanika fluida yang menjadi persamaan atur suatu fluida didasarkan atas 3 prinsip berikut <sup>[10]</sup>.

- Hukum kekekalan massa

Dimana massa tidak dapat diciptakan dan tidak dapat

$$\frac{\delta \rho}{\delta t} + \text{div}(\rho u) = 0$$

- Hukum momentum linear

Yaitu laju perubahan momentum dari suatu volume fluida sebanding dengan gaya yang bekerja padanya

$$\rho \frac{\delta p}{\delta t} = -\text{grad } p + \rho b$$

- Hukum kekekalan Energi

Yaitu energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan

$$E_{total} = E_{kinetik} + E_{internal}$$

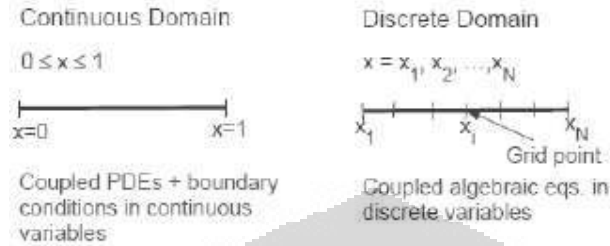
Persamaan-persamaan ini merupakan persamaan non-linear diferensial parsial dan merupakan persamaan atur pada banyak aplikasi di bidang engineering khususnya mekanika fluida. Sulit untuk menyelesaikan persamaan ini secara analitis. Tetapi begitu, dimungkinkan untuk mendapatkan solusi dari persamaan itu dengan menggunakan pendekatan berbasis computational fluids dynamic (CFD)

Strategi pemecahan permasalahan terkait persamaan atur di atas adalah dengan proses diskritisasi yaitu merubah continous domain menjadi discrete domain dengan menggunakan grid. Pada continous domain, setiap variable aliran didefinisikan pada tiap titik domain. Misalkan tekanan P pada daerah 1dimensional kontinyu didefinisikan sebagai berikut <sup>[17]</sup>:

$$P=p(x), 0 < x < 1$$

Pada discrete domain, tiap variable didefinisikan hanya pada titik grid. Misalnya pada daerah diskrit berikut, tekanan didefinisikan hanya pada N grid:

$$P_i = p_i(x), i=1, 2, \dots, N$$



Pada solusi CFD, nilai variable aliran ditentukan hanya pada titik grid. Nilai pada titik-titik lainnya ditentukan dengan interpolasi nilai pada titik grid. Gambar di bawah ini menunjukkan contoh grid yang digunakan dalam penyelesaian solusi aliran 2D yang melewati airfoil.

### 2.6.2. Diskritisasi Menggunakan Finite-Volume Method

Pada metode volume hingga, grid disebut cell dan pada titik grid disebut node. Jenis dari cell berbeda-beda yaitu quadrilateral, triangular, hexahedral, tetrahedral, prisma. Pada pendekatan ini bentuk integral dari persamaan kekekalan pada volume atur digunakan untuk membentuk persamaan diskrit pada cell /grid.

### 2.6.3. Kondisi Batas dan Karakteristik Grid

Kondisi batas adalah suatu kondisi untuk batasan sebuah control volume tersebut. Dalam analisa menggunakan CFD seluruh titik dalam control volume tersebut dicari nilainya berdasarkan kondisi batas, Secara umum kondisi batas terdiri dari 2 macam inlet dan outlet. Inlet biasanya didefinisikan sebagai tempat dimana fluida memasuki domain yang telah ditentukan. Berbagai macam kondisi didefinisikan pada inlet seperti kecepatan, komposisi, temperature, tekanan dan laju aliran. Sedangkan pada outlet biasanya didefinisikan sebagai kondisi dimana fluida tersebut keluar dari domain.

Selain kondisi batas, hal lainnya yang perlu diperhatikan dalam CFD adalah karakteristik grid. Kompleksitas domain aliran fluida, numerical diffusion (kesalahan diskritisasi yang dapat timbul apabila grid tidak sejajar dengan arah

aliran) adalah factor –faktor yang menjadi pertimbangan dalam penentuan jenis grid yang digunakan. Faktor yang mempengaruhi pemilihan grid antara lain bentuk cell, bentuk geometri, struktur mesh, dan pembentukan grid.

#### 2.6.4. Tahapan Proses CFD

Secara umum langkah kerja CFD terdiri dari 3 tahapan sebagai berikut<sup>[10]</sup> :

a. PreProcessor

Pada tahapan ini proses yang dilakukan adalah:

- Mendefinisikan geometri model untuk menjadi domain komputasi
- Pembuatan grid
- Mendefinisikan properties fluida

b. Solver

Pada tahapan ini dilakukan proses komputasi numeric dengan menggunakan salah satu metode numeric :

- Pendekatan variable yang diketahui menjadi fungsi yang lebih sederhana
- Diskritisasi dengan substitusi pendekatan kedalam persamaan yang mengatur aliran
- Solusi dari persamaan aljabar

c. Post Processor

Pada tahapan ini hasil-hasil komputasi numeric divisualisasikan dan didokumentasikan untuk melakukan analisa dan lainnya.

#### 2.7. Metode k-epsilon

Untuk memodelkan aliran pada region turbulen terdapat beberapa pendekatan yang umum digunakan. Salah satu model pendekatan adalah model k-epsilon. Pemodelan dengan sistem ini memberikan keuntungan berupa efisiensi sumber daya komputasi, kestabilan perhitungan numerical dan akurasi solusi yang dihasilkan.

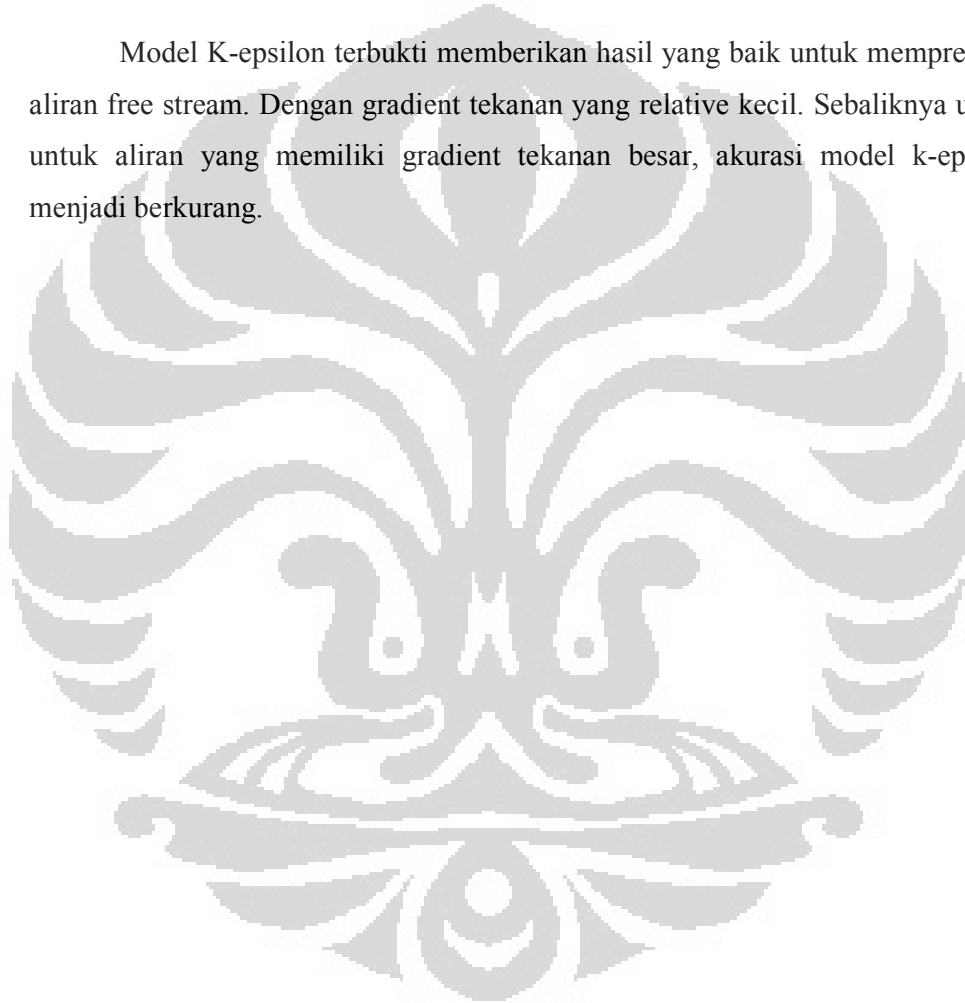
Model k-epsilon terdiri dari dua persamaan yang mewakili parameter turbulen suatu aliran. Persamaan pertama adalah persamaan energi kinetic turbulen,  $k$ , yang digunakan untuk menentukan besar energi turbulensi. Persamaan kedua adalah persamaan disipasi turbulen,  $\epsilon$  dan digunakan untuk menentukan skala turbulensi. Persamaan energi kinetic turbulen  $k$ <sup>[10]</sup> :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k + P_b + \rho \epsilon - Y_m + S_k A$$

Persamaan dissipasi turbulen  $\epsilon$  adalah:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (P_k + C_{3\epsilon} P_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon$$

Model K-epsilon terbukti memberikan hasil yang baik untuk memprediksi aliran free stream. Dengan gradient tekanan yang relative kecil. Sebaliknya untuk aliran yang memiliki gradient tekanan besar, akurasi model k-epsilon menjadi berkurang.



## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

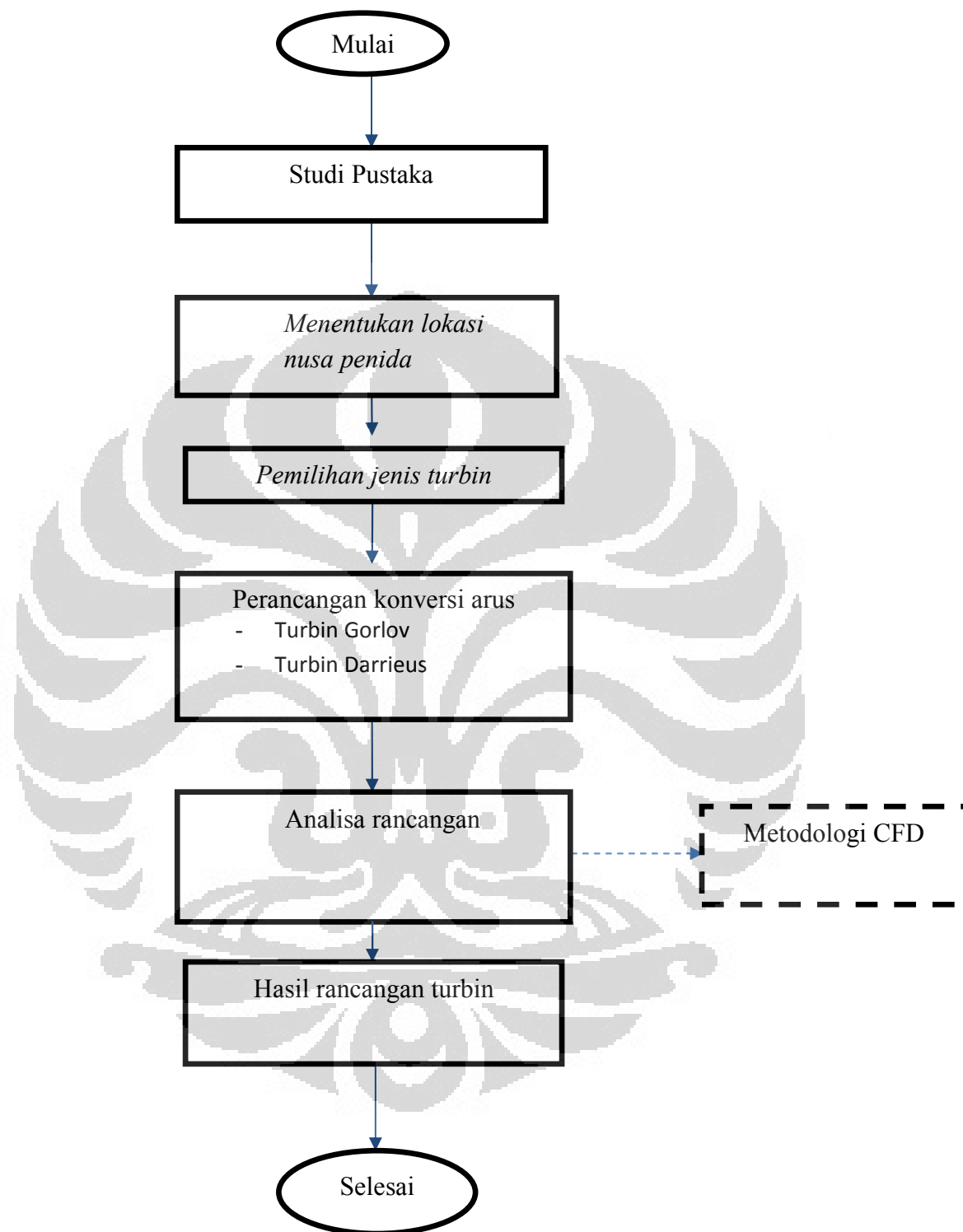
### 3.1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini mengkaji dan menganalisa aliran dalam turbin vertikal axis mulai dari pemilihan naca serta simulasi hingga analisa pitch untuk dapat menghasilkan daya yang optimal. Jenis turbin yang digunakan adalah turbin darrieus dan turbin gorlov. Metode pendekatan yang dilakukan adalah metode komputasional.

Beberapa parameter yang menggambarkan fenomena aliran disekitar model diantaranya medan aliran, gaya lift hydrodinamika, dan torsi yang dihasilkan. Sebagai awal tahapan penelitian, digunakan pendekatan penelitian secara komputasional fluids dynamics ( CFD) dengan menggunakan software Solidworks flow simulation 2012 dan CFDSOF yang berbasiskan metode volume terbatas (FVM).

Metode CFD ini membantu mengetahui pola aliran fluida pada naca ( 2 dimensional ) untuk mengetahui kondisi dimana stall terjadi terhadap sudut serang dan gaya lift yang dihasilkan pada turbin vertikal axis terhadap torsi yang dihasilkan. Nilai –nilai parameter yang telah diperoleh kemudian disajikan dalam bentuk grafik, diagram dan kontur sehingga memudahkan dalam melihat perbedaan-perbedaan sudut serang terhadap lift coefficient, torsi yang dihasilkan antara turbin darrieus dan turbin gorlov dan pengaruh pitch terhadap torsi yang dihasilkan.

Berikut ini diagram alir penelitian yang secara menyeluruh menggambarkan tahapan-tahapan penelitian yang telah dilakukan :



## 3.2. Metode Model

### 3.2.1. Pemilihan naca

Dalam simulasi aliran metode aliran berbasis komputasi numerik dengan metode volume terbatas digunakan software solidworks flow simulation 2012 dan CFDSoft. Model turbin gorlov dan turbin darrieus digunakan dalam penelitian ini dikarenakan memiliki struktur dan kontur yang sesuai untuk dapat diterapkan untuk membangun pembangkit energi arus laut. Oleh karena langkah pertama adalah analisa naca yang digunakan. Pada metode ini dilakukan variasi sudut serang mulai dari  $0^{\circ}$  hingga  $45^{\circ}$  sehingga dapat diketahui kondisi dimana hydrofoil telah mengalami stall.

Nilai panjang chord (c) untuk tiap penampang diperoleh dengan rumusan berikut <sup>[3]</sup> :

$$c = \frac{8 \cdot \pi \cdot r}{B \cdot Cl} (1 - \cos\theta)$$

dimana : B= 3 ( jumlah blade turbin)

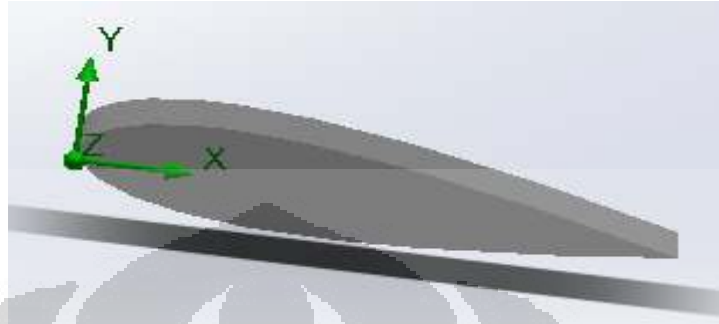
Cl=Coefficient lift

Hal ini agar proses penggambaran dari naca lebih teliti. Sehingga pada saat airfoil bergerak, maka akan timbul aliran sepanjang trailing edge. Karena ada tekanan yang tinggi di daerah belakang titik stagnasi, maka akan menyebabkan partikel fluida mengalir menyusuri sepanjang trailing edge hingga leading edge. Gambar di bawah ini menunjukkan geometri airfoil dengan type naca 0018. Pemilihan type naca 0018 didasarkan pada kondisi naca yang lebih stabil untuk kapasitas kecil<sup>[14]</sup>. Semakin tebal sudu maka semakin menurun putaran turbin dan semakin kecil torsi yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh mulai meningkatnya drag yang dihasilkan akibat gesekan dan semakin menurun lift yang dihasilkan untuk memutar turbin.



**Gambar 3.1** : Geometri naca 0018

Nilai dimensi domain aliran perlu ditetapkan agar efek-efek viskos yang berhubungan dengan wall tidak berpengaruh pada aliran disekitar model ( drela nad girls, 1987)



**Gambar 3.2:** Geometri pada blade

### 3.2.2. Desain daya

#### 3.2.2.1. Penentuan jumlah blade

Jumlah blade (B) dipengaruhi oleh nilai *tip speed ratio* ( $\lambda$ ) desain, yang diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut<sup>[3]</sup>:

$$\lambda = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,5 \cdot 80}{60 \cdot 1,2} = 3,4 \approx 4$$

Dari table berikut ini, ditentukan jumlah blade (B) yang dipergunakan, yaitu 3 buah.

