



TUGAS AKHIR - MN 184802

**DAMPAK PENGGUNAAN *FLETTNER ROTOR* TERHADAP
PENGHEMATAN BAHAN BAKAR DAN STABILITAS:
ANALISIS NUMERIK DENGAN *ANSYS FLUENT* DAN
*MAXSURF STABILITY***

**Agung Budi Prabowo
NRP 0411134000008**

**Dosen Pembimbing
Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



TUGAS AKHIR - MN 184802

**DAMPAK PENGGUNAAN *FLETTNER ROTOR* TERHADAP
PENGHEMATAN BAHAN BAKAR DAN STABILITAS:
ANALISIS NUMERIK DENGAN *ANSYS FLUENT* DAN
*MAXSURF STABILITY***

**Agung Budi Prabowo
NRP 0411134000008**

**Dosen Pembimbing
Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.d.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



FINAL PROJECT - MN 184802

**IMPACT OF FLETTNER ROTOR APPLICATION TO FUEL
SAVING AND STABILITY: NUMERICAL ANALYSIS WITH
ANSYS FLUENT AND MAXSURF STABILITY**

**Agung Budi Prabowo
NRP 0411134000008**

**Supervisor
Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2019**

LEMBAR PENGESAHAN

DAMPAK PENGGUNAAN *FLETTNER ROTOR* TERHADAP PENGHEMATAN BAHAN BAKAR DAN STABILITAS: ANALISIS NUMERIK DENGAN *ANSYS FLUENT* DAN *MAXSURF STABILITY*

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

AGUNG BUDI PRABOWO

NRP 04111340000008

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:
Dosen Pembimbing



Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.sc., Ph.D.

NIP 19670406 199203 1 001

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Perkapalan



Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.

NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, 5 JULI 2019

LEMBAR REVISI

DAMPAK PENGGUNAAN *FLETTNER ROTOR* TERHADAP PENGHEMATAN BAHAN BAKAR DAN STABILITAS: ANALISI NUMERIK DENGAN *ANSYS FLUENT* DAN *MAXSURF STABILITY*

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 5 Juli 2019

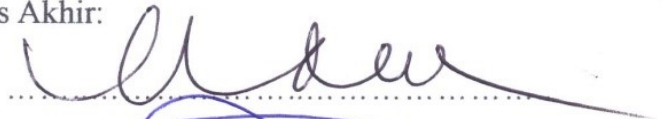
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

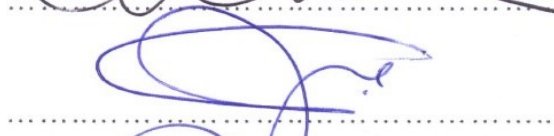
AGUNG BUDI PRABOWO
NRP 0411134000008

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Ahmad Nasirudin, S.T., M.Eng.



2. Aries Sulisetyono, ST., MA.Sc., Ph.D.



3. Dony Setyawan, S.T., M.Eng.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.sc., Ph.D.



SURABAYA, 5 JULI 2019

Dipersembahkan kepada kedua orang tua dan segenap keluarga serta sahabat

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah swt. karena atas karunia serta hidayah-Nya, Tugas Akhir yang berjudul “Dampak penggunaan Flettner Rotor terhadap Penghematan Bahan bakar dan Stabilitas: Analisis Numerik dengan Ansys Fluent dan Maxsurf Stability” ini dapat diselesaikan dengan baik. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan menyelesaikan pendidikan jenjang Strata 1 (S1) di Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Allah SWT. sebagai Tuhan yang Maha Pencipta dan Maha Menghendaki;
2. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan M.Sc., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan ITS;
3. Bapak Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing penulis yang senantiasa memberikan pengertian, semangat, dan inspirasi bagi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini;
4. Ibu Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T. dan Bapak Wing Hendropresetyo Akbar Putra, S.T., M.T. selaku dosen wali yang senantiasa membimbing penulis dalam menjalani masa perkuliahan
5. Bapak, dan Ibu, serta Kakak-kakak dan juga Keponakan yang telah memberikan semangat, dukungan materil maupun moril dan doa atas penulisan Tugas Akhir ini;
6. Teman-teman kos muslim ceria, Robi, Sena, Heri, Dedi, Agung Wahyu, Yoga
7. Teman-teman Teknik Perkapalan FTK-ITS angkatan 2013;
8. Rekan-rekan Kastrat Himatekpal
9. Nurlaili Sri Subiastuti, yang menemani penulis selama masa kuliah dan memotivasi dalam mengerjakan tugas akhir
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang berperan dalam proses pengerjaan tugas akhir ini

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 5 Juli 2019

Agung Budi Prabowo

DAMPAK PENGGUNAAN *FLETTNER ROTOR* TERHADAP PENGHEMATAN BAHAN BAKAR DAN STABILITAS: ANALISI NUMERIK DENGAN *ANSYS FLUENT* DAN *MAXSURF STABILITY*

Nama Mahasiswa : Agung Budi Prabowo
NRP : 0411134000008
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.sc., Ph.D.

ABSTRAK

Flettner rotor merupakan alat yang berguna untuk merubah energi angin menjadi gaya dorong kapal. *Flettner rotor* bekerja berdasar prinsip *magnus effect*. Alat ini dipasang pada geladak kapal agar dapat mengolah angin sebaik mungkin di ruang terbuka. Gaya dorong pada dari *flettner rotor* dapat dimanfaatkan sebagai pendorong kapal agar mesin kapal tidak perlu bekerja maksimum, sehingga konsumsi bahan bakar dapat dikurangi. PT. Pertamina (PERSERO) selaku BUMN yang bergerak di bidang minyak dan gas, membutuhkan kapal tanker yang ramah konsumsi bahan bakar. Dari kasus ini, dicari variasi peletakan rotor yang optimal, potensi gaya dorong berdasar kecepatan angin rata-rata di perairan indonesia dari sudut 0^0 , 60^0 , 90^0 , dan 120^0 , dan pengaruh terhadap kestabilan kapal. *Flettner rotor* dimodelkan menggunakan *Ansys Fluent* dengan menggunakan metode *Moving Mesh* kemudian dianalisa gaya dorongnya untuk masing-masing posisi peletakan rotor, dan stabilitas kapal berdasar kriteria IMO Resolution A.749(18). Dari hasil analisa ditemukan bahwa posisi penempatan paling optimal adalah 5 *flettner rotor* di geladak pada posisi segaris di *centreline*. 5 *flettner rotor* mampu memberikan penghematan bahan bakar 22.1% pada sudut angin 60^0 , 22.3% pada sudut angin 90^0 , 14.9% pada sudut angin 120^0 , dan menambah konsumsi bahan bakar 1.1% pada saat tidak digunakan. Peletakan 5 *flettner rotor* tidak mengurangi kestabilan kapal secara signifikan dan tetap memenuhi kriteria IMO Resolution A.749(18).

Kata Kunci: *Flettner rotor*, *fluent*, *moving mesh*, *stability*, *wind assisted propulsion*

IMPACT OF FLETTNER ROTOR APPLICATION TO FUEL SAVING AND STABILITY: NUMERICAL ANALYSIS WITH ANSYS FLUENT AND MAXSURF STABILITY

Author : Agung Budi Prabowo
Student Number : 041113400000008
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology
Supervisor : Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.sc., Ph.D.

ABSTRACT

Flettner rotor is a device that serve to convert wind energy into the thrust for the ship. The Flettner rotor works based on the magnus effect principle. This device is mounted on the deck of the ship so to optimize wind stream in open space. The thrust on the flettner rotor can be used as a thruster so the ship's engine does not need to work at maimum power, so that fuel consumption can be reduced too. PT. Pertamina (PERSERO) as a state-owned company engaged in oil and gas, requires tankers that are fuel-friendly. From this case, optimal rotor placement variation, potential thrust force based on the average wind speed in Indonesian waters from the angles of 0° , 60° , 90° , and 120° , and the effect on ship stability is sought. Flettner rotors are modeled using Ansys Fluent using the Moving Mesh method and then the thrust force for each rotor laying position, and ship stability based on the criteria of IMO Resolution A.749 (18) is analyzed. From the results of the analysis it was found that the most optimal placement position is 5 rotor flettner on the deck inline position at centreline. 5 flettner rotors can provide fuel savings of 22.1% at 60° wind angles, 22.3% at 90° wind angles, 14.9% at 120° wind angles, and add 1.1% fuel consumption when not in use. Mounting of 5 flettner rotors did not significantly reduce ship stability and still met the criteria of IMO Resolution A.749 (18).

Keyword: Flettner rotor , fluent, moving mesh, stability, wind assisted propulsion

DAFTAR ISI

LEMBAR REVISI	iii
HALAMAN PERUNTUKAN	iv
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SIMBOL	xiii
Bab I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang Masalah	1
I.2. Perumusan Masalah	3
I.3. Tujuan	3
I.4. Batasan Masalah	3
I.5. Manfaat	3
I.6. Hipotesis	3
Bab II STUDI LITERATUR	5
II.1. Mekanika Fluida	5
II.1.1. Tinjauan Singkat Sejarah (Bidang Mekanika Fluida)	6
II.1.2. Ukuran-ukuran Massa dan Berat Fluida	9
II.2. <i>Computational Fluid Dynamics</i>	14
II.3. Stabilitas Kapal	21
Bab III METODOLOGI PENELITIAN	25
III.1. Langkah-langkah Pengerjaan Tugas Akhir	25
III.2. Tahap-Tahap Pengerjaan Tugas Akhir	27
III.3. Diagram Alir Metodologi	40
Bab IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
IV.1. Pendahuluan	41

IV.2.	Stabilitas	41
IV.3.	Gaya Dorong Rotor.....	42
IV.4.	Perhitungan Bahan Bakar	45
Bab V	Kesimpulan.....	51
V.1.	Kesimpulan.....	51
DAFTAR PUSTAKA	.....	53
LAMPIRAN	.....	55
LAMPIRAN A	.....	56
LAMPIRAN B	.....	60
LAMPIRAN C	.....	65
LAMPIRAN D	.....	79
BIODATA PENULIS	.....	110

DAFTAR GAMBAR

Gambar I-1 Contoh <i>Streamline</i> (BMKG, 2017).....	2
Gambar I-2 E-ship 1, Contoh Kapal dengan Flettner Rotor (Marineinsight, 2013).....	2
Gambar II-1 Simulasi Aliran Fluida pada Rotating Cylinder (Seiffert, 2012).....	10
Gambar II-2 Simulasi Aliran Fluida pada Aerofoil (Universalsciencecompendium, 2017).....	10
Gambar II-3 Bentuk Aliran Fluida pada Rotating Cylinder (Seiffert, 2012).....	11
Gambar II-4 Bentuk Aliran Fluida pada Aerofoil (Seiffert, 2012).....	11
Gambar II-5 Prinsip Kerja <i>Flettner Rotor</i>	12
Gambar II-6 Diagram Arah Gaya Pada Kapal	13
Gambar II-7 <i>Contour</i> dan <i>Streamline</i> pada Silinder Diam (Wikipedia, 2018).....	14
Gambar II-8 Diagram Stabilitas Kapal (Lewis, 1988).....	22
Gambar III-1 <i>Linesplan</i>	26
Gambar III-2 Variasi Peletakan Rotor	26
Gambar III-3 Permodelan Hull di Maxsurf beserta Tanki.....	28
Gambar III-4 Membuat Project Ansys Fluent Melalui Ansys Workbench.....	32
Gambar III-5 Sketsa dan <i>Plane</i> yang Telah Digambar di Geometry.....	33
Gambar III-6 Bentuk <i>Rectangle Domain</i> dengan Kemiringan 120^0	33
Gambar III-7 Meshing di Sekitar Rotor.....	34
Gambar III-8 Grafik Jumlah Element dan Gaya	35
Gambar III-9 Grafik Perbandingan 10 <i>Time Steps</i> per Rotasi dan 20 <i>Time Steps</i> per Rotasi..	36
Gambar III-10 Proses <i>Running</i> pada Ansys Fluent	36
Gambar III-11 Konvergensi pada Ansys Fluent.....	37
Gambar III-12 Contoh grafik gaya dorong pada salah satu rotor.....	38
Gambar III-13 Ilustrasi Sudut Angin terhadap Laju Kapal.....	38
Gambar IV-1 Polar Diagram Gaya Dorong	42
Gambar IV-3 Perhitungan Daya dan Konsumsi Bahan Bakar pada Model G Sudut 90^0	48
Gambar IV-4 Perhitungan Bahan Bakar Pada Kecepatan 5.888 Knot	49
Gambar IV-5 Grafik Hambatan dan Kecepatan pada Maxsurf Resistance.....	50

DAFTAR TABEL

Tabel III-1 Validasi Hidrostatik Data Teknis Kapal.....	28
Tabel IV-1 Perubahan Muatan dan Titik Berat untuk Setiap Model.....	41
Tabel IV-2 Kriteria Stabilitas Masing-Masing Model.....	42
Tabel IV-3 Gaya Masing-Masing Model pada Sudut 0^0	43
Tabel IV-4 Gaya Masing-Masing Model pada Sudut 60^0	44
Tabel IV-5 Gaya Dorong pada Sudut 90^0	44
Tabel IV-6 Gaya Dorong pada Sudut 120^0	45
Tabel IV-7 Gaya Dorong, Perubahan Daya, dan Konsumsi BBM pada Mesin Utama dan Mesin Bantu.....	46
Tabel IV-8 Kecepatan Kapal dengan Penggerak <i>Flettner Rotor</i>	50

DAFTAR SIMBOL

L	= Panjang kapal (m)
Loa	= Length overall (m)
Lpp	= Length perpendicular (m)
Lwl	= Length of waterline (m)
B	= Lebar Kapal (m)
T	= Sarat kapal (m)
H	= Tinggi lambung kapal (m)
Vs	= Kecepatan dinas kapal (knot)
Fn	= Froude number
Cb	= Koefisien blok
Cp	= Koefisien prismatic
Cm	= Koefisien midship
LCB	= Panjang koefisien blok (m)
ρ	= Massa jenis (kg/m ³)
RT	= Hambatan total kapal (N)
RT'	= Hambatan total kapal setelah dikurangi gaya dorong rotor(N)
eHP	= Effective Horse Power (Watt)
eHP'	= Effective Horse Power setelah dikurangi gaya dorong rotor (Watt)
BHP	= Brake Horse Power (Watt)
BHP'	= Brake Horse Power setelah dikurangi gaya dorong rotor (Watt)
SFC	= Specific Fuel Consumption (g/kw.h)
FC	= Fuel Consumption (Kg/h)
η	= Koefisien dari efisiensi

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Bahan bakar fosil merupakan salah satu bentuk energi yang paling banyak digunakan. 33% energi dunia didapatkan dari konsumsi minyak bumi, 24% dari gas alam dan 30% dari batubara. 26% energi digunakan untuk sektor transportasi. Penggunaan bahan bakar fosil memiliki dampak lingkungan berupa gas CO₂. Pada periode 1974-2014, emisi CO₂ telah meningkat 2 kali lipat, dari 16,9 Gigaton menjadi 35,5 Gigaton. Transportasi maritim menyumbang 3% emisi karbon (Jiang, 2014).

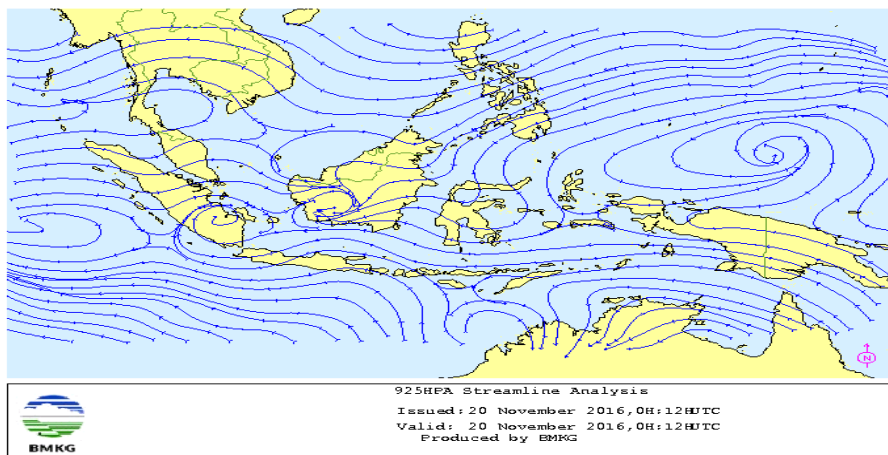
Namun merebaknya isu lingkungan beberapa tahun belakangan, memaksa segala sektor untuk mengurangi produksi gas karbon dalam kegiatan produksinya. Berbagai teknologi dan regulasi telah dikembangkan untuk menekan besarnya emisi yang dihasilkan. Salah satu cara mengurangi emisi gas karbon adalah dengan mengurangi konsumsi minyak bumi melalui penghematan bahan bakar fosil. Salah satu sumber energi yang dipertimbangkan untuk menggerakkan kapal adalah energi angin (Traut, 2014). Energi angin dapat dimanfaatkan melalui berbagai cara, salah satu yang sedang dipertimbangkan adalah dengan *Flettner Rotor*.

Flettner rotor adalah perangkat berbentuk silinder berputar vertikal yang diletakkan di geladak kapal, diterapkan pertama kali oleh Anton Flettner pada 1922 pada kapal Buckau. *Flettner rotor* bekerja dengan memanfaatkan prinsip *Magnus effect*. *Magnus effect* adalah fenomena yang terjadi ketika objek berputar di dalam aliran fluida, putaran objek dan aliran fluida menyebabkan perbedaan kecepatan aliran di kedua sisi objek yang tegak lurus terhadap arah fluida. Perbedaan kecepatan ini menimbulkan perbedaan tekanan, sehingga menimbulkan gaya dorong yang dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan kapal (Zhao, 2013). Kapal dengan *Flettner Rotor* selanjutnya dikenal sebagai *RotorShip*. Gagasan tentang *Rotorship* ditinggalkan tak lama setelah sukses diuji coba, penyebab utamanya adalah penurunan harga minyak yang menyebabkan investasi menjadi berjangka panjang dan tidak ada kepastian (Seiffert, 2012)

Gagasan tentang *Flettner Rotor* sebagai *Wind Assisted Propulsion* tidak mendapat perhatian yang berarti hingga pada 2010 Enercon meluncurkan kapal kargo dengan 4 *flettner rotor*. Gambar

kapal ditampilkan pada **gambar I.2**. Pada 2012, Norsepower menjadi perusahaan pertama yang mengkomersialkan *flettner rotor*. Gagasan tentang perubahan iklim telah membentuk pola pikir baru dalam menjalankan bisnis, termasuk bagi PT Pertamina (PERSERO) yang menjadikan energi terbarukan sebagai salah satu misinya.

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan Norsepower terhadap 3 kapal yang telah menggunakan produknya, kapal yang menggunakan aplikasi *flettner rotor* dapat menghasilkan efisiensi 5 hingga 20 % pada kapal tertentu. Hal ini tentu dapat dilakukan juga pada kapal tanker Pertamina, yang ingin menghasilkan efisiensi yang cukup besar nilainya. Sehingga konsumsi bahan bakar dapat dihemat dan emisi CO₂ dapat dikurangi. (Norsepower, 2018)



Gambar I-1 Contoh Streamline (BMKG, 2017)



Gambar I-2 E-ship 1, Contoh Kapal dengan Flettner Rotor (Marineinsight, 2013)

Indonesia memiliki berbagai alternatif energi untuk mengurangi konsumsi minyak bumi. Salah satu yang tersedia adalah angin muson yang bertiup sepanjang tahun dan berganti arah setiap 6 bulan. Di laut Jawa, angin bertiup timur ke barat dan berganti arah setiap musim. Kecepatan angin rata-rata berkisar 11 hingga 16 knot atau dalam skala beaufort digolongkan sebagai sea state 4. Maka kecepatan angin untuk tugas akhir ini diambil 6 m/s (Sulisetyono, 2014). Contoh *streamline* yang diambil pada tahun 2016 ditampilkan pada **gambar I.1**.

I.2. Perumusan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang di atas permasalahan yang akan dikaji dalam Tugas Akhir ini adalah:

- Berapa besar penghematan bahan bakar yang didapat dari penggunaan *flettner rotor*?
- Bagaimana dampak penggunaan *flettner rotor* terhadap stabilitas kapal?

I.3. Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui stabilitas kapal berdasar kriteria yang telah ditetapkan IMO
2. Mengetahui gaya dorong yang dihasilkan *flettner rotor* pada kondisi angin tertentu
3. Mengetahui penghematan bahan bakar dari penggunaan *flettner rotor*

I.4. Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah yang ada dalam penelitian ini adalah :

4. Data kapal disediakan oleh PT Pertamina (PERSERO), dan data *flettner rotor* disediakan oleh Norsepower.Ltd
5. Gaya yang dihitung untuk mendorong kapal adalah driving force
6. Hambatan kapal dihitung dengan metode holtrop melalui Maxsurf Resistance
7. Gaya dorong rotor dihitung dengan metode moving mesh dengan Ansys Fluent

I.5. Manfaat

Dari Tugas Akhir ini, diharapkan dapat diambil manfaat sebagai berikut :

- Secara akademis, diharapkan hasil pengerjaan Tugas Akhir ini dapat membantu menunjang proses belajar mengajar dan turut memajukan khazanah pendidikan di Indonesia.
- Secara praktek, diharapkan hasil dari Tugas Akhir ini dapat berguna sebagai referensi dalam mencari solusi penghematan bahan bakar pada kapal

I.6. Hipotesis

Penggunaan *Flettner Rotor* pada Kapal Tanker milik PT Pertamina (PERSERO) akan mengurangi konsumsi bahan bakar dan tetap memenuhi kriteria stabilitas IMO

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

BAB II

STUDI LITERATUR

II.1. Mekanika Fluida

Mekanika fluida adalah disiplin ilmu bagian dari bidang mekanika terapan yang mengkaji perilaku dari zat cair maupun gas dalam keadaan diam atau bergerak. Bidang mekanika ini mencakup variasi persoalan dalam kehidupan sehari-hari, mulai dari kajian mengenai aliran darah di dalam tubuh melalui saluran kapiler (yang memiliki diameter beberapa mikron) hingga kajian mengenai aliran minyak mentah yang melewati Alaska melalui pipa berdiameter 4 ft sepanjang 800 mil (Munson, 2002).

Pengamatan lebih mendalam mengenai struktur molekul dari material mengungkapkan bahwa zat yang biasanya kita anggap sebagai benda padat (baja, kayu, dan lain-lain) memiliki jarak antar molekul yang rapat dengan gaya kohesi antar molekul yang besar yang memungkinkan sebuah benda padat mempertahankan bentuknya dan tidak mudah untuk dideformasi. Namun, untuk zat yang biasanya kita anggap sebagai cairan (air, minyak dan lain-lain) molekul-molekulnya agak terpisah, gaya antar molekulnya lebih lemah daripada benda padat dan molekul-molekul tersebut mempunyai pergerakan yang lebih bebas. Jadi, zat cair dapat dengan mudah dideformasi (tetapi tidak mudah dimampatkan) dan dapat dituangkan ke dalam bejana atau dipaksa melalui sebuah tabung. Gas-gas (udara, oksigen dan lain-lain) memiliki jarak antar molekul yang lebih besar dan gerakan yang lebih bebas dengan gaya antar molekul yang dapat diabaikan, sehingga gas sangat mudah dideformasi (dan dimampatkan) dan akan mengisi secara penuh volume suatu bejana dimana gas tersebut ditempatkan.

Meskipun perbedaan antara benda padat dan fluida dapat dijelaskan secara kualitatif berdasarkan struktur molekulnya, perbedaan yang lebih spesifik didasarkan pada bagaimana zat tersebut berdeformasi di bawah suatu beban luar yang bekerja. Secara khusus, fluida didefinisikan sebagai zat yang berdeformasi terus menerus selama dipengaruhi suatu tegangan geser. Sebuah tegangan (gaya per satuan luas) geser terbentuk apabila sebuah gaya tangensial bekerja pada sebuah permukaan. Apabila benda padat biasa seperti baja, kayu dikenakan sebuah tegangan geser, mula-

mula benda akan berdeformasi (biasanya sangat kecil), tetapi tidak akan terus berdeformasi (mengalir).

II.1.1. Tinjauan Singkat Sejarah (Bidang Mekanika Fluida)

Sebelum kita melanjutkan kajian mekanika fluida, kita akan beralih sejenak untuk meninjau sejarah dari ilmu teknik yang penting ini. Seperti juga pada seluruh disiplin teknik dan ilmu pengetahuan yang lain, awal mula sebenarnya dari kajian bidang-bidang tersebut hanya sedikit yang diketahui dari zaman purbakala. Tetapi, kita mengetahui bahwa ketertarikan dalam perilaku fluida berawal dari peradaban kuno. Karena kebutuhan, timbul pemikiran praktis mengenai bagaimana tombak dan panah dapat diluncurkan melalui udara, dalam pengembangan pasokan air dan sistem irigasi dan dalam merancang perahu dan kapal. Perkembangan-perkembangan ini tentu saja berdasarkan prosedur coba-coba (*trial and error*) tanpa adanya pengetahuan matematika dan mekanika. Namun, akumulasi dari pengetahuan empiris tersebutlah yang kemudian membentuk dasar-dasar bagi perkembangan lebih lanjut selama mulainya peradaban Yunani kuno dan dilanjutkan dengan kebangkitan kekaisaran Romawi. Beberapa tulisan awal yang memberi sumbangan pada mekanika fluida modern antara lain tulisan Archimedes (287-212 SM), seorang ahli matematika dan penemu Yunani yang pertama kali mengungkapkan prinsip-prinsip hidrostatis dan gejala keterapungan. Sistem pasokan air yang rumit dibangun oleh bangsa Romawi selama periode abad keempat sebelum masehi sampai awal periode Kristen, dan Sextus Julius Frontinus (40 – 103), seorang insinyur Romawi, menggambarkan sistem tersebut secara terperinci. Namun dalam waktu 1000 tahun kemudian selama Era Pertengahan (dikenal juga dengan Era Kegelapan), tampaknya hanya ada sedikit tambahan terhadap pemahaman lebih lanjut dari perilaku fluida.

Berawal pada zaman pencerahan (Renaissance periode) sekitar abad kelima belas, dimulailah suatu kontribusi yang agak berkelanjutan yang membentuk dasar – dasar dari apa yang kita anggap sebagai ilmu pengetahuan mekanika fluida. Leonardo da Vinci (1452 – 1519) menggambarkan melalui sketsa-sketsa dan tulisan berbagai jenis fenomena aliran. Karya Galileo Galilei (1564-1642) menandai dimulainya mekanika eksperimental. Melanjutkan awal periode Pencerahan dan selama abad ketujuh belas dan delapan belas, banyak sumbangan penting dibuat. Sumbangan-sumbangan ini mencakup pencapaian – pencapaian teoritis dan matematis yang dapat dikaitkan dengan nama-nama terkenal seperti Newton, Bernoulli, Euler, dan d'Alembert. Aspek-aspek eksperimental dari mekanika fluida juga mengalami kemajuan selama periode ini, namun sayang sekali, dua pendekatan yang berbeda secara teoritis dan eksperimental, berkembang melalui

jalan terpisah. *Hidrodinamika* adalah istilah yang dikaitkan dengan kajian teoritis atau matematis dari perilaku fluida yang diidealisasi dan tanpa gesekan, sementara istilah *hidrolika* digunakan untuk menggambarkan aspek terapan atau eksperimental dari perilaku fluida nyata, khususnya perilaku air (Munson,2002). Kontribusi dan perbaikan lebih lanjut baik pada hidrodinamika teoritis maupun hidrolika eksperimental dilakukan selama abad kesembilan belas, dimana persamaan – persamaan diferensial umum untuk menggambarkan gerakan fluida yang digunakan dalam mekanika fluida modern dikembangkan selama masa ini. Hidrolika eksperimental menjadi lebih dianggap sebagai suatu kajian ilmiah, dan banyak hasil-hasil-hasil eksperimen yang dilakukan selama abad kesembilan belas masih digunakan sampai saat ini.

Pada awal abad kedua puluh, bidang hidrodinamika teoritis dan hidrolika eksperimental sudah sangat berkembang, dan dilakukan upaya-upaya untuk menyatukan keduanya. Pada tahun 1904, sebuah makalah klasik disampaikan oleh seorang Profesor Jerman, Ludwig Prandtl (1857-1953), yang memperkenalkan konsep “lapisan batas fluida (*fluid boundary layer*)” yang meletakkan dasar-dasar bagi penyatuan aspek teoritis dan eksperimental dari mekanika fluida. Gagasan Prandtl adalah bahwa untuk aliran di dekat benda padat, terbentuk sebuah lapisan fluida yang tipis (lapisan batas) dimana gesekan sangat penting, namun di luar lapisan ini, fluida berperilaku lebih banyak menyerupai fluida tanpa gesekan. Konsep yang relatif sederhana ini memberi dorongan pada penyelesaian konflik antara ahli hidrodinamika dan ahli hidrolik. Prandtl secara umum diterima sebagai pendiri mekanika fluida modern.

Selama dekade pertama abad kedua puluh, pesawat terbang pertama telah berhasil didemonstrasikan dan kemudian diikuti oleh peningkatan perhatian yang sangat besar pada *aerodinamika*. Karena rancangan pesawat terbang membutuhkan suatu tingkat pemahaman aliran fluida dan kemampuan melakukan prediksi yang akurat mengenai pengaruh aliran udara pada sebuah benda, bidang aerodinamika memberikan rangsangan yang sangat besar bagi perkembangan yang sangat cepat di bidang mekanika fluida yang berlangsung selama abad kedua puluh.

Daftar kronologis dari beberapa pemberi sumbangan terhadap ilmu mekanika fluida:

Archimedes (287-212 SM)

Menetapkan prinsip-prinsip dasar gaya apung dan peristiwa mengapung;

Leonardo da Vinci (1452 – 1519)

Mengungkapkan prinsip-prinsip dasar kontinuitas, mengamati dan membuat sketsa banyak fenomena aliran dasar, memberi rancangan mesin-mesin hidrolik;

Galileo Galilei (1564-1642)

Secara tidak langsung merangsang hidrolika eksperimental; merevisi konsep vakum Aristoteles;

Blaise Pascal (1623-1662)

Memberi penjelasan akhir prinsip-prinsip barometer, mesin tekan hidrolik, dan kemampuan pentransmisi tekanan.

Newton (1642-1727)

Meneliti berbagai aspek hambatan viskos, dan gelombang. Menemukan kontraksi jet.