#### 3.2.2.2. Penentuan profile blade

Profil yang dipergunakan adalah profil NACA 0018, profil ini umum dipergunakan pada turbin arus laut dengan radius 0.5 m. Berikut ini adalah profil chord NACA 0018.



x	y	x	y
1.0000000	0.00189	0.5079330	0.0786491
0.9997483	0.001943	0.4920670	0.080151
0.9989933	0.0021017	0.4762090	0.0815674
0.9977360	0.0023658	0.4603750	0.0828929
0.9959774	0.0027345	0.4445309	0.084122
0.9937195	0.0032067	0.4286826	0.0852494
0.9909644	0.0037811	0.4131759	0.0862698
0.9877149	0.0044561	0.3975967	0.0871781
0.9839743	0.0052297	0.3821205	0.0879693
0.9797465	0.0060999	0.3667631	0.0886385
0.9750355	0.0070643	0.3515398	0.0891813
0.9698463	0.0081203	0.3364660	0.0895924
0.9641840	0.0092649	0.3215569	0.0898707
0.9580542	0.0104953	0.3068275	0.0900095
0.9514633	0.0118093	0.2922925	0.0900065
0.9444177	0.0132004	0.2779667	0.0898586
0.9369247	0.0146683	0.2638645	0.0895634
0.9289917	0.0162082	0.2500000	0.0891186
0.9206268	0.0178165	0.2363873	0.0885226
0.9118383	0.0194894	0.2230400	0.0877739
0.9026352	0.0212228	0.2099715	0.0868718
0.8930265	0.0230129	0.1971952	0.085816
0.8830222	0.0248557	0.1847237	0.0846065
0.8726323	0.0267469	0.1725696	0.0832439
0.8618670	0.0286826	0.1607452	0.0817294
0.8507375	0.0306584	0.1492626	0.0800644
0.8392547	0.0326703	0.1381230	0.0782509
0.8274304	0.0347141	0.1273678	0.0762912
0.8152763	0.0367854	0.1169778	0.0741883
0.8028048	0.03888	0.1069735	0.0719452
0.7900285	0.0409936	0.0973649	0.0695654
0.7769600	0.0431218	0.0881617	0.0670528
0.7636127	0.0452603	0.0793732	0.0644116
0.7500000	0.0474046	0.0710083	0.0616459
0.7361355	0.0495503	0.0630753	0.0587603
0.7220333	0.0516928	0.0555823	0.0557596
0.7077075	0.0538276	0.0485367	0.0526484
0.6931724	0.05595	0.0419458	0.0494316
0.6784431	0.0580853	0.0358160	0.046114
0.6635340	0.0601387	0.0301537	0.0427003
0.6484602	0.0621952	0.0249644	0.0391953
0.6332369	0.0642199	0.0202839	0.0356035
0.6178795	0.0662078	0.0160256	0.0319292
0.6024033	0.0681537	0.0122351	0.0281767
0.5868241	0.0700523	0.0090357	0.0243496
0.5711575	0.0718984	0.0062306	0.0204517
0.5554191	0.0736866	0.0040226	0.0164862
0.5396250	0.0754114	0.0022640	0.012455
0.5237910	0.0770675	0.0010067	0.0083635

Gambar 3.3: Koordinat pada naca

### 3.2.2.3. Penentuan chord

Setelah itu dilakukan untuk menentukan panjang chord yang sesuai dengan karakteristik yang ada :

#### 1. Metode soliditas

Merupakan parameter non-dimensional primer yang mengkarakterisasi geometri dari turbin<sup>[3]</sup>.

$$\text{Solidity} = \frac{\text{Area blade}}{\text{area turbin}} = \frac{z A_B}{\pi R^2}$$

$$A_B = \int L(r) dr = \frac{1}{2} R L_{av}$$

$$\sigma = \frac{z L_{av}}{\pi D}, \text{ dimana soliditas adalah } 0.28$$

$$\text{Sehingga } L_{av} = \frac{\sigma \pi D}{z} = \frac{0.28 \cdot 3.14 \cdot 1000}{3} = 293,066 = 300 \text{ mm}$$

#### 2. Metode sudut inklinasi

Nilai panjang chord dapat diperoleh menggunakan persamaan<sup>[3]</sup> :

$$C = \frac{8 \cdot \pi \cdot r}{B C_l} (1 - \cos \varphi)$$

$$\text{Dimana } \varphi = \frac{2}{3} \arctan \frac{1}{\gamma r} = 25.641^\circ$$

$$\text{Sehingga } C = \frac{8 \cdot \pi \cdot r}{B C_l} (1 - \cos 25.641)$$

$$C = \frac{8 \cdot 3.14 \cdot 0.5}{3 \cdot 1.16032} (1 - 0.9015) = 0.3 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$$

#### 3.2.2.4. Penentuan daya

Berdasarkan studi literature arus laut potensial untuk pembangkit listrik tenaga arus laut, memiliki kecepatan minimal 1 m/s untuk dapat menghasilkan daya. Daya yang diperoleh dapat menggunakan persamaan di bawah ini :

$$P = SF \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A V^3$$

Dimana : P = Daya  
 $\rho$  = Massa jenis  
 V = Kecepatan arus laut  
 SF = Safety factor

#### 3.2.3. Kondisi Batas dan Model Simulasi Naca

Dalam kajian penelitian ini, model Naca dialiri oleh fluida (air) dengan variasi sudut serang yang berbeda mulai dari sudut serang 0 derajat hingga 30 derajat. Nilai ini dengan masing-masing bilangan Re 40000, 80000, 100000 dengan acuan panjang model uji. Dengan variasi Re, maka kecepatan yang diperoleh juga bervariasi.

##### 3.2.3.1. Tahapan Simulasi

Setelah pemodelan secara geometri, tahapan selanjutnya adalah pemodelan kondisi fisik yang mewakili kondisi nyata atau kondisi kerja yang diinginkan. Hal ini yang ditentukan adalah jenis analisa, efek gravitasi, rotasi, fluida kerja, jenis aliran, kelambaban, temperature ruangan, domain, dan type meshing.

Jenis analisa simulasi ini adalah external flow dimana fluida bekerja di luar ruangan dimana berada pada bagian luar dari naca pada saat terjadi momentum antara naca dengan fluida. Pada simulasi naca ini akan diperoleh besar lift coefficient ( koefisien angkat ) pada type naca 0018 dengan variasi sudut serang. Untuk mendapatkan nilai lift coefficient mengacu pada persamaan :

$$C_l = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho U^2 A}$$

Untuk nilai kecepatan searah pada sumbu x pada saat terjadi momentum pada leading edge. Kecepatan yang digunakan berdasarkan besarnya bilangan Reynolds number  $Re = \frac{\rho V d}{\mu}$  [1].

Feature rotation diaktifkan untuk pemodel kondisi ini. Jenis rotating frame yang dipakai adalah global rotating dimana keseluruhan model akan berputar pada sumbu referensinya dan dipilih adiabatic wall karena kondisi yang diinginkan adalah tidak ada kalor yang keluar masuk dari dinding.

### 3.2.3.2. Initial Condition

Initial condition atau kondisi awal pada analisa aliran di luar ruangan (external flow) didefinisikan sebagai kondisi lingkungan disekitar benda kerja. Sehingga pada simulasi nilai yang ditentukan adalah kecepatan dengan menggunakan persamaan dependency, tekanan dan temperature lingkungan.

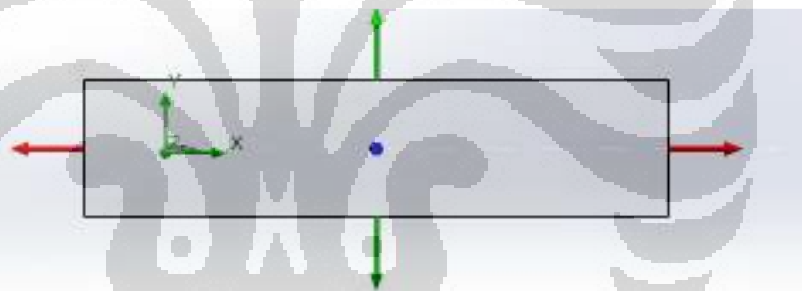
Thermodynamics parameters	Static Pressure : 100500 Pa Temperature : 298.15 K
Velocity parameters	Velocity vector Velocity in X direction : Equation Dependency Velocity in Y direction : 0 m/s Velocity in Z direction : 0 m/s Relative to rotating frame : off
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity : 2% Length : 0.00105675912

### 3.2.3.3. Meshing

Mesh yang digunakan adalah level 5. Semakin rapat selnya maka akan semakin akurat hasil perhitungan yang di dapat, namun akan menambah waktu

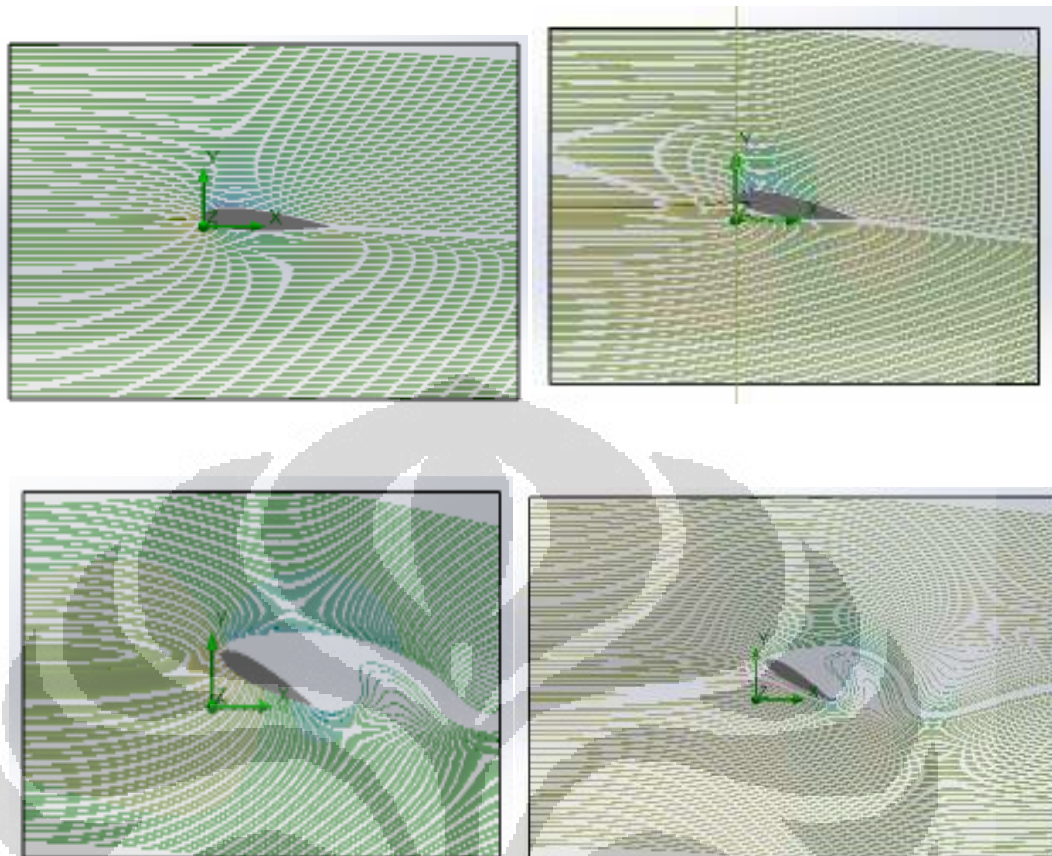
penyelesaian simulasi. Oleh karena itu sebelum di running, mesh pada model diperiksa terlebih dahulu agar tidak ada ukuran mesh yang besar meliputi ujung model yang berukuran jauh lebih kecil dari ukuran mesh.

Bila level mesh dipilih maka solver akan melakukan meshing dan memperhalus bagian-bagian yang dibutuhkan penghalusan mesh, seperti pada ujung-ujung atau sudut, bagian yang berkurva dan bagian-bagian yang sangat kecil dibandingkan dengan ukuran bagian lainnya pada model. Hasil akhir dari penghalusan mesh tergantung berdasarkan level mesh yang dipilih, semakin tinggi levelnya maka akan semakin halus seragam, yang terpenting adalah meshing yang halus meliputi bagian model yang perlu penghalusan mesh. Ukuran domain searah sumbu x sepanjang 10 kali panjang chord untuk mendapatkan pola separasi pada bagian belakang chord yang lebih teliti.



**Gambar 3.4:** Domain pada NACA

Pedekatan model aliran yang digunakan adalah model k-epsilon standart, karena aliran pada model telah berada pada region turbulen. Model K-epsilon standart ini telah digunakan secara luas dalam penelitian dan telah menunjukkan hasil yang sesuai dengan data eksperimen. Terlihat bahwa terjadi pemisahan dan transisi dari boundary layer pada bagian leading edge terhadap kenaikan sudut serang<sup>[7]</sup>.

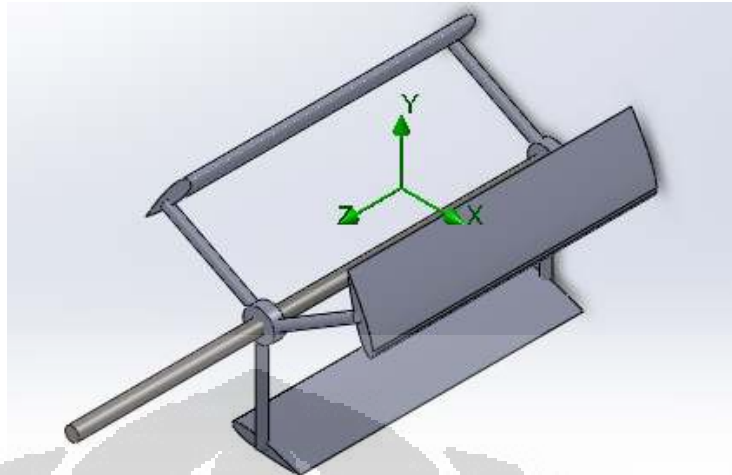


**Gambar 3.5** : Separasi aliran terhadap sudut serang naca

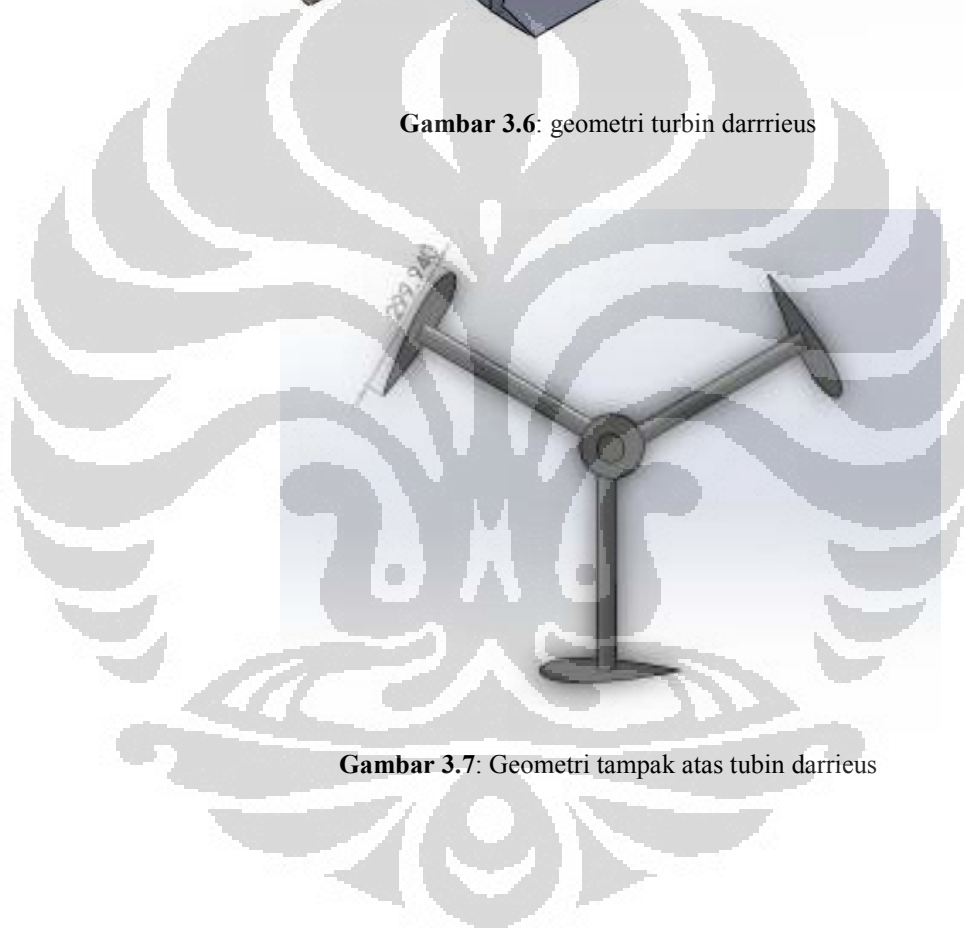
#### 3.2.4. Geometri Turbin

Dalam kajian penelitian pada turbin, model dari turbin dialiri oleh fluida air dengan variasi kecepatan yang berbeda-beda mulai dari 1 m/s -1.7 m/s searah dengan sumbu x positif. Setelah pada simulasi dengan menggunakan analisa 2 dimensional untuk mengetahui kondisi terjadi gaya angkat maksimum.

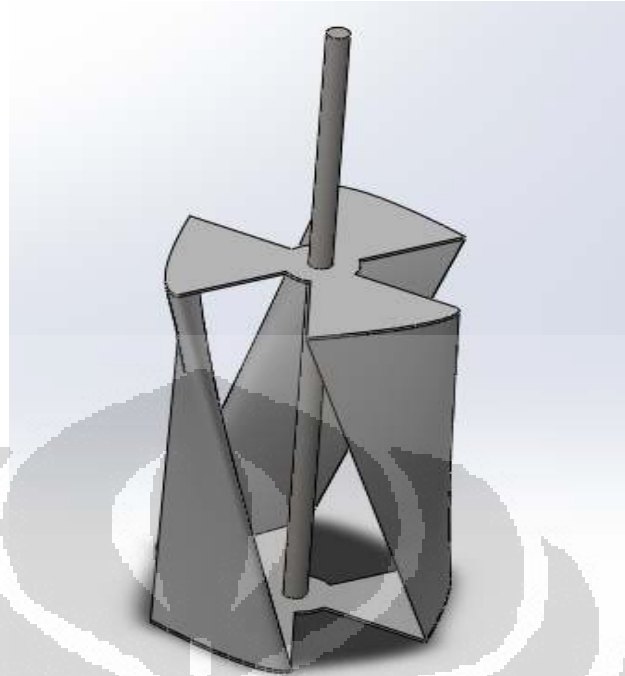
Pemodelan CAD blade pad turbin berdasarkan ukuran panjang chord, diameter turbin , tinggi turbin, tinggi shaft, type naca, koordinat naca dan tebal blade. Sehingga model dalam bentuk CAD adalah sebagai berikut :



**Gambar 3.6:** geometri turbin darrieus



**Gambar 3.7:** Geometri tampak atas turbin darrieus

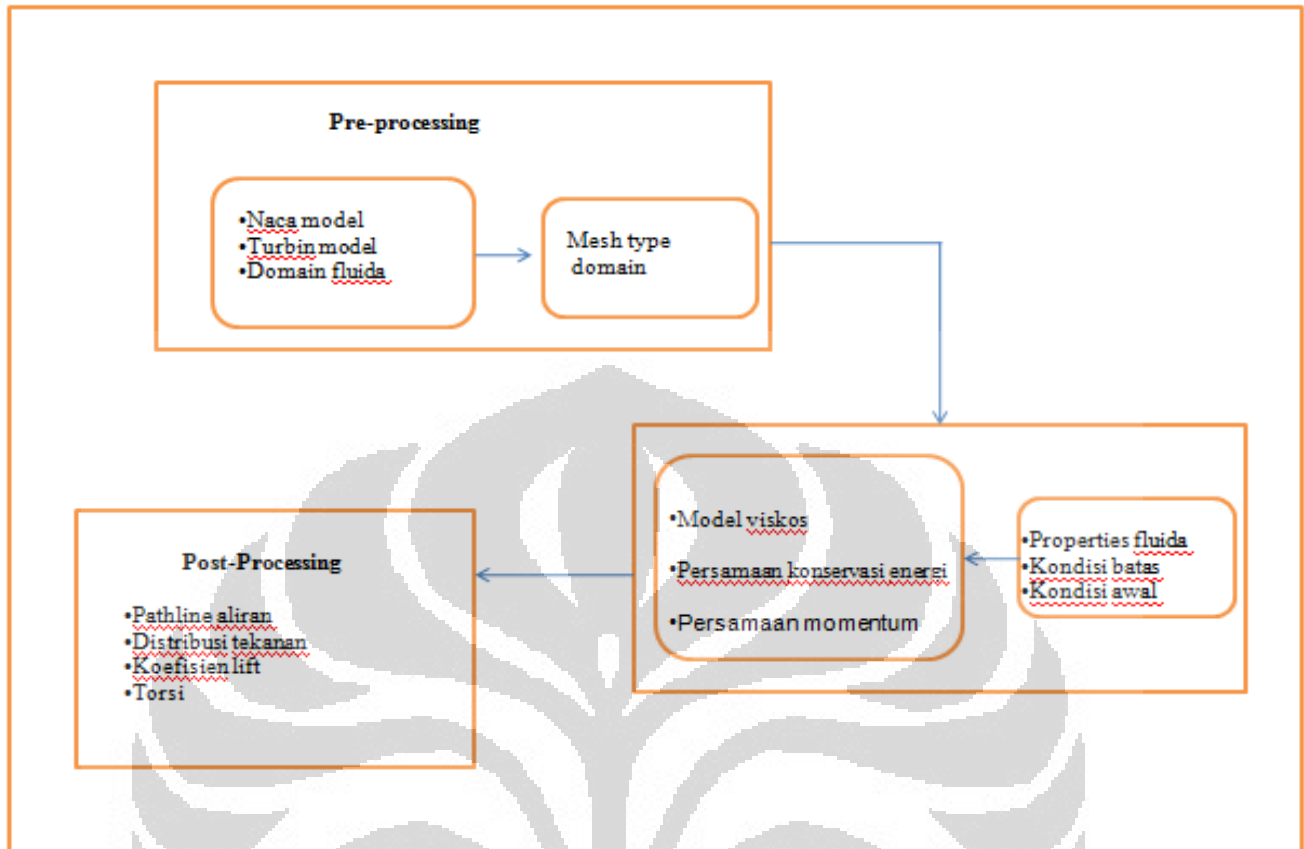


**Gambar 3.8:** geometri turbin gorlov

Pendekatan model aliran yang digunakan adalah dengan model k-epsilon standart. Model k-epsilon standart ini telah digunakan secara luas dalam permodelan hydrodinamika dan menunjukkan hasil yang mendekati dengan data eksperimen.

### **3.2.5. Alur simulasi CFD**

Di bawah ini dijelaskan alur dan tahapan-tahapan yang dilakukan dengan menggunakan pendekatan secara komputational fluids dynamics (CFD). Proses CFD yang dilakukan terbagi dari 2 dimensional untk mengetahui karakteristik NACA dan 3 dimensional untk karakteristik blade.



Gambar 3.9. Simulasi CFD



## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

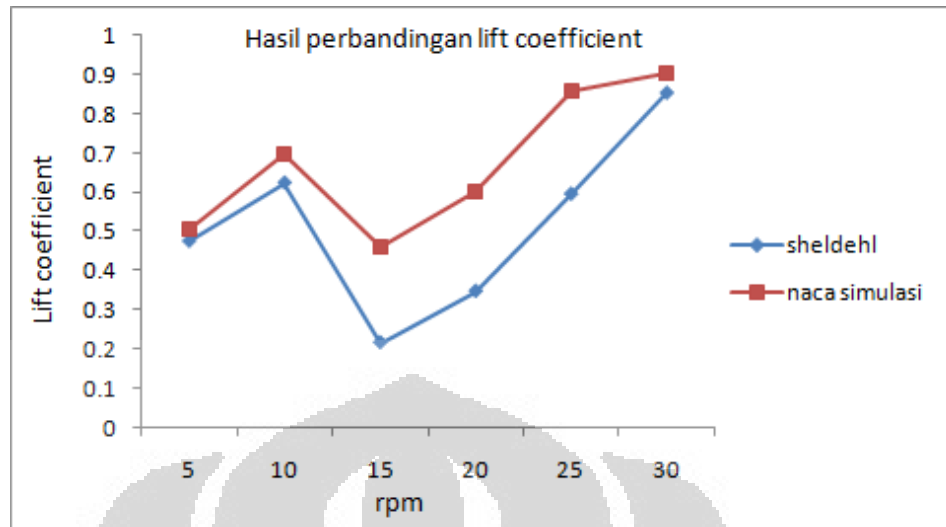
Untuk menganalisa pola dan struktur aliran serta melihat pengaruh dari jenis Naca dan pitch pada turbin vertikal axis. Pembahasan difokuskan pada medan aliran, daya yang dihasilkan serta besar gaya lift hidrodinamika yang muncul. Hasil dari perhitungan numerik CFD ditampilkan dalam bentuk gambar *pathline*, kontur penuh dan plot titik-titik distribusi dari parameter di atas.

Untuk analisa turbin pada masing-masing parameter, data yang diambil adalah untuk kecepatan 1 m/s, 1.2 m/s, 1.5 m/s dan 1.7 m/s dengan variasi torsi.

#### **4.1. Naca dan penentuan center of pressure**

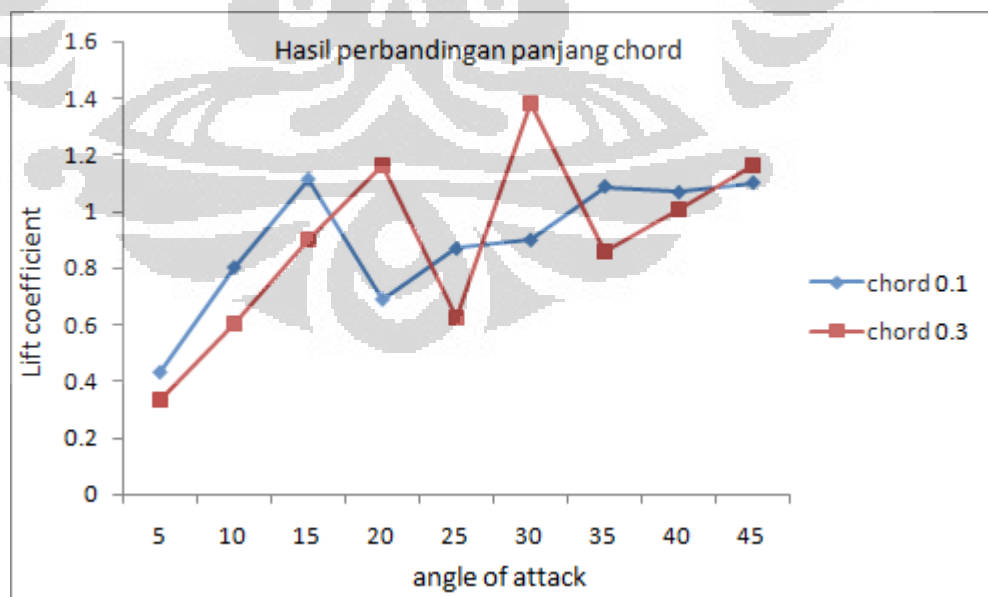
##### **4.1.1. Naca**

Naca sangat mempengaruhi sistem kerja dari turbin. Pemilihan jenis naca menjadi bagian yang sangat penting sehingga dapat menghasilkan energi secara maksimal. Jenis naca akan mempengaruhi geometri pada blade sehingga memiliki perbedaan swept area<sup>[13]</sup>. Hal ini mengacu pada kondisi aliran yang mempengaruhi kinerja sudu dai turbin. Diantara beberapa jenis sudu maka sudu yang baik untuk semau kecepatan aliran ada jenis sudu 0018 karena mempunyai koefisien lift bergerak naik seiring dengan kenaikan kecepatan aliran, namun tidak sama halnya untuk jenis naca yang lain yang mana nilai koefisien lift mulai bergerak naik pada kondisi Reynolds tertentu<sup>[14]</sup>.



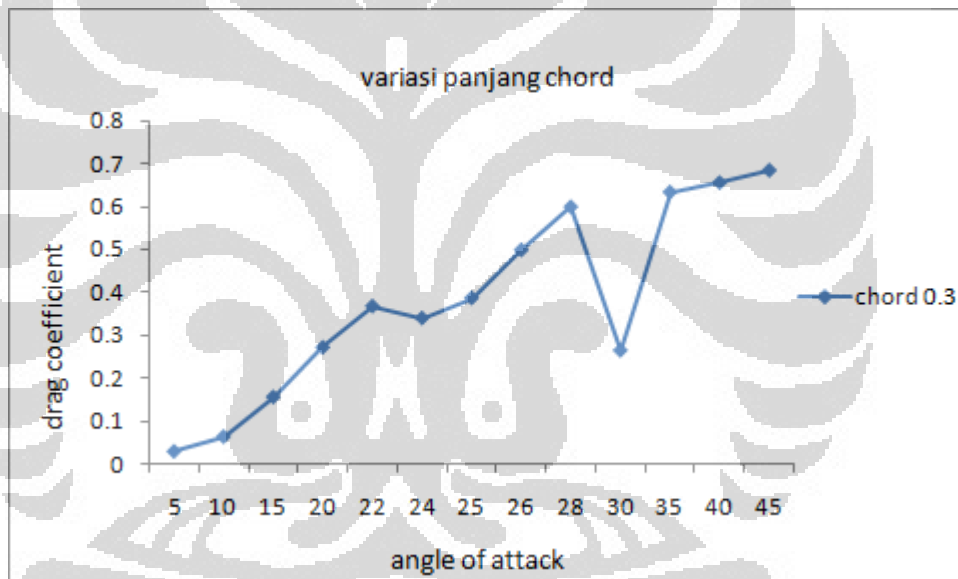
**Gambar 4.1:** Perbandingan hasil simulasi naca 0018 dengan acuan

Pada grafik di atas terlihat perbandingan hasil simulasi dengan acuan. Terlihat kondisi mulai terjadinya stall pada sudut serang sebesar  $10^0$ . Penelitian yang dilakukan pada jurnal acuan dengan menggunakan wind tunnel pada spesifikasi panjang chord sebesar 152.4 mm dan tinggi sebesar 910 mm. Kondisi ini memperlihatkan bahwa turbin mampu mengkonversi gaya angkat ke dalam bentuk torsi secara maksimal sebesar  $10^0$  sebelum terjadi kondisi dimana aliran memisah dari permukaan hydrofoil yang mengakibatkan kehilangan gaya lift dan meningkatkan gaya drag.



**Gambar 4.2:** Perbandingan hasil simulasi

Dari grafik diatas terlihat perbedaan kondisi dimana naca terjadi stall. Untuk naca dengan panjang chord sebesar 0.1 akan mengalami stall pada angle of attack sebesar 20 derajat sedangkan naca dengan panjang chord 0.3 mengalami stall pada kondisi 25 derajat. Hal ini disebabkan oleh luas area antara naca dengan panjang chord 0.1 berbeda dengan naca yang memiliki panjang chord 0.3. Melalui analisa drag coefficient terlihat bahwa terjadi drag pada sudut 25 derajat. Peningkatan drag yang diikuti dengan penurunan lift coefficient akan besar kemungkinan terjadinya stall pada naca<sup>[2]</sup>. Melalui ini dapat diketahui besar pitch angle pada blade vertikal aksis turbin sehingga dapat memaksimalkan putaran pada poros yang dapat menghasilkan energi yang lebih besar<sup>[7]</sup>.



**Gambar 4.3:** Coefficient drag pada panjang chord 0.3

Secara keseluruhan hasil simulasi dengan menggunakan flow simulation solidworks 2012 sudah mencapai konvergen hal ini dapat diperiksa dari parameter kecepatan dan sudut serangnya

Berikut ini adalah gambaran secara kuantitatif aliran yang terjadi pada naca yang dilakukan dengan pendekatan secara 2 dimensional :

(a) Sudut serang  $5^{\circ}$ (b) Sudut serang  $10^{\circ}$ (c) Sudut serang  $15^{\circ}$

(d) Sudut serang  $20^{\circ}$ (e) Sudut serang  $25^{\circ}$ (f) Sudut serang  $30^{\circ}$ **Gambar 4.4:** Variasi separasi aliran pada sudut serang

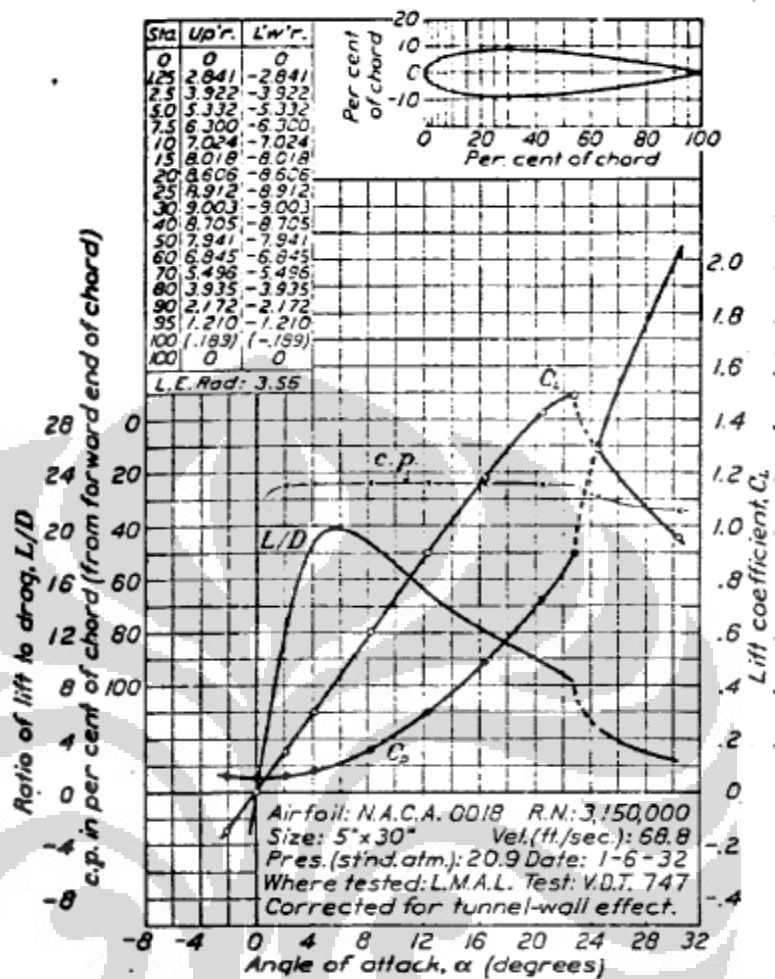
Sudut serang yang terlalu besar pada sebuah hydrofoil akan menyebabkan aliran terpisah dari permukaan foil dan mengakibatkan gaya angkat hilang dan gaya

dorong akan meningkat. Apabila sudut serang dikurangi, maka aliran tetap akan melekat pada permukaan hydrofoil <sup>[1]</sup>. Saat dimana gaya angkat pada sebuah hydrofoil maka kondisi tersebut disebut stall. Stall pada sebuah turbin dipengaruhi oleh stall pada sebuah hydrofoil yang terdapat pada turbin tersebut. Dari kontur separasi aliran type naca 0018 dengan panjang chord 0.3 terlihat pemisahan vorteks pada permukaan hydrofoil pada bagian trailing edge sehingga dapat meningkatkan gaya hambat pada hydrofoil.

#### 4.1.2. Penentuan center of pressure

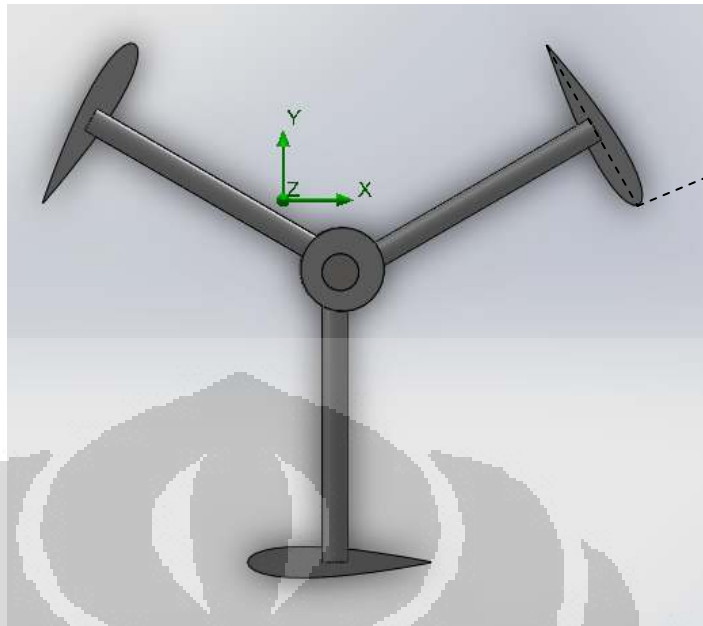
Posisi sudut serang pada blade ditentukan oleh pressure of center pada masing-masing naca yang berhubungan dengan angle of attack. Center of pressure adalah kondisi dimana resultant dari beban distribusi berada pada hydrofoil <sup>[3]</sup>. Jika momen berada pada center of pressure, efek integrasi dari beban distribusi menjadi nol. Ini menjadi point pada body dimana moment aerodinamic menjadi nol. Maka dari itu harus didefinisikan gaya dan sistem momen sebagai efek dari distribusi beban.