Daniel Bernoulli (1700-1782)

Melakukan eksperimen dan menulis mengenai banyak aspek dari gerakan fluida, mempopulerkan istilah "hidrodinamik", membuat teknik menometri dan mengadaptasi prinsip energi dasar untuk menjelaskan indikasi kecepatan *head*, mengusulkan masalah propulsi jet.

Leonhar Euler (1707-1783)

Pertama kali menjelaskan peranan tekanan dalam aliran fluida; merumuskan persamaan-persamaan dasar gerak dan apa yang disebut teorema Bernoulli; memperkenalkan kavitasasi dan prinsip-prinsip mesin sentrifugal.

Gotthilf Heinrich Ludwig Hagen (1799-1884)

Melakukan kajian awal hambatan di dalam dan transisi antara aliran laminar dan turbulen.

William Froude (1810-1879)

Mengembangkan banyak teknik towing tank, khususnya konversi hambatan gelombang dan lapisan batas dari skala model ke prototipe.

George Gabriel Stokes (1819-1903)

Menurunkan secara analitik berbagai hubungan dalam aliran mulai dari mekanika gelombang sampai hambatan viskos, khususnya yang berkaitan dengan benda bulat.

Osborne Reynolds (1842-1912)

Menggambarkan eksperimen orisinil di berbagai bidang kavitasi, keserupaan model sungai, hambatan pipa dan memberikan dua parameter untuk aliran viskos; mengadaptasi persamaan gerak dari fluida viskos pada kondisi rata-rata aliran turbulen.

Ludwig Prandtl (1857-1953)

Memperkenalkan konsep lapisan batas dan secara umum dianggap sebagai bapak mekanika fluida saat ini.

II.1.2. Ukuran-ukuran Massa dan Berat Fluida

Kerapatan (*density*)

Kerapatan sebuah fluida, dilambangkan dengan huruf Yunani ρ (rho), didefinisikan sebagai massa fluida per satuan volume. Kerapatan biasanya digunakan untuk mengkararakteristikkan massa sebuah sistem fluida. Dalam sistem BG (*British Gravitational*), ρ mempunyai satuan slugs/ft³ dan dalam satuan SI adalah kg/m³.

Nilai kerapatan dapat bervariasi cukup besar di antara fluida yang berbeda, namun untuk zat cair variasi tekanan dan temperatur umumnya hanya memberikan pengaruh kecil terhadap nilai ρ .

Berat jenis

Berat jenis dari sebuah fluida, dilambangkan dengan huruf Yunani γ (gamma), didefinisikan sebagai berat fluida per satuan volume. Berat jenis berhubungan dengan kerapatan melalui persamaan :

$$\gamma = \rho \times g$$

dimana g adalah percepatan gravitasi lokal. Seperti halnya kerapatan yang digunakan untuk mengkararakteristikkan sebuah sistem fluida, berat jenis digunakan untuk mengkararakteristikkan berat dari sistem tersebut. Dalam sistem BG, γ mempunyai satuan lb/ft³ dan dalam satuan SI adalah N/m³.

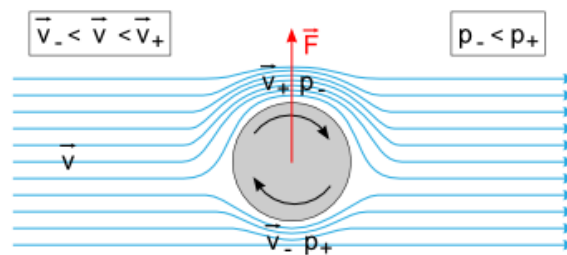
Gravitasi Jenis

Gravitasi jenis sebuah fluida, dilambangkan sebagai SG, didefinisikan sebagai perbandingan kerapatan fluida tersebut dengan kerapatan air pada sebuah temperatur tertentu. Biasanya temperatur tersebut adalah 4°C (39,2°F) dan pada temperatur ini kerapatan air adalah 1,94 slugs/ft³ atau 1000 kg/m³.

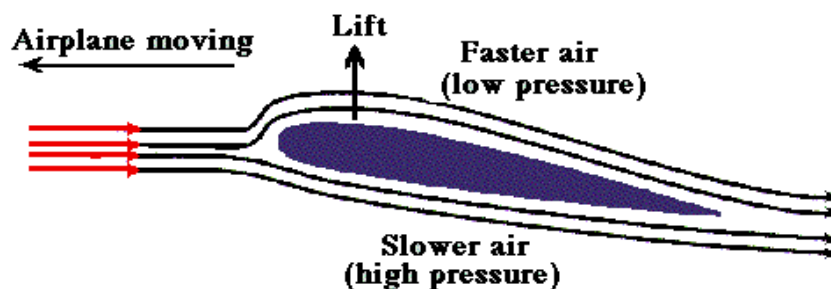
II.1.3. Efek Magnus

Efek magnus pertama kali diamati oleh Isaac Newton pada pertandingan tenis di Cambridge tahun 1671. Gerakan bola tenis yang melengkung saat berputar menarik perhatiannya. Jika sebuah benda berputar dengan sumbu tegak lurus terhadap arah aliran fluida maka sebuah gaya dengan arah hampir tegak lurus akan bekerja pada permukaan benda tersebut. Arah gaya tergantung pada arah rotasi, gaya akan mengarah ke arah ujung benda tersebut ketika berputar.

Efek magnus terjadi akibat adanya putaran dan aliran fluida pada sebuah silinder atau bola. Salah satu sisi fluida akan didorong oleh silinder karena searah dengan putaran silinder, sehingga kecepatan aliran bertambah dan tekanan berkurang. Sementara sisi lain akan dihambat karena berlawanan arah dengan putaran silinder, akibatnya kecepatan berkurang dan tekanan meningkat. Perbedaan tekanan antara kedua sisi yang berlawanan ini akan mengakibatkan gaya magnus. (Craft, 2012).



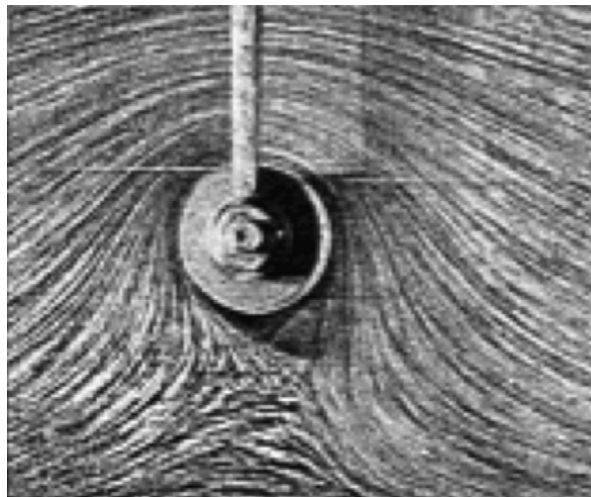
Gambar II-1 Simulasi Aliran Fluida pada Rotating Cylinder (Seiffert, 2012)



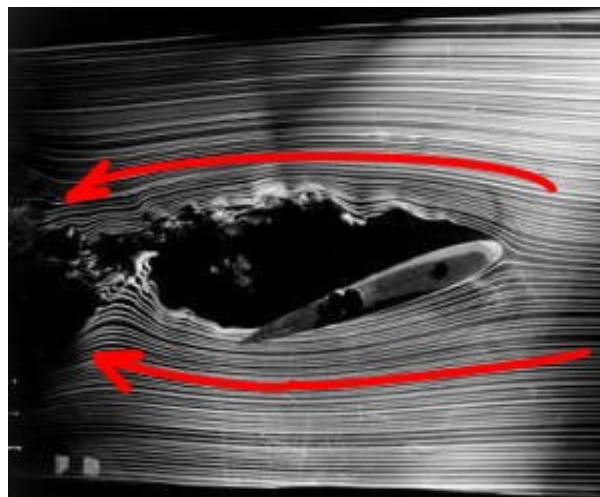
Gambar II-2 Simulasi Aliran Fluida pada Aerofoil (Universalscienceconpendium, 2017)

Selain itu juga terdapat pembalikan gaya pada nilai *Reynold number* tertentu, yaitu antara $0,99 \times 10^5$ hingga $5,01 \times 10^5$. Pembalikan gaya magnus terbesar terjadi pada nilai $Re = 3 \times 10^5$. Namun hal ini juga dipengaruhi oleh faktor lain seperti kekasaran permukaan, semakin kasar permukaan menyebabkan pembalikan gaya semakin kecil. Kasus efek magnus sering diaplikasikan pemain golf dengan memutar ujung depan bola ke arah atas agar dapat menjangkau jarak lebih jauh, pemain

sepak bola memutar bola dengan sumbu tegak agar dapat menghasilkan tendangan melengkung yang dapat mengecoh lawan. Kini beberapa jenis *drone* menggunakan silinder berputar untuk menggantikan *aerofoil* konvensional agar dapat menghasilkan gaya angkat lebih besar. Penggunaan efek magnus untuk tujuan komersial paling signifikan adalah adanya *Flettner rotor* pada kapal untuk menggantikan peran layar konvensional. Penjelasan mengenai aliran fluida pada aerofoil dan rotating cylinder ditunjukkan pada **gambar II.1** sampai **gambar II.4.**(Seiffert, 2012).



Gambar II-3 Bentuk Aliran Fluida pada Rotating Cylinder (Seiffert, 2012)



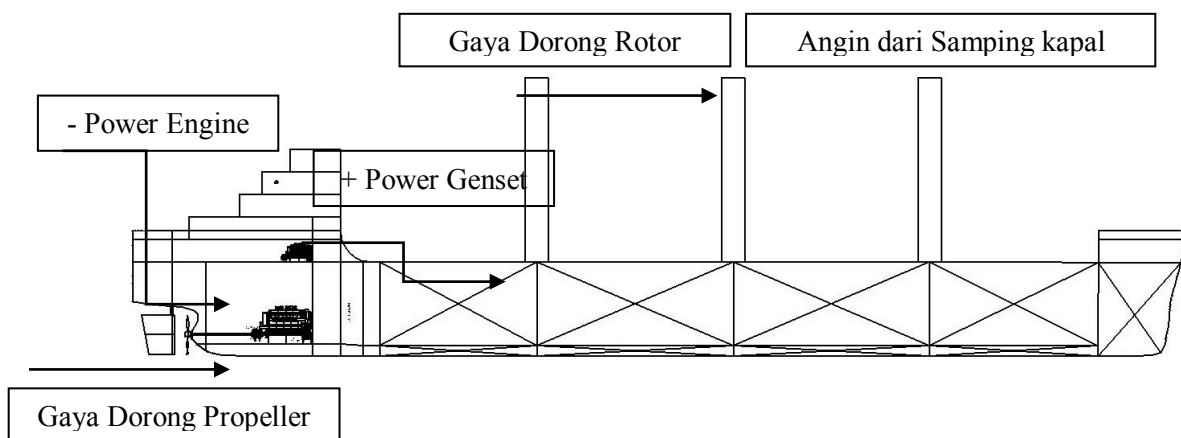
Gambar II-4 Bentuk Aliran Fluida pada Aerofoil (Seiffert, 2012)

II.1.4. *Flettner Rotor*

Flettner rotor diaplikasikan pertama kali pada 1926 oleh Anton Flettner pada sebuah kapal. Kapal bernama Buckau ini awalnya digerakkan dengan 2 tiang layar, namun kemudian digantikan oleh 2 silinder berputar berdiameter 2,8 meter dan tinggi 15,6 meter. dengan luas permukaan 1/10 dari luas layar awalnya, ia dapat bekerja lebih baik dibanding kapal sejenisnya dan jumlah kru dapat

dikurangi. Flettner rotor dibuat berdasar hasil diskusi Anton Flettner dan Ludwig Prandtl. Prandtl sebelumnya telah menjalankan riset mandiri tentang *magnus effect* pada silinder. Pada 2010, Enercon meluncurkan kapal kargo dengan 4 *flettner rotor*. (Craft, 2012). Pada 2012, Norsepower menjadi perusahaan pertama yang mengkomersialkan *flettner rotor*. Gagasan tentang perubahan iklim telah membentuk polapikir baru dalam menjalankan bisnis, termasuk bagi PT Pertamina (PERSERO) yang menjadikan energi terbarukan sebagai salah satu misinya. Pemasangan lebih dari satu rotor dapat menyebabkan aliran udara pada rotor lain terganggu, sehingga gaya masing-masing rotor harus dihitung sendiri baru kemudian dijumlahkan langsung untuk mendapat nilai besaran gaya dorong kapal (Messer, 2016).

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan Norsepower terhadap 3 kapal yang telah menggunakan produknya, kapal yang menggunakan *flettner rotor* dapat menghasilkan efisiensi 5 hingga 20 % pada kapal tertentu. Hal ini tentu dapat dilakukan juga pada kapal tanker Pertamina, yang ingin menghasilkan efisiensi yang cukup besar nilainya. Sehingga konsumsi bahan bakar dapat dihemat dan emisi CO₂ dapat dikurangi. (Norsepower, 2018)



Gambar II-5 Prinsip Kerja *Flettner Rotor*

II.1.5. Gaya-Gaya yang Bekerja Pada *Flettner Rotor*

Prinsip kerja silinder berputar hampir sama dengan prinsip kerja *aerofoil*. Salah satu aplikasi *aerofoil* sebagai penggerak kapal adalah penggunaan layar, sedangkan silinder berputar diaplikasikan sebagai *flettner rotor* untuk mendapat gaya dorong akibat fenomena *magnus effect*. Gaya-gaya yang bekerja pada silinder berputar dapat didefinisikan sama dengan gaya yang bekerja pada *aerofoil*, yaitu *lift* dan *drag*. *Lift* adalah gaya pada objek dalam aliran fluida yang arahnya tegak lurus arah aliran fluida, sedangkan *drag* searah dengan aliran fluida.

Pada kapal layar, kedua gaya ini bekerja sama mendorong kapal, terutama ketika berlayar pada kondisi *beam wind* atau angin dari samping. Ketika angin mengalir dari belakang kapal, gaya yang bekerja hanya *drag*.

Gaya *lift* dan *drag* selanjutnya diproyeksikan ke arah gerak kapal menjadi *driving force* dan *heeling force*. *Driving force* adalah gaya dari layar yang searah laju kapal, sedangkan *heeling force* tegak lurus terhadap arah laju kapal (Anwar, 2010).

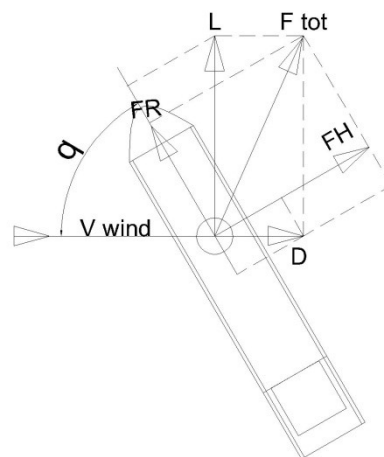
Dari **gambar II-6** terlihat angin datang dari sudut Q terhadap laju kapal. Kemudian terdapat gaya *drag* dengan simbol “D”, *lift* dengan simbol “L”, *driving force* dengan simbol “FR”, dan *heeling force* dengan simbol “FH”.

Besar *heeling force* dan *driving force* dirumuskan sebagai

$$FR = L \sin Q - D \cos Q$$

$$FH = L \cos Q + D \sin Q$$

Dalam model geometry Ansys, domain dibuat bisa berputar menyesuaikan sudut datangnya angin. Dengan begitu *driving force* dan *heeling force* dapat langsung diproyeksikan terhadap sumbu X dan sumbu Y

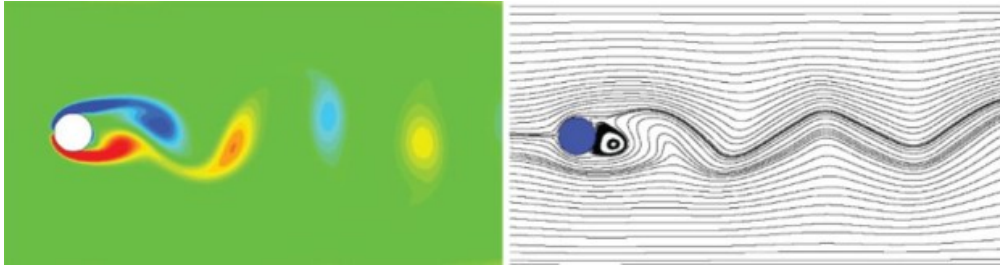


Gambar II-6 Diagram Arah Gaya Pada Kapal

II.1.6. Efek von Karman

Pada hasil running Flettner Rotor dengan Ansys Fluent, didapatkan hasil lift yang fluktuatif. Nilai lift berubah secara uniform membentuk. Hal ini diakibatkan terjadinya efek von Karman. Efek

von Karman adalah istilah dalam fluida dinamis yang terjadi akibat separasi aliran yang goyah karena melintasi sebuah permukaan.



Gambar II-7 Contour dan Streamline pada Silinder Diam (Wikipedia, 2018)

Efek von Karman merupakan suatu peristiwa umum yang terjadi pada bilangan Reynolds tertentu. Jika dilakukan pengamatan dengan *vector plot*, maka pada belakang di belakang silinder tampak terbentuk *wake* (gelombang) dan peluruhan *vortex* (pusaran fluida), yaitu dua baris vorteks yang berlawanan arah terbentuk dibelakang silinder. Peluruhan vorteks tersebut tidak stabil sehingga menimbulkan fluktuasi aliran. Fenomena tersebut dinyatakan sebagai *wake drag*. Bila bilangan Reynolds bertambah maka *wake* cenderung tidak stabil dimana akan berlanjut terjadinya fenomena *vortex*.(Nuramal, 2012). Pada gambar II.1 tampak fluida di belakang objek mulai berputar di sisi kiri dan kanannya.

II.2. Computational Fluid Dynamics

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan salah satu cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisa permasalahan yang berhubungan dengan aliran fluida. Tujuan dari CFD adalah untuk memprediksi secara akurat tentang aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia dalam system yang kompleks, yang melibatkan satu atau semua fenomena di atas. Permodelan CFD sendiri didefinisikan sebagai teknik perhitungan untuk memprediksi fenomena dasar aliran yang menggunakan komputer berkemampuan tinggi. Selain itu, CFD juga didefinisikan sebagai suatu analisa terhadap sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan kalor dan kasus sejenis dengan bantuan simulasi komputer.

Pada abad ketujuh belas, dasar – dasar fluida eksperimental dikenalkan di negara Inggris dan Prancis. Pada abad kesembilan belas, terlihat pengembangan dinamika fluida secara teoritis. Kemudian sepanjang abad kedua puluh, studi dan praktik dalam dinamika fluida melibatkan penggunaan teori murni disatu sisi dan eksperimen murni di sisi lainnya. Hal ini terjadi hingga tahun 1960-an. Pada akhir tahun 1970, dikembangkan CFD dengan keterbatasan. Namun, seiring

perkembangan, CFD modern bisa mengakomodasi semua disiplin ilmu yang menggunakan analisis aliran fluida.

Saat ini, banyak perangkat lunak CFD yang digunakan untuk menganalisa aliran fluida yang diantaranya : ICEM CFD-CFX, FLUENT, dan sebagainya. Perangkat lunak ini dapat menganalisa aliran fluida yang terjadi di sekitar propeller kapal. (Putra, 2016)

II.2.1. Persamaan Dinamika Fluida dalam CFD

Dasar yang fundamental pada hampir semua masalah CFD adalah persamaan Navier-Stokes (dinamakan dari Claude Louis Navier dan George Gabriel Stokes), yang menjelaskan pergerakan dari suatu fluida seperti cairan dan gas (Couser, 2002). Dalam persamaan ini, asumsi pertama adalah bahwa fluida *incompressible* (tidak dapat dimampatkan), yang mengarah ke persamaan lain: kekekalan massa (*conservation of mass*).

Bentuk umum persamaan Navier-Stokes:

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \nabla v \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 v + f$$

di mana :

V = Kecepatan aliran

∇ = Perpindahan

ρ = masa jenis fluida

μ = *frictional resistance* yang merepresentasikan viskositas

f = gaya dari luar, misalnya gaya gravitasi

t = waktu

II.2.2. Teori Dinamika Fluida

Ada beberapa keuntungan dari CFD berdasarkan pendekatan eksperimen untuk desain sistem fluida antara lain :

1. Meminimumkan biaya dan waktu dalam mendesain suatu produk, jika proses desain tersebut dilakukan dengan uji eksperimen dengan akurasi tinggi.
2. Mempunyai kemampuan sistem studi yang dapat mengendalikan percobaan yang sulit atau tidak mungkin dilakukan melalui eksperimen.
3. Mempunyai kemampuan untuk sistem studi di bawah kondisi berbahaya pada saat atau sesudah melewati titik kritis (termasuk studi keselamatan dan skenario kecelakaan).

4. Keakuratannya akan selalu dikontrol dalam proses desain

Aplikasi dari software untuk penyelesaian masalah aliran pada kapal telah mengalami kemajuan cukup pesat pada akhir-akhir ini. Bahkan pada saat ini teknik software merupakan bagian dari proses desain dalam diagram spiral perencanaan. Dengan software memungkinkan untuk memprediksi fenomena aliran fluida yang jauh lebih kompleks dengan berbagai tingkat akurasi. Dalam desain kerjanya, problem yang ada perlu dideskripsikan ke dalam *software* dengan menggambarkan model yang akan dianalisa, sifat-sifat fluida yang ada di sekitar model dan juga penentuan kondisi batasnya. Selanjutnya dalam *solver*, problem yang ada akan dihitung. Dari hasil perhitungan kemudian didapatkan hasil *output* dari *running* program.

Metode yang biasa digunakan untuk menyelesaikan *governing equation* di atas adalah metode diskrit. Beberapa metode diskrit yang digunakan adalah: Finite Element Method (FEM) dan Finite Volume Method (FVM).

Finite element method (FEM) menggunakan fungsi bentuk sederhana (linear atau kuadrat) pada elemen yang menggambarkan variasi variabel aliran. Persamaan pengendali dapat dipenuhi dengan penyelesaian secara eksak. Jika perkiraan persamaan tersebut tidak terpenuhi maka akan terjadi sisa (residual) yang dapat diukur kesalahannya. Kemudian sisa tersebut diminimumkan dengan cara mengalikannya dengan fungsi berat dan pengintegralan. hasilnya adalah fungsi aljabar untuk koefisien yang tidak diketahui dari fungsi perkiraan.

Finite Volume Method (FVM) dikembangkan dengan formulasi khusus metode beda hingga. Secara global, algoritma numerik yang dimiliki oleh metode beda hingga adalah dengan melakukan pengintegralan persamaan pengendali aliran fluida terhadap seluruh kontrol volume dari domain penyelesaian. Kemudian dilanjutkan dengan pendiskritan yang meliputi substitusi berbagai pendekatan beda hingga dari suku-suku persamaan yang diintegrasikan tersebut. Sehingga menggambarkan proses aliran seperti konveksi, difusi dan source. Pada tahap ini setiap persamaan integral akan diubah menjadi persamaan aljabar. Setelah itu persamaan-persamaan aljabar akan diselesaikan dengan metode iterasi. (Ridho, 2014)

Computational Fluid Dynamics merupakan analisa sistem yang mencakup aliran fluida, perpindahan panas dan fenomena yang terkait, seperti reaksi kimia dengan menggunakan simulasi berbasis komputer (numerik). Teknik ini sangat berguna dan dapat diaplikasikan pada bidang industri dan non-industri. Kode CFD terstruktur atas logaritma numerik, sehingga dapat digunakan untuk menyelesaikan problem pada suatu aliran fluida.

Kode Computational Fluid Dynamics terdiri dari tiga elemen utama yaitu:

1. Pre Processor
2. Solver Manager
3. Post Processor

Pre Processor

Pada tahap awal pemrograman ini, terdiri dari input masalah aliran untuk *software* melalui *interface* kemudian mengubahnya menjadi bentuk yang sesuai dengan format yang dikehendaki oleh bagian *solver*. Perlu dilakukan *input* permasalahan sesuai dengan aturan pada *software* yang meliputi :

- a) Membentuk geometri benda dan daerah di sekeliling benda sebagai domain komputasi
- b) Membentuk *grid generation* atau membagi domain yang telah ditentukan menjadi bagian yang lebih kecil (sub domain)
- c) Penentuan fenomena kimia dan fisika dari model
- d) Penentuan sifat fluida, seperti harga kekentalan, densitas, temperatur fluida, dan lainnya.
- e) Penentuan kondisi batas geometri, lokasi pembuatan kondisi batas harus ditentukan baik pada daerah di sekeliling benda, maupun pada aliran yang diperhitungkan
- f) Penentuan besar kecilnya atau kekasaran *grid / mesh*

Analisa aliran berupa kecepatan, tekanan atau temperatur didefinisikan sebagai suatu daerah yang berupa simpul – simpul tiap cell. Jumlah cell dalam *grid/mesh* menentukan akurasi penyelesaian *software*. Semakin banyak cellnya, maka akan semakin akurat penyelesaiannya. Daerah yang memiliki perubahan bentuk yang sangat tajam biasanya dilakukan *meshing* secara halus, sedangkan daerah lainnya relatif kasar.

Solver

Solver dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu *finite difference*, *finite element* dan *finite volume*. Secara umum, metode numerik *solver* terdiri dari langkah- langkah berikut ini:

- a) Perkiraan variabel yang tidak diketahui dengan menggunakan fungsi sederhana
- b) Diskretisasi dengan substansi perkiraan-perkiraan tersebut dengan menggunakan persamaan-persamaan aliran yang berlaku dan berbagai manipulasi matematika
- c) Penyelesaian dari persamaan aljabar

Post Processor

Pada tahap ini akan ditampilkan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya. Hasil perhitungan dapat dilihat berupa data numerik dan data visual aliran fluida pada model. Data numerik yang diambil adalah data nilai variabel sifat fluida, dimana data sifat fluida yang dapat diambil adalah sebagai berikut :

1. *Density*
2. *Eddy viscosity*
3. *Mach number*
4. *Pressure gradient*
5. *Specific capacity heat transfer rate*
6. *Temperature*
7. *Entalphy*
8. *Total pressure*
9. *Velocity*
10. *Wall sheer*
11. *Coordinate*
12. *Density viscosity*
13. *Heat Transfer coefficient*
14. *Pressure*
15. *Shear strain rate*
16. *Static entalpy*
17. *Termalconductivity*
18. *Total temperature*
19. *Turbulance kinetic energy*
20. *Wall heat flux*
21. *Y plus*

Data numerik yang dapat ditampilkan oleh post processor adalah sebagai berikut:

1. Data Export
2. Quantitative calculation

Gambar yang dapat ditampilkan oleh pos / processor adalah sebagai berikut:

1. Gambar geometri model
2. Gambar surface sifat fluida
3. Animasi aliran fluida
4. Tarnpilan vektor kecepatan
5. Arah aliran fluida

II.2.3. Kemampuan CFD dibandingkan Metode Eksperimental

Kemampuan CFD dan pesatnya perkembangan kecepatan komputasi telah membuat penggunaan CFD sebagai alat untuk mendapatkan solusi dalam dunia engineering. Penggunaanya

telah meliputi area yang luas pada industri dan aplikasi - aplikasi keilmuan. CFD dapat digunakan untuk menghasilkan prediksi kualitatif dalam aliran fluida, hal ini banyak dilakukan dengan menggunakan beberapa metode :

1. Metode matematik
2. Metode numerik
3. Perangkat lunak

CFD digunakan oleh para ilmuwan dan engineer untuk melakukan sebuah eksperimen numerik dalam sebuah *virtual laboratorium*. Dalam karakteristik aliran, CFD dapat memperlihatkan pola-pola aliran yang lebih detail dan akurat yang akan sulit dan mahal, bahkan tidak mungkin dilakukan dengan menggunakan teknik eksperimen. Salah satu contoh aplikasi yang telah dilakukan adalah dalam analisa mendapatkan gaya-gaya dan efek dari sebuah *riser* yang memiliki ukuran sangat panjang dan berada di laut dalam.

Dalam hal prediksi sebuah fenomena aliran, maka CFD dapat digunakan untuk mendapatkan kuantitas yang diinginkan dengan resolusi yang tinggi untuk setiap bagian dari waktu. Pemanfaatan CFD juga digunakan sebagai metode untuk menyederhanakan (secara virtual) permasalahan dengan kondisi-kondisi operasi yang realistis dan tetap pada domain aliran yang aktual. Meskipun demikian, error/kesalahan selalu ada dan biasanya terjadi karena beberapa hal berikut :

1. Kesalahan dalam memodelkan objek penelitian
2. Kesalahan dalam diskritisasi
3. Kesalahan dalam melakukan iterasi
4. Kesalahan dalam implementasi

Dalam hal kemampuan mendiskripsikan secara kuantitatif sebuah fenomena, maka metode pengukuran/eksperiment hanya mendapatkan satu kuantitas dalam satu waktu dan terbatas dalam jumlah titik pengukuran dan waktunya. Selain itu skala yang digunakan terbatas pada skala laboratorium dan meliputi area permasalahan dan kondisi operasi yang terbatas. Dengan demikian error/kesalahan yang mungkin terjadi adalah :

1. Adanya kesalahan dalam pengukuran
2. Adanya gangguan pada probe yang digunakan

Sebagai sebuah algoritma, CFD tidak sepenuhnya menggantikan pengukuran secara eksperiment, tetapi jumlah dan biaya eksperiment yang dilakukan dapat ditekan sangat signifikan. Dalam hal ini, perbandingan antara eksperiment dan CFD adalah sebagai berikut:

Eksperiment

1. Biaya tinggi
2. Persiapan waktu yang lama
3. Bersifat sekuensial
4. Memiliki tujuan tunggal

CFD

1. Biaya lebih rendah
2. Cepat dilakukan
3. Dapat dikerjakan secara paralel
4. Bisa memiliki tujuan lebih dari satu

Namun demikian reliabilitas hasil dari simulasi CFD tidak pernah dapat mencapai 100% dikarenakan data input yang digunakan memiliki potensi perkiraan atau kurang presisi. Selain itu terdapat kemungkinan model matematik yang mungkin tidak sesuai serta akurasi yang terbatas tergantung kemampuan kecepatan komputer yang digunakan. Untuk beberapa kasus telah terbukti bahwa simulasi CFD memiliki reliabilitas yang tinggi, yaitu pada :

1. Aliran laminar dengan kecepatan rendah
2. Aliran *single phase*

Dengan berkembangnya penelitian yang menggunakan simulasi CFD sebagai metode memperpendek distance to reality pada banyak kasus dalam multi-disiplin keilmuan kemudian memunculkan kaidah-kaidah yang banyak dilakukan oleh para peneliti dalam memposisikan CFD dan eksperiment. Salah satu kaidah yang banyak dipakai adalah menggunakan CFD sebagai metode prediksi dan eksperiment juga sebagai metode untuk melakukan validasi. Sebuah pemahaman yang baik, diperlukan untuk menyelesaikan algoritma penyelesaian numerik. Terdapat tiga konsep matematika yang berguna dalam menentukan berhasil tidaknya algoritma :

1. Konvergensi, merupakan properti metode numerik untuk menghasilkan solusi yang mendekati solusi eksakta sebagai *grid spacing*, ukuran kontrol volume atau ukuran elemen dikurangi mendekati nol.
2. Konsisten, merupakan suatu skema numerik yang menghasilkan persamaan aljabar yang dapat diperlihatkan ekivalen dengan persamaan pengendali sebagai grid spasi mendekati nol.