Di bawah ini akan ditampilkan persen center of pressure terhadap panjang chord sehingga dapat diketahui posisi dari center of pressure pada type naca 0018 (National Advisory Committee for Aeronautics).

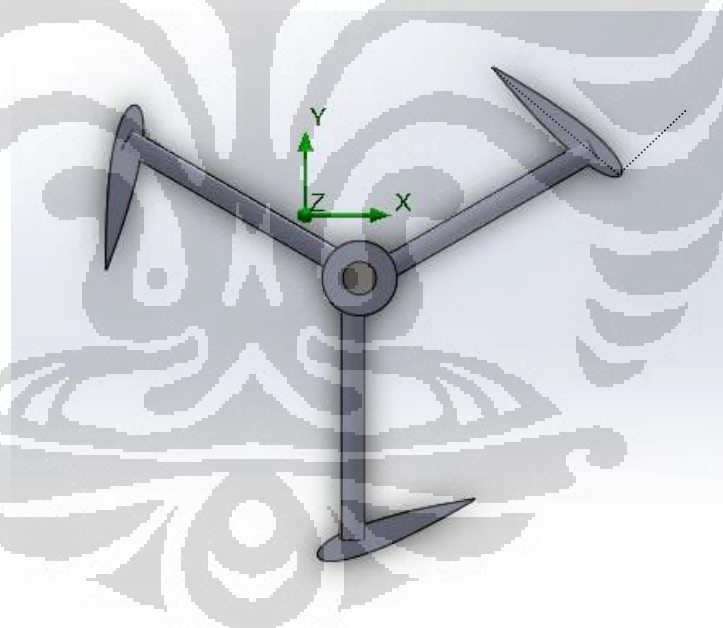


Gambar 4.5: grafik center of pressure naca 0018<sup>[18]</sup>

Dari grafik diatas dapat diketahui posisi center of pressure pada jenis naca 0018 terhadap sudut serang. Gambar di bawah ini adalah posisi blade yang mengacu pada letak center of pressure terhadap sudut serang. Hal ini juga karena menurut Edinburgh (2003), pada posisi azimuth tertentu turbin akan menghasilkan resultan gaya angkat yang maksimal.

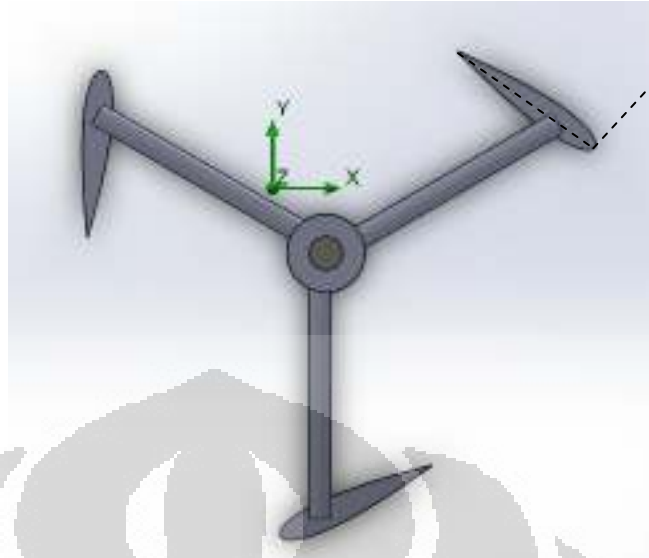


**Gambar 4.6:** Kondisi pitch angle standart



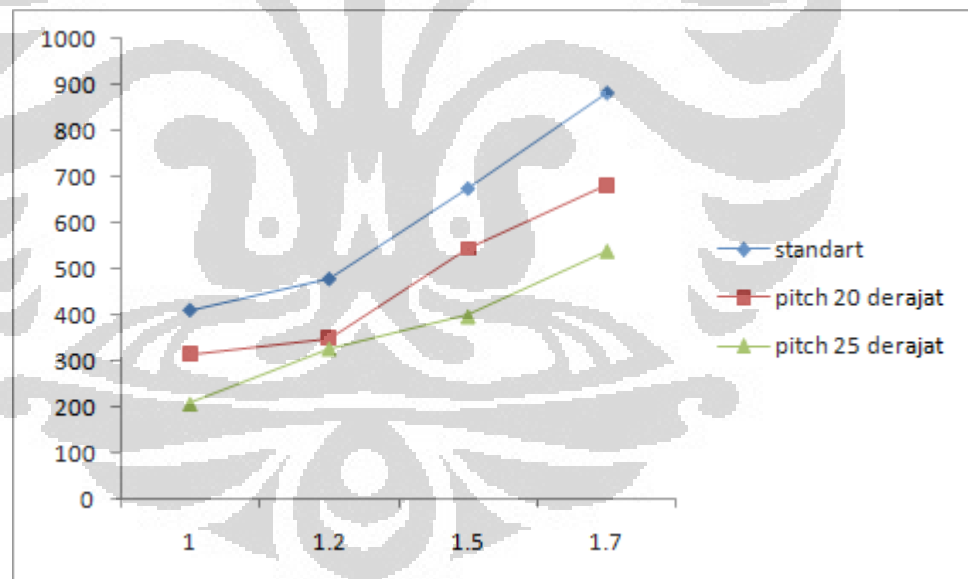
**Gambar 4.7:** Kondisi pitch 20 derajat





**Gambar 4.8:** Kondisi pitch 25 derajat

Dari perubahan kondisi center of pressure terhadap perubahan daya yang dihasilkan dapat dilihat perbandingan antara  $20^0$  dan  $25^0$  seperti terlihat pada grafik di bawah ini :



**Gambar 4.9 :** Perbandingan pitch angle pada turbin darreus

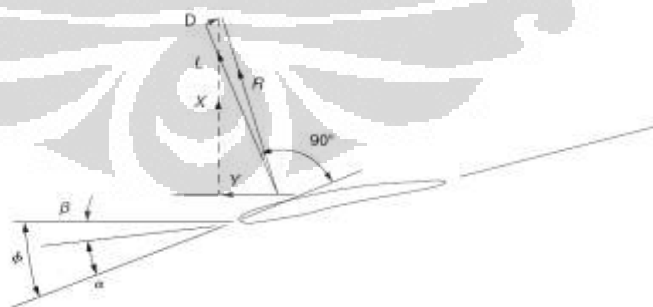
Dari grafik yang diperoleh diatas terlihat bahwa terdapat perbedaan daya yang dihasilkan terhadap sudut pitch. Model pitch yang digunakan adalah adalah fixed pitch. Type ini membutuhkan kekuatan aliran fluida yang lebih besar karena blade pada fixed pitch tidak memiliki derajat kebebasan sebagaimana pada variable pitch yang menyebabkan blade dapat bergerak secara flexible sesuai dengan arus laut yang

datang. Perubahan pitch pada tip speed ratio rendah memiliki keuntungan yaitu memberikan gaya lift dan drag yang baik. Pada tip speed ratio sedang, perubahan pitch mencegah terjadinya stall

Pada simulasi didapatkan hasil tren data daya yang dihasilkan terhadap rpm semakin besar pada kondisi center of pressure ditengah. Seperti terlihat pada grafik diatas, untuk kondisi kecepatan 1 m/s , kondisi dimana center of pressure ditengah dapat menghasilkan daya sebesar 400 watt, sedangkan pada pitch angle  $20^0$  menghasilkan daya 350 watt dan pada pitch angle  $25^0$  menghasilkan daya sebesar 200 watt. Semakin cepat aliran fluida, pada tipe pitch angle yang baik adalah semakin kecil luasan sudut pitch yang diberikan pada blade. Kemungkinan hal ini dapat mengakibatkan gangguan yang menyebabkan intensitas turbulen menjadi meningkat.

Tetapi secara keseluruhan, peningkatan daya yang dihasilkan dengan semakin meningkatnya kecepatan aliran fluida tidak berpengaruh kepada jenis pitch dan jenis hydrofil baik simetris maupun asimetris. Hal ini dikarenakan bahwa daya yang diberikan oleh fluida kepada turbin semakin besar dengan semakin besarnya kecepatan.

Hal ini dikarenakan gaya yang diberikan oleh fluida air kepada turbin semakin besar pada swept area yang lebih lebar pada leading edge. Hal ini dikarenakan perbedaan bentuk geometri dimana bagian depan yang lebih besar pada jenis naca yang simetris. Selain itu semakin cepat aliran fluida pada turbin adalah semakin kecil luasan sudut pitch yang diberikan pada blade<sup>[9]</sup>.



Gambar 4.10 : Gaya-gaya pada blade<sup>[2]</sup>

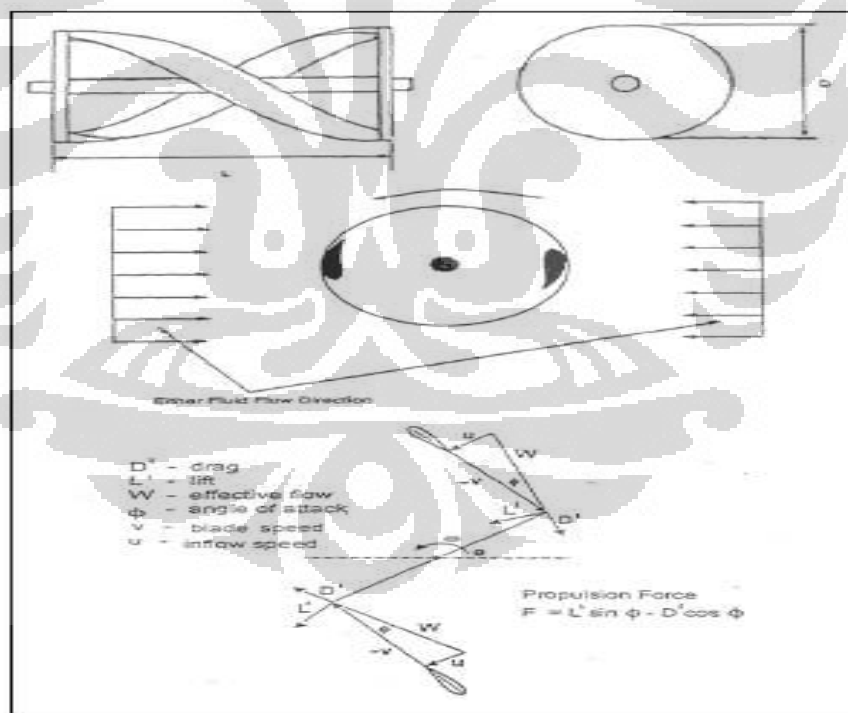
Seperti diilustrasikan pada gambar diatas gaya dari panjang blade dan besar torsi juga dipegaruhi oleh sudut geser ( $\varphi$ )

$$X=L \cos \varphi +D \sin \varphi$$

## 4.2. Turbin gorlov

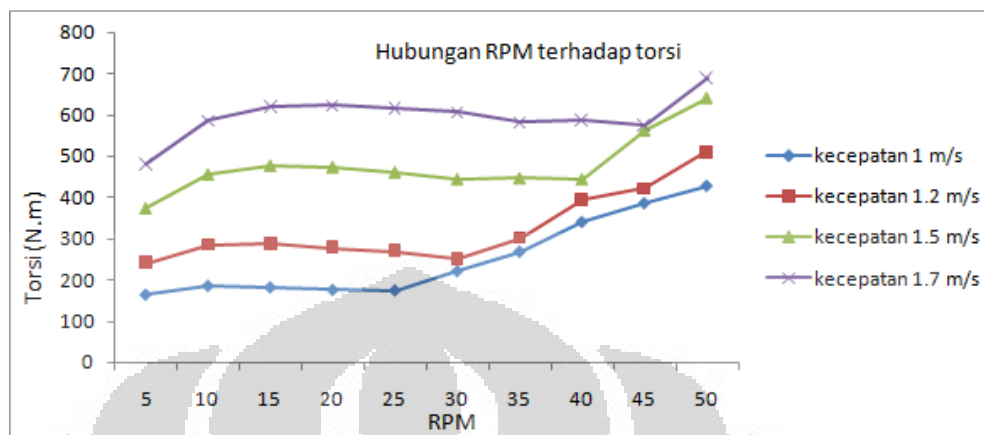
Pada aliran low head dimanfaatkan turbin helical bersudu tiga yang dapat juga diberdayakan pada arus pasang surut. Turbin tersebut dapat membangkitkan multi megawatt dari arus pasang surut juga dapat digunakan dalam skala kilowatt (Gorlov,2001). Sudu-sudu hydrofoil memberikan gaya reaksi yang dapat menariknya lebih cepat dari aliran fluida itu sendiri. Kecepatan yang tinggi tanpa adanya vibrasi dari turbin gorlov pada aliran fluida yang relatif lambat merupakan kunci terhadap efisiensinya yang baik.

Simulasi dengan flow simulation solidworks 2012 dilakukan dengan mendefinisikan goal untuk memperoleh besar torsi yang diperoleh. Dengan diperolehnya nilai torsi maka besar daya yang dihasilkan pada kondisi tersebut dapat diketahui. Hasil dari simulasi ini dapat dinyatakan dalam bentuk pathline aliran dan kontur penuh.



Gambar 4.11 : Mekanisme kerja turbin gorlov<sup>[20]</sup>

Parameter-parameter yang diperlukan untuk mengetahui performa model turbin gorlov beserta nilainya adalah sebagai berikut :



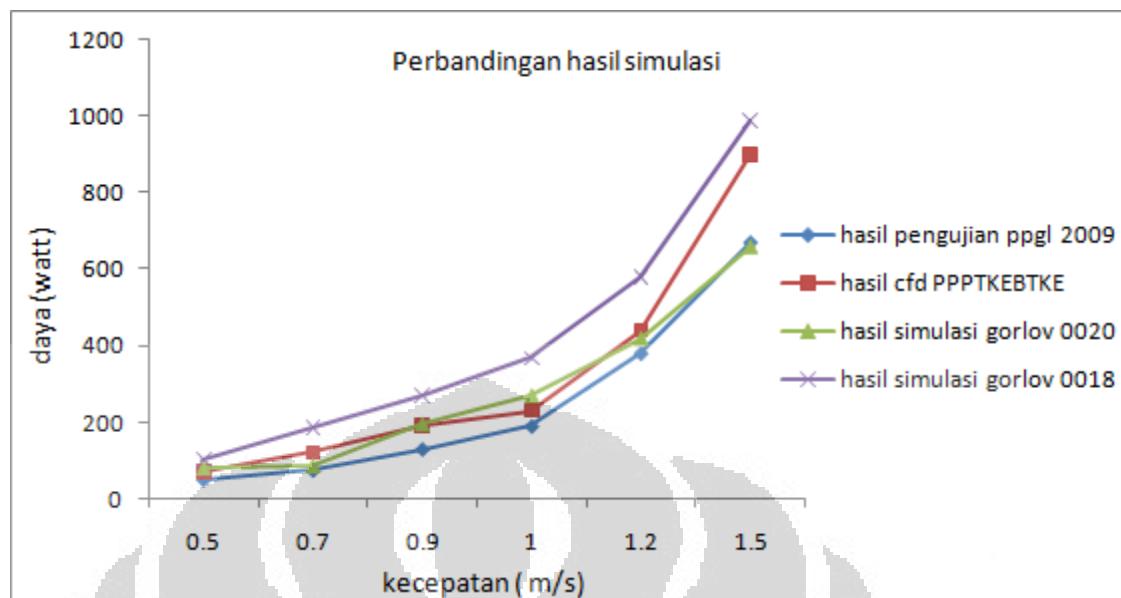
**Gambar 4.12** : RPM terhadap torsi yang dihasilkan

Dari grafik diatas terlihat bahwa terjadi peningkatan torsi yang dihasilkan pada kecepatan 1 m/s pada 25 rpm. Kondisi ini berpengaruh pada daya akselerasi dari turbin pada keadaan diam sampai keadaan dimana terjadi peningkatan torsi secara significant<sup>[17]</sup>. Kondisi ini tentunya sangat berpengaruh pada kecepatan fluida. Ketika sebuah blade dalam turbin telah berputar kearah rotasi turbin, maka gaya dan torsi tentu akan berubah akiba dari perubahan sudut azimuth (Edinburgh,2006).

#### 4.2.1. Analisa turbin gorlov

##### 4.2.1.1. Verifikasi data lapangan

Verifikasi data pada simulasi CFD digunakan untuk mengetahui performa turbin pembangkit listrik arus laut diperlukan untuk mengetahui daya yang dihasilkan dengan parameter-parameter yang terdapat pada turbin arus laut.

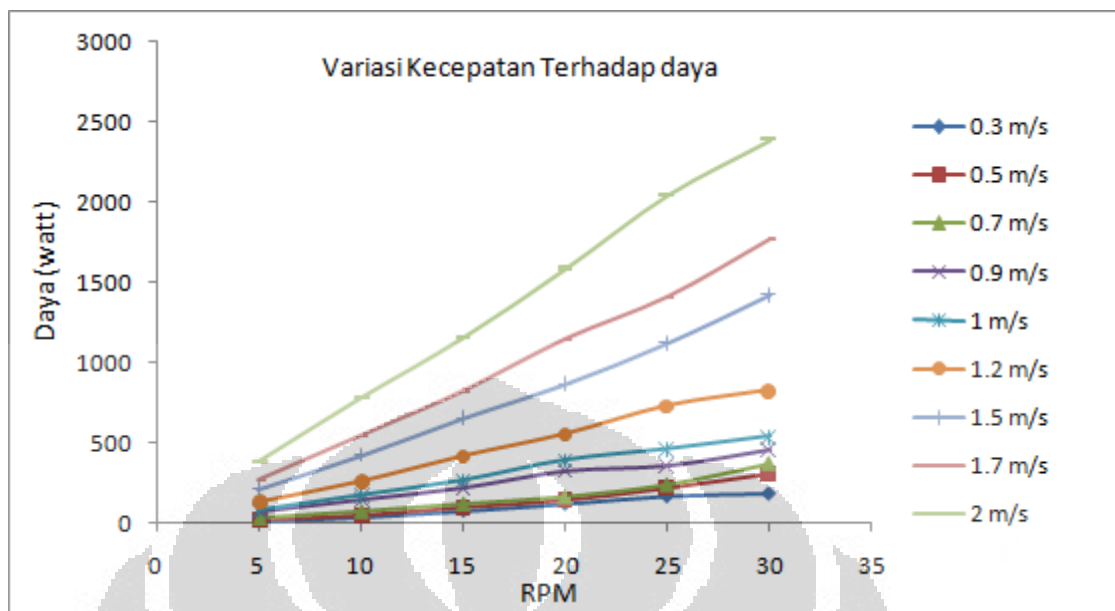


**Gambar 4.13** : Perbandingan hasil studi lapangan dengan simulasi

Dari grafik yang diperoleh di atas terlihat tingkat perbedaan hasil antara hasil perhitungan di lapangan dengan data hasil simulasi. Untuk kecepatan 1 m/s, pada pengujian ppgl tahun 2009 terlihat daya yang dihasilkan sebesar 190 watt sedangkan pada hasil simulasi diperoleh daya sebesar 368,394 watt. Sehingga dapat disimpulkan bahwa apabila turbin menggunakan type naca 0018 maka akan menghasilkan daya yang lebih tinggi.

#### 4.2.1.2. Daya

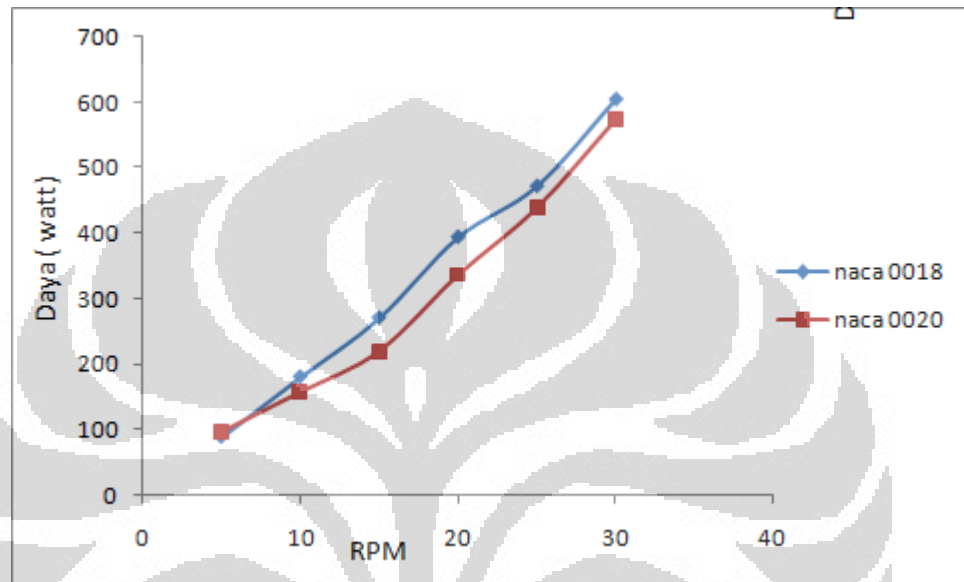
Tip speed ratio adalah perbandingan antara kecepatan ujung blade dengan kecepatan arus laut. Kecepatan ujung blade dicari dengan mengalikan kecepatan angular rotor (rad/s) dengan jari-jari rotor kemudian dibandingkan dengan kecepatan arus laut.



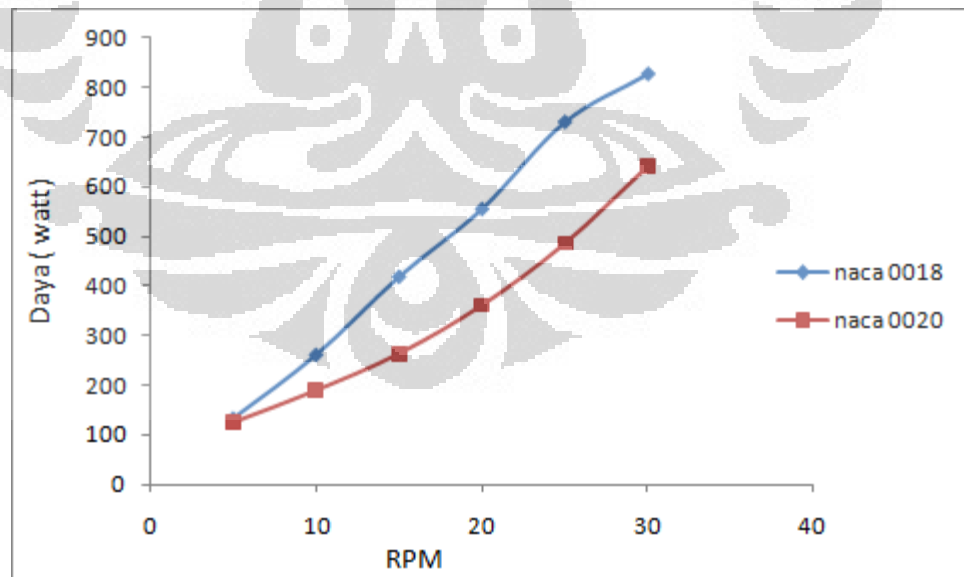
**Gambar 4.14:** Pengaruh kecepatan arus laut terhadap daya yang dihasilkan

Pada grafik diatas terlihat variasi kecepatan arus laut terhadap torsi yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan kondisi dimana kecepatan aliran yang semakin besar menghasilkan putaran yang semakin besar pula<sup>[14]</sup>. Untuk kondisi kecepatan 1 m/s dan 1.2 m/s terjadi kecenderungan kenaikan daya terhadap putaran rotor yang dihasilkan. Untuk kondisi kecepatan 1.5 m/s dan 1.7 m/s , pada putaran rendah terjadi self start dimana keadaan dari turbin untuk dapat berekselerasi dari keadaan diam sampai keadaan dimana sampai menghasilkan daya. Jika mesin dianggap mempunyai gaya awalan jika telah berekselerasi dari keadaan diam dimana blade beroperasi pada keadaan kecepatan tetap yang melebihi kecepatan fluida. Selain itu pula dari variasi kecepatan terlihat bahwa pada kecepatan 0.3 m/s sampai 1.2 m/s dengan putaran sampai 30 rpm belum dapat menghaslkan daya sebesar 1 kw. Pada kecepatan arus laut pada putaran 30 rpm sudah dapat menghasilkan daya lebih dari 1kw. Ini menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan arus laut maka semakin besar energi yang akan dikonversi menjadi listrik.

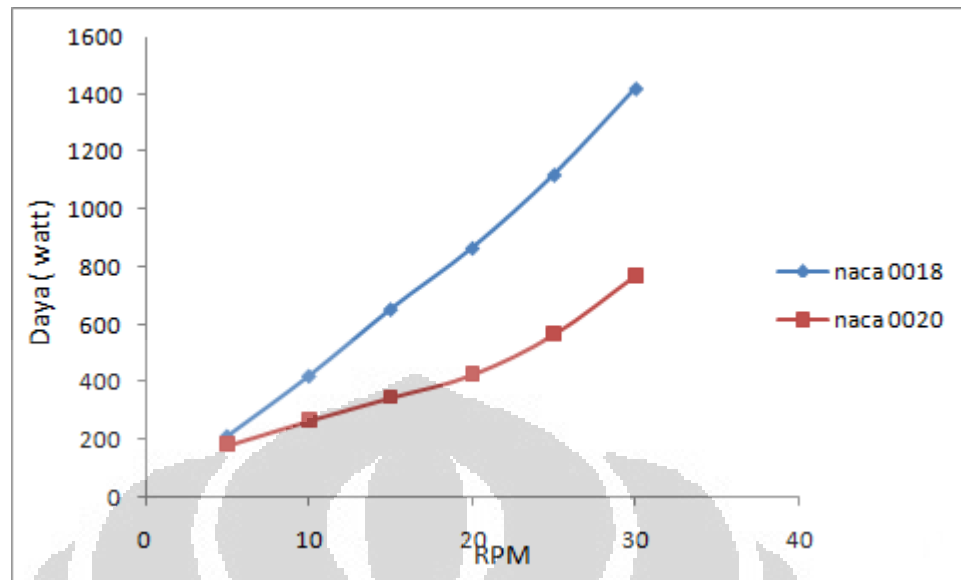
Selain itu pula dapat dilihat perbandingan antara turbin gorlov dengan menggunakan naca dengan type 0018 dan type 0020 seperti terlihat pada grafik di bawah ini.



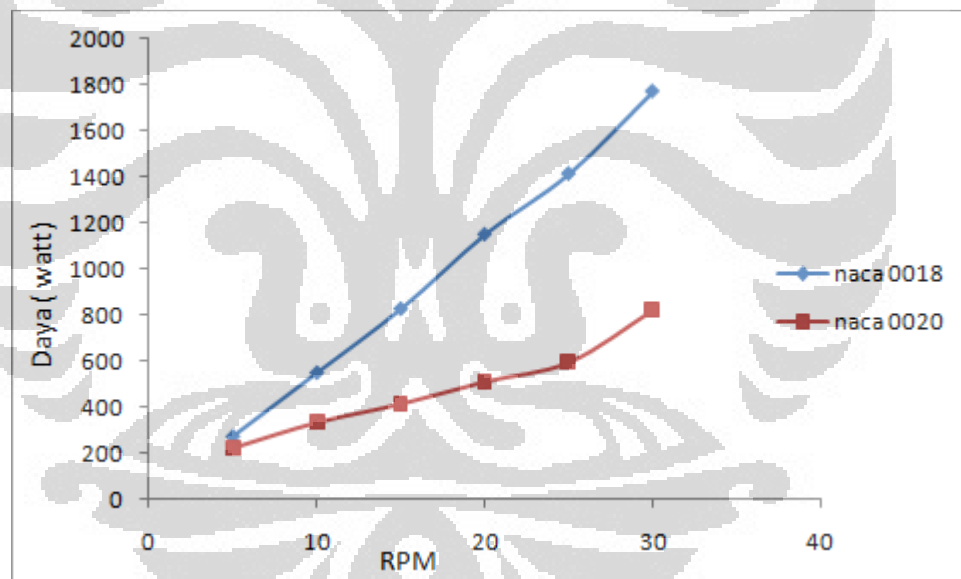
(a) Pada kecepatan 1 m/s



(b) Pada kecepatan 1.2 m/s



(c) Pada kecepatan 1.5 m/s



(d) Pada kecepatan 1.7 m/s

**Gambar 4.16** : Perbandingan type naca 0018 dan 0020 turbin gorlov

Dari grafik kecepatan di atas terlihat perbedaan antara blade yang menggunakan type naca 0018 dengan blade yang menggunakan type naca 0020. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan geometri antara naca 0018 dan naca 0020. Perbedaan dengan nilai dimensi menunjukkan bahwa semakin kecil penomoran jenis Naca maka



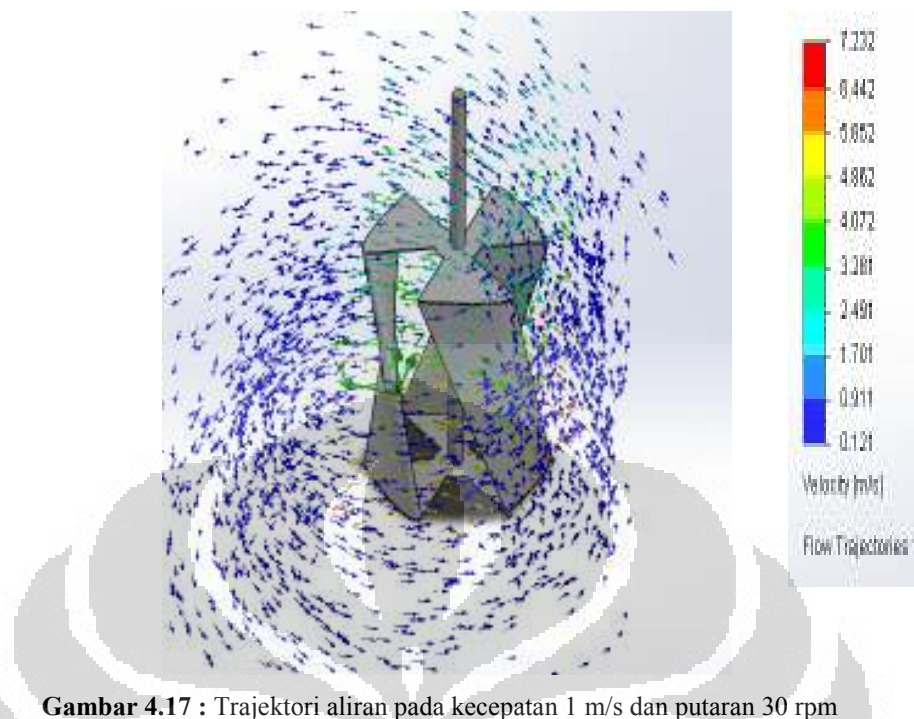
penampang area juga akan semakin kecil yang mempengaruhi kemudahan daerah sistem untuk berotasi.

Hal ini dikarenakan jenis naca mempengaruhi ketebalan blade. Type Naca 0018 ternyata mempunyai kinerja yang lebih baik dibandingkan 0020 yang lebih tebal oleh karena dengan kedua jenis blade tersebut menghasilkan batasan operasi turbin pada putaran lebih tinggi dan apabila pada kecepatan putaran yang sama maka efisiensi lebih tinggi. Semakin tinggi putaran turbin maka akan semakin baik kinerjanya karena turbin pada putaran tinggi akan mengurangi terjadinya stall dan meningkatkan efisiensi pada turbin dan energi yang dihasilkan.

Perbedaan type naca juga mempengaruhi ketebalan dari blade. Semakin tebal sudu maka semakin menurun putaran turbin dan semakin kecil torsi yang dihasilkan<sup>[20]</sup>. Hal ini disebabkan oleh mulai meningkatnya drag yang dihasilkan akibat gesekan dan semakin menurun lift yang dihasilkan untuk memutar turbin.

Secara keseluruhan hasil simulasi dengan menggunakan flow simulation solidworks 2012 sudah mencapai konvergen hal ini dapat diperiksa dari parameter torsi dan laju alir pada sistem.

Berikut ini adalah gambaran secara kuantitatif aliran yang terjadi pada turbin gorlov pada tiap-tiap kecepatan yang berbeda.



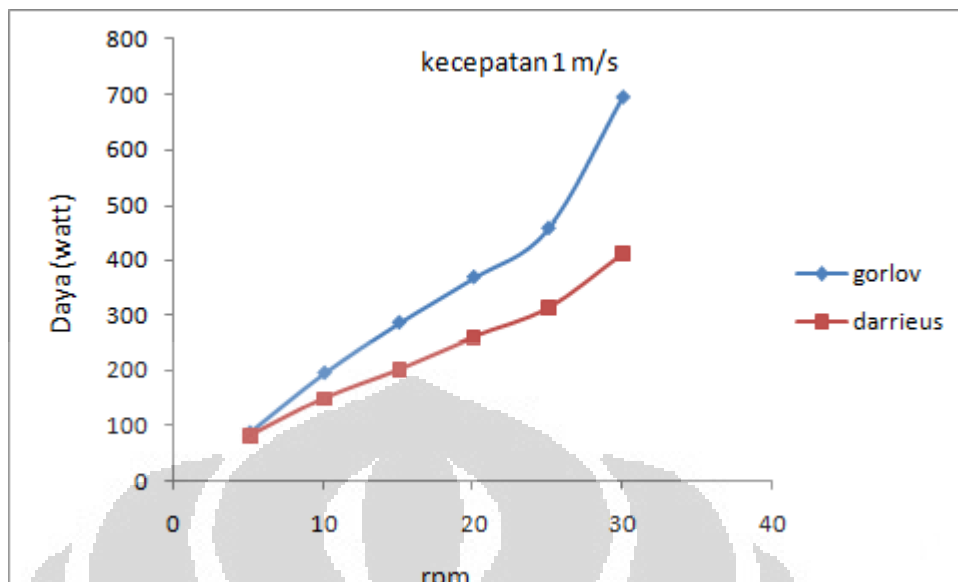
**Gambar 4.17 :** Trajektori aliran pada kecepatan 1 m/s dan putaran 30 rpm

### 4.3. Turbin darrieus

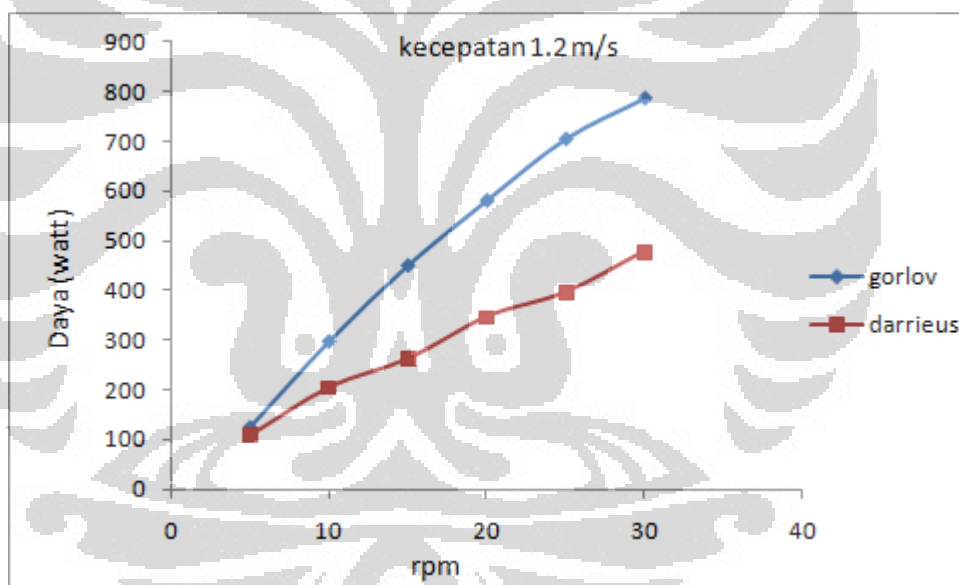
Turbin memiliki sifat self-start yang merupakan keadaan dimana turbin memiliki kemampuan untuk mulai berputar. Keadaan tersebut membutuhkan resultan gaya yang cukup untuk bergerak sesuai dengan tipe turbin dan pitch blade yang digunakan. Hal ini diharapkan dapat mengetahui berapa rentang derajat kebebasan yang baik pada beberapa tipe blade yang akan digunakan dan dapat mengurangi stall yang merupakan keadaan dimana turbin mengalami penurunan gaya lift.