3. Stabilitas, yaitu penggunaan faktor kesalahan sebagai indikasi metode numerik. Jika sebuah teknik tidak stabil dalam setiap kesalahan pembulatan, bahkan dalam data awal dapat menyebabkan osilasi atau divergensi.

Berdasarkan penjelasan pada sub bab ini, maka penulis memakai aplikasi Fluent karena aplikasi tersebut mampu melakukan analisa dengan menggunakan metode moving mesh.

II.3. Stabilitas Kapal

Stabilitas kapal merupakan kemampuan kapal untuk kembali pada titik kesetimbangan. Komponen yang memegang peranan, yaitu: Titik G (*gravity*), yaitu titik berat kapal. Titik B (*buoyancy*) (titik tekan keatas dari volume air yang dipindahkan oleh bagian kapal yang tercelup air), titik M (*metacentre*) (titik perpotongan antara vektor gaya apung pada keadaan tegak dengan vektor gaya apung pada keadaan sudut oleng). Keseimbangan statis suatu benda dapat dibedakan menjadi tiga macam: Keseimbangan stabil (ketika titik G berada dibawah titik M), keseimbangan labil (ketika titik G berada diatas titik M) dan keseimbangan *indeferent* (ketika titik G dan titik M berada dalam keadaan berhimpit).

Ketika kapal dimiringkan, garis waterline baru terbentuk, dan berpotongan dengan garis waterline lama di centerline. Selain berpotongan, luas area irisan juga sama, volumenya adalah fungsi panjang kapal, karena displacement kapal tidak berubah. Jika ditarik garis diantara titik berat kedua irisan, maka pergeseran titik apung akibat kemiringan kapal akan sejajar dengan garis tersebut (Lewis, 1980). Salah satu faktor penting dalam stabilitas adalah adanya gaya pembalik ketika titik berat kapal bergeser atau kapal dalam keadaan miring. Besarnya gaya pembalik ditentukan oleh panjang lengan pembalik yang dinyatakan dengan GZ. Lengan GZ adalah garis yang tegak lurus terhadap garis BM yang ditarik dari titik G. Titik G dapat dicari melalui perhitungan berat dan jarak pusat berat semua objek yang ada dikapal terhadap titik acuan

Titik berat kapal setelah adanya perubahan fisik seperti penambahan, pengurangan atau pergeseran sebuah objek didalam kapal dinyatakan dalam

$$(X_1m_1+X_2m_2+X_nm_n)/(m_1+m_2+m_n)=X_{total}$$

$$(Y_1m_1+Y_2m_2+Y_nm_n)/(m_1+m_2+m_n)=Y_{total}$$

$$(Z_1m_1+Z_2m_2+Z_nm_n)/(m_1+m_2+m_n)=Z_{total}$$

Besarnya pergeseran titik apung dinyatakan dalam persamaan

$$(v \cdot \overline{g_1 g_2}) / \nabla \tag{1}$$

- V = volume irisan
 $g_1 g_2$ = titik berat irisan
 Δ = Displacement

Luas irisan dapat dinyatakan sebagai $\frac{1}{2} (y)(y \tan \delta\phi)$. Titik berat irisan dinyatakan dengan $2x^2/3 y$.

Maka dapat diturunkan persamaan

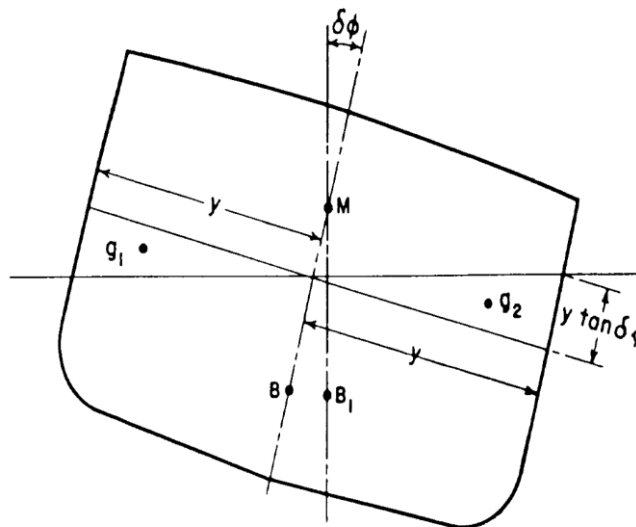
$$v \cdot \overline{g_1 g_2} = \int_0^L \frac{1}{2} (y) (y \tan \delta\phi) (2 \cdot \frac{2}{3} y) dx \quad (2)$$

atau

$$\frac{v \cdot \overline{g_1 g_2}}{\tan \delta\phi} = \frac{2}{3} \int_0^L y^3 dx \quad (3)$$

Besarnya momen inersia dapat dinyatakan dalam

$$I_r = \frac{2}{3} \int_0^L y^3 dx = \frac{v \cdot \overline{g_1 g_2}}{\tan \delta\phi}$$



Gambar II-8 Diagram Stabilitas Kapal (Lewis, 1988)

Maka pada saat sudut kemiringan kapal sangat kecil, dapat dicari posisi titik metacenter dari titik apung

$$\overline{BM} = \frac{I_r}{\nabla}$$

Maka $GM = KB + BM - KG$

Jika sudah mengetahui titik metacenter dan jarak metacenter ke titik G, maka selanjutnya GZ dapat dinyatakan sebagai $GM \sin\delta\varphi$.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1. Langkah-langkah Pengerjaan Tugas Akhir

Dalam menghitung hambatan kapal harus ada urutan pengerjaan dengan alur yang baik untuk memudahkan proses pengerjaan. Hal ini berguna sebagai acuan umum yang dapat dipertanggungjawabkan. Secara umum proses menghitung penghematan BBM kapal dimulai menghitung hambatan kapal pada kecepatan dinas. Kemudian menentukan kecepatan angin. Dari kecepatan angin yang ada, dimasukkan sebagai salah satu parameter saat menghitung gaya dorong dari *flettner rotor* di Ansys Fluent. Setelah didapat gaya dorong, besarnya hambatan kapal dikurangi gaya dorong dari rotor, sehingga didapat nilai *effective horsepower* yang baru, pengurangan beban kerja mesin induk, dan penambahan beban kerja genset untuk memutar rotor. Kemudian dengan memperhitungkan *specific fuel consumption* dari mesin induk dan genset, didapat besarnya penghematan bahan bakar.

III.1.1. Studi Literatur

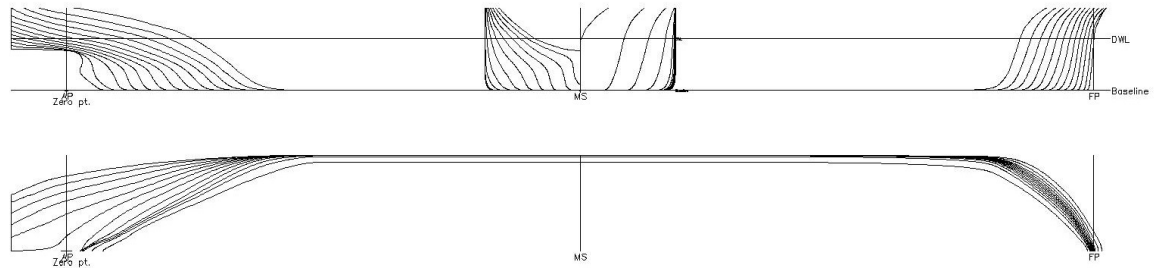
Tahap pertama yang dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini yaitu studi literatur. Studi literatur adalah teori-teori yang akan digunakan dalam menyelesaikan tugas akhir serta untuk lebih memahami permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini. Referensi-referensi untuk mengerjakan tugas akhir ini didapat dari buku, jurnal ilmiah, *paper*, tugas akhir, tesis mahasiswa sebelumnya yang masih berkaitan, serta *browsing* dari internet.

III.1.2. Data Teknis Kapal

Dalam tugas akhir ini, model kapal, dan model rotor yang akan dianalisa penggunaannya mutlak dibutuhkan. Hal ini karena data tersebut akan digunakan untuk perhitungan nilai gaya dorong dan stabilitas yang digunakan pada kapal, *Service thrust* dari propeller akan dikurangi *thrust* dari rotor.

Namun tidak semua data didapat dari PT. Pertamina (PERSERO). Beberapa data harus dicari dengan metode pendekatan berdasar referensi buku *Ship Design for Efficiency and Economy*. (Schneekluth, 1998). Data terkait dimensi utama dan mesin didapat langsung dari

PT. Pertamina (PERSERO). Sedangkan koefisien dan *displacement* dihitung dengan pendekatan metode *schneekluth*.

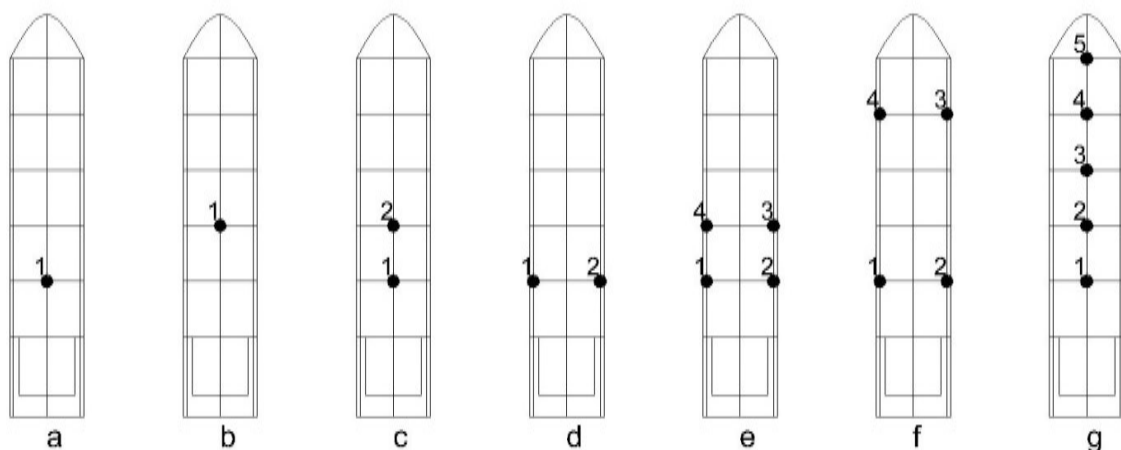


Gambar III-1 Linesplan

Setelah dilakukan validasi hidrostatis, maka proses pemodelan dengan software Maxsurf telah selesai, maka model disimpan untuk proses pemodelan dan analisis stabilitas selanjutnya pada Maxsurf Stability dan menghitung hambatan dengan Maxsurf Resistance.

III.1.3. Data Teknis Rotor

Model rotor yang digunakan adalah produk dari Norsepower Ltd. Norsepower memiliki 3 model rotor, yaitu 3x18 m, 4x24m, dan 5x 30m. Model yang dipilih adalah 5x 30m, pertimbangan pemilihan model ini dikarenakan luas geladak masih cukup untuk mengakomodasi model terbesar.



Gambar III-2 Variasi Peletakan Rotor

Dalam peletakan rotor, terdapat berbagai kemungkinan. Gaya dorong rotor dipengaruhi oleh angin. Maka dari itu perlu meletakkan rotor ditempat yang dilewati angin secara bebas.

Penulis mencoba beberapa variasi peletakan rotor untuk mengetahui gaya dorong paling optimal dari masing-masing rotor. Seperti pada **gambar III.3**. Masing-masing variasi diletakkan diatas persilangan 2 sekat, untuk memastikan lambung dapat menopang rotor dengan baik.

III.1.4. Spesifikasi Komputer

Spesifikasi komputer guna mendukung analisis perhitungan numerik dalam tugas akhir ini adalah:

1. Processor : Intel Core™ i7-3610QM CPU @2,3 Ghz
2. RAM : 6 GB
3. System Type : 64-bit Operating System
4. Operating System : Windows 8.1

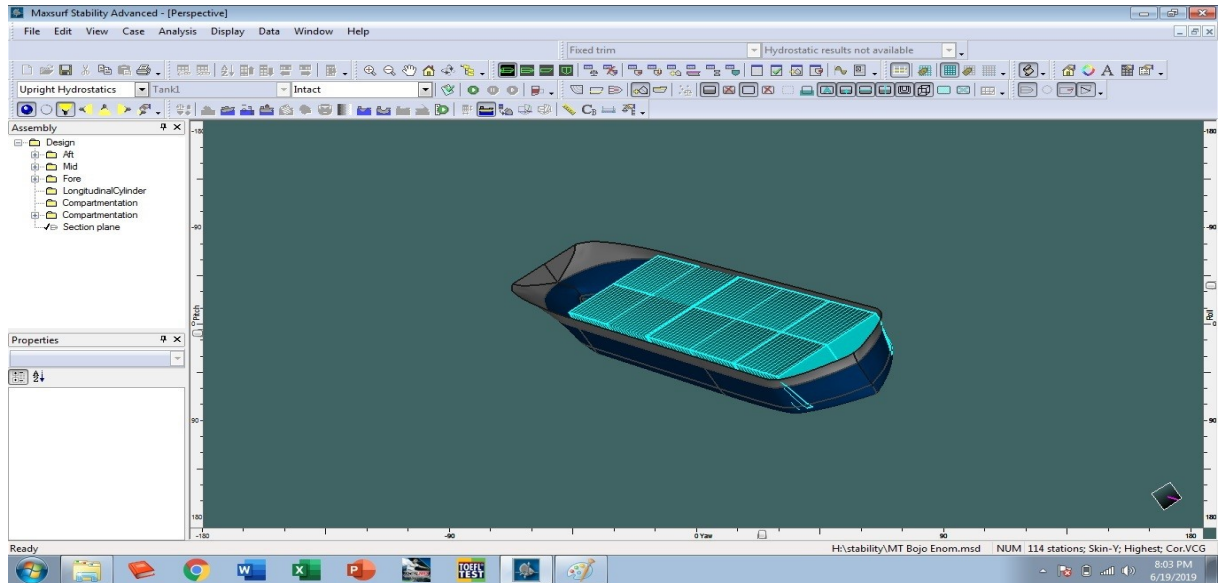
III.2. Tahap-Tahap Pengerjaan Tugas Akhir

III.2.1. Model Kapal

Sebelum dilakukan pemodelan stabilitas pada software Maxsurf Stability maka model terlebih dahulu dimodelkan pada software Maxsurf dengan skala 1:1. Koordinat model kapal di Maxsurf disesuaikan dengan koordinat yang ada berdasarkan data linesplan kapal. Dasar pembuatan modelnya adalah surface yang merupakan bidang permukaan dan dapat dibuat menjadi berbagai bentuk model 3D dengan menambahi, mengurangi, mengubah koordinat, dan mengubah kelenturan control point

Setelah model selesai dibuat maka dilakukan *running hidrostatis* pada Maxsurf untuk melakukan validasi model maxsurf dengan data hidrostatis tanker 17500 LTDW yang sebenarnya. Toleransi kesalahan yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah sebesar 2% sehingga model yang dibuat dapat mendeskripsikan karakteristik kapal yang sebenarnya. Hasil validasi hidrostatis antara model lambung kapal di maxsurf dan data hidrostatis kapal yang sebenarnya dapat dilihat pada **Tabel III.1**

Data ukuran utama kapal adalah LOA 157.5 meter, lebar kapal 27.7 meter, tinggi lambung 12 meter dan kedalaman sarat kapal 7.5 meter. Dengan berbagai metode pendekatan berdasar ukuran utama dan *payload*, dibuat beberapa data koefisien lain untuk membantu membuat model linesplan.



Gambar III-3 Permodelan Hull di Maxsurf beserta Tanki

Tabel III-1 Validasi Hidrostatik Data Teknis Kapal

Komponen	Data Kapal	Maxsurf	Unit	Selisih(%)
LOA	157.500	157.500	M	0
B	27.700	27.700	M	0
H	12.000	12.000	M	0
T	7.500	7.500	M	0
Displacement	27426.000	27421.345	Tonne	0.017
C _B	0.822	0.817		0.608
C _M	0.996	0.995		0.100
C _P	0.826	0.821		0.605
WPA	3882.649	3873.138	M ²	0.245
WSA	5746.626	5799.088	M ²	-0.913
LCB	78.520	77.828	M	0.881
KB	3.890	3.840	M	1.285
VCG	7.076	7.076	M	0.000

III.2.2. Perhitungan Hambatan

Selain data diatas, dibutuhkan juga data hambatan dari kapal. Metode perhitungan yang penulis pakai adalah metode Holtrop. Penulis memilih metode Holtrop dikarenakan :

- 1) Metode Holtrop paling tepat digunakan pada kapal *displacement* besar seperti tanker dengan Froude Number 0.171. nilai Froude Number dinyatakan dalam persamaan:

$$F_n = \frac{v_t}{\sqrt{g \times L_{WL}}}$$

$$= 6.687/(9.81 \times 155.5)^{0.5}$$

$$= 0.171$$

- 2) Metode Holtrop termasuk metode yang akurat dalam menghitung nilai hambatan dari kapal. Sehingga metode ini dapat dipakai untuk menghitung hambatan kapal secara umum.
- 3) Parameter yang diperlukan dalam metode Holtrop mudah didapatkan dari data yang ada di kapal. Seperti data panjang, lebar dan tinggi kapal.
- 4) Metode Holtrop paling sering diajarkan kepada penulis saat kuliah.

Setelah diketahui nilai hambatannya, perlu dicari *effective power* dan *Brake power* untuk mengetahui kebutuhan daya dari mesin utama. Dengan metode pendekatan berdasar referensi dari buku *Principal of Naval Architecture Volume II*.

Perhitungan Delivery Horse Power, DHP

(ref : PNA vol.II, hal.153)

$$DHP = EHP / \eta D$$

dimana ;

$$\eta D = \eta H \times \eta R \times \eta \rho$$

$$\eta H = \text{Hull efisiensi}$$

$$= (1 - t) / (1 - w)$$

G.1 Perhitungan Thrust deduction, t

(ref : PNA vol.II, hal.162)

$$t = \frac{0,25014 \left(\frac{B}{L} \right)^{0,28956} \left(\frac{\sqrt{BT}}{D} \right)^{0,2624}}{(1 - C_P + 0,0225 LCB)^{0,01762} + 0,0015 . C_{STERN}}$$

$$= 4.88 \quad \text{m}$$

$$C_{stern} = 0 \quad (\text{normal-shaped section})$$

maka, dapat dihitung harga t adalah :

$$t = 0.199$$

G.2 Perhitungan wake fraction, w

(ref : PNA vol.II, hal.162)

$$w = c_9 c_{20} C_V \frac{L}{T_A} \left(0.050776 + 0.93405 c_{11} \frac{C_V}{(1 - C_{P1})} \right) + 0.27915 c_{20} \sqrt{\frac{B}{L(1 - C_{P1})}} + c_{19} c_{20}$$

untuk single screw
with a conventional stern
arrangement

$$B/T_A = 3.69 < 5$$

$$c_8 = BS/(L D T_A) \quad \text{when } B/T_A < 5$$

$$c_9 = c_8 \quad \text{when } c_8 < 28$$

$$C_9 = 28.31886$$

$$C_8 = 28.34648546$$

$$T_A/D = 1.54$$

$$c_{11} = T_A/D \quad \text{when } T_A/D < 2$$

$$C_{11} = 1.54$$

$$C_{\text{stern}} = 0$$

$$c_{20} = 1 + 0.015 C_{\text{stern}}$$

$$C_{20} = 1$$

$$C_V = (1 + k) C_F + C_A$$

$$C_V = 0.002349304$$

$$w = 0.299198149$$

$$c_{19} = 0.18567/(1.3571 - C_M) - 0.71276 + 0.38648 C_P \quad \text{when } C_P > 0.7$$

$$C_{19} = 0.118206$$

$$C_{P1} = 1.45 C_P - 0.315 - 0.0225 lcb$$

$$C_{P1} = -0.21576$$

G.3 Perhitungan efisiensi hull, η_H

(ref : PNA vol.II, hal.152)

$$\eta_H = (1 - t) / (1 - w)$$

$$= (1 - 0.199) / (1 - (0.299))$$

$$= 1.143$$

G.4 Perhitungan efisiensi Rotative, η_R

$$\eta_R = 0.9922 - 0.05908 Ae/Ao + 0.07424(C_P - 0.0225 lcb)$$

$$= 0.90990484$$

G.5 Perhitungan open water test, η_o

(ref : PNA vol.II, hal.153)

$$\eta_o = 0.50 \leq \eta_o \leq 0.669$$

$$= 0.615$$

G.6 Perhitungan efisiensi propulsif, η_D

(ref : PNA vol.II, hal.153)

$$\eta_D = \eta_H \times \eta_R \times \eta_o$$

$$= 1.143 \times 0.910 \times 0.615$$

$$= 0.640$$

$$DHP = SHP$$

$$BHP = SHP / \eta_t$$

(ref : Parametric Design chapter 11, hal.11-29)

(ref : Parametric Design chapter 11, hal.11-33)

$$\eta_t = \prod (1 - li)$$

$$li = 0.010 \quad \text{for each gear reduction}$$

$$li = 0.005 \quad \text{for the trust bearing}$$

$$li = 0.010 \quad \text{for a reversing gear path}$$

$$\eta_t = (1 - 0,010) \times (1 - 0,005) \times (1 - 0,010)$$

$$= 0.9752$$

$$\eta_{BHP} = 0.640 \times 0.9752 = 0.624349$$

Maka didapatkan nilai efisiensi sistem penggerak kapal adalah 0.624.

III.2.3. Stabilitas Kapal

Peletakan Rotor pada geladak kapal akan mempengaruhi stabilitas kapal. Hal ini disebabkan meningkatnya titik berat kapal karena rotor dan pondasinya cukup berat dan diletakkan di posisi paling tinggi dari geladak kapal.

Penulis melakukan perhitungan perubahan titik berat kapal akibat adanya *flettner rotor*. *Displacement* dan sarat kapal diasumsikan tidak berubah, maka berat muatan harus dikurangi agar berat total kapal tetap sesuai *displacement* sebelum dipasang rotor. Peletakan rotor pada geladak akan merubah titik berat kapal.

Displacement kapal adalah 27.421,345 ton dengan titik berat 7.076 meter dari *keel*. Berat muatan adalah 17.500 ton, berat rotor 42 ton dengan pondasi 17 ton. Tinggi pondasi adalah 2 meter dan titik berat rotor berada pada 9 meter diatas pondasi. Dengan penambahan berat tersebut, berat muatan harus dikurangi sebesar 295 ton, atau 1,69% agar *displacement* tidak berubah

Kriteria stabilitas diambil dari IMO resolution A.749(18) ch. 3. Kriteria yang digunakan berisi:

1. Luas area dibawah Kurva lengan pembalik GZ sampai sudut kemiringan 30° tidak kurang dari 0.055 meter radian (3.15 m.deg)
2. Luas area dibawah Kurva lengan pembalik GZ sampai sudut kemiringan 40° tidak kurang dari 0.09 meter radian (5.155 m.deg)
3. Luas area dibawah Kurva lengan pembalik GZ antara sudut kemiringan 30° dan 40° tidak kurang dari 0.03 meter radian (1.718 m.deg)
4. Lengan pembalik GZ tidak kurang dari 0.2 meter pada sudut kemiringan lebih dari 30°
5. Lengan pembalik maksimal terjadi pada kemiringan lebih dari 25°
6. Tinggi titik metacenter terhadap titik berat pada sudut 0° lebih dari 0.15 meter

III.2.4. Running Ansys Fluent

Tahap pertama pembuatan model rotor adalah memilih ukuran rotor yg sesuai ukuran kapal. Kapal memiliki *payload* 17.500 ton, lebar 27.7 meter dan jarak antar sekat melintang 21,75 meter, maka ukuran rotor yang dipilih adalah model berdiameter 5 meter, tinggi 30 meter, dan berat 49 ton. kapal direncanakan memiliki 5 rotor sesuai jumlah sekat melintangnya. Model rotor 2D digambarkan langsung pada ANSYS WORKBENCH, jarak antar rotor dibuat sesuai jarak antar sekat. Setelah selesai membuat model rotor, semua

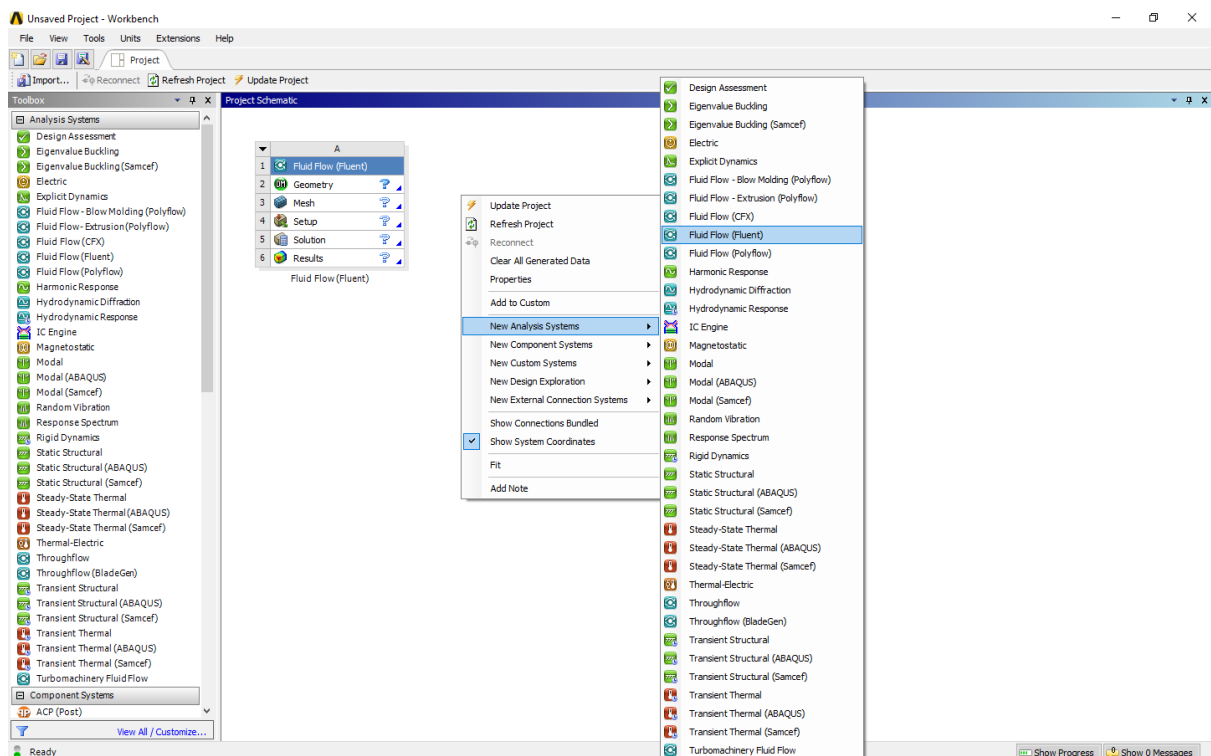
elemen garis dan area diberi nama untuk memudahkan pencarian dan pengaturan pada tahap selanjutnya.

Untuk memulai project *Ansys Fluent* pertama-tama kita buka *Ansys Workbench* kemudian pada panel *project schematic* kita klik kanan kemudian pilih *new analysis systems* kemudian pilih *fluid flow (fluent)* seperti pada **gambar III-6**.

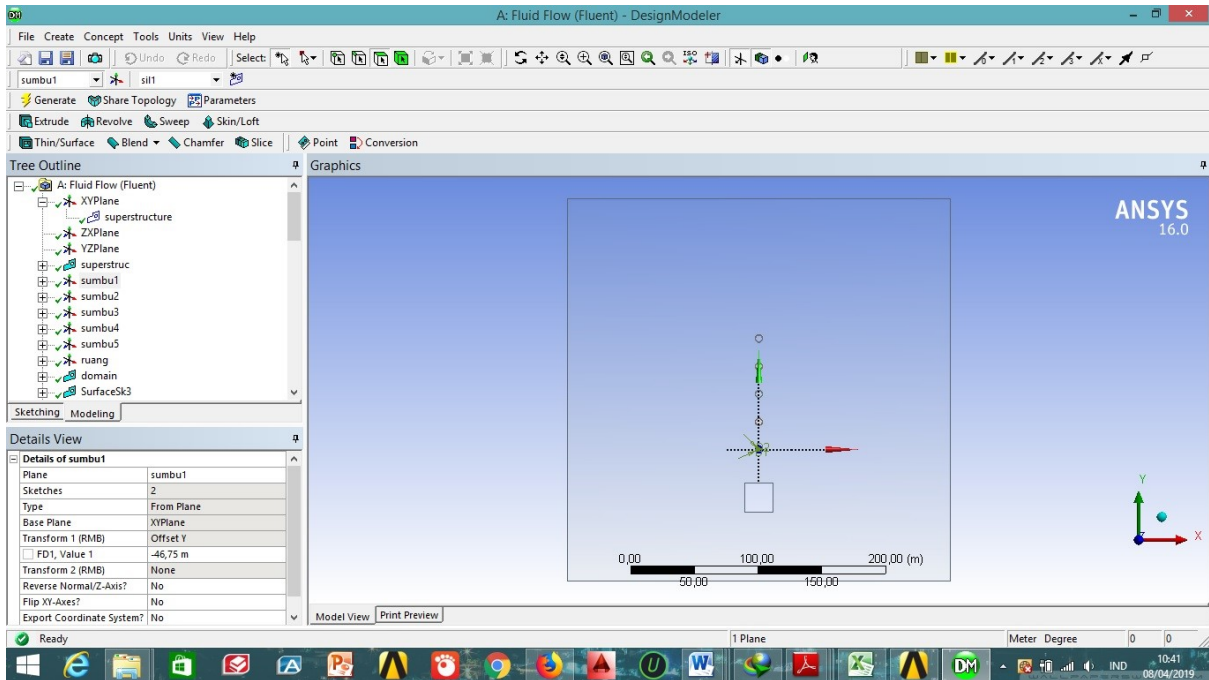
Proses pembuatan geometry dimulai dengan menyesuaikan skala unit dan proyeksi *plane*. Pada model ini skala unit diatur dengan meter, dan plane berada pada bidang XY, sehingga rotor berputar pada sumbu Z.