#### 4.3.1. Analisa turbin darrieus

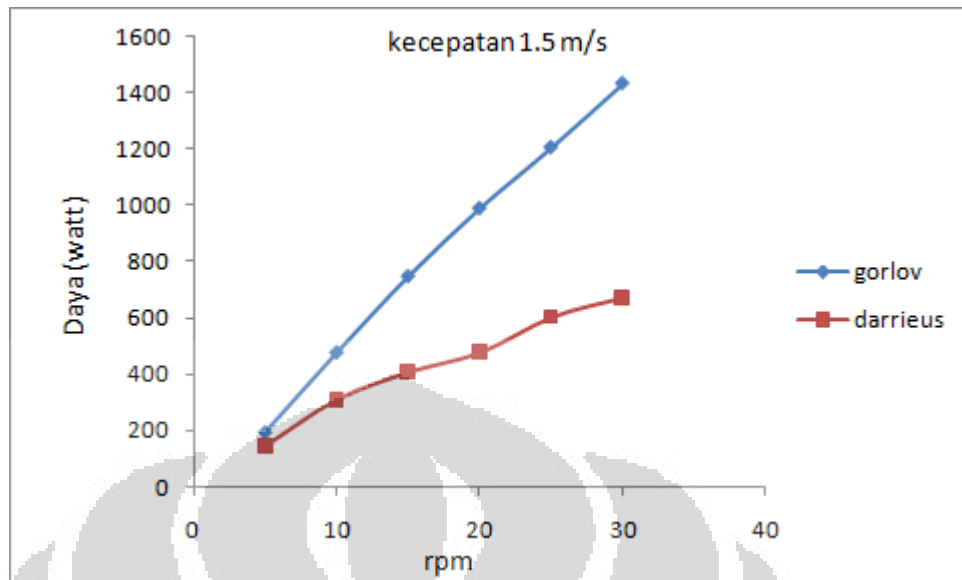
Secara geometri dan desain, turbin gorlov dan turbin darrieus memiliki perbedaan bentuk blade sehingga besar torsi yang dihasilkan berbeda walaupun dengan jenis dan type naca yang sama. Jadi perbandingan antara turbin darrieus dengan turbin gorlov dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



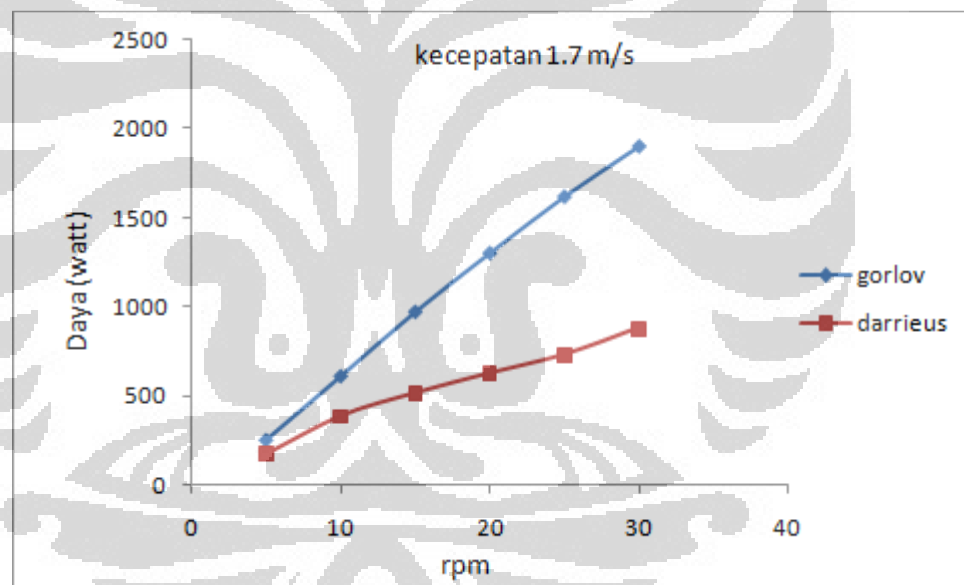
(a) Kecepatan 1 m/s



(b) Kecepatan 1.2 m/s



(c) Kecepatan 1.5 m/s



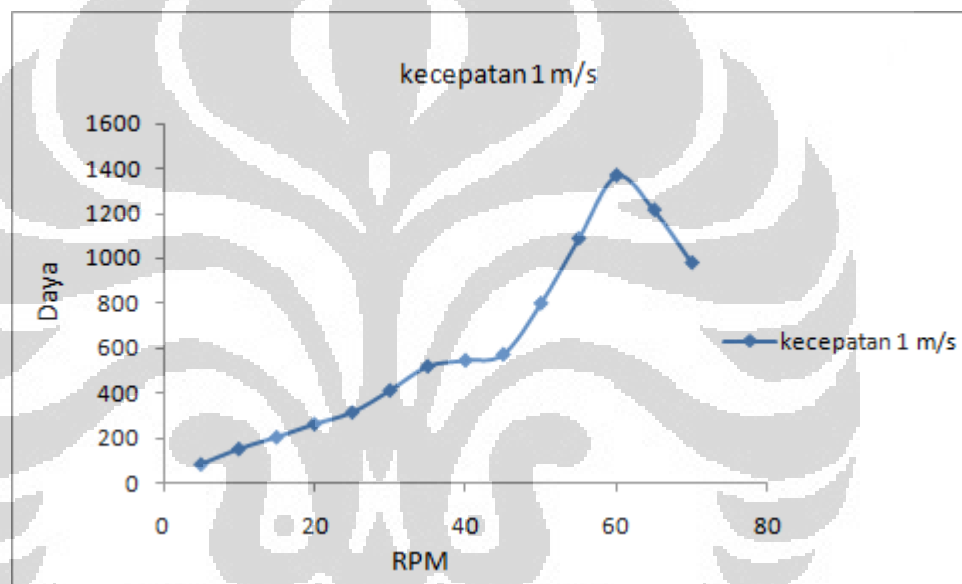
(d) Kecepatan 1.7 m/s

**Gambar 4.18** : Perbandingan antara turbin darrieus dan gorlov

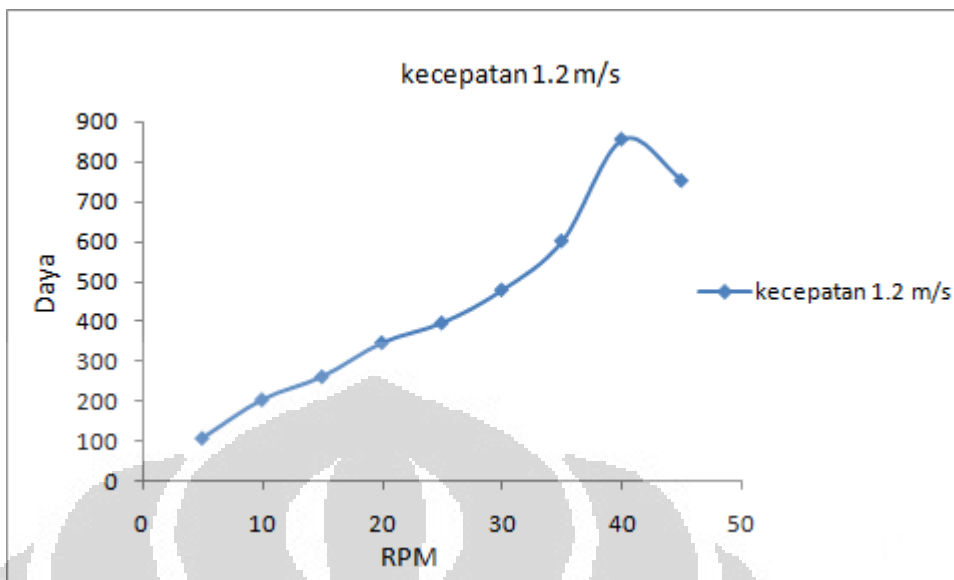
Dari grafik perbandingan antara turbin darrieus dan turbin gorlov di atas, dapat disimpulkan bahwa turbin gorlov dapat menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan dengan turbin darrieus. Walaupun dengan tipe naca yang sama 0018 yang memiliki koefisien lift bergerak naik seiring dengan kenaikan kecepatan aliran, namun bentuk dari blade terhadap momentum fluida mempengaruhi besar energi yang dikonversi menjadi daya putar. Hal ini dikarenakan kinerja turbin

tergantung pada kecepatan aliran, soliditas, sudut kemiringan blade. Hal ini sesuai dimana turbin gorlov memiliki efisiensi yang paling tinggi dan paling konstan pada kecepatan arus air laut (head) rendah dibandingkan dengan tipe turbin lainnya (The gorlov turbine,1997) Maka membuat blade menjadi miring dengan sudu tertentu maka akan dapat meningkatkan kinerja dari turbin.

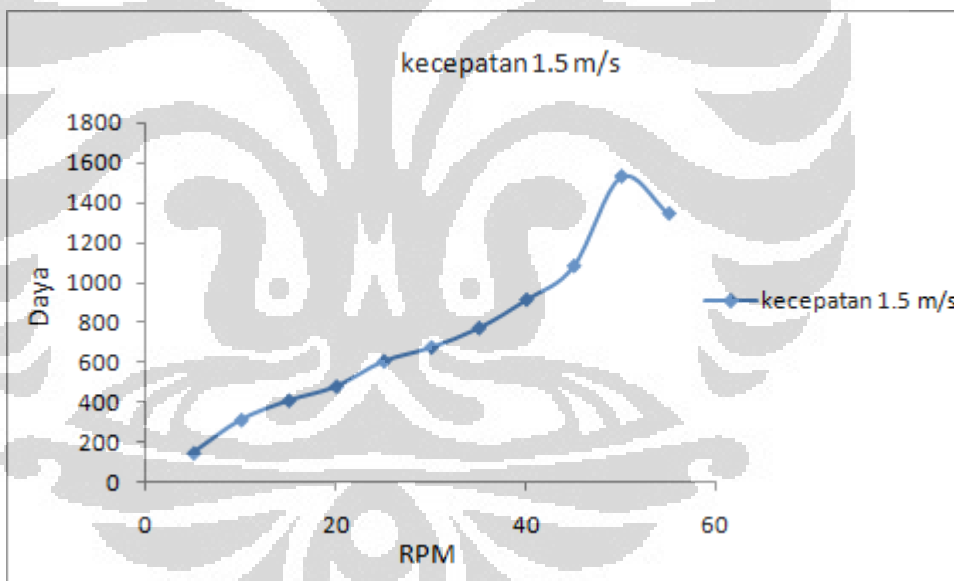
Selain itu pula performa turbin dapat dilihat dari besar torsi yang dihasilkan. Pada grafik dibawah ini akan ditampilkan kondisi dimana turbin mencapai torsi maksimum.



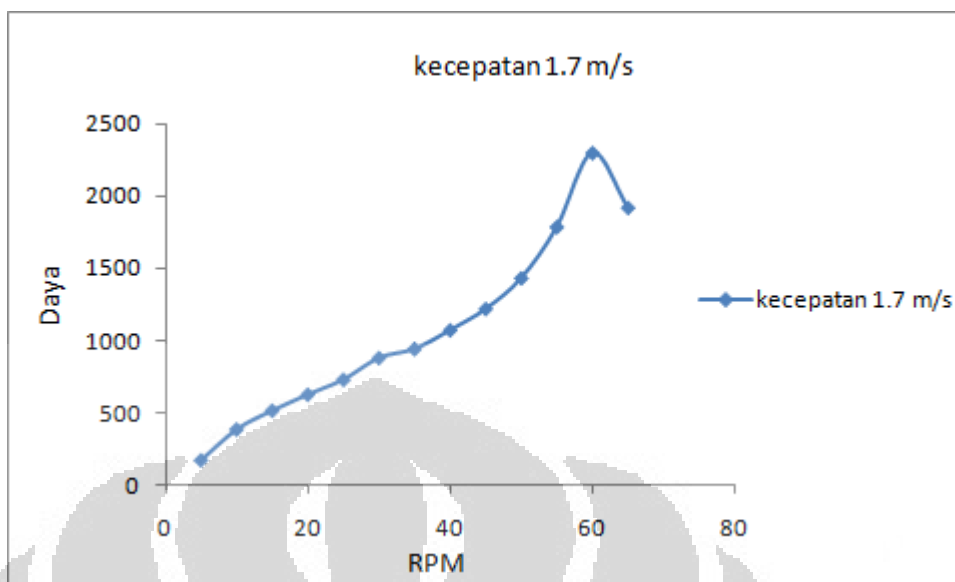
(a) Kecepatan 1 m/s



(b) Kecepatan 1.2 m/s



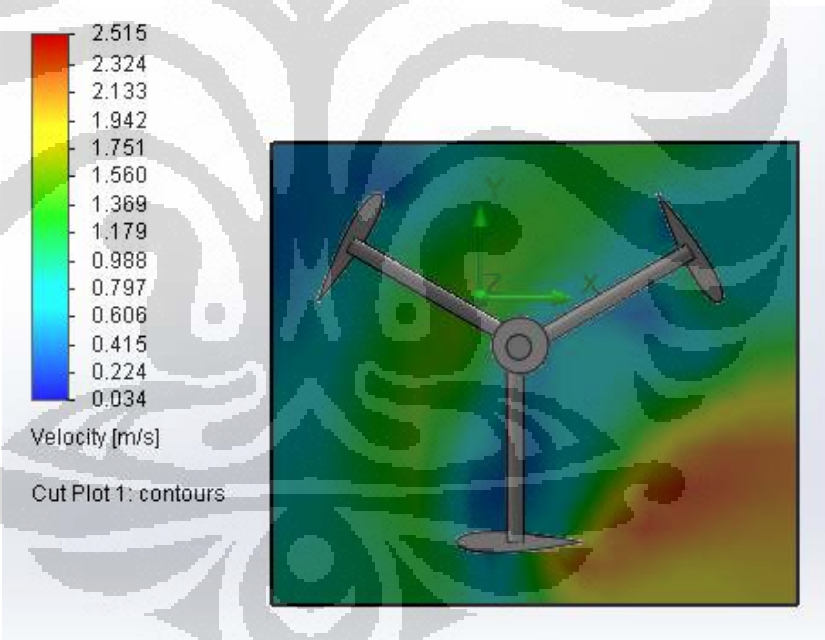
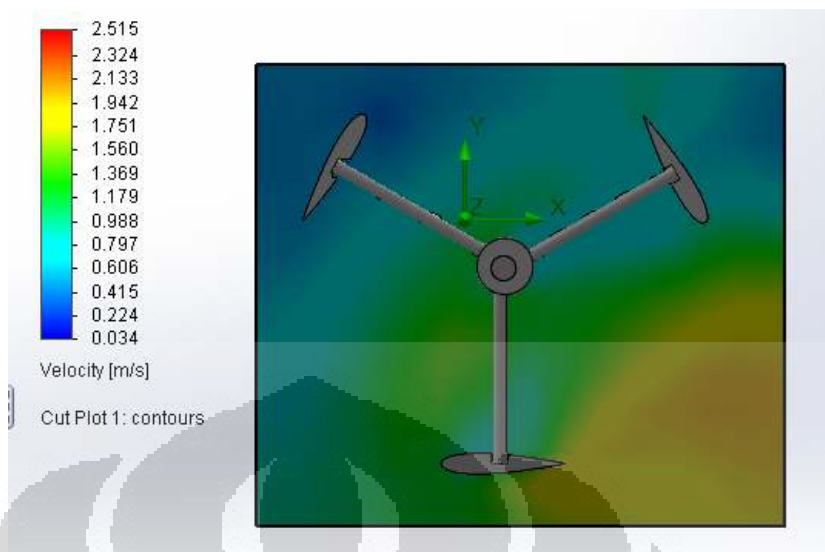
(c) Kecepatan 1.5 m/s



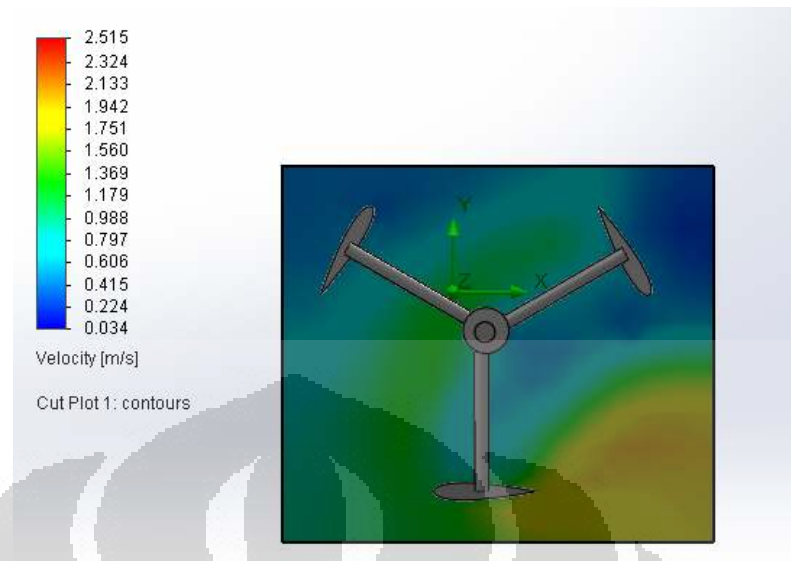
(d) Kecepatan 1.7 m/s

**Gambar 4.19** : Kondisi torsi maksimum darrieus pada masing-masing kecepatan

Pada grafik diatas diketahui nilai dimana torsi mencapai nilai maksimum(Momen putir puncak saat berada dalam rentan putaran tertentu) sebelum daya yang dihasilkan menjadi lebih kecil. Terjadi kenaikan daya secara kontinuitas sampai mencapai nilai maksimum. Untuk kecepatan 1 m/s , torsi maksimum berada pada putaran 60 rpm sebesar 1.366 kw, untuk kecepatan 1.2 m/s , torsi maksimum berada pada putaran 75 rpm sebesar 2.042 kw, untuk kecepatan 1.5 m/s , torsi maksimum berada pada putaran 50 rpm sebesar 1.528 kw dan untuk kecepatan 1.7 m/s , torsi maksimum berada pada putaran 60 rpm sebesar 2.293 kw. Tentunya dengan kondisi ini akan menghasilkan energi secara maksimal.





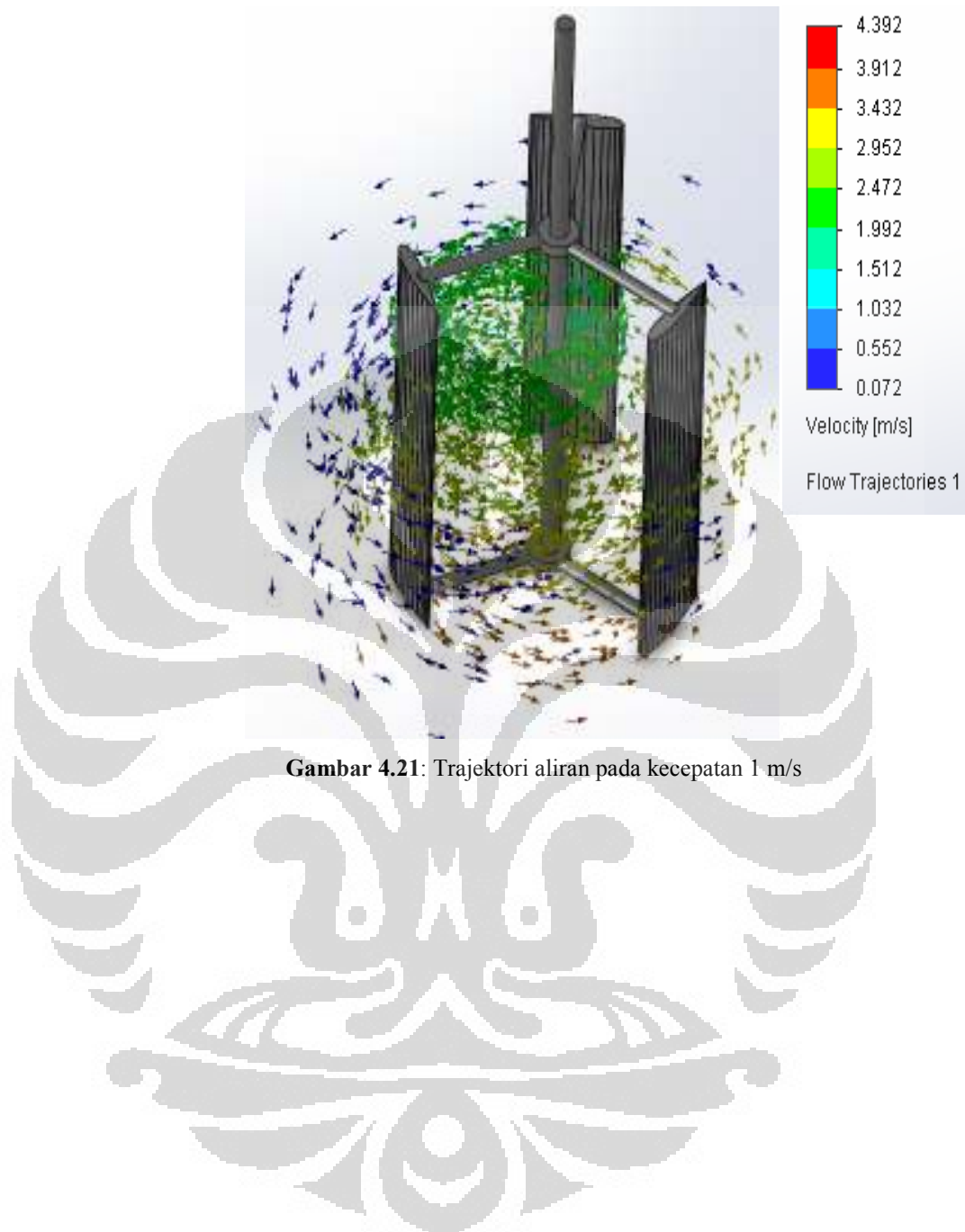


(c) Pada bagian bawah turbin

**Gambar 4.20** : Persebaran variasi kecepatan terhadap ketinggian turbin

Secara keseluruhan hasil simulasi dengan menggunakan flow simulation solidworks 2012 sudah mencapai konvergen hal ini dapat diperiksa dari parameter torsi dan laju alir pada sistem.

Berikut ini adalah gambaran secara kuantitatif aliran yang terjadi pada turbin darrieus pada tiap-tiap kecepatan yang berbeda.



**Gambar 4.21:** Trajektori aliran pada kecepatan 1 m/s

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1. Kesimpulan

Penelitian mengenai vertikal axis turbin dengan jenis turbin gorlov dan turbin darrieus dengan melakukan pendekatan secara metode komputasi memberikan hasil sebagai berikut :

- a. Pemilihan jenis naca akan mempengaruhi besar coefficient lift. Hal ini dipengaruhi oleh tiap-tiap type naca mempunyai geometri masing-masing. Untuk type naca yang simetris , nilai lift coefficient akan nol apabila tidak memiliki sudut serang ( $\alpha=0^0$ ). Dari hasil simulasi naca terlihat bahwa untuk type naca dengan panjang chord 0.3 m memiliki coefficient lift maksimum pada sudut serang  $20^0$  sebesar 1.16032 .
- b. Berdasarkan simulasi yang dilakukan antara turbin darrieus dan turbin gorlov, diperoleh bahwa turbin gorlov dapat menghasilkan torsi yang lebih besar dibandingkan dengan turbin darrieus pada kondisi yang sama mulai dari kecepatan 1 m/s hingga 1.7 m/s. Kondisi ini disebabkan oleh pengaruh dari jenis blade yang digunakan.
- c. Penentuan pitch angle berdasarkan kondisi pada saat menganalisa lift coefficient untuk dapat menentukan posisi dari pitch angle yang paling ideal yang dapat menghasilkan daya secara maksimal. Untuk kondisi dimana stall terjadi pada sudut serang  $25^0$  dengan panjang chord 0.3 terlihat penurunan daya yang dihasilkan untuk kondisi tersebut
- d. Dari simulasi yang telah dilakukan terlihat bahwa posisi center of pressure pada bagian tengah blade memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan pada wilayah yang lebih dekat dengan leading edge. Sehingga menjadi hal yang penting di dalam perencanaan turbin arus laut dalam mengetahui posisi dimana center of pressure berada.

## 5.2. Saran

Ilmu mekanika fluida dan aerodinamika merupakan cabang ilmu yang sangat kompleks, sehingga penelitian di 2 cabang ilmu ini pun memiliki tingkat kesulitan yang besar. Beberapa data perbandingan koefisien hydrodinamika yang diperoleh dari metode CFD dengan acuan masih memiliki tingkat kesalahan yang cukup besar. Untuk itu, perlu dilakukan beberapa *upgrade* perbaikan baik pada metode komputasi maupun metode meshing agar mendapatkan hasil yang lebih baik.

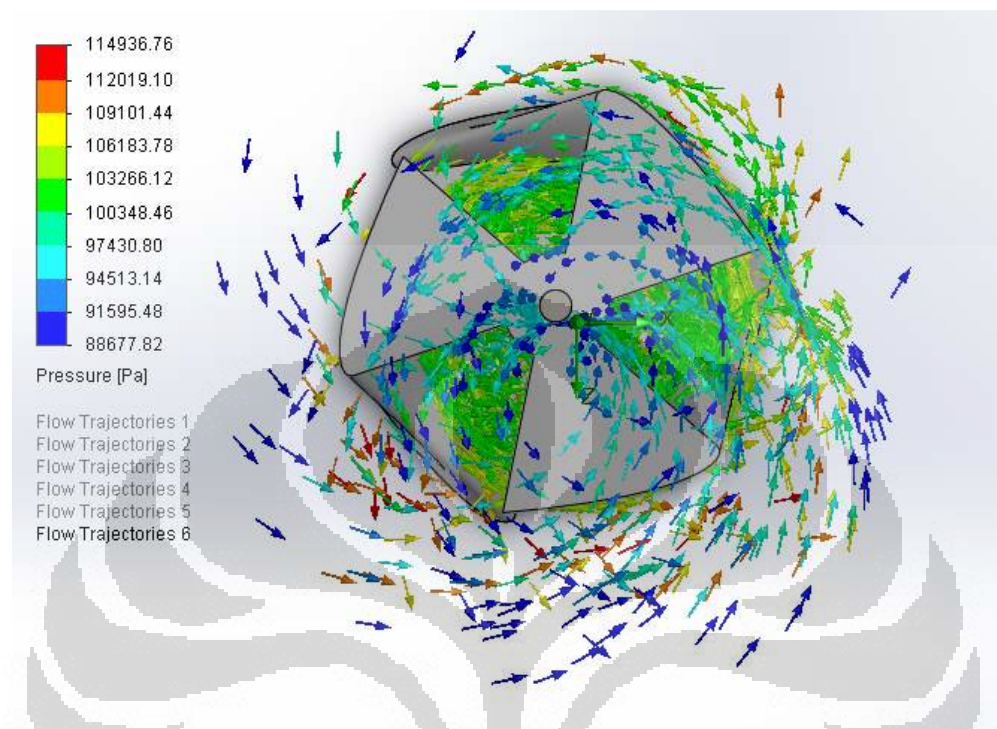


## DAFTAR REFERENSI

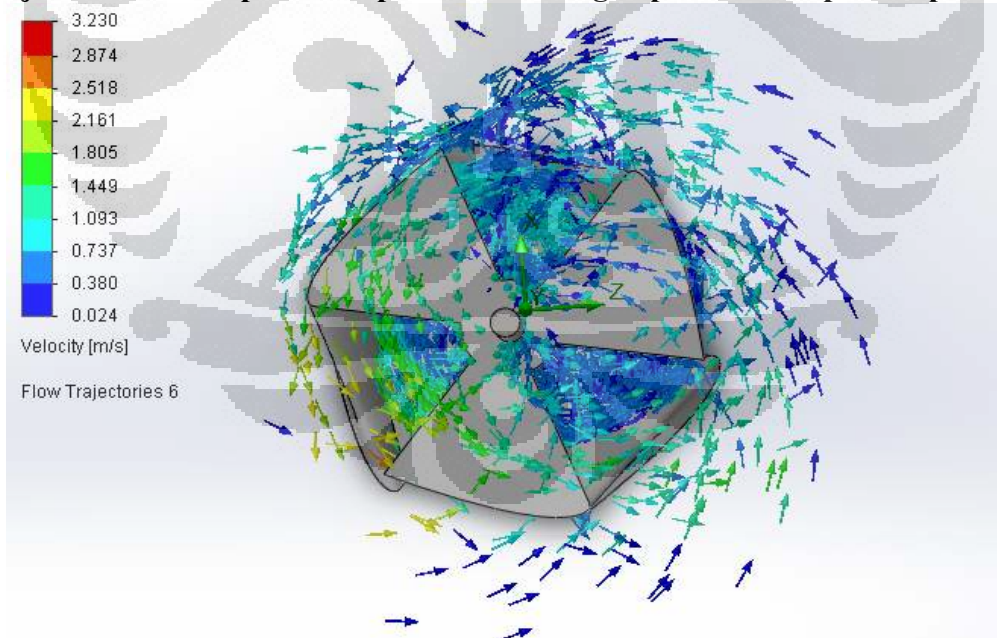
1. Hantoro, R., Utama, I.K.A.P. & Erwandi, Sulisetyono A., Unsteady Load and Fluid-Structure Interaction of Vertical-Axis Ocean Current Turbine, *Journal of Mechanical Engineering*, Petra University Surabaya, 11(1), April 2009.
2. Munson, B. (2002). *Mekanika Fluida* (Dr.Ir. Harinaldi & Ir. Budiarmo, M.Eng, Penerjemah). Jakarta:Erlangga.
3. Anderson, J.D. (2001). *Fundamental of Aerodynamics* (3rd ed.).Singapore:McGraw-Hill.
4. Dixon,S.L. (2010).*Fluids Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery* (6rd ed). Singapore:McGraw-Hill.
5. Kirke, B., and Lazauskas, L. "Limitations of Fixed Pitch Darrieus Hydrokinetic Turbines and The Challenge of Variable Pitch". *Renewable Energy*. 2010.
6. Ai Yuningsih,Dkk.2010.Prospek energi Arus Laut Di Perairan Indonesia.P3GLKESDM.Bandung:ISBN No.978-979-551-020-8.
7. Li Y, Calisal SM. Numerical analysis of the characteristics of a vertical axis water current turbine. *Renewable Energy* 2010;35(2):435e42.
8. PPPTKEBTKE.2010.Radmap Teknologi Konversi Energi Arus Laut. PPPTKEBTKE,Jakarta:Tidak diterbitkan.
9. Yang ZY, Voke PR. Large-eddy simulation of boundary-layer separation and transition at a change of surface curvature. *J Fluid Mech* 2001;439:305–33.
10. Versteeg, H.K & Malalasekera, W.*An Introduction to Computational fluids dynamics*.Longman Scientific & Technical.1995.
11. Islam, M., Ting, David S.-K. & Fartaj, A., Aerodynamic Models for Darrieus-Type Straight-Bladed Vertical Axis Wind Turbines, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(4), 2008. (Doi:10.1016/j.rser.2006.10.023).
12. Batten, W.M.J., Bahaj, A.S., Molland, A.F. & Chaplin, J.R., Hydrodynamics of Marine Current Turbines, *Renewable Energy*, 31, 249–256, 2006.
13. Sheldahl, R. & Klimas, P., Aerodynamic Characteristics of Seven Symmetrical Airfoil Sections Through 180-Degree Angle of Attack for Use in Aerodynamic Analysis of

- Vertical Axis Wind Turbines, Technical Report SAND80-2114, Sandia National Laboratories, March 1981.
14. Hantoro, R., Utama, I. K. A. P., Sulisetyono, A., Eerwandi. "Studi Eksperimental dan Numerik Getaran Pada Turbin Vertikal Aksis Pembangkit Energi Arus Laut". Disertasi - MT 093350. ITS. 2011.
  15. Larsen, J. W., Nielsen, S. R. K., Krenk, S. "Dynamics Stall Model for Wind Turbine airfoil". Journal of Fluids and Structures. 2007.
  16. Islam, M., Ting, D. S. K., Fartaj, A. "Aerodynamics Models for Darrieus-type Straight-bladed Vertical Axis Wind Turbines". Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2006.
  17. Kirke, Brian, "Variable Pitch Darrieus Water Turbines", Sustainable Energi Center, Australia, 2008.
  18. Claessens M.C, 2006, The Design and Testing of Airfoils for Application in Small Vertical Axis Wind Turbines, Master Thesis of Delf University of Technology.
  19. Eastman, jacobs. The Characteristic Of 78 Related Airfoil Section from Tests in The Variable Density Wind Tunnel. National Advisory Committee For Aeronautics.
  20. Gorlov, A.M. (1998). Development of The Helical Reaction Hydraulic Turbine, Northeastern University, Boston.
  21. Hantoro, R., Utama, I.K.A.P. & Erwandi, Sulisetyono A., An Experimental Investigation of Passive Variable-Pitch Vertical-Axis Ocean Current Turbine, Journal of Mechanical Engineering, Petra University Surabaya, **11**(1), April 2009.

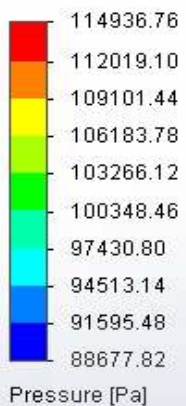
## LAMPIRAN



**Trajektori tekanan pada kecepatan 1 m/s dengan putaran 30 rpm tampak atas**

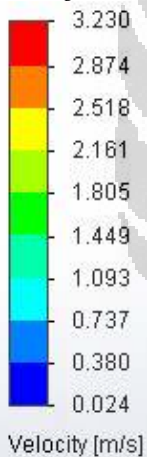


**Trajektori kecepatan pada kecepatan 1 m/s dengan putaran 30 rpm tampak atas**



Flow Trajectories 1  
Flow Trajectories 2  
Flow Trajectories 3  
Flow Trajectories 4  
Flow Trajectories 5  
Flow Trajectories 7  
Flow Trajectories 8

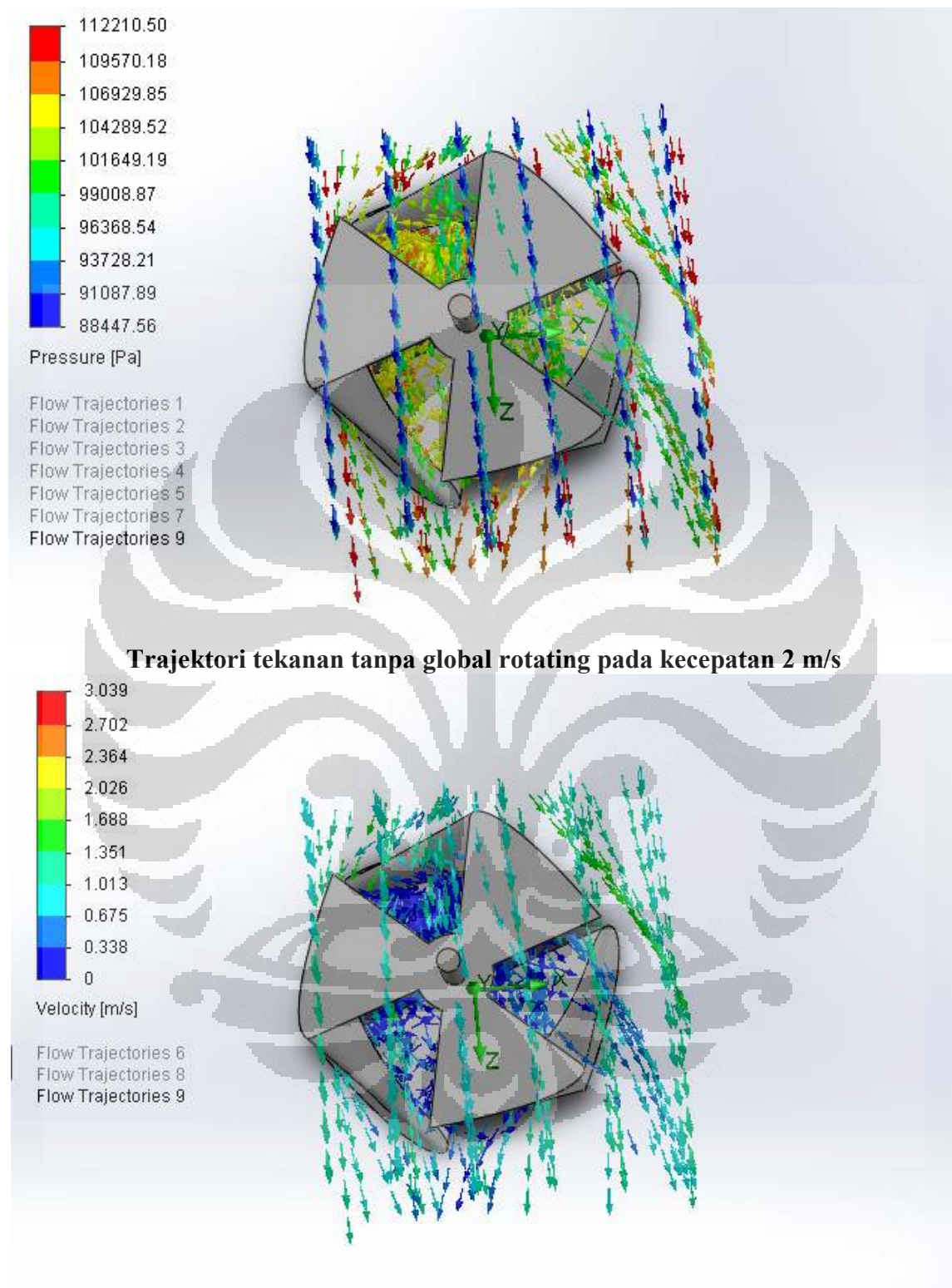
**Trajektori tekanan pada kecepatan arus 2 m/s dengan putaran 30 rpm tampak depan**