Kemudian dibuat 5 *plane* sesuai jumlah rotor. Semua *plane* berada pada bidang XY dengan acuan pada *Xyplane* yang digeser mengikuti sumbu Y, jaraknya disesuaikan dengan jarak masing-masing rotor.

Setiap rotor memiliki *rotating domain*, kemudian seluruh sistem dilingkupi oleh *Rectangle domain*. Seluruh silinder, domain, dan rumah geladak dibuat *sketch*, kemudian dirubah menjadi surface dengan cara klik *concept* kemudian pilih *Surface From Sketches*. Pada detail surface, *operation* untuk semua objek padat seperti rotor dan rumah geladak diatur pada *add material*, sementara pada objek fluid seperti domain dipilih *add frozen*.

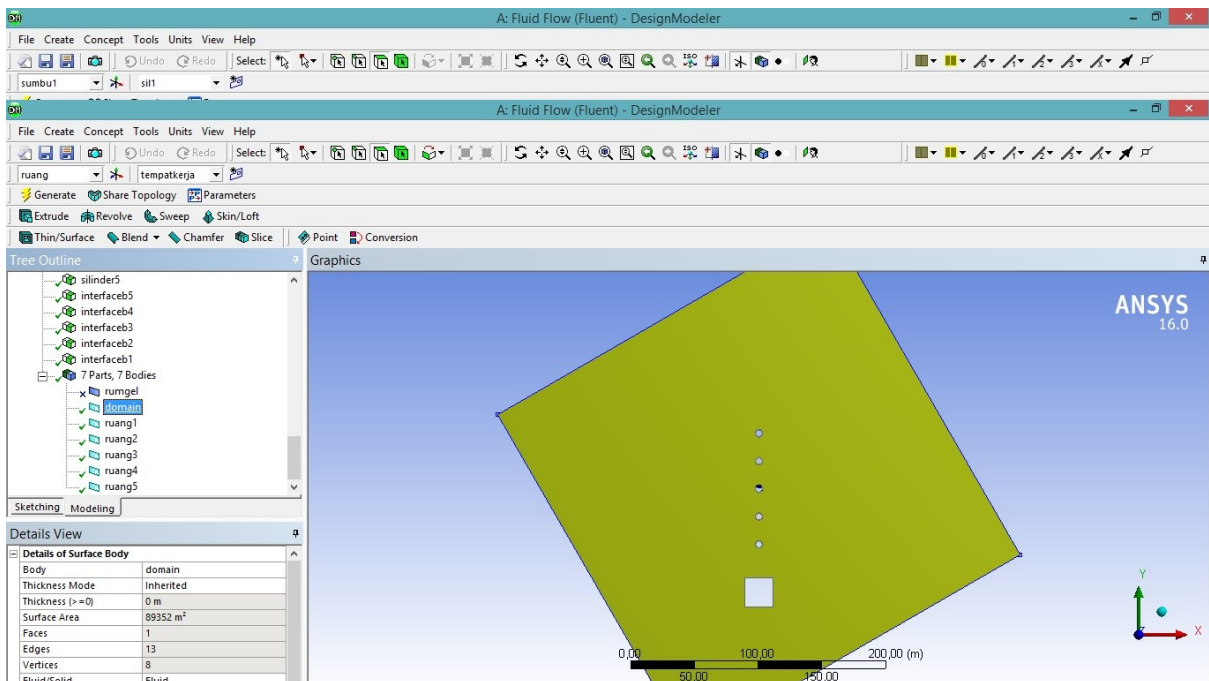


Gambar III-4 Membuat Project Ansys Fluent Melalui Ansys Workbench



Gambar III-5 Sketsa dan *Plane* yang Telah Digambar di Geometry

Selanjutnya semua objek dibuat berpotongan dengan *boolean*. Dimulai dengan klik *create* pilih *boolean*, pilih *rectangle domain* sebagai *target bodies* dan *rotating domain* sebagai *tool bodies*, pada pilihan *preserve tool bodies* dipilih *yes* karena *rotating domain* masih akan digunakan. Langkah ini diulang dengan *rotating domain* sebagai *target bodies* dan rotor sebagai *tool bodies*, pada pilihan *preserve tool bodies* dipilih *no* karena *surface* rotor tidak digunakan lagi

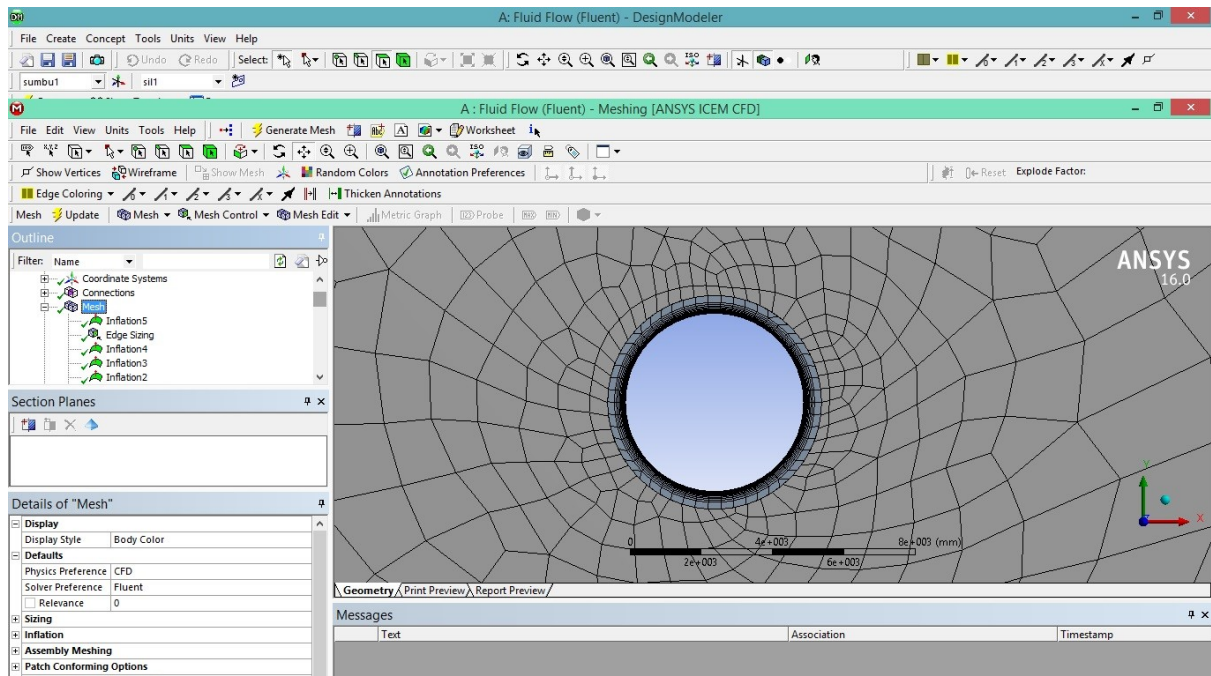


Gambar III-6 Bentuk *Rectangle Domain* dengan Kemiringan 120°

Proses selanjutnya adalah penamaan setiap garis pada geometry untuk memudahkan pengaturan pada langkah selanjutnya. Nama yang dimasukkan diantaranya sisi *inlet*, *outlet*, *symmetry*, dan, *interface*. Penamaan sebaiknya menggunakan nama-nama tersebut secara jelas sebagai kata pertama dengan diikuti penomoran bila perlu, agar sistem bisa langsung mengenali dan memudahkan pendefinisian.

Meshing dan Domain Komputasi

Pembuatan *meshing* dilakukan dengan cara membagi geometri model ke dalam elemen-elemen kecil (segitiga, tetra/mixed, hexa-dominant) yang disebut *cell*. Gabungan dari *cell-cell* tersebut membentuk satu kesatuan yang disebut *mesh* atau *grid* karena gabungan dari elemen-elemen tersebut membentuk seperti jala.

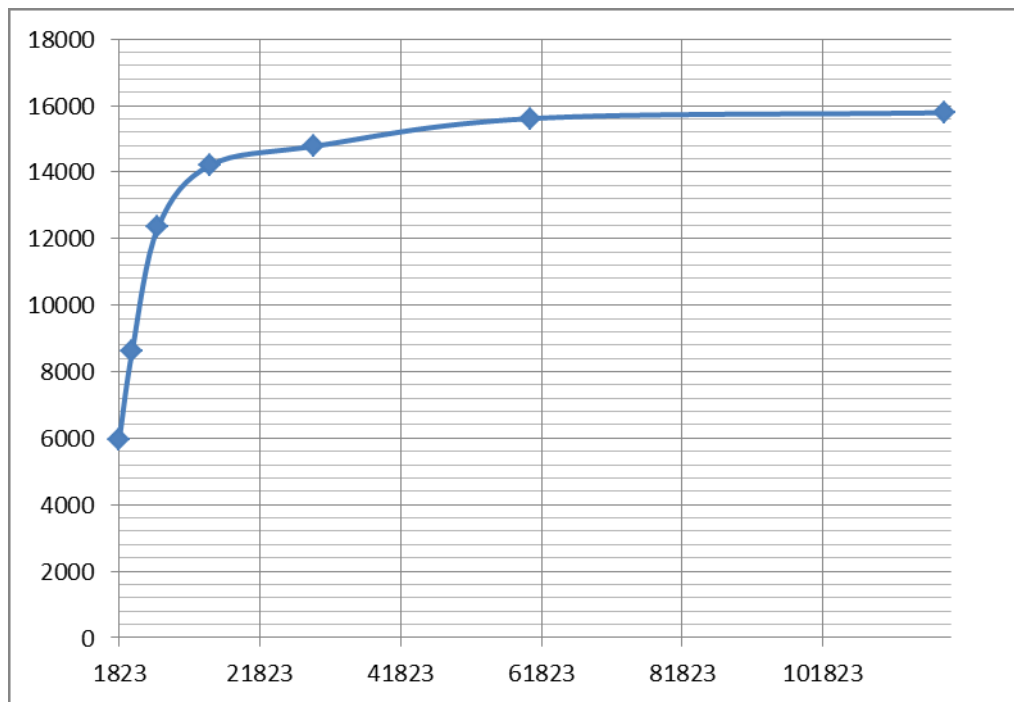


Gambar III-7 Meshing di Sekitar Rotor

Untuk menghasilkan *mesh* yang baik, digunakan metode meshing *inflation layer* dan *sizing*. Semua *rotating domain* diberi metode *inflation layer* dengan garis rotor sebagai batasnya. Kemudian semua rotor, *interface*, dan garis bangunan atas diberi metode *edge sizing* dengan type numbers of divisions. Dengan cara ini meshing akan terbentuk secara *structured* dan cukup halus dibagian-bagian terpenting dan tidak terlalu banyak elemen agar memudahkan perhitungan.

Untuk menentukan apakah sebuah proses *meshing* sudah baik atau belum, dilakukan proses *grid independent*. Dalam proses ini jumlah elemen ditingkatkan 2 kali, jika

peningkatan jumlah elemen tidak merubah hasil secara signifikan, maka proses tidak diteruskan dan *meshing* dianggap cukup baik

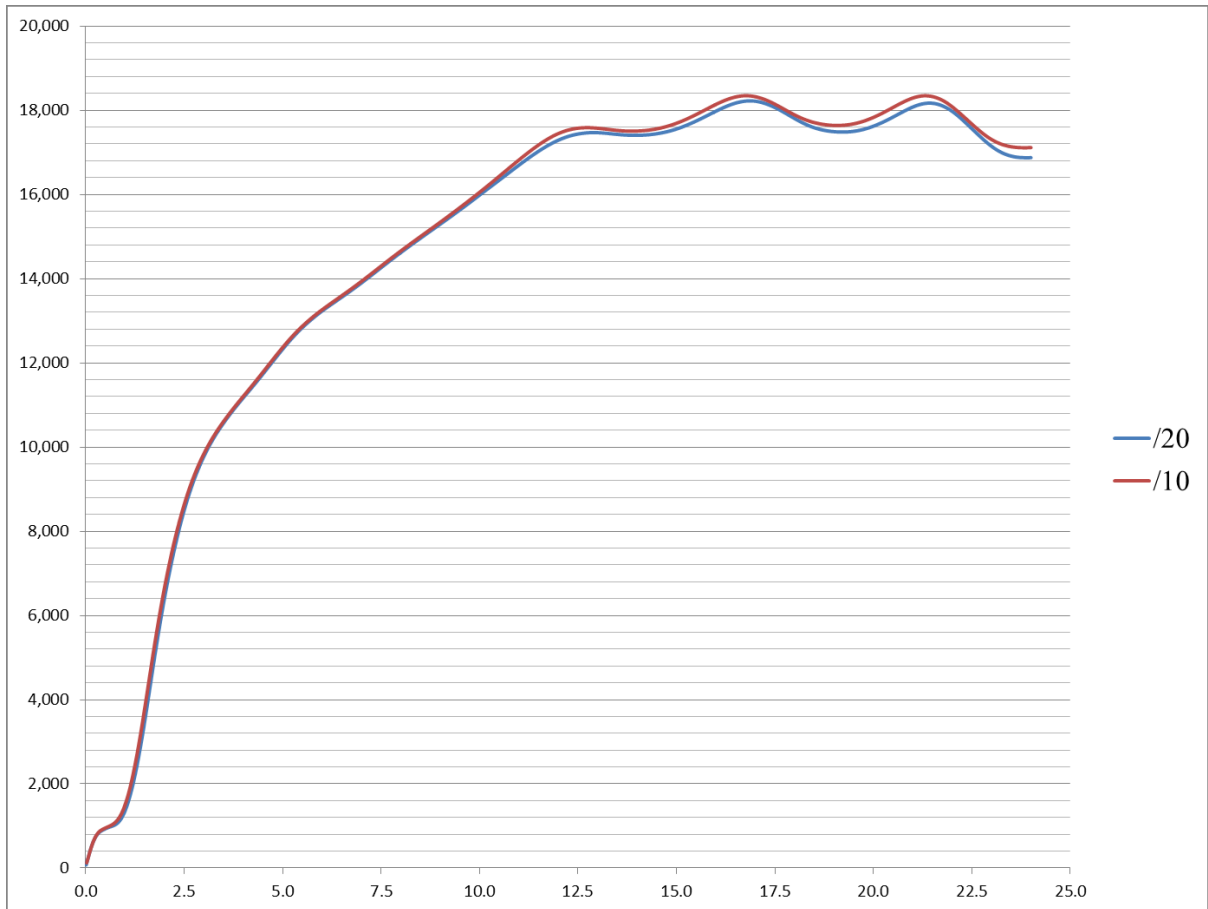


Gambar III-8 Grafik Jumlah Element dan Gaya

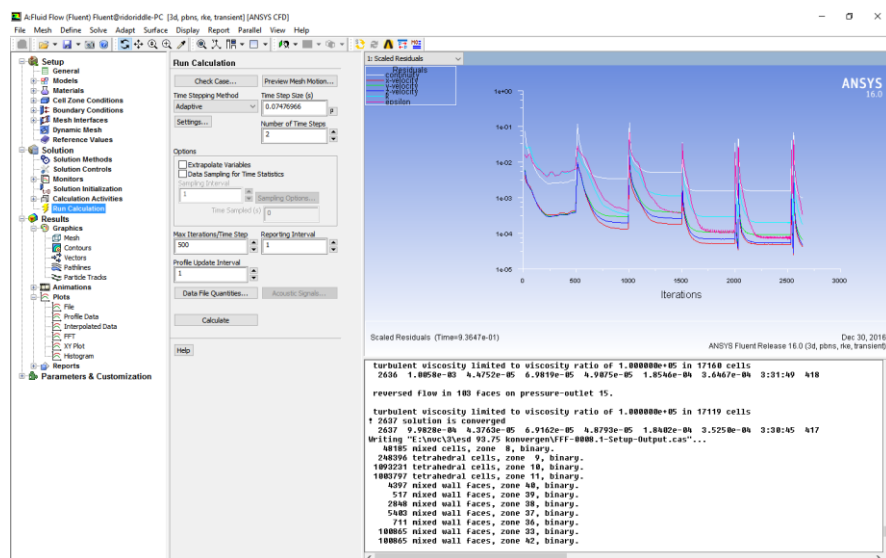
Proses *Running*

Selanjutnya adalah proses *running* dengan *solver* pada Ansys Fluent. Pilih *Cell Zone Rotating Domain* yang telah dibuat pada *Design Modeler* sebelumnya. Centang *Mesh Motion* lalu tentukan detail *Mesh Motion* sesuai keperluan percobaan. Kemudian masukkan detail pada *Run Calculation*. Semakin kecil nilai *Time Step Size* maka hasil semakin presisi. Penulis menggunakan nilai *time step size* dari kecepatan rotasi rotor. Setiap rotasi dibagi menjadi 10 *time step* dan 20 *time step*. Karena nilai dari kedua model *time step size* tersebut tidak berbeda jauh, yakni 0.73%, maka nilai *time step size* yang dipilih adalah 20 *time step* untuk setiap rotasi (s)

Tahapan berikutnya adalah tahap iterasi atau *running*. Proses iterasi adalah proses penghitungan *case* yang dibuat dengan menggunakan perhitungan komputer, sehingga nantinya akan didapat hasil perhitungan yang telah dimasukkan pada aplikasi *ANSYS Pre*. Hasil dari iterasi ini bisa dicari dengan menggunakan aplikasi *ANSYS Post*. Pada Tugas Akhir ini, penulis ingin mengetahui hasil kenaikan *thrust* pada masing-masing *case*. Sehingga yang dicari pada *ANSYS Post* berupa gaya tekan yang bekerja sesuai kecepatan kapal pada masing-masing *case* dan pengaruh kenaikan *thrust* karena adanya *flettner rotor*.



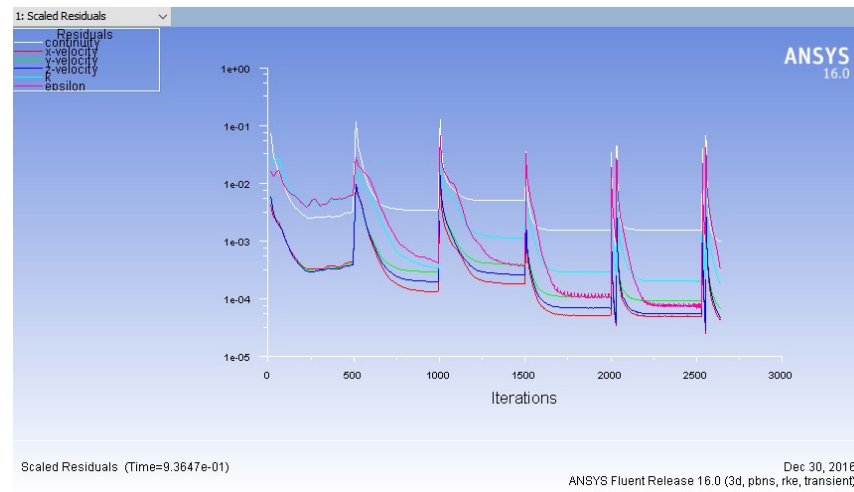
Gambar III-9 Grafik Perbandingan 10 *Time Steps* per Rotasi dan 20 *Time Steps* per Rotasi



Gambar III-10 Proses *Running* pada Ansys Fluent

Hal terpenting yang harus diperhatikan saat running adalah konvergensi. Hal ini menjadi penting karena untuk mencapai hasil validasi yang baik, maka hasil *running* harus konvergen

atau mencapai titik yang ingin dicapai dan percobaan harus berhenti sebelum jatah iterasi maksimum (*max iteration*) terlampaui. Jika hal ini terjadi, maka data ini bisa dipakai untuk validasi data pada proses setelahnya. Pada kasus penulis, iterasi maksimum yang diberikan adalah 100 dan titik yang ingin dicapai pada konvergensi adalah $1.0e^{-04}$.

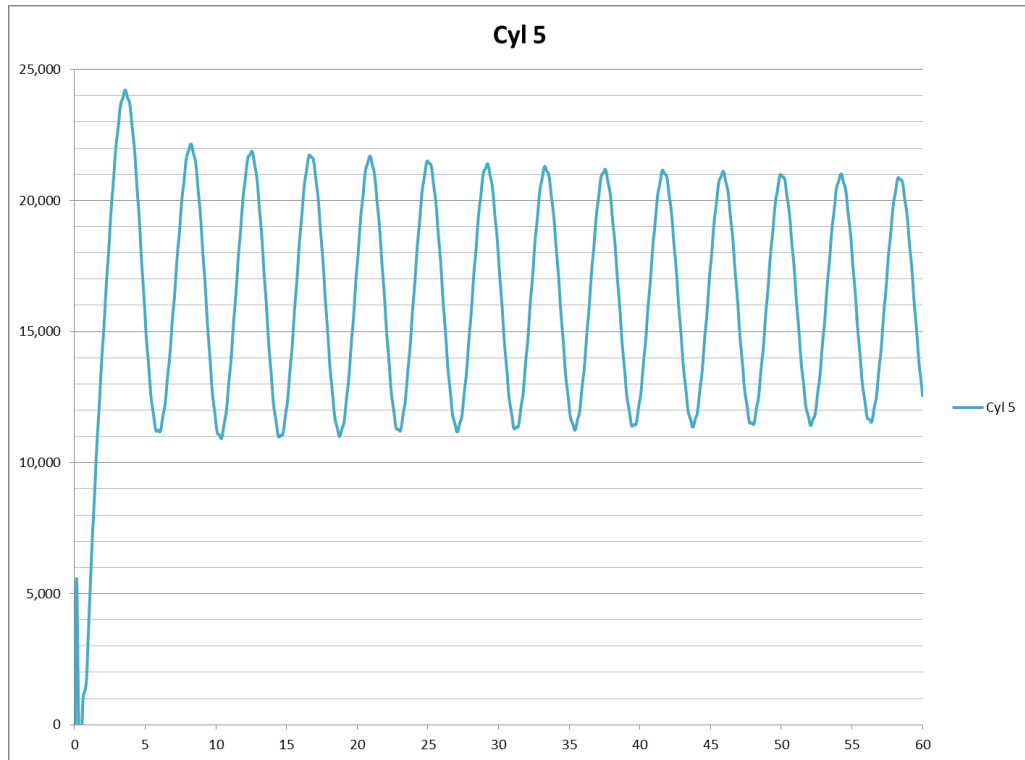


Gambar III-11 Konvergensi pada Ansys Fluent

Setelah proses *running* dilaksanakan, maka tahap berikutnya adalah mencari gaya tekan pada bagian rotor. Hal ini karena adanya tekanan pada rotor menimbulkan gaya dorong atau *thrust*, yang membuat kapal dapat bergerak maju. Cara yang dilakukan untuk mencari gaya tekan adalah :

Langkah pertama adalah membuka aplikasi *ANSYS Post*. Lalu buka hasil *result* dari proses iterasi yang sudah dilakukan. Caranya dengan File – Load Result – Pilih file dengan ekstensi *.res* yang diinginkan – Open. Maka akan tampil file hasil *running* yang telah dilakukan.

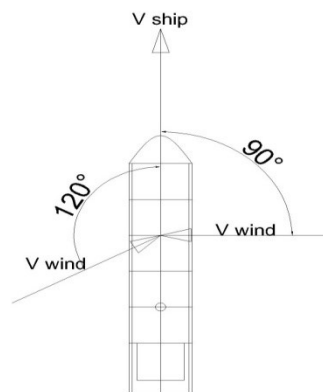
Namun langkah tersebut hanya bisa dilakukan jika nilai gaya stabil. Pada kasus penulis, gaya dorong tidak bisa mencapai kestabilan akibat terbentuknya von Karman Vortex di samping silinder. Maka penulis menggunakan metode RMS (*Root Mean Square*). Yaitu dengan mencari nilai rata-rata dari kuadrat setiap hasil pengukuran kemudian diakar-kuadratkan.



Gambar III-12 Contoh grafik gaya dorong pada salah satu rotor

III.2.5. Variasi Sudut Angin

Dalam pelayaran, terdapat berbagai kemungkinan arah angin. Maka pada percobaan ini diuji juga besarnya gaya dorong pada beberapa arah angin. Kecepatan angin rata-rata di Indonesia termasuk pada skala beauforts 4, maka dari itu diambil data untuk kecepatan angin sebesar 6 m/s. Percobaan dilakukan dengan sudut angin 0° , 60° , 90° , dan 120° . Pada sudut 0° rotor tidak bergerak untuk mencari tahu dampak pemasangan rotor pada hambatan kapal saat angin tidak dapat dimanfaatkan sebagai gaya dorong.



Gambar III-13 Ilustrasi Sudut Angin terhadap Laju Kapal

III.2.6. Perhitungan Bahan Bakar

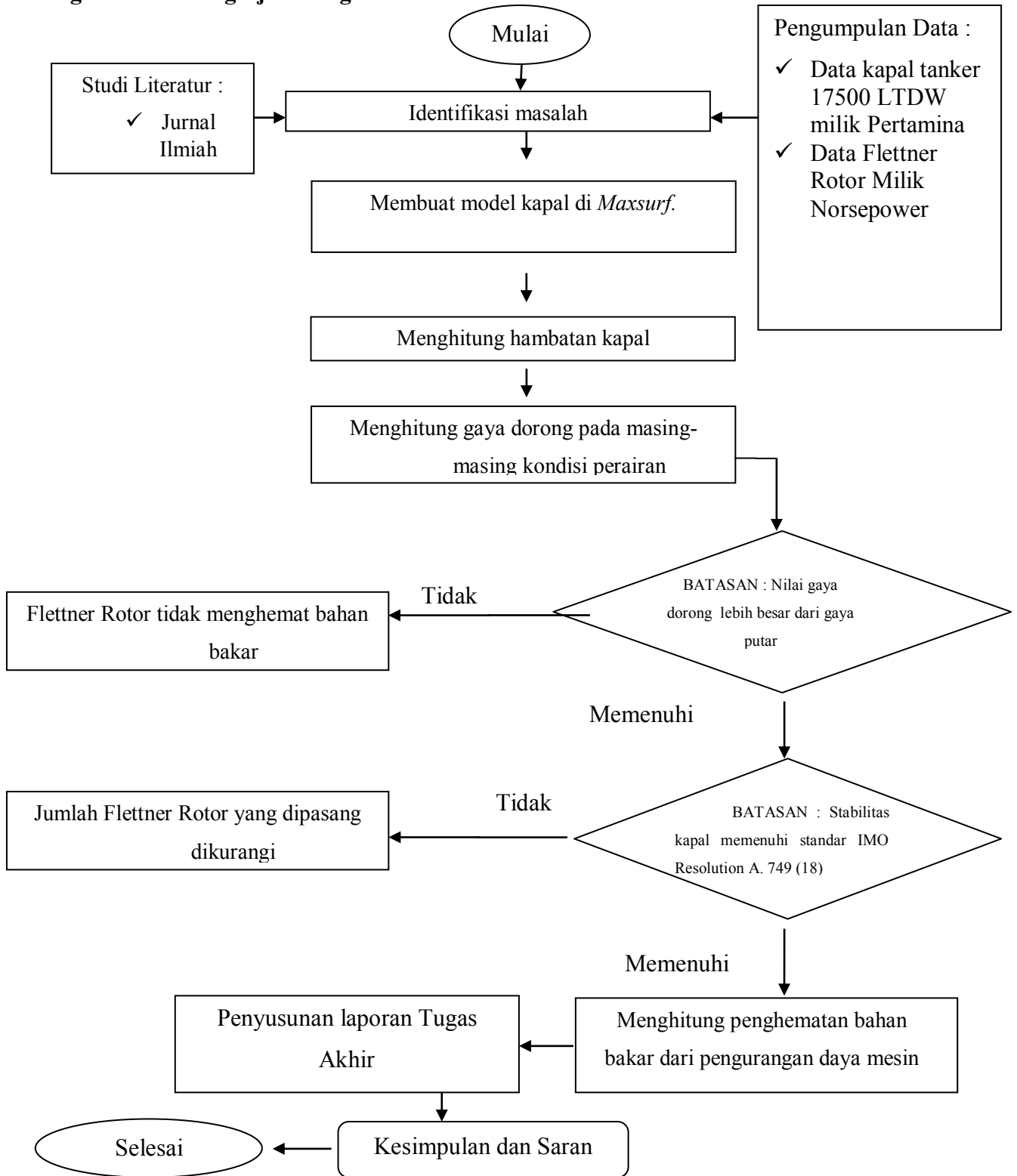
Ketika mendapat gaya dorong dari rotor, gaya dorong dari mesin utama dapat dikurangi tanpa mengurangi kecepatan. Nilai gaya dorong total sama dengan nilai hambatan total pada kecepatan dinas. Pengurangan gaya dorong juga akan berdampak pada pengurangan beban kerja pada mesin utama. Pada tugas akhir ini penulis menghitung besarnya penurunan daya dan penghematan bahan bakar akibat adanya gaya dorong tambahan dari *flettner rotor*.

Proses penghitungan dilakukan setelah mengetahui hambatan total kapal pada kecepatan dinas dan gaya dorong dari rotor pada kondisi tertentu. Nilai hambatan dikurangi gaya dorong dari rotor. Nilai gaya dorong yg baru ini dikalikan dengan kecepatan dinas untuk mengetahui besar daya efektif di propeller. Dari daya efektif propeller akan didapat besar daya mesin dari nilai efisiensi penggerak yang telah dihitung di **bab III.2.2.**

Selain mengurangi beban kerja pada mesin utama, pengoperasian rotor juga membutuhkan daya listrik untuk menggerakkan motornya. Akibatnya beban kerja genset akan bertambah. Maka dari itu kedua pengurangan dan penambahan daya dan konsumsi bahan bakar ini perlu dihitung bersama untuk perbandingan. Pada kondisi tertentu, rotor tidak diaktifkan jika gaya dorong tidak cukup besar. Jika gaya dorong terlalu kecil, penambahan konsumsi bahan bakar di genset akan lebih besar daripada pengurangan konsumsi bahan bakar mesin utama.

III.3. Diagram Alir Metodologi

Diagram Alur Pengerjaan Tugas Akhir



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1. Pendahuluan

Dalam bab ini akan dibahas mengenai hasil simulasi dan analisa mengenai stabilitas hasil simulasi software Maxsurf Stability, hambatan hasil simulasi Maxsurf Resistance, dan gaya dorong hasil simulasi Ansys Fluent. Dalam bab ini juga penghematan bahan bakar pada masing-masing model dan sudut yang telah ditentukan

IV.2. Stabilitas

Pada proses perhitungan stabilitas, dimulai dengan menghitung titik berat kapal pada masing-masing konfigurasi. Karena penambahan berat, muatan kapal perlu dikurangi untuk menjaga *displacement* kapal tidak berubah seperti dinyatakan dalam **tabel IV-1**. Perubahan titik berat (G) berdampak pada jarak antara titik berat dengan titik metacenter (M). Karena besarnya lengan pembalik dirumuskan dengan $GZ = GM \sin\delta\phi$, maka semakin tinggi titik berat kapal, semakin kecil momen pembalik ketika kapal dimiringkan. Pada **tabel IV-1** tampak bahwa titik berat kapal hanya berubah 0,087 meter pada kondisi paling ekstrim, yaitu model G dengan 5 rotor

Tabel IV-1 Perubahan Muatan dan Titik Berat untuk Setiap Model

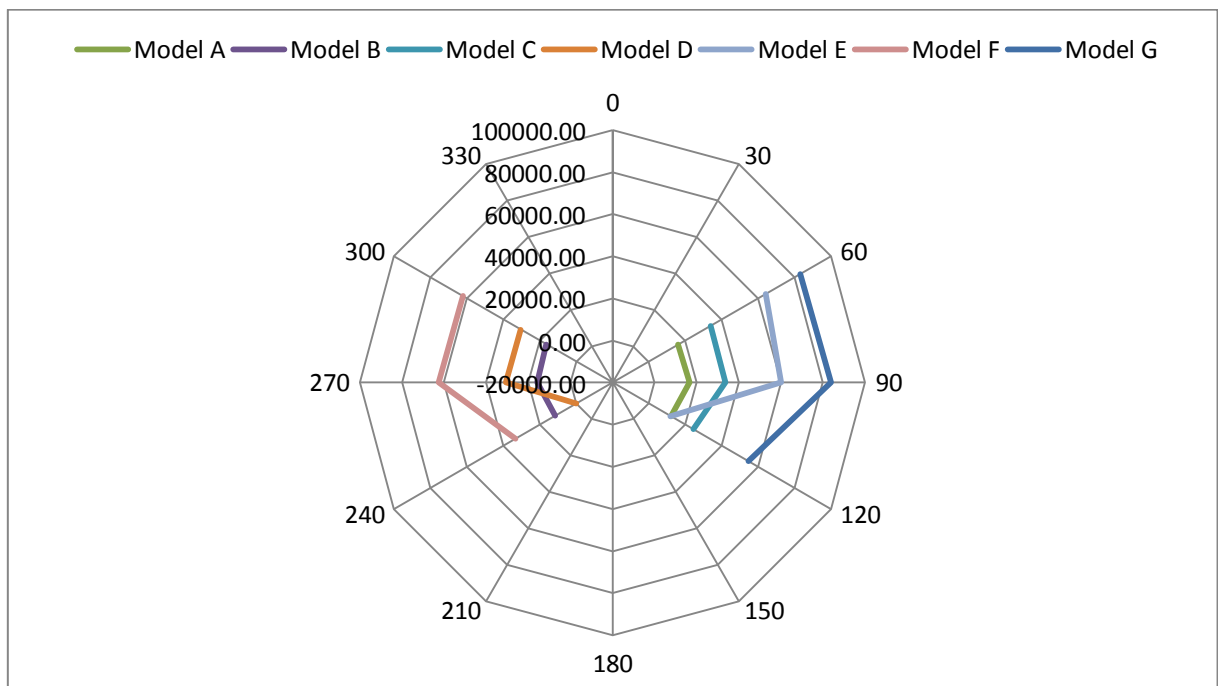
Model	Volume muatan (%)	VCG (m)
Bare deck	100	7.076
Model A	99.66	7.094
Model B	99.66	7.094
Model C	99.32	7.111
Model D	99.32	7.111
Model E	98.65	7.147
Model F	98.65	7.147
Model G	98.31	7.164

Tabel IV-2 Kriteria Stabilitas Masing-Masing Model

Criteria	Value	Units	Bare deck	Model A	Model B	Model C	Model D	Model E	Model F	Model G	Status
3.1.2.1: Area 0 to 30	3.151	m.deg	42.777	42.656	42.648	42.525	42.533	42.289	42.237	42.082	Pass
3.1.2.1: Area 0 to 40	5.157	m.deg	68.656	68.432	68.426	68.200	68.205	67.736	67.713	67.461	Pass
3.1.2.1: Area 30 to 40	1.719	m.deg	25.879	25.776	25.778	25.675	25.673	25.467	25.476	25.379	Pass
3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater	0.200	m	2.614	2.604	2.604	2.594	2.594	2.574	2.575	2.566	Pass
3.1.2.3: Angle of maximum GZ	25.000	deg	33.600	33.600	33.600	33.600	33.600	33.600	33.600	33.600	Pass
3.1.2.4: Initial GMT	0.150	m	5.357	5.344	5.341	5.328	5.331	5.299	5.287	5.262	Pass

Pada **tabel IV-2** dapat dilihat bahwa semua model masih memenuhi kriteria stabilitas yang ditetapkan. Hal ini dikarenakan titik berat tidak berubah terlalu signifikan dan kriteria stabilitas masih terpenuhi jauh dari nilai yang ditetapkan, sehingga perubahan titik berat tidak terlalu berdampak pada kapal. Kurva GZ terhadap sudut untuk masing-masing model dapat dilihat pada lampiran A, perubahan titik berat pada masing-masing model dapat dilihat pada lampiran B.

IV.3. Gaya Dorong Rotor



Gambar IV-1 Polar Diagram Gaya Dorong

Pada proses ini arah angin dibuat 4 variasi, yaitu 0^0 , 60^0 , 90^0 , dan sudut 120^0 . Pada sudut 0^0 rotor tidak diaktifkan, posisi sudut ini dibuat untuk mengetahui besarnya hambatan udara ketika rotor tidak digunakan. Gaya dorong dan hambatan kapal dihitung langsung dari gaya yang searah terhadap laju kapal atau *driving force*.

Pada tugas akhir ini, semua gaya yang dihitung adalah gaya yang searah laju kapal. Gaya yang tegak lurus atau *heeling force* tidak diperhitungkan karena dalam pelayaran gaya ini akan berusaha dihilangkan dengan membelokkan rudder sampai kapal bergerak lurus. Atau dengan membuat foil vertikal dilunas kapal. Gaya yang didapat pada masing-masing rotor dijumlahkan langsung untuk mengetahui besarnya gaya total yang searah dengan laju kapal. Kontur kecepatan pada masing-masing model dan sudut dapat dilihat pada lampiran C

IV.3.1. Sudut 0⁰

Tabel IV-3 menunjukkan meletakkan rotor pada posisi berbeda menghasilkan hambatan yang berbeda. Meskipun dengan jumlah rotor yang sama, model B menghasilkan hambatan yang lebih besar dibanding model A karena jarak rotor lebih jauh dari bangunan atas. Pada model A, bangunan atas membuat ruang bertekanan tinggi dibelakang rotor, sehingga dengan perbedaan tekanan di depan dan belakang rotor yang tidak terlalu besar, dapat membuat hambatan lebih kecil.

Tabel IV-3 Gaya Masing-Masing Model pada Sudut 0⁰

0 Deg	(Newton)						
Cyl	a	b	c	d	e	f	g
1	241.783	925.879	155.760	837.872	652.549	758.542	395.478
2			962.233	873.033	615.468	751.447	677.631
3					948.898	1231.676	827.029
4					1032.476	1208.465	714.433
5							1207.693
Total	241.783	925.879	1117.993	1710.906	3249.391	3950.130	3822.264

Pada model D gaya hambatan juga lebih besar daripada model C, hal ini dikarenakan peletakan rotor yang sejajar membuat efek seolah luas penampang untuk aliran fluida berkurang. Sesuai hukum bernoulli, ketika luas penampang berkurang, kecepatan aliran akan meningkat. Akibatnya, pada model D timbul efek seolah-olah aliran fluida lebih cepat dari yang sebenarnya. Sementara pada model segaris seperti pada model C, rotor 1 tertutupi oleh rotor 2, sehingga tidak mendapat aliran fluida secepat aliran fluida sebenarnya. Ruang diantara rotor 1 dan 2 juga bertekanan lebih tinggi dibandingkan model D, sehingga hambatan rotor 2 berkurang karena perbedaan tekanan tidak terlalu besar.

Efek dari perbedaan jarak antar rotor depan dan belakang serta peletakan rotor secara sejajar membuat model F dengan 4 rotor menghasilkan hambatan lebih besar dibanding model G dengan 5 rotor dan model E dengan 4 rotor berdekatan. Tampak juga rotor 3 dan 4 pada model E menghasilkan hambatan lebih kecil dibanding pada model F.

IV.3.2. Sudut 60°

Tabel IV-4 Gaya Masing-Masing Model pada Sudut 60°

60 Deg	(Newton)						
Cyl	a	b	c	d	e	f	g
1	15972.780	16321.077	16270.456	14704.019	13599.83	14818.477	15507.479
2			17730.826	15673.567	17386.363	15673.639	16536.519
3					17339.405	15819.137	17027.915
4					15830.657	15834.473	17308.618
5							16735.751
Total	15972.780	16321.077	34001.282	30377.587	64156.254	62145.726	83116.281

Pada Tabel IV-4 menunjukkan model C dan model E menghasilkan gaya lebih besar dibanding model D dan F. Peletakan rotor yang berdekatan secara memanjang atau segaris akan memaksimalkan bernoulli efek, aliran fluida terasa lebih cepat dibanding kondisi sebenarnya. Sehingga bisa menghasilkan gaya lebih besar.

IV.3.3. Sudut 90°

Tabel IV-5 Gaya Dorong pada Sudut 90°

90 Deg	(Newton)						
Cyl	a	b	c	d	e	f	g
1	16492.459	15673.725	16837.437	15239.121	15427.406	14597.463	16798.577
2			16835.307	15483.325	15978.945	16966.174	16745.580
3					14267.693	15238.369	16904.054
4					14485.581	15674.529	16768.885
5							16603.913
Total	16492.459	15673.725	33672.744	30722.446	60159.626	62476.536	83821.009

Pada sudut 90° gaya dorong semua model menjadi maksimal. Pada model A, gaya dorong lebih besar dibanding model B karena aliran fluida dipercepat oleh adanya bangunan atas. Jarak yang lebih dekat dengan bangunan atas menyebabkan aliran lebih cepat, semakin jauh, efek percepatan ini semakin berkurang. Hal ini juga tampak pada model C. Gaya pada kedua rotor masing-masing lebih besar dibanding model A, B dan D. Keberadaan rotor lain turut mempercepat aliran fluida.

IV.3.4. Sudut 120°

Pada sudut 120° beberapa rotor tidak menghasilkan gaya dorong yang maksimal. Hal ini disebabkan aliran udara ke rotor terganggu bangunan atas. Beberapa rotor menghasilkan gaya negatif karena terperangkap von Karmman vortex dari bangunan atas. Vortex ini terbentuk karena aliran fluida tidak bisa mengikuti alur objek yang dilewati, akibatnya fluida berputar

ketika berusaha mengisi ruang dibelakang objek. Putaran fluida ini menerus sampai jarak yang cukup jauh, bahkan pada percobaan ini, vortex terbentuk sampai ujung geometry outlet. Rotor yang tidak menghasilkan gaya dorong konstan atau negatif tidak diaktifkan. Sehingga dalam perhitungan gaya dorong dianggap tidak ada.

Tabel IV-6 Gaya Dorong pada Sudut 120⁰

120 Deg	(Newton)						
Cyl	a	b	c	d	e	f	g
1	11980.791	11443.734	11937.116	0	0	10017.99	0
2			12324.304	0	0	0	13962.846
3					0	12608.474	13507.083
4					11888.618	10412.602	13991.611
5							13291.411
Total	11980.791	11443.734	24261.421	0.000	11888.618	33039.066	54752.952

IV.4. Perhitungan Bahan Bakar

Pada kondisi normal kapal berlayar dengan kecepatan 13 knots. Hambatan kapal sebesar 383.002 KN. Dengan efisiensi sistem penggerak 0.624, tenaga yang dibutuhkan untuk menggerakkan kapal sebesar 4103.40 Kw. Konsumsi bahan bakar per Kilowatt berbeda-beda pada tiap RPM, hal ini disebabkan perbedaan torsi pada setiap RPM, akibatnya pada besaran daya tertentu nilai SFC juga berbeda. Besar konsumsi bahan bakar per Kilowatt dinyatakan dalam SFC sebesar 187,25 gram/Kw.h pada 4440 Kw, 184,15 gram/Kw.h pada 3774 Kw, dan 184,62 gram/Kw.h pada 3330 Kw. Nilai SFC tersebut di-interpolasi untuk mendapatkan nilai konsumsi bahan bakar yang baru. Pada kondisi normal, kapal menghabiskan bahan bakar 761.933 kilogram/jam. Penggunaan *flettner rotor* diharapkan dapat mengurangi beban kerja mesin utama untuk mengurangi konsumsi bahan bakar

IV.4.1. Penggerak Mesin Utama dan Rotor

Selain mengurangi beban mesin utama, menggerakkan *flettner rotor* juga menambah beban pada mesin bantu atau genset. Untuk memutar 1 unit rotor berukuran 5x30 m dengan kecepatan 180rpm dibutuhkan daya listrik 70 Kw. Dengan asumsi efisiensi kelistrikan sebesar 89,2%. Maka 1 unit rotor akan menambah beban kerja genset sebesar 78,475 Kw. Pada pelayaran normal beban listrik dikapal sebesar 597,98 Kw. Dengan nilai SFC 185 g/Kw.h, maka genset mengkonsumsi bahan bakar 110,626 Kg/h. Contoh perhitungan kebutuhan bahan bakar pada konfigurasi G dengan sudut 90⁰ dilampirkan pada **Gambar IV-I**. Untuk perhitungan pada konfigurasi dan sudut lain dapat dilihat pada lampiran D.

Pada **tabel IV-7**, konfigurasi G menghasilkan penghematan paling besar pada setiap sudut. Pada sudut 0^0 , Konfigurasi G dengan 5 rotor juga menghasilkan hambatan yang lebih sedikit dibanding konfigurasi F dengan 4 rotor. Pada sudut 60^0 dapat mengurangi konsumsi bahan bakar 168.367 kg/h atau 22.1%, pada sudut 90^0 menghemat 169.736 kg/h atau 22.3%, konsumsi bahan bakar genset meningkat 72.6 kg/h atau 65.6%. Sedangkan pada sudut 120^0 hanya 4 rotor yg aktif sehingga konsumsi bahan bakar genset meningkat 58.072 kg/h atau 52.5% dan mesin utama berkurang 113.359 kg/h atau 14.9%. Saat tidak digunakan rotor menambah hambatan udara sebesar 3822.264 Newton, hambatan ini juga meningkatkan kebutuhan daya mesin sebesar 40.951 Kw, dan konsumsi bahan bakar sebesar 8.394 kg/h atau 1.1%.

Tabel IV-7 Gaya Dorong, Perubahan Daya, dan Konsumsi BBM pada Mesin Utama dan Mesin Bantu

A Sudut	Thrust (Newton)	Δ BHP (Kw)	Δ HP Genset (Kw)	Δ FC ME (kg/h)	Δ FC Genset (kg/h)
0	-241.783	-2.590	0	-0.531	0.000
60	15972.780	171.129	78.47533632	34.908	14.518
90	16492.459	176.697	78.47533632	36.039	14.518
120	11980.791	128.360	78.47533632	26.209	14.518

B Sudut	Thrust (Newton)	Δ BHP (Kw)	Δ HP Genset (Kw)	Δ FC ME (kg/h)	Δ FC Genset (kg/h)
0	-925.879	-9.920	0	-2.032	0.000
60	16321.077	174.861	78.47533632	35.666	14.518
90	15673.725	167.925	78.47533632	34.257	14.518
120	11443.734	122.606	78.47533632	25.038	14.518

C Sudut	Thrust (Newton)	Δ BHP (Kw)	Δ HP Genset (Kw)	Δ FC ME (kg/h)	Δ FC Genset (kg/h)
0	-1117.993	-11.978	0	-2.454	0.000
60	34001.282	364.282	156.9506726	73.236	29.036
90	33672.744	360.763	156.9506726	72.602	29.036
120	24261.421	259.932	156.9506726	52.915	29.036

D Sudut	Thrust (Newton)	Δ BHP (Kw)	Δ HP Genset (Kw)	Δ FC ME (kg/h)	Δ FC Genset (kg/h)
0	-1710.906	-18.330	0	-3.755	0.000
60	30377.587	325.459	156.9506726	66.155	29.036
90	30722.446	329.154	156.9506726	66.901	29.036
120	0.000	0.000	0	0.000	0.000

E Sudut	Thrust (Newton)	Δ BHP (Kw)	Δ HP Genset (Kw)	Δ FC ME (kg/h)	Δ FC Genset (kg/h)
0	-3249.391	-34.813	0	-7.135	0.000
60	64156.254	687.356	313.9013453	131.574	58.072
90	60159.626	644.537	313.9013453	123.829	58.072
120	11888.618	127.372	78.47533632	26.008	14.518

F Sudut	Thrust (Newton)	Δ BHP (Kw)	Δ HP Genset (Kw)	Δ FC ME (kg/h)	Δ FC Genset (kg/h)
0	-3950.130	-42.321	0	-8.675	0.000
60	62145.726	665.816	313.9013453	127.677	58.072
90	62476.536	669.360	313.9013453	128.318	58.072
120	33039.066	353.973	235.426009	71.378	43.554

G Sudut	Thrust (Newton)	Δ BHP (Kw)	Δ HP Genset (Kw)	Δ FC ME (kg/h)	Δ FC Genset (kg/h)
0	-3822.264	-40.951	0	-8.394	0.000
60	83116.281	890.490	392.3766816	168.367	72.590
90	83821.009	898.040	392.3766816	169.736	72.590
120	54752.952	586.611	313.9013453	113.359	58.072

Konfigurasi sejajar seperti D terbukti kurang optimal dalam menghasilkan gaya dorong dan menghasilkan hambatan lebih besar. Konfigurasi C menghasilkan penghematan bahan bakar lebih baik pada semua sudut dibanding konfigurasi D. Jarak antar rotor yang terlalu jauh juga kurang optimal, terbukti konfigurasi E menghasilkan penghematan lebih baik dari konfigurasi F pada setiap sudut.

Jarak rotor dengan bangunan atas perlu diperhatikan, pada saat dekat seperti konfigurasi A. Bangunan atas membentuk ruang bertekanan tinggi di antara bangunan atas dan rotor, sehingga hambatan berkurang drastis jika dibandingkan konfigurasi B. Hal ini juga tampak pada perbedaan hambatan di konfigurasi E dan F. Konfigurasi F dengan jarak rotor yang sangat lebar membuat efek slipstream sangat kecil sehingga hambatan lebih besar dibanding konfigurasi E.

Konfigurasi	G						
Sudut	90	derajat					
RT	=	383.002 KN	Thrust rotor	=	83821.009	N	
Vs	=	13 Knot	RT'	=	299181.171	N	
		6.688 M/s					
eHP	=	2561.433 Kw	eHP'	=	2000.857	Kw	
η BHP	=	0.624					
BHP	=	4103.403 Kw	BHP'	=	3205.363	Kw	
			Δ HP	=	898.040	Kw	
					21.9	%	
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		5 Units					
		350 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	392.376682 Kw					
		Power (Kw)					
		3330	3774	4440			
		SFOC (g/Kw/h)					
		184.62	184.15	187.25			
		SFC	185.683	g/Kw.h			
		SFC'	184.752	g/Kw.h			
FC ME	=	761933.279 g/h	FC ME''	=	592197.000 g/h		
		761.933 Kg/h			592.197 Kg/h		
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw	$P_{Electrical}''$	=	990.357 Kw		
SFC Genset	=	185 g/Kw.h					
FC Genset	=	110626.3 g/h	FC' Genset	=	183215.9861 g/h		
		110.6263 Kg/h			183.2159861 Kg/h		
Δ FC ME	=	169.736 Kg/h	Δ FC Genset	=	72.590 Kg/h		
		22.3 %			65.6 %		

Gambar IV-2 Perhitungan Daya dan Konsumsi Bahan Bakar pada Model G Sudut 90⁰

IV.4.2. Penggerak Rotor tanpa Mesin Utama

Berdasar hasil percobaan dengan Ansys Fluent, gaya dorong terbesar didapatkan pada model G pada sudut 90⁰. Gaya dorong total dari rotor besarnya 83821,009 Newton. Gaya ini cukup besar dibanding gaya dorong kapal sesungguhnya sebesar 383,002 KN.

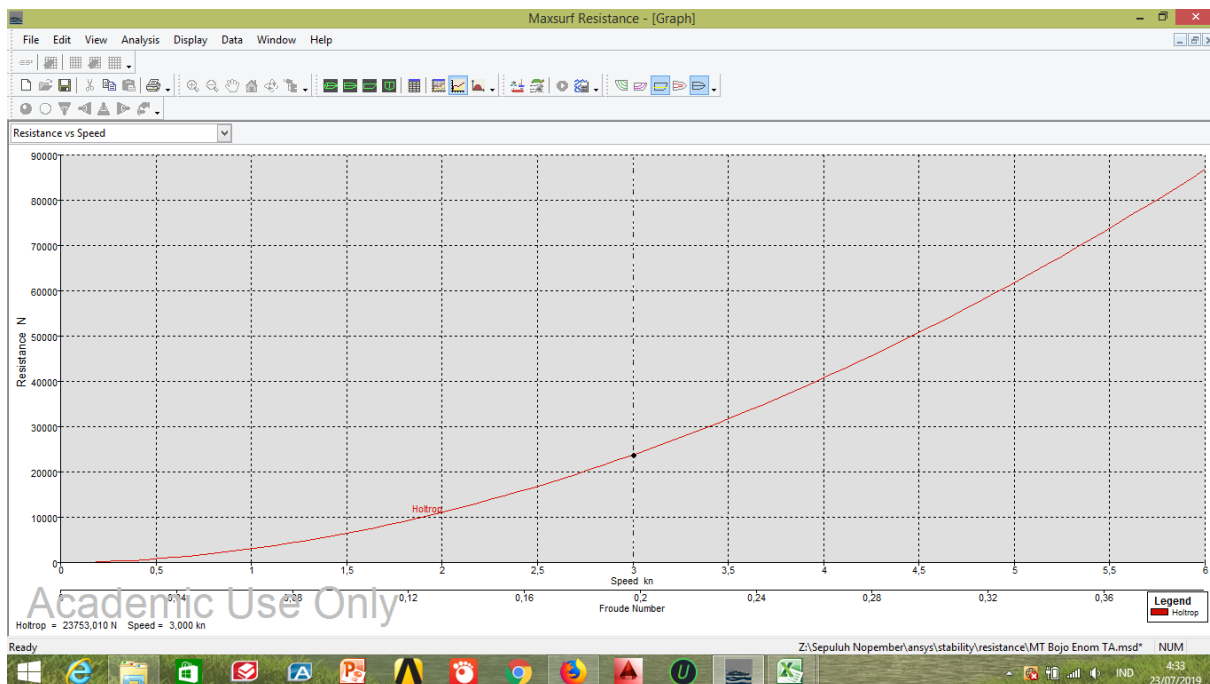
Konfigurasi	G	ME off					
	90	AE on					
RT	=	83.821 KN	Thrust rotor	=	83.821 N		
Vs	=	5.888 Knot	RT'	=	83821.01 N		
		3.029 M/s					
eHP	=	253.898 Kw	eHP'	=	253.898 Kw		
η BHP	=	0.624					
BHP	=	0.000 Kw	BHP'	=	406.743 Kw		
			Δ HP	=	0.000 Kw		
					0.0 %		
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		5 Units					
		350 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	392.376682 Kw					
		Power (Kw)					
		3330	3774	4440			
		SFOC (g/Kw/h)					
		184.62	184.15	187.25			
		SFC	188.145 g/Kw.h				
		SFC'	187.714 g/Kw.h				
FC ME	=	0.000 g/h	FC ME''	=	76351.568 g/h		
		0.000 Kg/h			76.352 Kg/h		
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw	$P_{Electrical}''$	=	990.357 Kw		
SFC Genset	=	185 g/Kw.h					
FC Genset	=	110626.3 g/h	FC' Genset	=	183215.9861 g/h		
		110.6263 Kg/h			183.2159861 Kg/h		
Δ FC ME	=	-76.352 Kg/h	Δ FC Genset	=	72.590 Kg/h		
		0.0 %			65.6 %		

Gambar IV-3 Perhitungan Bahan Bakar Pada Kecepatan 5.888 Knot

Berdasarkan pengujian Maxsurf Resistance, gaya dorong dari rotor tersebut dapat menggerakkan kapal dengan kecepatan 5,888 knot tanpa bantuan mesin utama. Kebutuhan daya listrik untuk menggerakkan 5 rotor adalah 392.376 Kw, penambahan daya rotor ini menyebabkan genset mengalami peningkatan konsumsi bahan bakar sebesar 72.59 Kg/jam. Jika hanya mengandalkan mesin utama, daya untuk menggerakkan kapal pada kecepatan 5.888 knots adalah 406.743 Kw. Mesin utama akan mengkonsumsi bahan bakar 76.352 Kg/jam. Kecepatan masing-masing model pada setiap sudut dapat dilihat pada **Tabel IV-8**

Tabel IV-8 Kecepatan Kapal dengan Penggerak *Flettner Rotor*

Sudut ($^{\circ}$)	Kecepatan (Knot)						
	a	b	c	d	e	f	g
60	2.429	2.457	3.631	3.416	5.110	5.014	5.861
90	2.471	2.405	3.611	3.441	4.928	5.016	5.888
120	2.085	2.035	3.034	0.000	2.075	3.578	4.686



Gambar IV-4 Grafik Hambatan dan Kecepatan pada Maxsurf Resistance

BAB V

KESIMPULAN

V.1. Kesimpulan

Dari penulisan tugas akhir ini, penulis menyimpulkan bahwa:

- Pemasangan *flettner rotor* tidak berdampak signifikan pada stabilitas kapal, dari berbagai kriteria yang ditetapkan. Gaya pembalik kapal masih dapat menjaga stabilitas kapal. Lengan pembalik tidak berkurang signifikan, dan titik berat juga tidak naik signifikan.
- Gaya dorong pada kecepatan angin 6 m/s dan kecepatan rotasi 180 rpm paling besar terjadi pada model G, yaitu sebesar 83.116 KN pada arah angin 60⁰, 83.821 KN pada 90⁰ dan 54.752 KN pada 120⁰
- Permodelan Ansys Fluent pada kecepatan angin 6 m/s dan kecepatan kapal 13 Knot menunjukkan dampak positif dari penggunaan *flettner rotor* dengan menghemat bahan bakar sebesar 168.367 kg/h atau 22.1 % pada arah angin 60⁰, 169.736 kg/h atau 22.3 % pada 90⁰, dan 113,359 kg/h atau 14.9 % pada 120⁰. Meskipun meningkatkan konsumsi bahan bakar pada genset sebesar 72.6 Kg/h atau 65.6 % pada 60⁰ dan 90⁰ dan 58.072 kg/h atau 52.5% pada 120⁰

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, A.S. (2010) Tugas Akhir, Analisa Teknis Pemasangan Layar Sebagai Alat Pengerak Bantu Pada Kapal General Cargo KM Belitung, Jurusan Teknik Perkapalan, ITS Surabaya,
- Craft, T.J., Jhonson, N., Lacovides, H., dan Brian Launder. (2012). Back to the future: Flettner-Thom rotors for maritime propulsion? ,Manchester, UK: School of Mechanical, Aerospace & Civil Engineering, University of Manchester
- Holtrop, J., Mennen, G.G.J. (1982). An Approximate Power Prediction Method, International Shipbuilding Progress : Vol. 29, Netherland
- Jiang, Xuemei., and Guan, Dabo. (2016). Determinants of Global CO₂ Emmisions Growth, *Journal of Applied Energy*, 184, 1132-1141
- Lewis, Edward V. (1980). Principles of Naval Architecture Second Revision, Volume I, Stability and Strength. Jersey City, NJ : The Society of Naval Architects & Marine Engineers.
- Lewis, Edward V. (1988). Principles of Naval Architecture Second Revision, Volume II, Resistance, Propulsion and Vibration. Jersey City, NJ : The Society of Naval Architects & Marine Engineers.
- Messer, Chance D.(2016). Engineering Flettner Rotors to Increase Propulsion, Odessa: Advanced STEM Research Laboratory Odessa High School.
- Mgaidi, A.M. A. S. Mohd Rafie, K. A. Ahmad, R. Zahari, M. F. Abdul Hamid, dan O. F. Marzuki (2018). Numerical and Experimental Analyses of the Flow Around a Rotating Circular Cylinder at Subcritical Regime of Reynolds Number Using K-epsilon and K-omega-SST Turbulent Models, *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3, 954-960
- Munson, B.R. Young, D.F. & Okiishi T.H. (2002). Fluid Mechanics. USA : Departements of Mechanical Engineering, Iowa State University
- Nuramal, Agus dan Puspawan, Angky. (2012). Efek Vortex von Karman Terhadap Aliran yang Melintasi Silinder, Bengkulu: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Bengkulu.