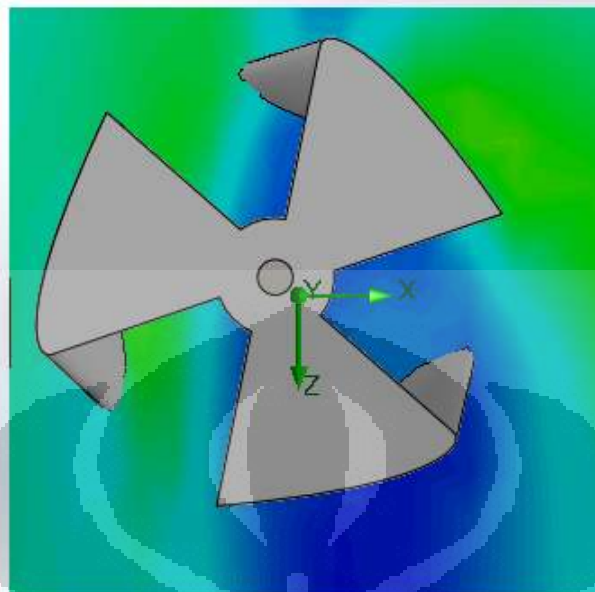
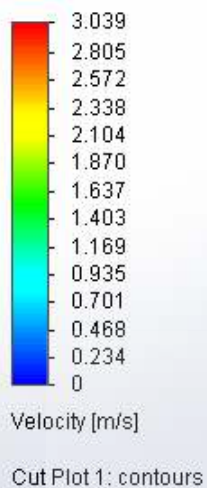
Flow Trajectories 6  
Flow Trajectories 8

**Trajektori kecepatan pada kecepatan arus 2 m/s dengan putaran 30 rpm tampak depan**

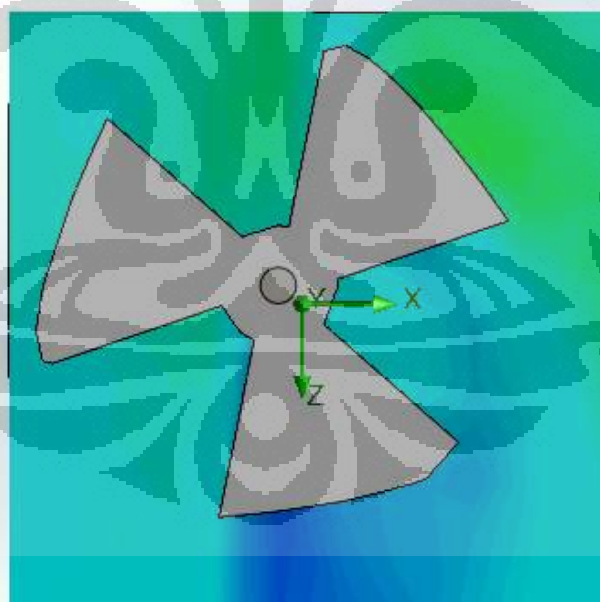
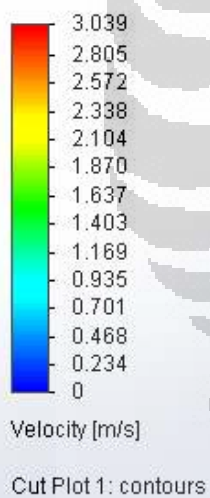




**Trajektori kecepatan tanpa global rotating pada kecepatan 2 m/s**



**Cut plot kecepatan bagian tengah pada kecepatan 2 m/s**

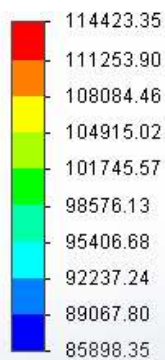


**Cut plot kecepatan bagian tengah pada kecepatan 2 m/s**



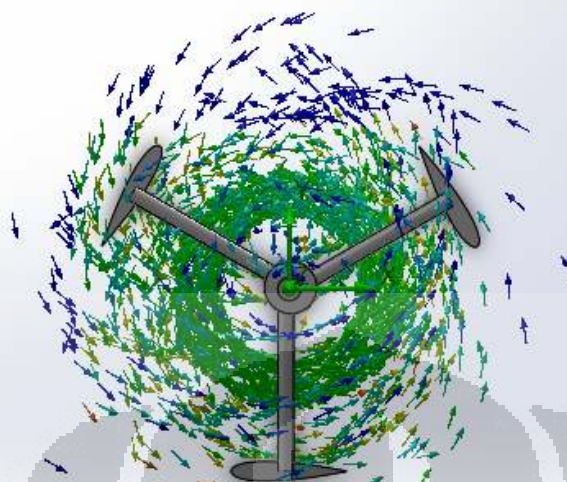
**Tampak atas turbin gorlov**

**Tampak depan turbin gorlov**

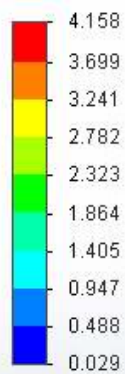


Pressure [Pa]

Flow Trajectories 1  
Flow Trajectories 2  
Flow Trajectories 3  
Flow Trajectories 4  
Flow Trajectories 7

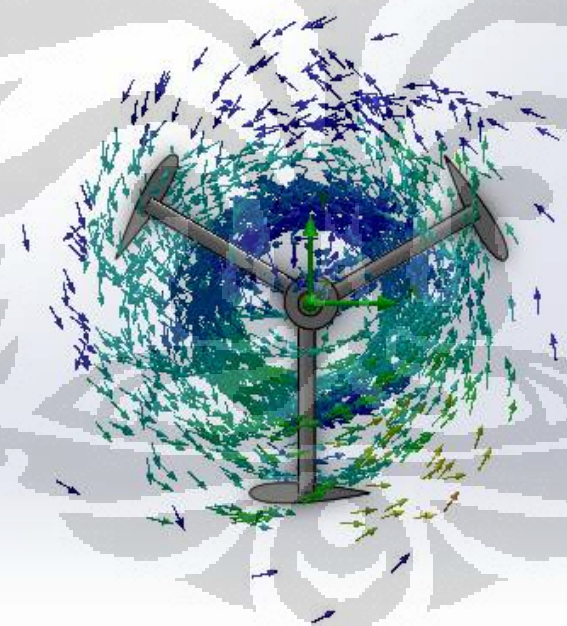


**Trajektori tekanan pada kecepatan arus 1 m/s dengan putaran 30 rpm tampak atas**

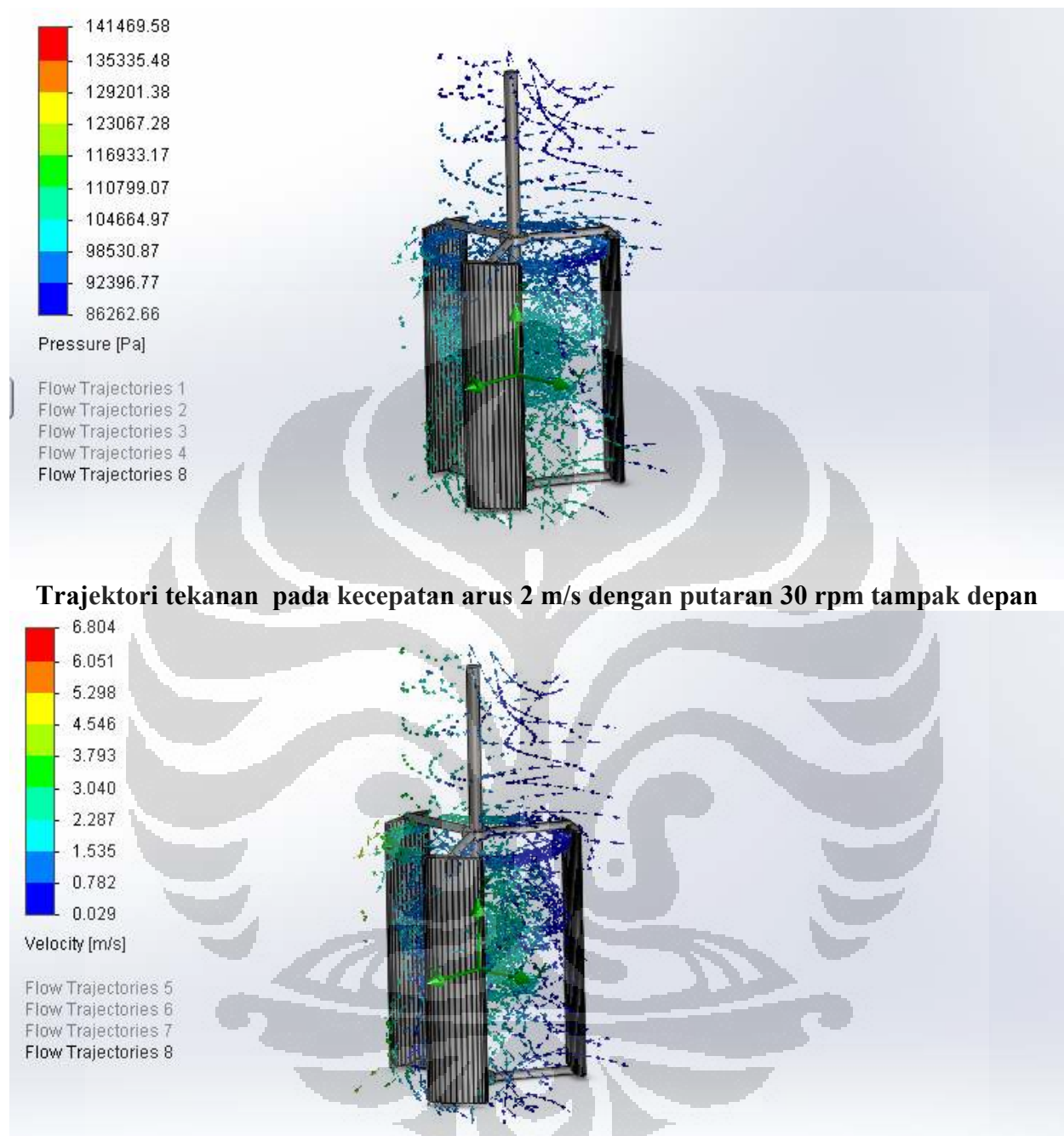


Velocity [m/s]

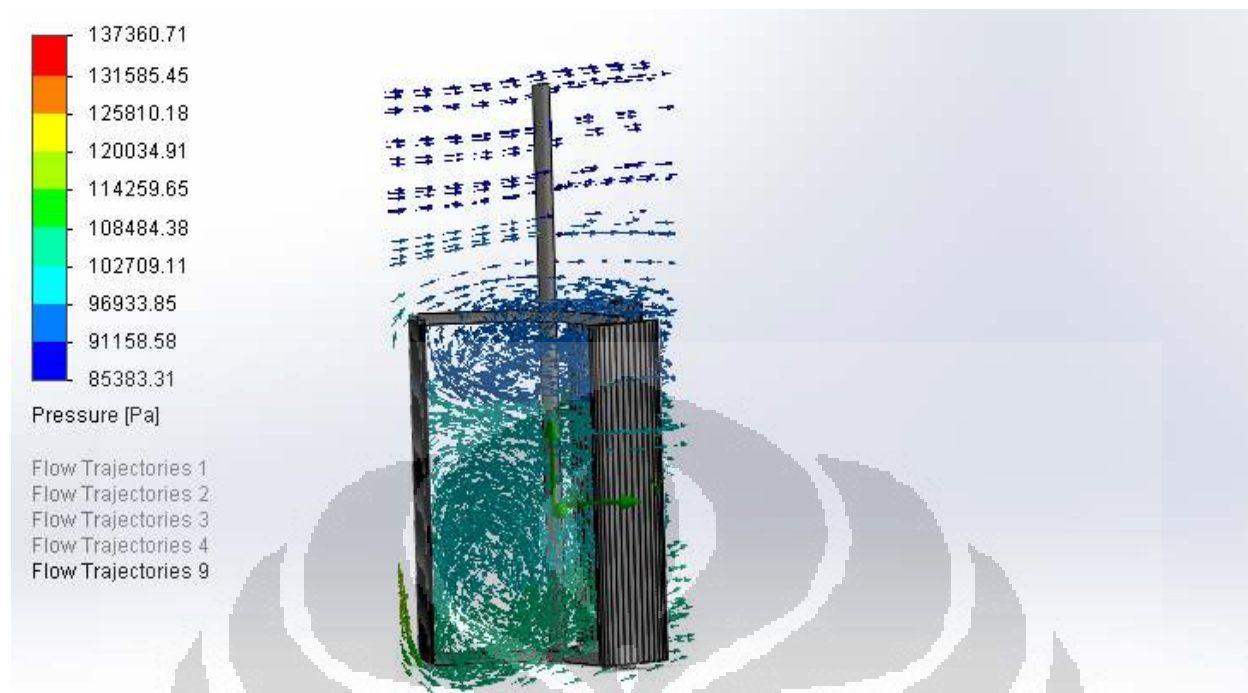
Flow Trajectories 5  
Flow Trajectories 6  
Flow Trajectories 7



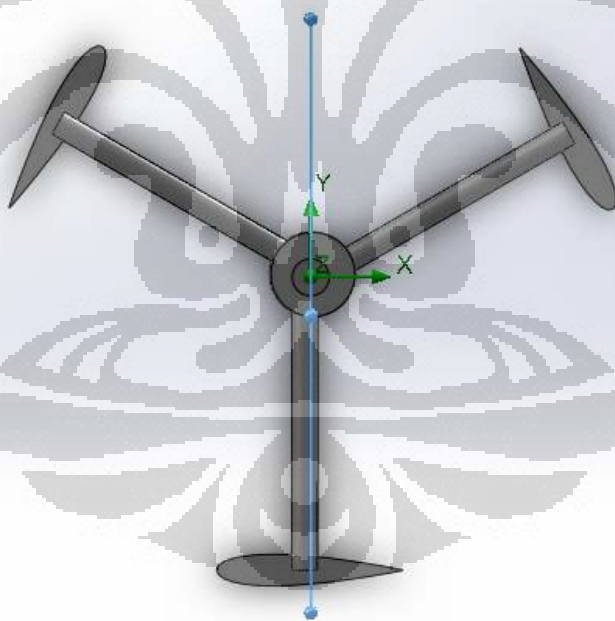
**Trajektori kecepatan pada kecepatan arus 1 m/s dengan putaran 30 rpm tampak atas**



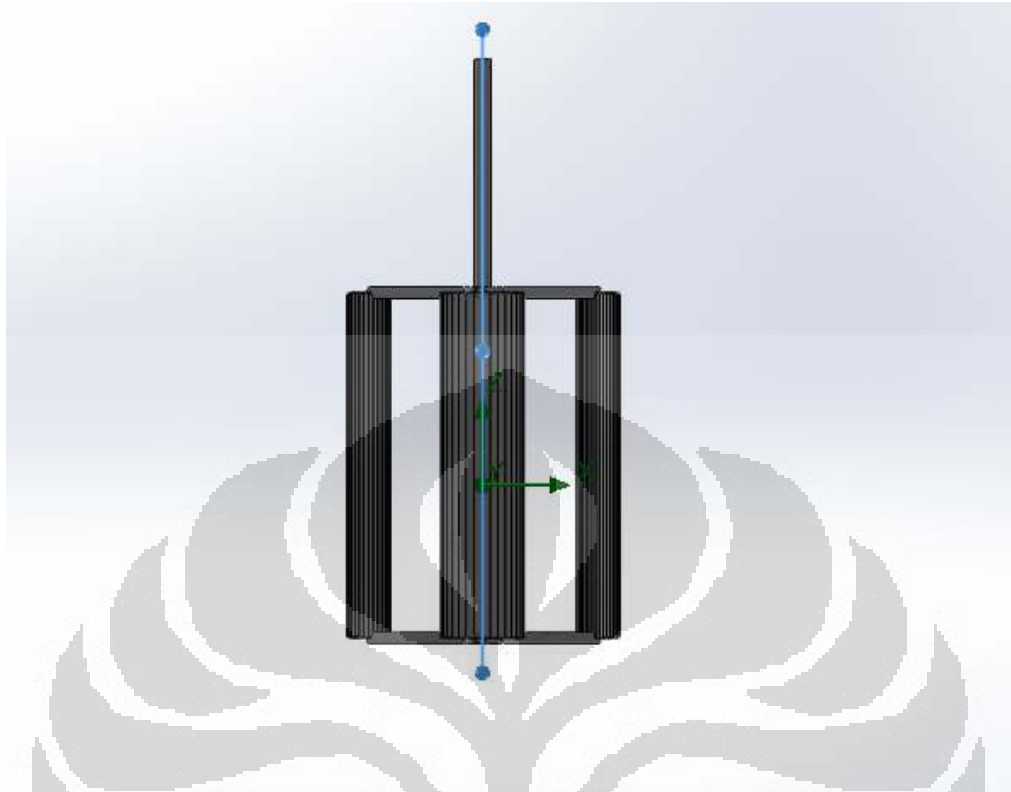
**Trajektori kecepatan pada kecepatan arus 2 m/s dengan putaran 30 rpm tampak depan**



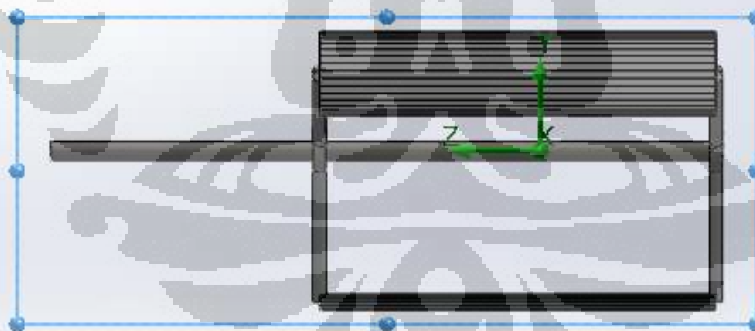
**Trajektori tekanan tanpa global rotating pada kecepatan 2 m/s**



**Tampak atas turbin darrieus**



**Tampak depan turbin darrieus**



**Tampak samping turbin darrieus**