- Parson, M. G. (2003). "Parametric Design", Ch. 11 in *Ship Design and Construction*, I, T. Lamb (ed.), New York: Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- Putra, G. R. (2016). Tugas Akhir. Studi Kasus : Penerapan Energy Saving Device Dalam Rangka Meningkatkan Efisiensi Thrust Pada Kapal Tanker Pertamina 40000 LTDW. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Resolution A. 749 (18). (1993). Code on Intact Stability for All Types of Ships Covered by IMO Instruments, London: International Maritime Organization.
- Ridho, Noor Muhammad. (2017), Tugas Akhir. Studi Kasus : Analisa Peningkatan Efisiensi Thrust Akibat Penerapan Energy Saving Device Pada Kapal Tanker Pertamina (Persero) 40000 LTDW Dengan Ansys Fluent Menggunakan Metode Moving Mesh, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Schneekluth, H and V. Bertram. (1998). *Ship Design Efficiency and Economy*, Second Edition, Oxford, UK : Butterworth Heinemann.
- Seifert, Jost. (2012). A Review of the Magnus Effect in Aeronautics, *Journal of Progress in Aerospace Sciences*, 55, 17-45
- Sulisetyono, Aries. (2014). The Evaluation of a Rigid Sail of Ship Using Wind Tunnel Test, *Journal of Applied Mechanics and Materials*, 493, 287-293
- Traut, Michael. (2014). Propulsive power contribution of a kite and a Flettner rotor on selected shipping routes, *Journal of Applied Energy*, 113, 362-372

LAMPIRAN

Lampiran A. Grafik GZ

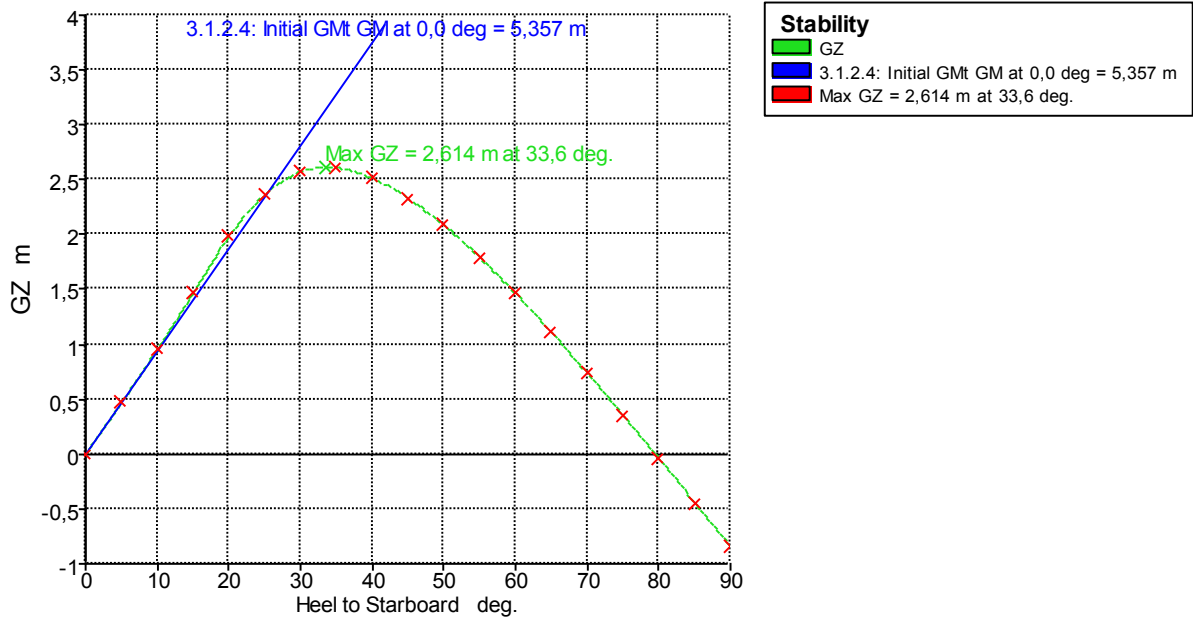
Lampiran B. Titik Berat

Lampiran C. Kontur Kecepatan

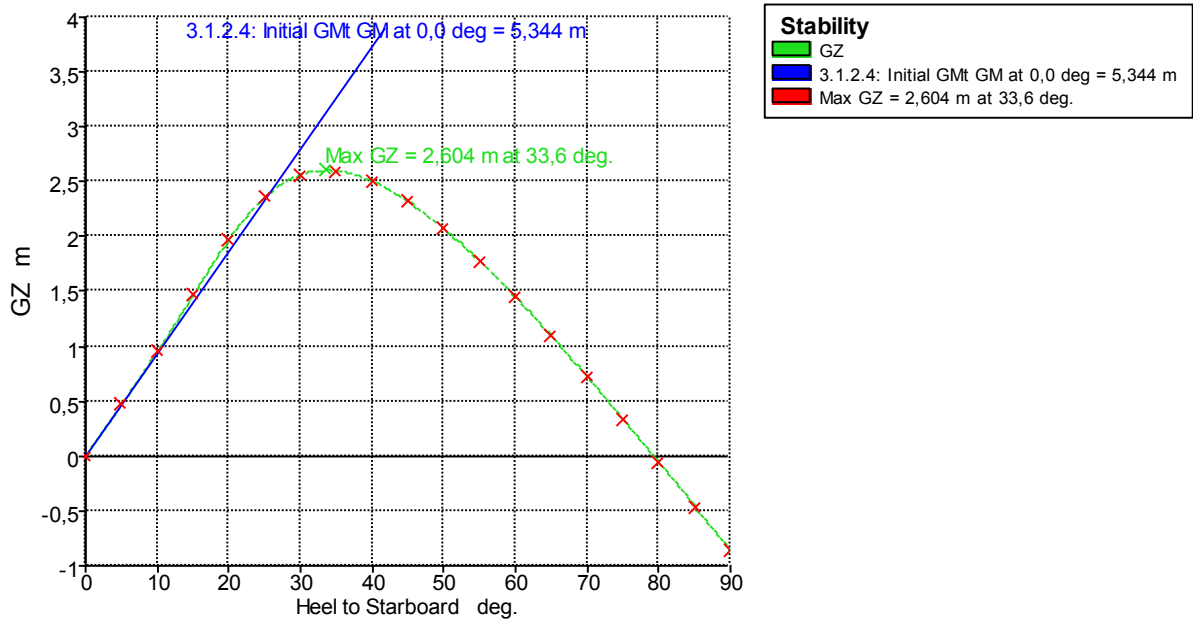
Lampiran D. Perhitungan Bahan Bakar

LAMPIRAN A

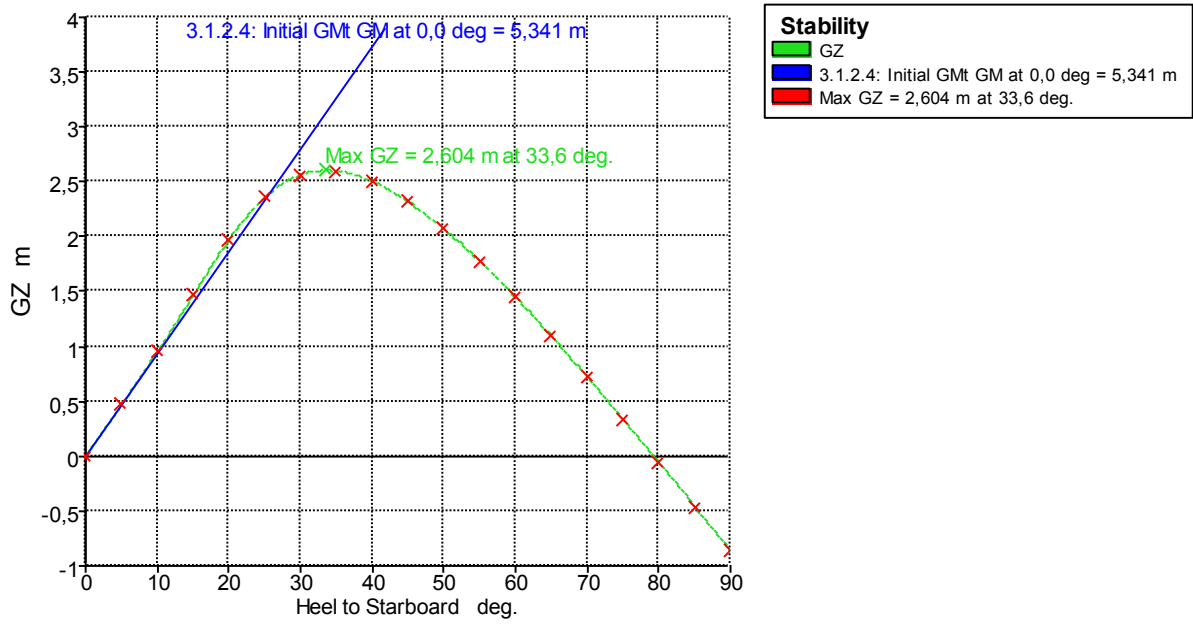
Grafik GZ Pada Masing-Masing Model



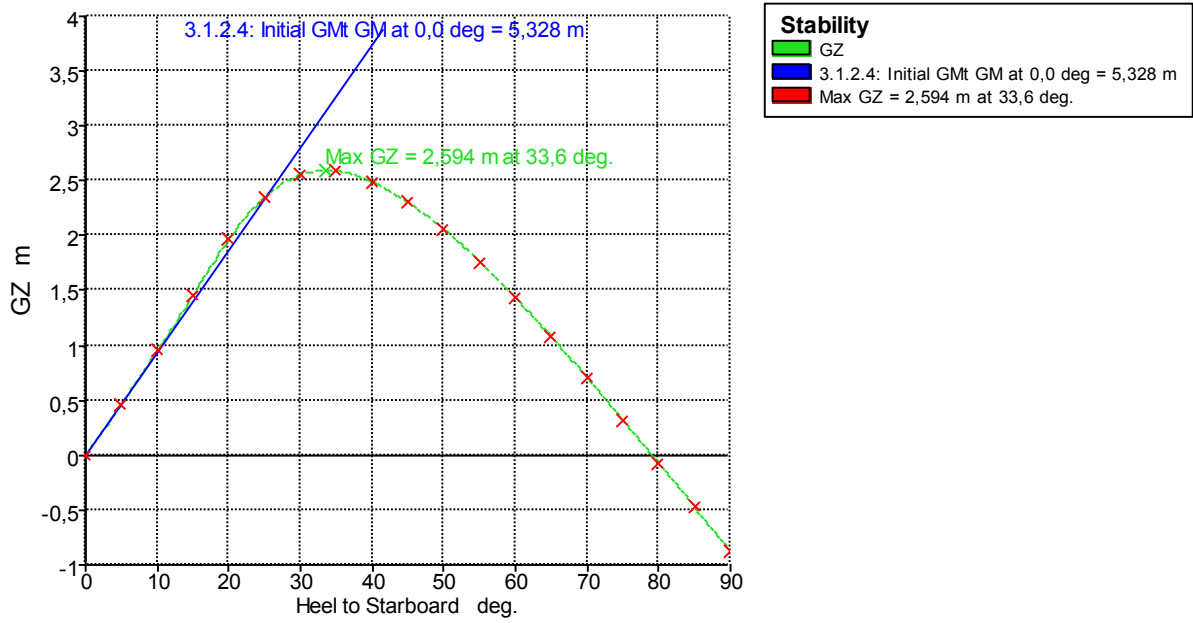
Gambar 0-1 Grafik GZ Bare Deck



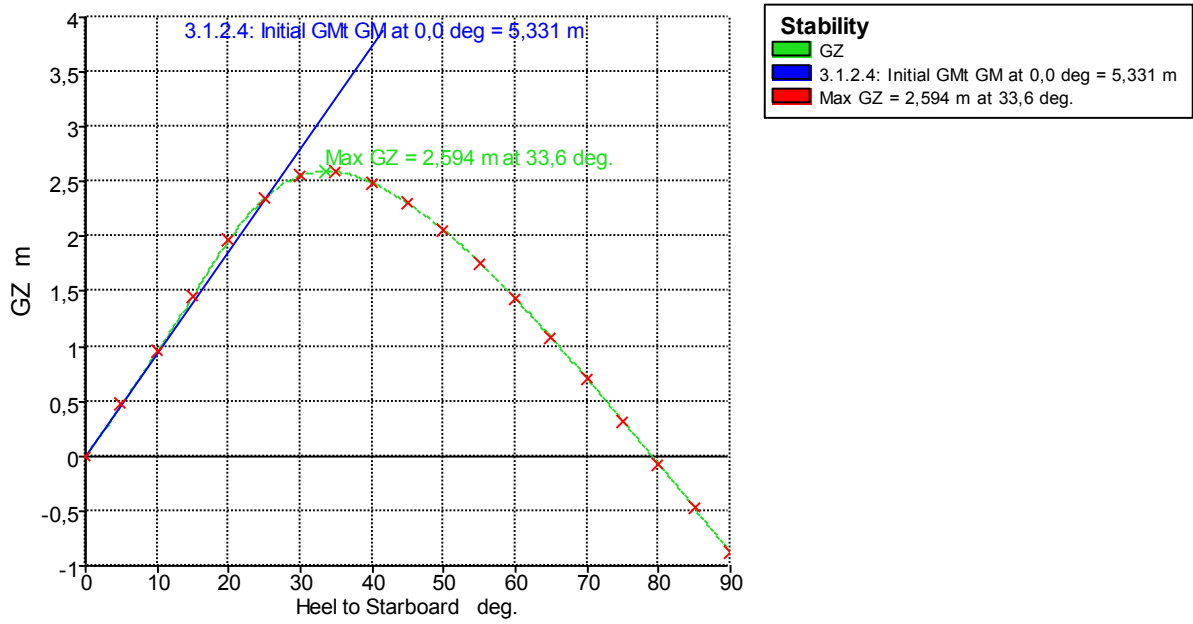
Gambar 0-2 Grafik GZ Model A



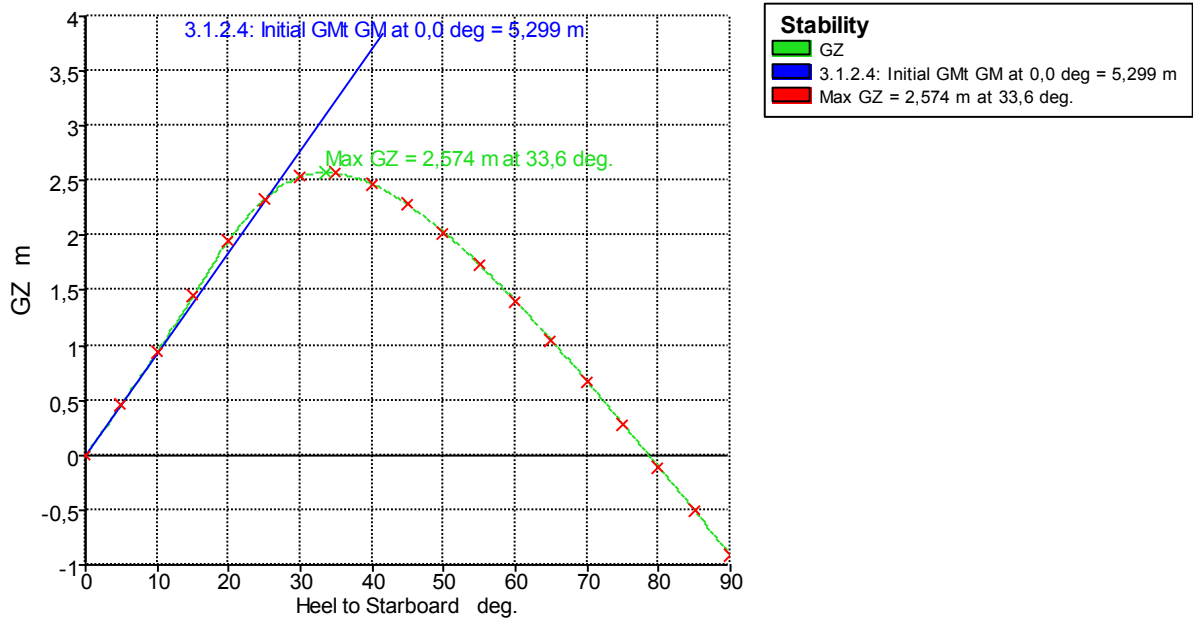
Gambar 0-3 Grafik GZ Model B



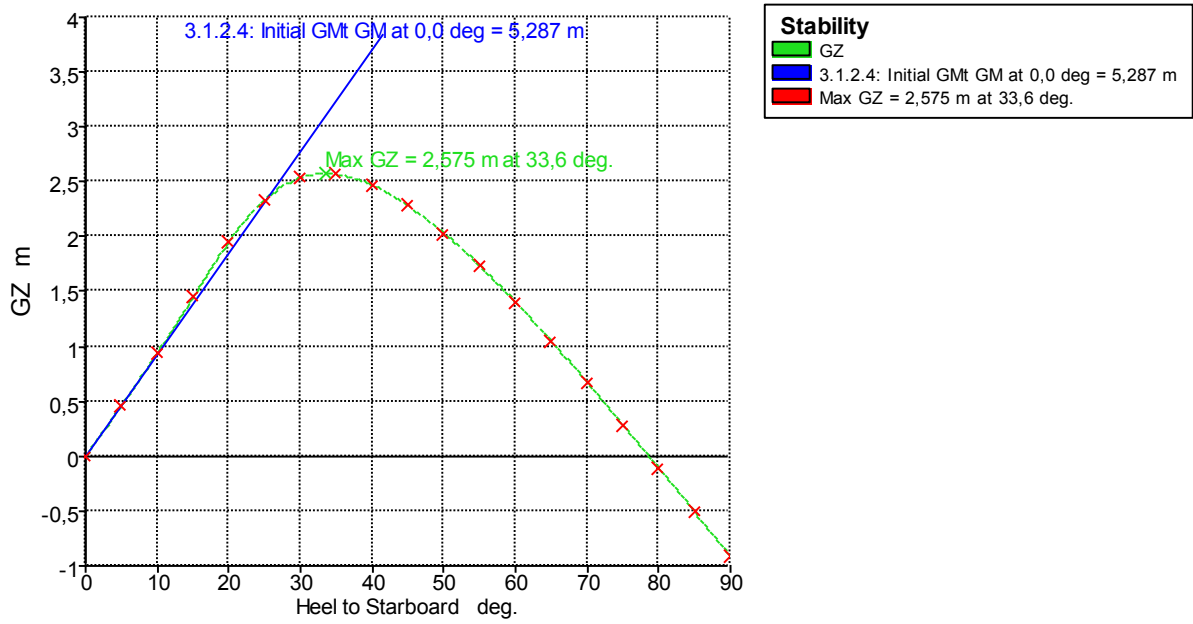
Gambar 0-4 Grafik GZ Model C



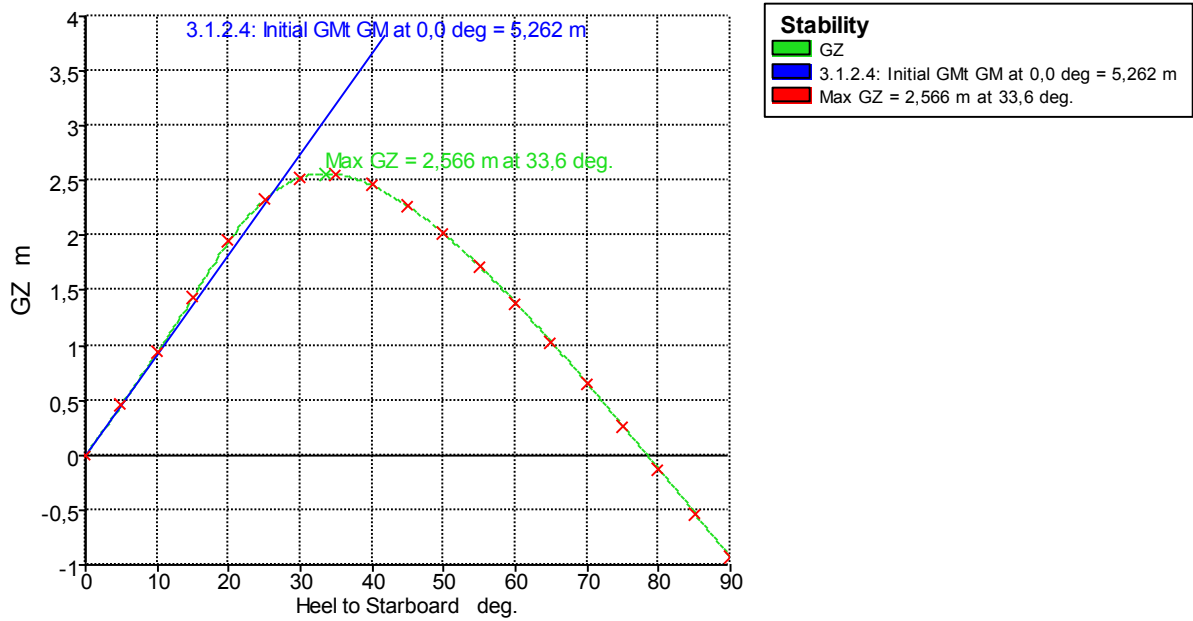
Gambar 0-5 Grafik GZ Model D



Gambar 0-6 Grafik GZ Model E



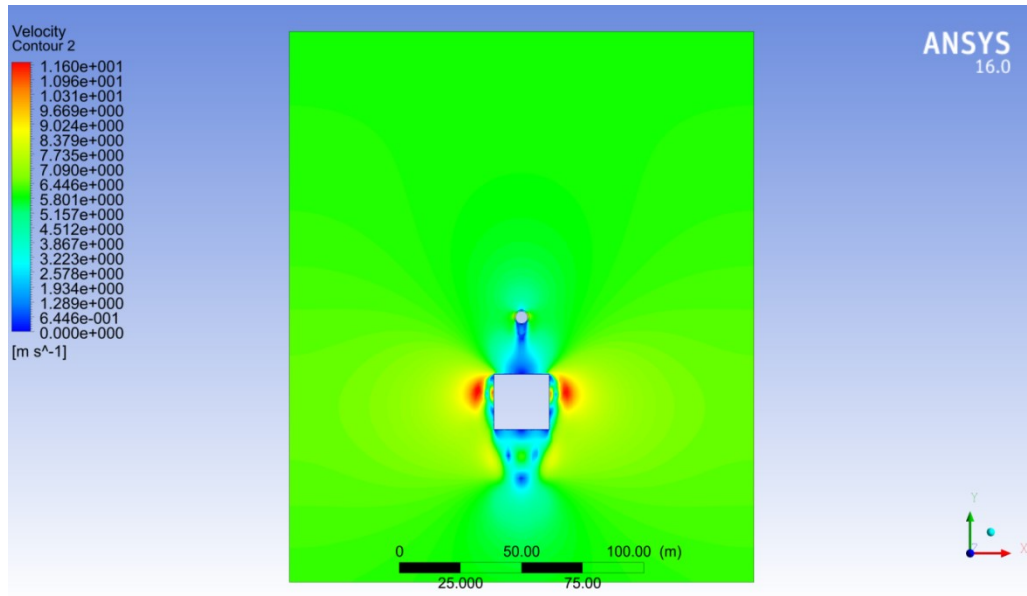
Gambar 0-7 Grafik GZ Model F



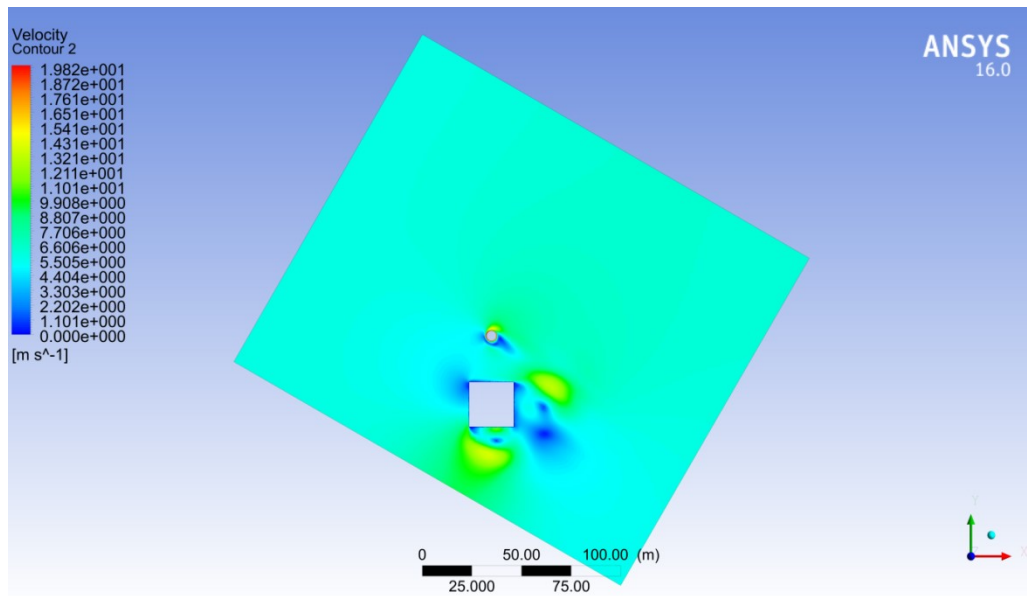
Gambar 0-8 Grafik GZ Model G

LAMPIRAN C

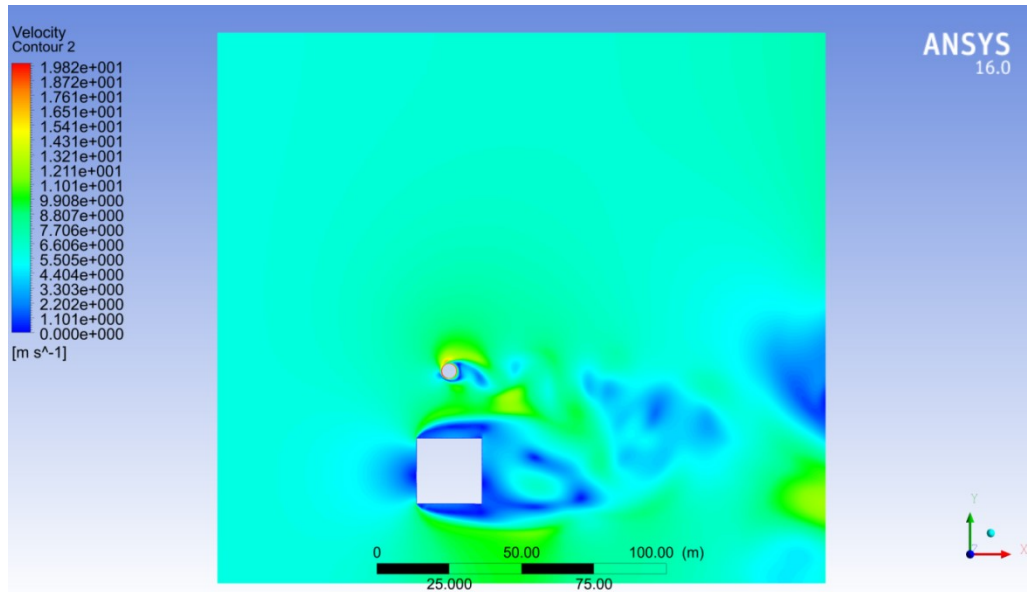
A. Model A



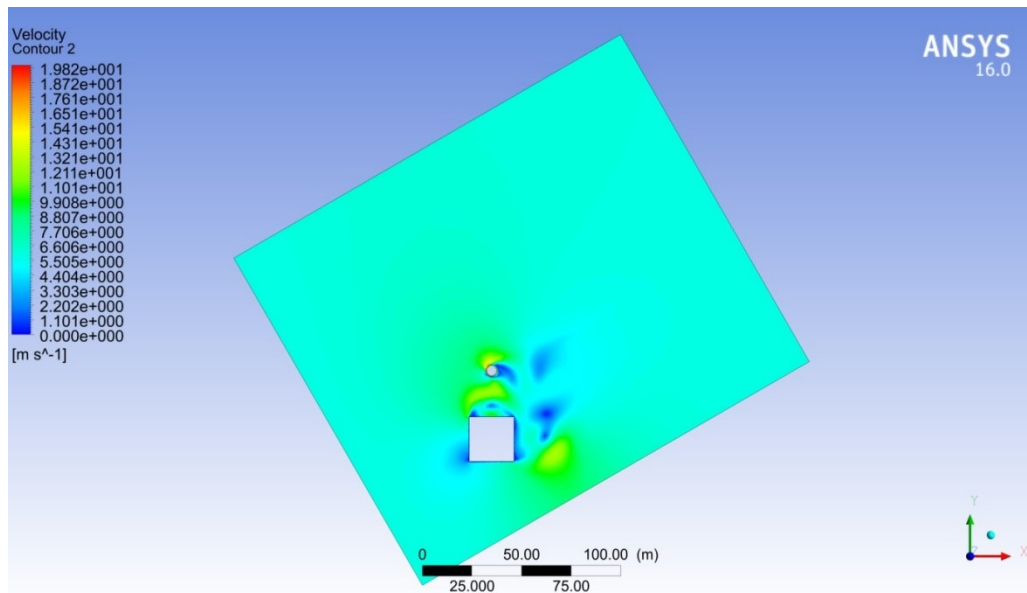
Gambar 0-9 Model A dengan Sudut 0⁰



Gambar 0-10 Model A dengan Sudut 60⁰

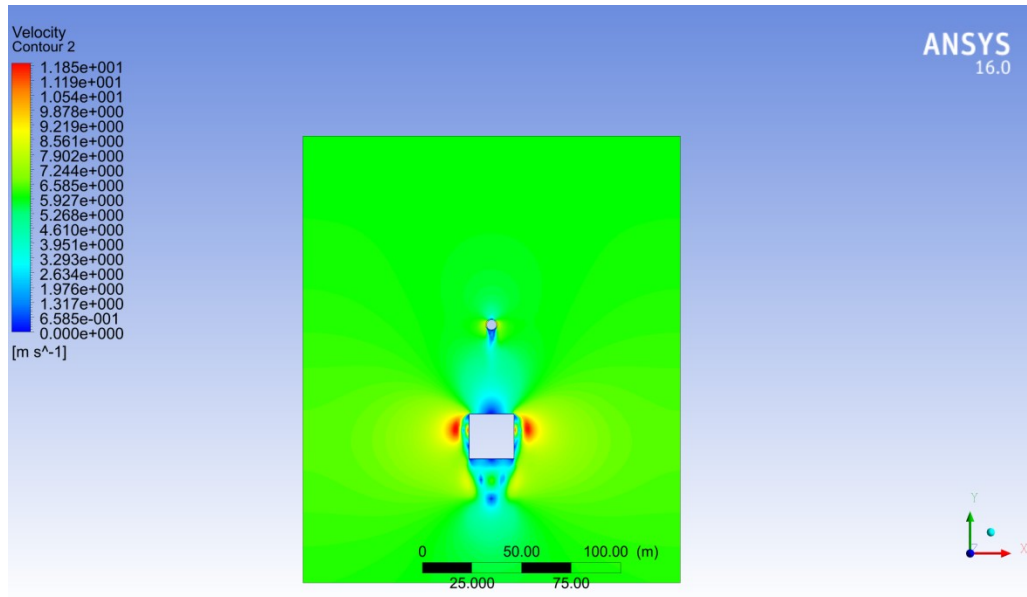


Gambar 0-11 Model A dengan Sudut 90⁰

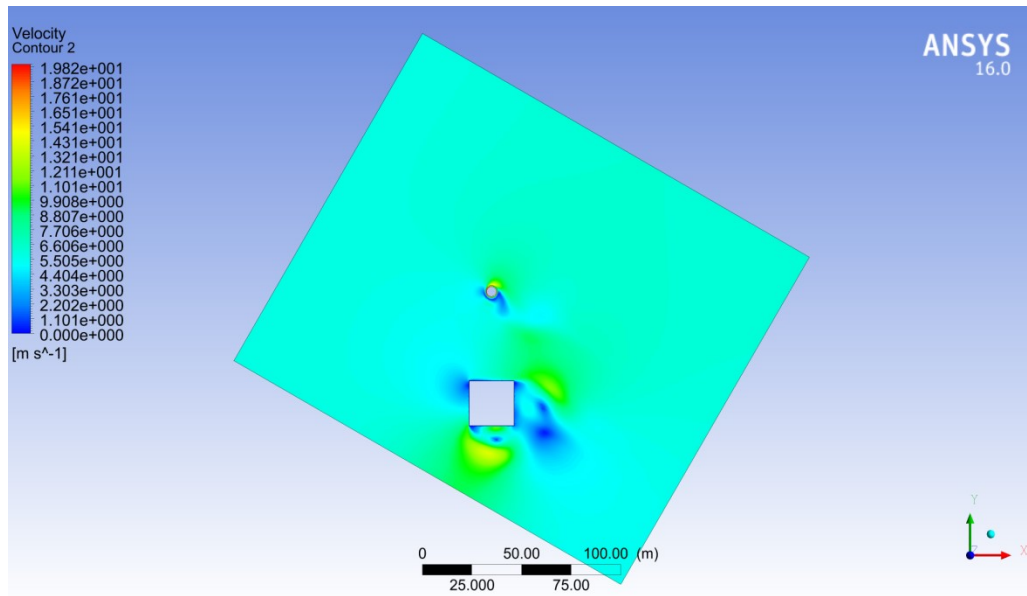


Gambar 0-12 Model A dengan Sudut 120⁰

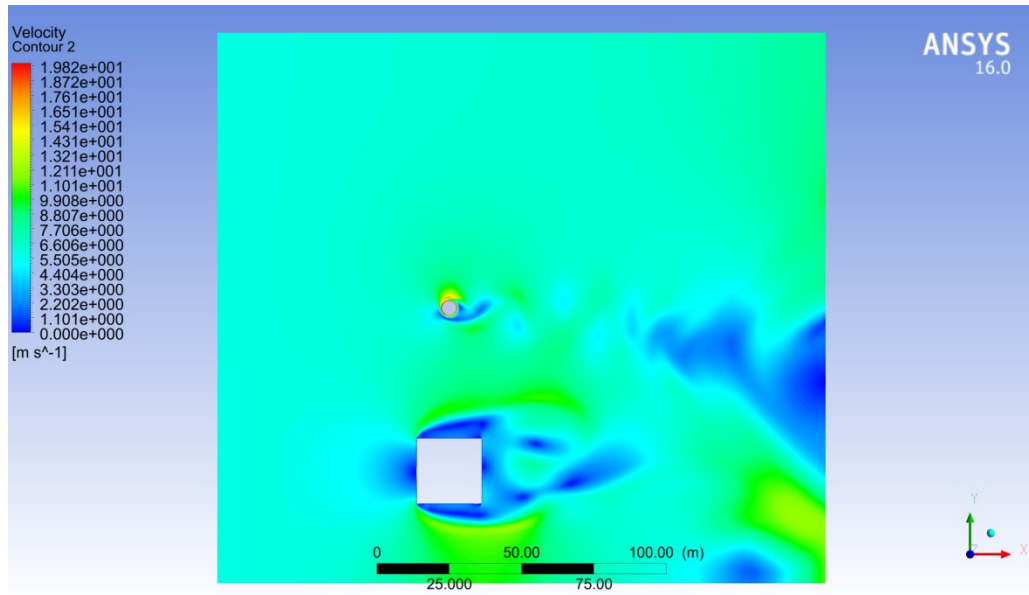
B. Model B



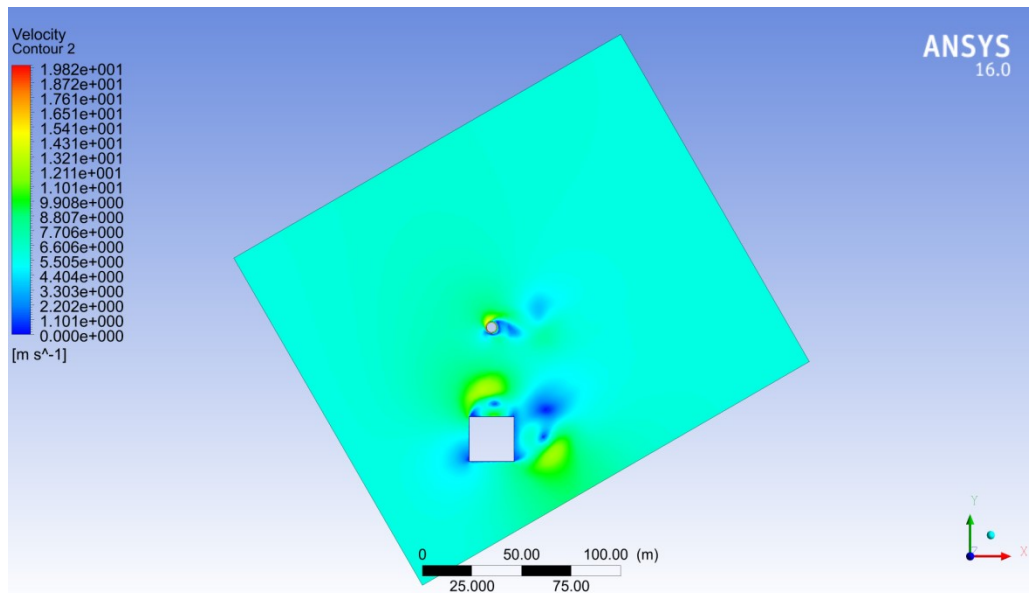
Gambar 0-13 Model B dengan Sudut 0⁰



Gambar 0-14 Model B dengan Sudut 60⁰

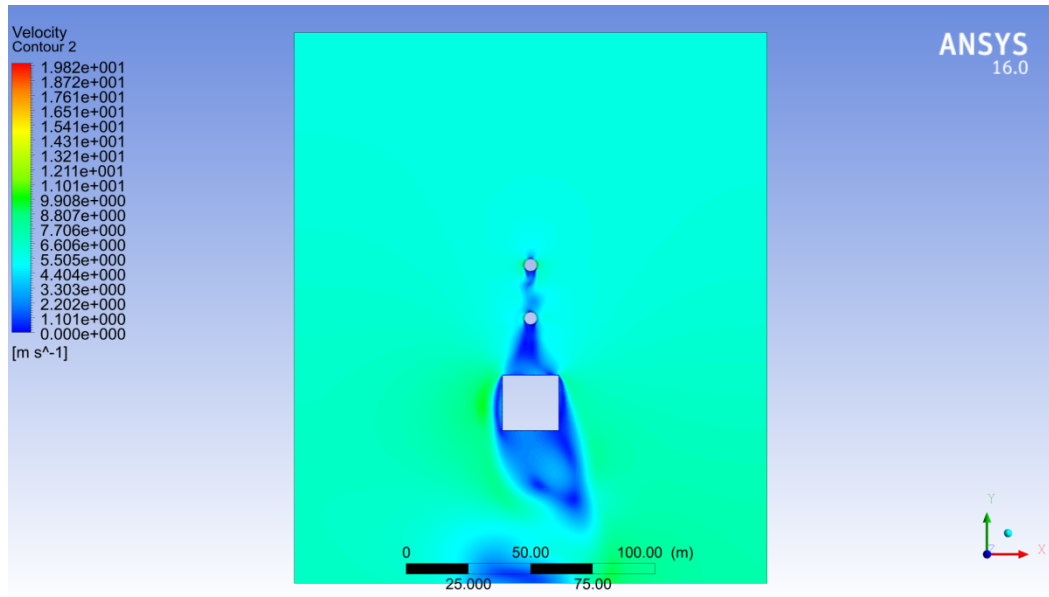


Gambar 0-15 Model B dengan Sudut 90⁰

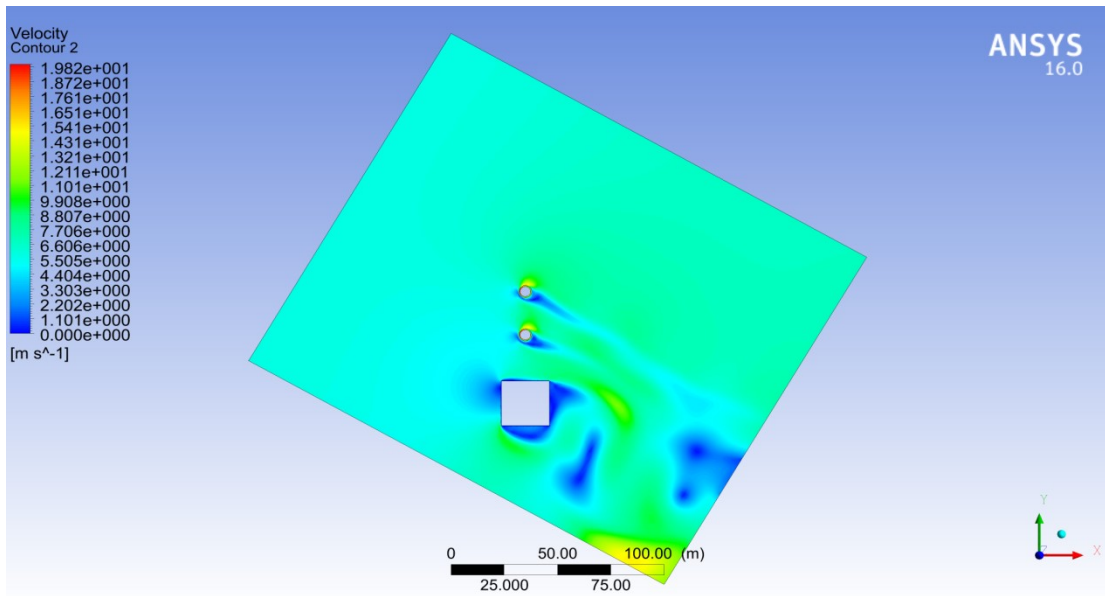


Gambar 0-16 Model B dengan Sudut 120⁰

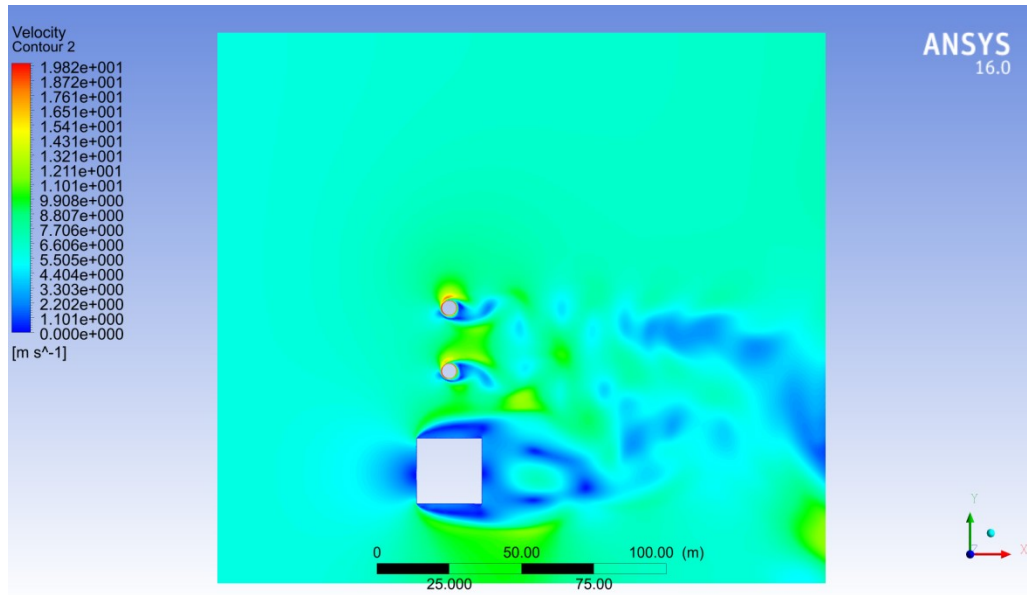
C. Model C



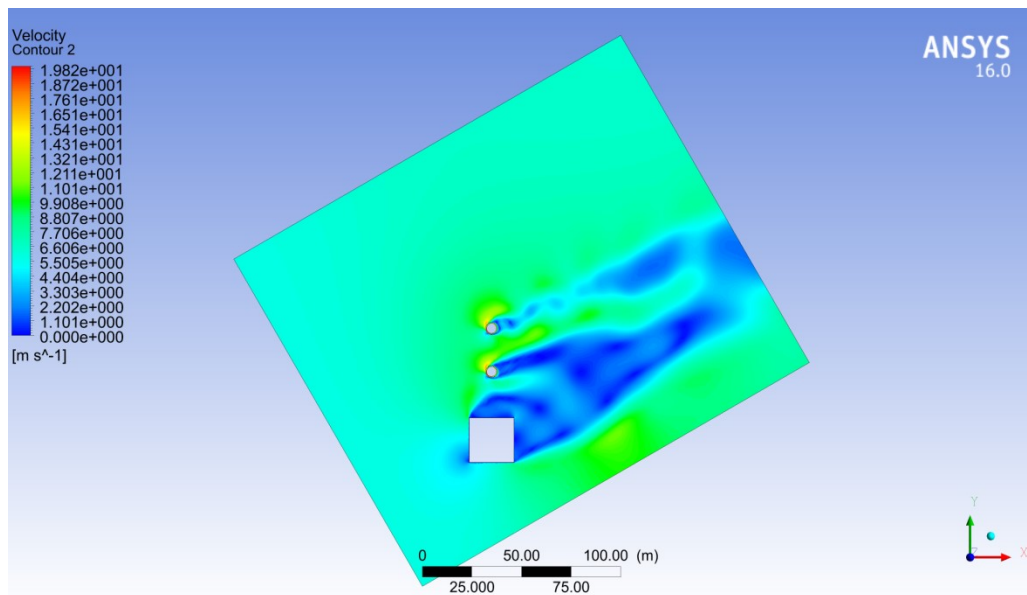
Gambar 0-17 Model C dengan Sudut 0⁰



Gambar 0-18 Model C dengan Sudut 60⁰

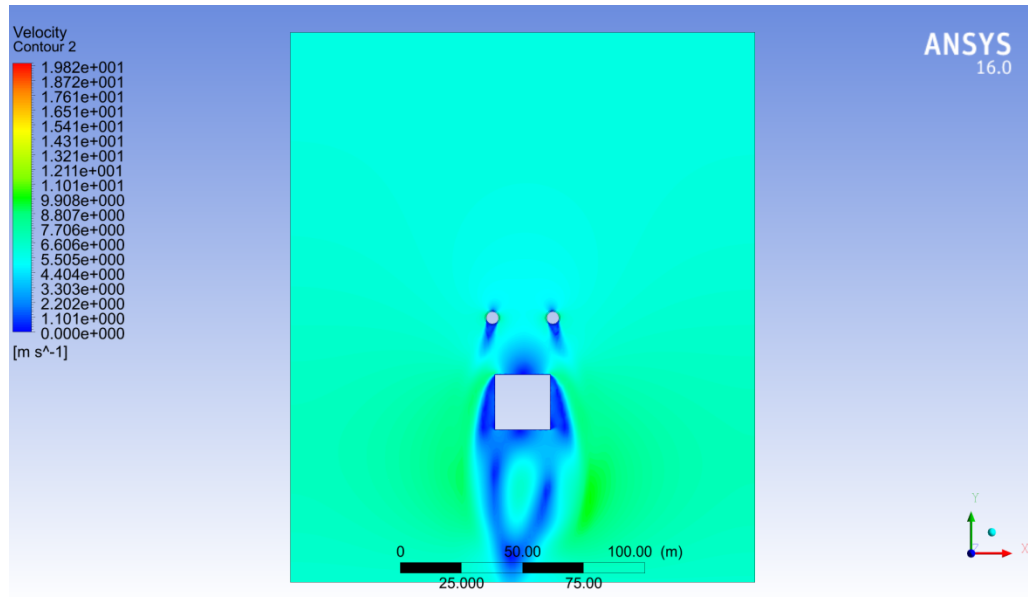


Gambar 0-19 Model C dengan Sudut 90⁰

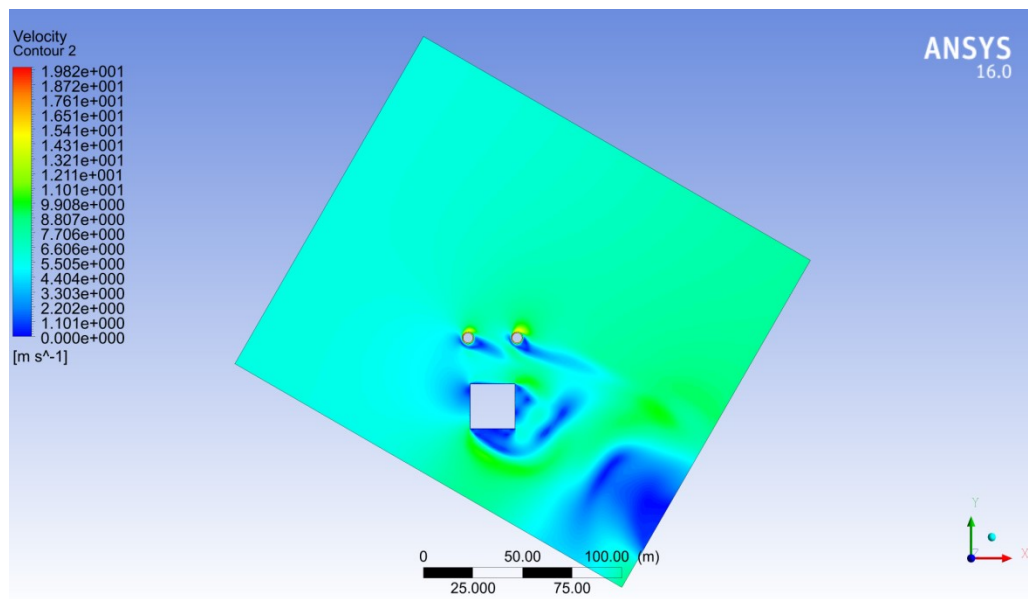


Gambar 0-20 Model C dengan Sudut 120⁰

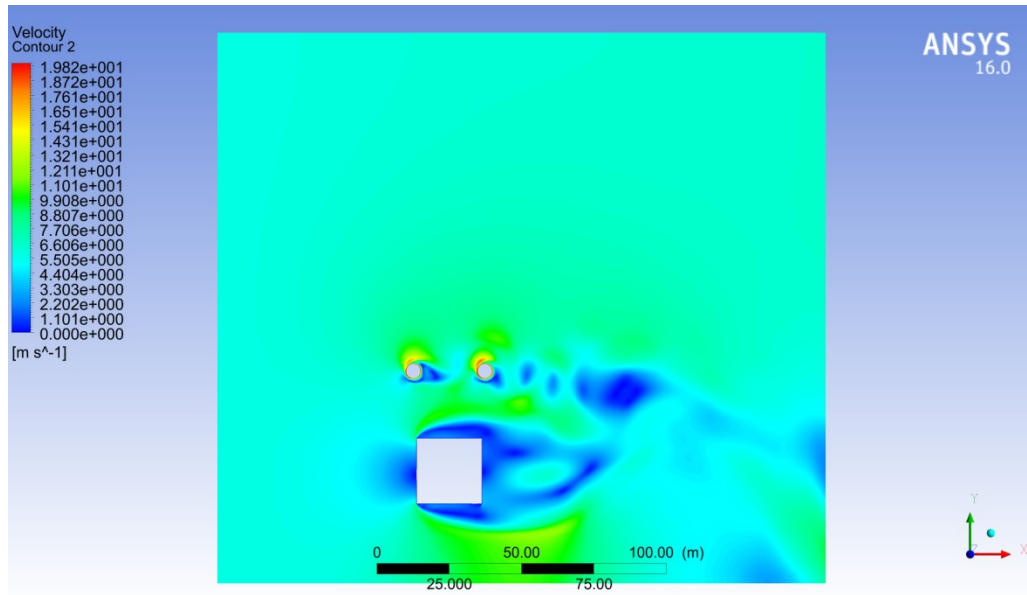
D. Model D



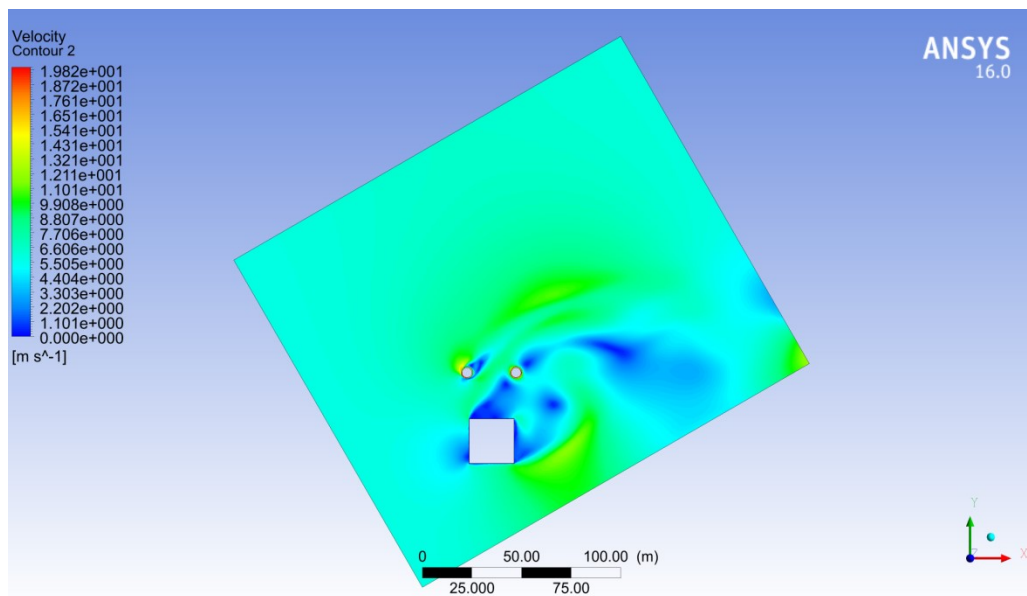
Gambar 0-21 Model D dengan Sudut 0⁰



Gambar 0-22 Model D dengan Sudut 60⁰

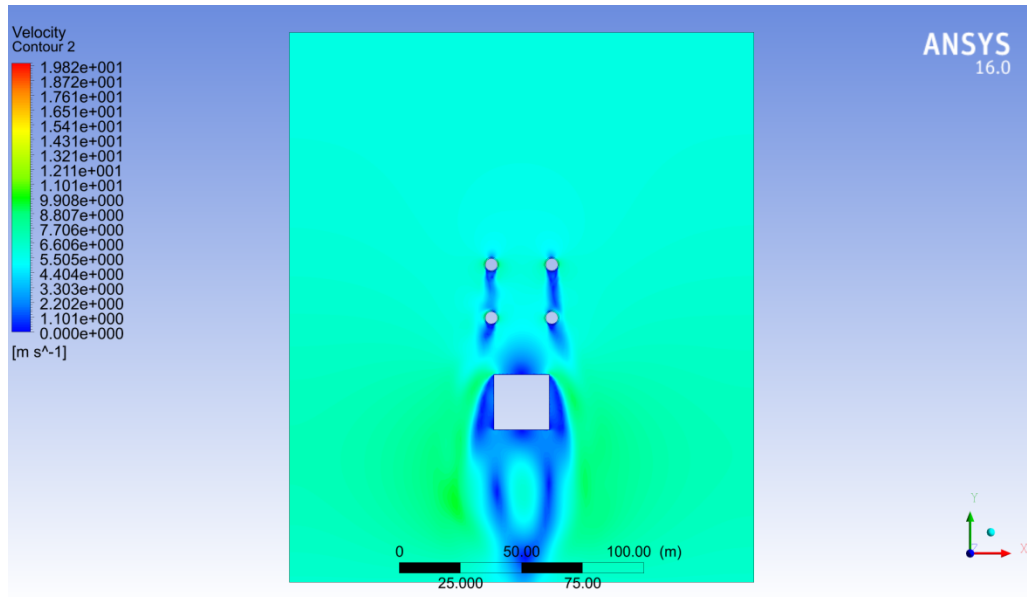


Gambar 0-23 Model D dengan Sudut 90⁰

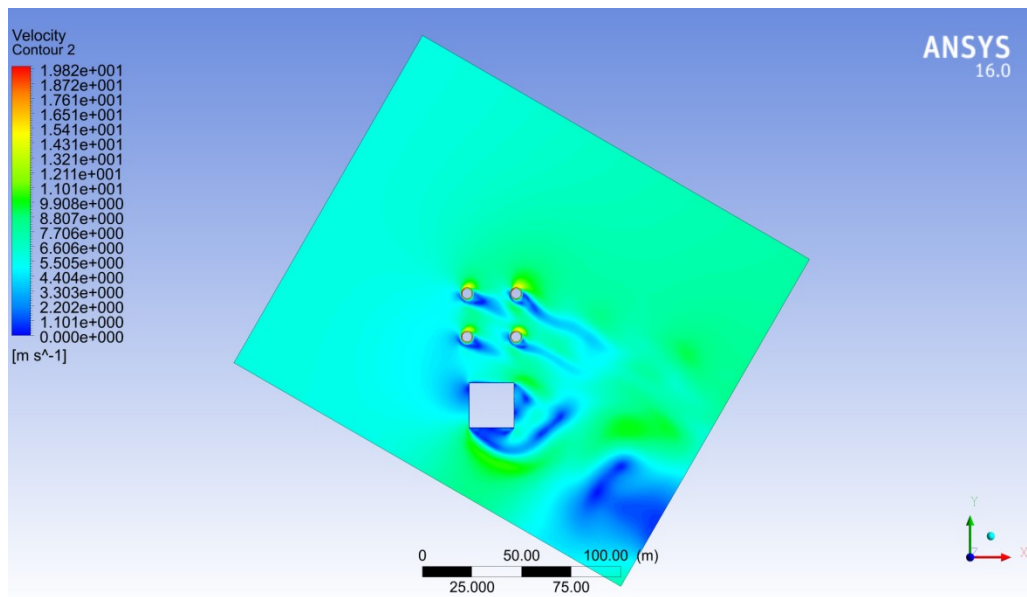


Gambar 0-24 Model D dengan Sudut 120⁰

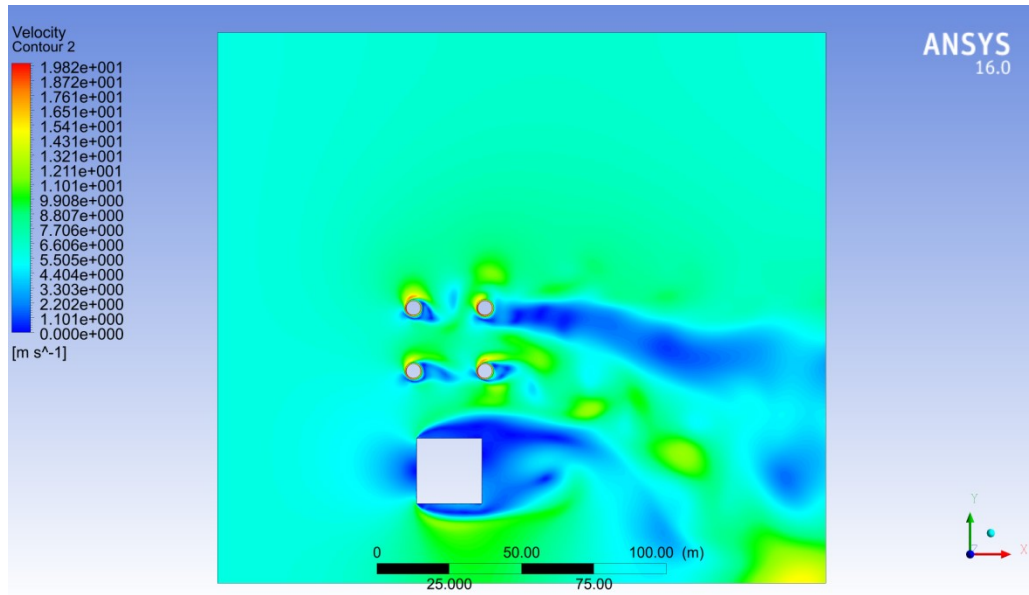
E. Model E



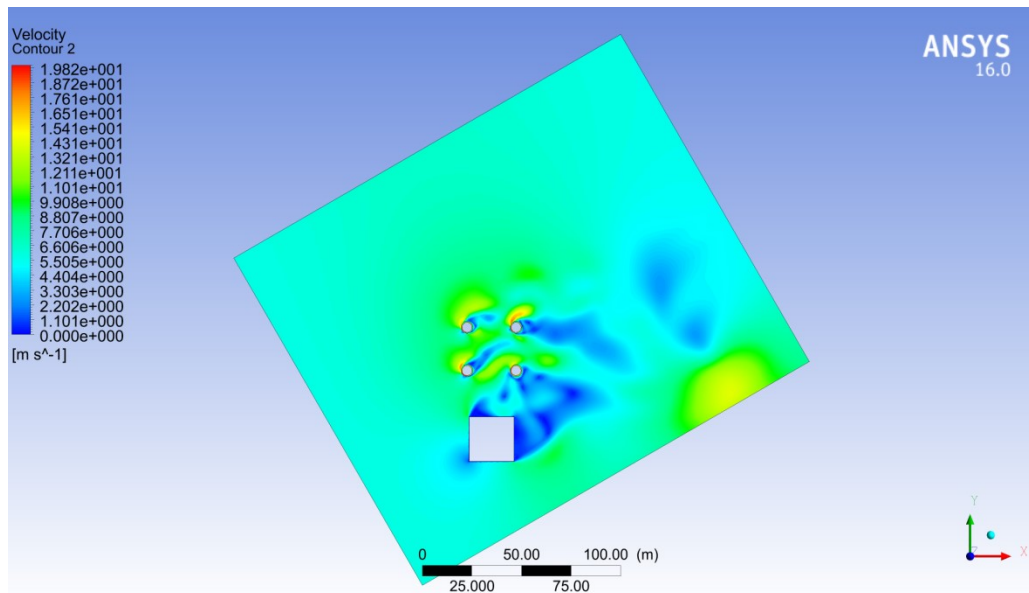
Gambar 0-25 Model E dengan Sudut 0⁰



Gambar 0-26 Model E dengan Sudut 60⁰

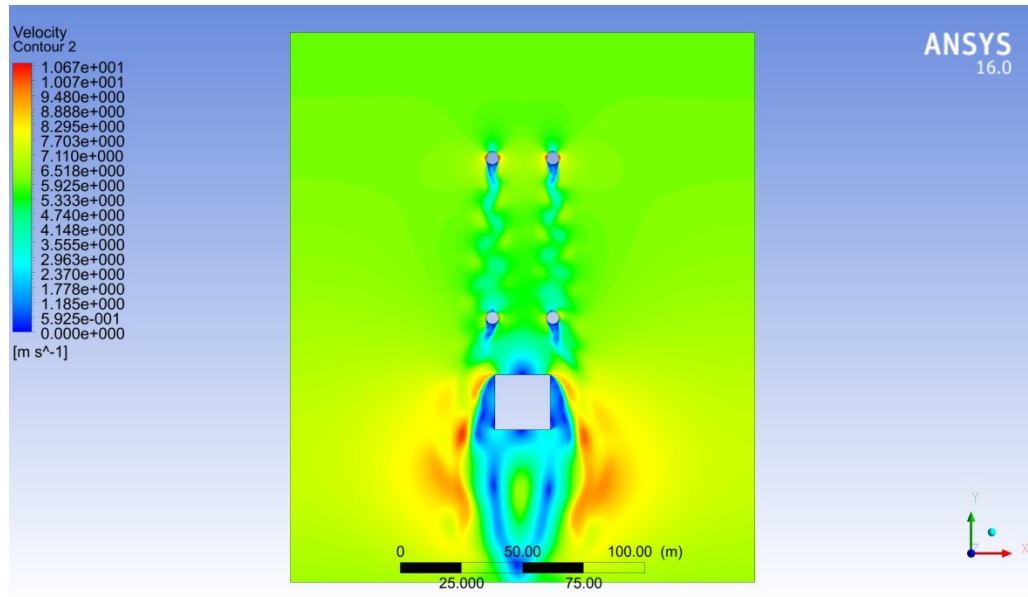


Gambar 0-27 Model E dengan Sudut 90⁰

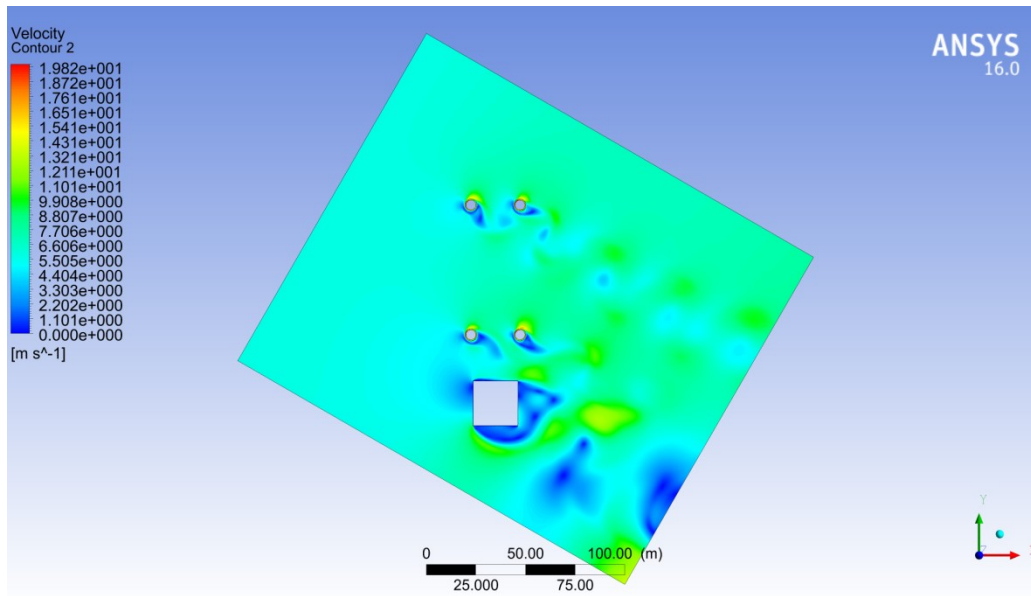


Gambar 0-28 Model E dengan Sudut 120⁰

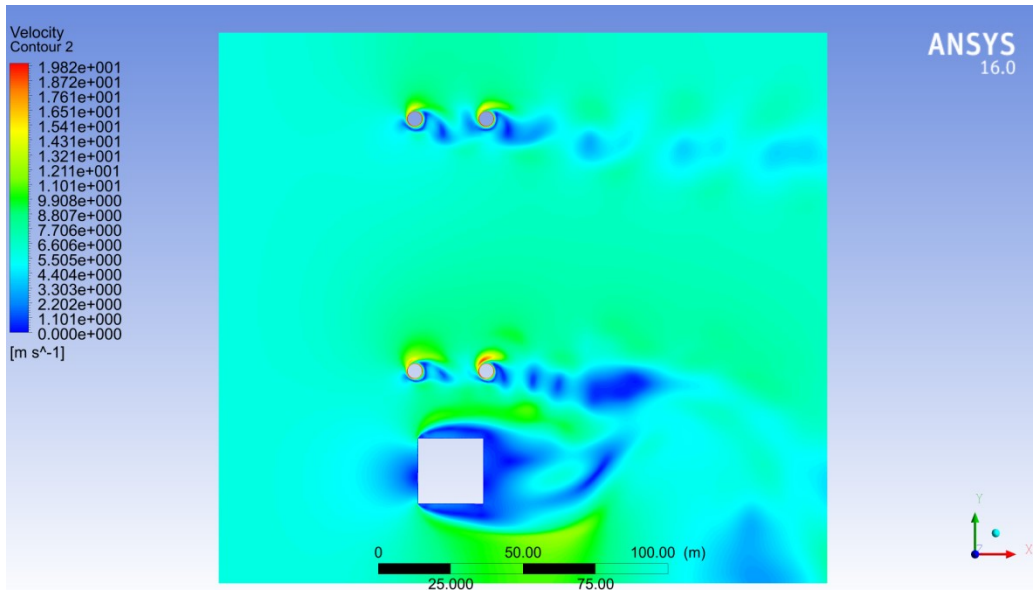
F. Model F



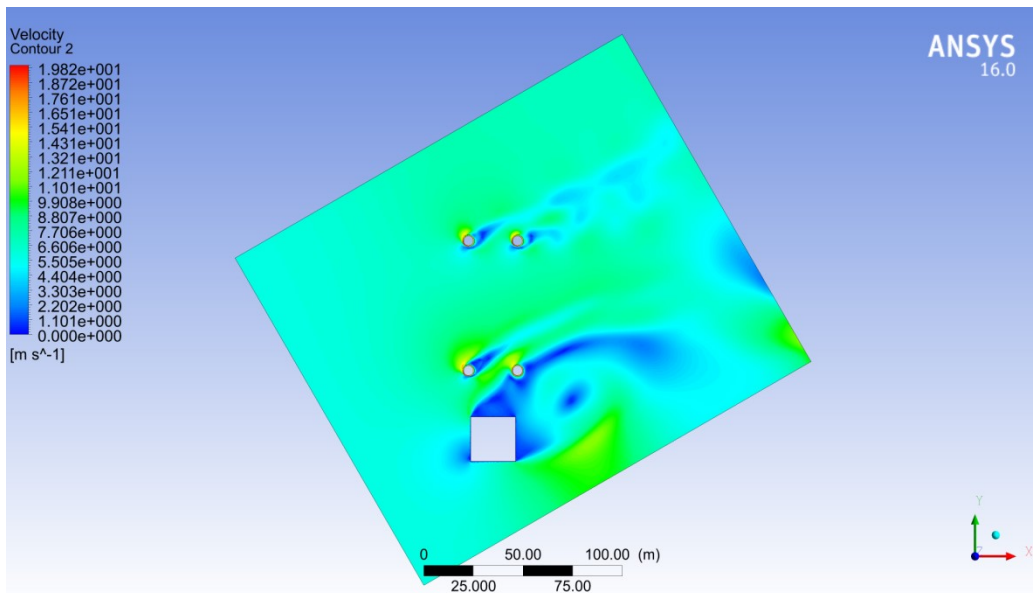
Gambar 0-29 Model F dengan Sudut 0⁰



Gambar 0-30 Model F dengan Sudut 60⁰

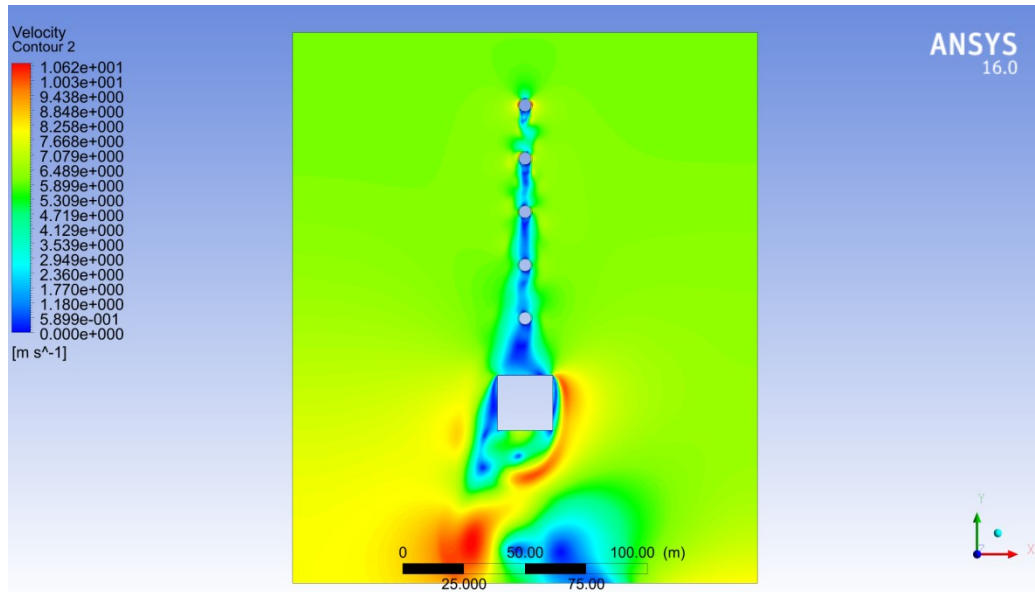


Gambar 0-31 Model F dengan Sudut 90⁰

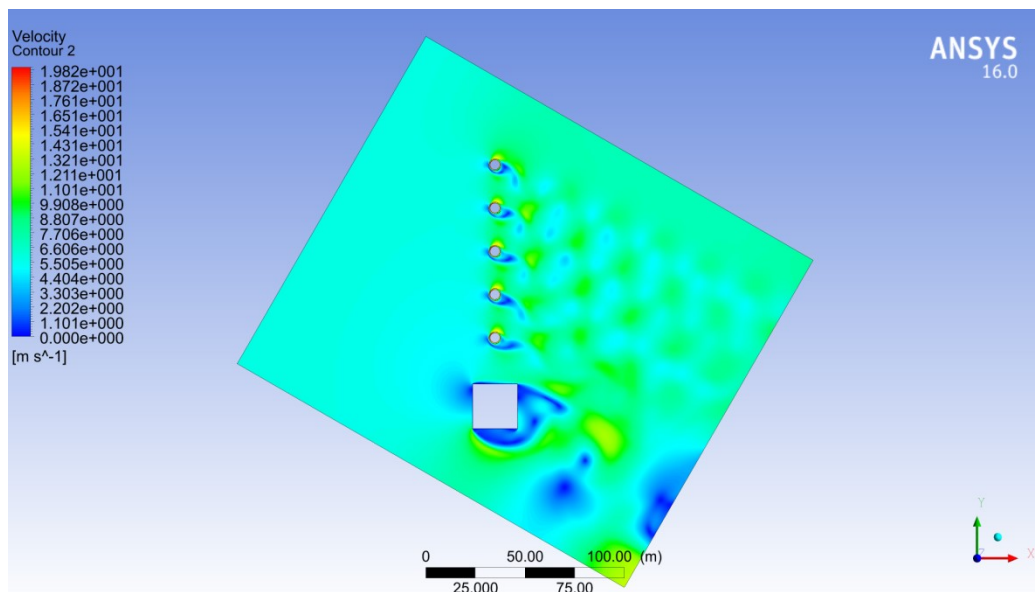


Gambar 0-32 Model F dengan Sudut 120⁰

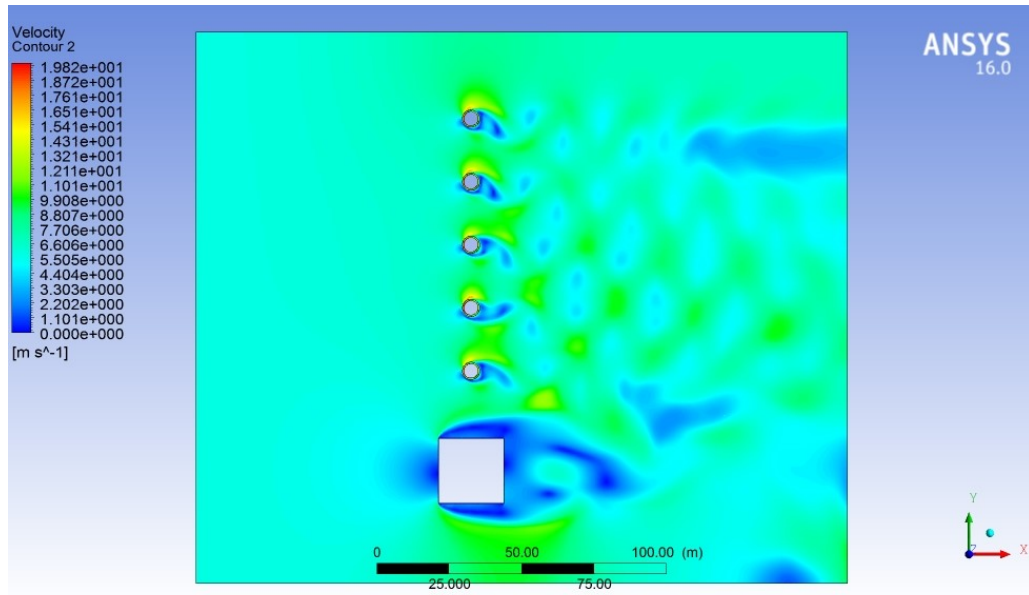
G. Model G



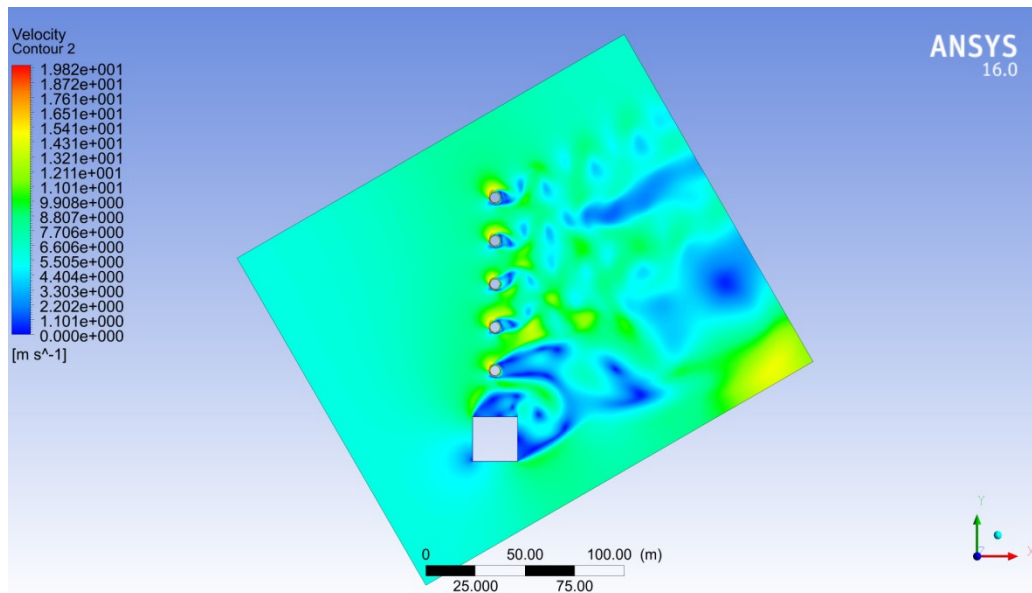
Gambar 0-33 Model G dengan Sudut 0⁰



Gambar 0-34 Model G dengan Sudut 60⁰



Gambar 0-35 Model G dengan Sudut 90⁰



Gambar 0-36 Model G dengan Sudut 120⁰

LAMPIRAN D

PERHITUNGAN KONSUMSI BAHAN BAKAR

Konfigurasi	A						
Sudut	0	derajat					
RT	=	383.002 KN	Thrust rotor	=	-241.783 N		
Vs	=	13 Knot	RT'	=	383243.963 N		
		6.688 M/s					
eHP	=	2561.433 Kw	eHP'	=	2563.050 Kw		
η BHP	=	0.624					
BHP	=	4103.403 Kw	BHP'	=	4105.994 Kw		
			Δ HP	=	-2.590 Kw		
					-0.1 %		
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		0 Units					
		0 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	0 Kw					

Power (Kw)

3330

3774

4440

SFOC (g/Kw/h)

184.62

184.15

187.25

SFC 185.683 g/Kw.h

SFC' 185.695 g/Kw.h

FC ME	=	761933.279 g/h	FC ME''	=	762463.782 g/h
		761.933 Kg/h			762.464 Kg/h
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw	$P_{Electrical}''$	=	597.980 Kw
SFC Genset	=	185 g/Kw.h			
FC Genset	=	110626.3 g/h	FC' Genset	=	110626.3 g/h
		110.6263 Kg/h			110.6263 Kg/h

Δ FC ME	=	-0.531 Kg/h	Δ FC Genset	=	0.000 Kg/h
		-0.1 %			0.0 %

Konfigurasi	A						
Sudut	60	derajat					
RT	=	383.002 KN	Thrust rotor	=	15972.780 N		
Vs	=	13 Knot	RT'	=	367029.400 N		
		6.688 M/s					
eHP	=	2561.433 Kw	eHP'	=	2454.611 Kw		
η BHP	=	0.624					
BHP	=	4103.403 Kw	BHP'	=	3932.274 Kw		
			Δ HP	=	171.129 Kw		
					4.2 %		
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		1 Units					
		70 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	78.4753363 Kw					
		Power (Kw)					
		3330	3774	4440			
		SFOC (g/Kw/h)					
		184.62	184.15	187.25			
		SFC	185.683 g/Kw.h				
		SFC'	184.887 g/Kw.h				
FC ME	=	761933.279 g/h	FC ME''	=	727025.262 g/h		
		761.933 Kg/h			727.025 Kg/h		
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw	$P_{Electrical}''$	=	676.455 Kw		
SFC Genset	=	185 g/Kw.h					
FC Genset	=	110626.3 g/h	FC' Genset	=	125144.2372 g/h		
		110.6263 Kg/h			125.1442372 Kg/h		
Δ FC ME	=	34.908 Kg/h	Δ FC Genset	=	14.518 Kg/h		
		4.6 %			13.1 %		

Konfigurasi	A						
Sudut	90	derajat					
RT	=	383.002 KN		Thrust rotor	=	16492.459 N	
Vs	=	13 Knot		RT'	=	366509.721 N	
		6.688 M/s					
eHP	=	2561.433 Kw		eHP'	=	2451.135 Kw	
η BHP	=	0.624					
BHP	=	4103.403 Kw		BHP'	=	3926.707 Kw	
				Δ HP	=	176.697 Kw	
						4.3 %	
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		1 Units					
		70 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	78.4753363 Kw					
		Power (Kw)					
		3330	3774	4440			
		SFOC (g/Kw/h)					
		184.62	184.15	187.25			
		SFC	185.683	g/Kw.h			
		SFC'	184.861	g/Kw.h			
FC ME	=	761933.279 g/h		FC ME''	=	725894.098 g/h	
		761.933 Kg/h				725.894 Kg/h	
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw		$P_{Electrical}''$	=	676.455 Kw	
SFC Genset	=	185 g/Kw.h					
FC Genset	=	110626.3 g/h		FC' Genset	=	125144.2372 g/h	
		110.6263 Kg/h				125.1442372 Kg/h	
Δ FC ME	=	36.039 Kg/h		Δ FC Genset	=	14.518 Kg/h	
		4.7 %				13.1 %	

Konfigurasi	A						
Sudut	120	derajat					
RT	=	383.002 KN	Thrust rotor	=	11980.791 N		
Vs	=	13 Knot	RT'	=	371021.389 N		
		6.688 M/s					
eHP	=	2561.433 Kw	eHP'	=	2481.308 Kw		
η BHP	=	0.624					
BHP	=	4103.403 Kw	BHP'	=	3975.044 Kw		
			Δ HP	=	128.360 Kw		
					3.1 %		
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		1 Units					
		70 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	78.4753363 Kw					
		Power (Kw)					
		3330	3774	4440			
		SFOC (g/Kw/h)					
		184.62	184.15	187.25			
		SFC	185.683 g/Kw.h				
		SFC'	185.086 g/Kw.h				
FC ME	=	761933.279 g/h	FC ME''	=	735724.077 g/h		
		761.933 Kg/h			735.724 Kg/h		
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw	$P_{Electrical}''$	=	676.455 Kw		
SFC Genset	=	185 g/Kw.h					
FC Genset	=	110626.3 g/h	FC' Genset	=	125144.2372 g/h		
		110.6263 Kg/h			125.1442372 Kg/h		
Δ FC ME	=	26.209 Kg/h	Δ FC Genset	=	14.518 Kg/h		
		3.4 %			13.1 %		

Konfigurasi	B						
Sudut	0	derajat					
RT	=	383.002 KN	Thrust rotor	=	-925.879 N		
Vs	=	13 Knot	RT'	=	383928.059 N		
		6.688 M/s					
eHP	=	2561.433 Kw	eHP'	=	2567.625 Kw		
η BHP	=	0.624					
BHP	=	4103.403 Kw	BHP'	=	4113.323 Kw		
			Δ HP	=	-9.920 Kw		
					-0.2 %		
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		0 Units					
		0 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	0 Kw					
		Power (Kw)					
		3330	3774	4440			
		SFOC (g/Kw/h)					
		184.62	184.15	187.25			
		SFC	185.683 g/Kw.h				
		SFC'	185.729 g/Kw.h				
FC ME	=	761933.279 g/h	FC ME''	=	763965.118 g/h		
		761.933 Kg/h			763.965 Kg/h		
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw	$P_{Electrical}''$	=	597.980 Kw		
SFC Genset	=	185 g/Kw.h					
FC Genset	=	110626.3 g/h	FC' Genset	=	110626.3 g/h		
		110.6263 Kg/h			110.6263 Kg/h		
Δ FC ME	=	-2.032 Kg/h	Δ FC Genset	=	0.000 Kg/h		
		-0.3 %			0.0 %		

Konfigurasi	B						
Sudut	60	derajat					
RT	=	383.002 KN		Thrust rotor	=	16321.077 N	
Vs	=	13 Knot		RT'	=	366681.103 N	
		6.688 M/s					
eHP	=	2561.433 Kw		eHP'	=	2452.282 Kw	
η BHP	=	0.624					
BHP	=	4103.403 Kw		BHP'	=	3928.543 Kw	
				Δ HP	=	174.861 Kw	
						4.3 %	
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		1 Units					
		70 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	78.4753363 Kw					
		Power (Kw)					
		3330	3774	4440			
		SFOC (g/Kw/h)					
		184.62	184.15	187.25			
		SFC	185.683	g/Kw.h			
		SFC'	184.869	g/Kw.h			
FC ME	=	761933.279 g/h		FC ME''	=	726267.106 g/h	
		761.933 Kg/h				726.267 Kg/h	
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw		$P_{Electrical}''$	=	676.455 Kw	
SFC Genset	=	185 g/Kw.h					
FC Genset	=	110626.3 g/h		FC' Genset	=	125144.2372 g/h	
		110.6263 Kg/h				125.1442372 Kg/h	
Δ FC ME	=	35.666 Kg/h		Δ FC Genset	=	14.518 Kg/h	
		4.7 %				13.1 %	

Konfigurasi	B						
Sudut	90	derajat					
RT	=	383.002 KN	Thrust rotor	=	15673.725 N		
Vs	=	13 Knot	RT'	=	367328.455 N		
		6.688 M/s					
eHP	=	2561.433 Kw	eHP'	=	2456.611 Kw		
η BHP	=	0.624					
BHP	=	4103.403 Kw	BHP'	=	3935.478 Kw		
			Δ HP	=	167.925 Kw		
					4.1 %		
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		1 Units					
		70 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	78.4753363 Kw					
		Power (Kw)					
		3330	3774	4440			
		SFOC (g/Kw/h)					
		184.62	184.15	187.25			
		SFC	185.683 g/Kw.h				
		SFC'	184.902 g/Kw.h				
FC ME	=	761933.279 g/h	FC ME''	=	727676.333 g/h		
		761.933 Kg/h			727.676 Kg/h		
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw	$P_{Electrical}''$	=	676.455 Kw		
SFC Genset	=	185 g/Kw.h					
FC Genset	=	110626.3 g/h	FC' Genset	=	125144.2372 g/h		
		110.6263 Kg/h			125.1442372 Kg/h		
Δ FC ME	=	34.257 Kg/h	Δ FC Genset	=	14.518 Kg/h		
		4.5 %			13.1 %		

Konfigurasi	B						
Sudut	120	derajat					
RT	=	383.002 KN	Thrust rotor	=	11443.734 N		
Vs	=	13 Knot	RT'	=	371558.446 N		
		6.688 M/s					
eHP	=	2561.433 Kw	eHP'	=	2484.900 Kw		
η BHP	=	0.624					
BHP	=	4103.403 Kw	BHP'	=	3980.798 Kw		
			Δ HP	=	122.606 Kw		
					3.0 %		
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		1 Units					
		70 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	78.4753363 Kw					
		Power (Kw)					
		3330	3774	4440			
		SFOC (g/Kw/h)					
		184.62	184.15	187.25			
		SFC	185.683 g/Kw.h				
		SFC'	185.113 g/Kw.h				
FC ME	=	761933.279 g/h	FC ME''	=	736895.661 g/h		
		761.933 Kg/h			736.896 Kg/h		
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw	$P_{Electrical}''$	=	676.455 Kw		
SFC Genset	=	185 g/Kw.h					
FC Genset	=	110626.3 g/h	FC' Genset	=	125144.2372 g/h		
		110.6263 Kg/h			125.1442372 Kg/h		
Δ FC ME	=	25.038 Kg/h	Δ FC Genset	=	14.518 Kg/h		
		3.3 %			13.1 %		

Konfigurasi	C						
Sudut	0	derajat					
RT	=	383.002 KN		Thrust rotor	=	-1117.993 N	
Vs	=	13 Knot		RT'	=	384120.173 N	
		6.688 M/s					
eHP	=	2561.433 Kw		eHP'	=	2568.910 Kw	
η BHP	=	0.624					
BHP	=	4103.403 Kw		BHP'	=	4115.381 Kw	
				Δ HP	=	-11.978 Kw	
						-0.3 %	
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		0 Units					
		0 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	0 Kw					
		Power (Kw)					
		3330	3774	4440			
		SFOC (g/Kw/h)					
		184.62	184.15	187.25			
		SFC	185.683	g/Kw.h			
		SFC'	185.739	g/Kw.h			
FC ME	=	761933.279 g/h		FC ME''	=	764386.826 g/h	
		761.933 Kg/h				764.387 Kg/h	
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw		$P_{Electrical}''$	=	597.980 Kw	
SFC Genset	=	185 g/Kw.h					
FC Genset	=	110626.3 g/h		FC' Genset	=	110626.3 g/h	
		110.6263 Kg/h				110.6263 Kg/h	
Δ FC ME	=	-2.454 Kg/h		Δ FC Genset	=	0.000 Kg/h	
		-0.3 %				0.0 %	

Konfigurasi	C						
Sudut	60	derajat					
RT	=	383.002 KN	Thrust rotor	=	34001.282 N		
Vs	=	13 Knot	RT'	=	349000.898 N		
		6.688 M/s					
eHP	=	2561.433 Kw	eHP'	=	2334.040 Kw		
η BHP	=	0.624					
BHP	=	4103.403 Kw	BHP'	=	3739.121 Kw		
			Δ HP	=	364.282 Kw		
					8.9 %		
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		2 Units					
		140 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	156.950673 Kw					
		Power (Kw)					
		3330	3774	4440			
		SFOC (g/Kw/h)					
		184.62	184.15	187.25			
		SFC	185.683 g/Kw.h				
		SFC'	184.187 g/Kw.h				
FC ME	=	761933.279 g/h	FC ME''	=	688697.146 g/h		
		761.933 Kg/h			688.697 Kg/h		
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw	$P_{Electrical}''$	=	754.931 Kw		
SFC Genset	=	185 g/Kw.h					
FC Genset	=	110626.3 g/h	FC' Genset	=	139662.1744 g/h		
		110.6263 Kg/h			139.6621744 Kg/h		
Δ FC ME	=	73.236 Kg/h	Δ FC Genset	=	29.036 Kg/h		
		9.6 %			26.2 %		

Konfigurasi	C						
Sudut	90	derajat					
RT	=	383.002 KN	Thrust rotor	=	33672.744 N		
Vs	=	13 Knot	RT'	=	349329.436 N		
		6.688 M/s					
eHP	=	2561.433 Kw	eHP'	=	2336.237 Kw		
η BHP	=	0.624					
BHP	=	4103.403 Kw	BHP'	=	3742.641 Kw		
			Δ HP	=	360.763 Kw		
					8.8 %		
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		2 Units					
		140 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	156.950673 Kw					
		Power (Kw)					
		3330	3774	4440			
		SFOC (g/Kw/h)					
		184.62	184.15	187.25			
		SFC	185.683 g/Kw.h				
		SFC'	184.183 g/Kw.h				
FC ME	=	761933.279 g/h	FC ME''	=	689331.517 g/h		
		761.933 Kg/h			689.332 Kg/h		
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw	$P_{Electrical}''$	=	754.931 Kw		
SFC Genset	=	185 g/Kw.h					
FC Genset	=	110626.3 g/h	FC' Genset	=	139662.1744 g/h		
		110.6263 Kg/h			139.6621744 Kg/h		
Δ FC ME	=	72.602 Kg/h	Δ FC Genset	=	29.036 Kg/h		
		9.5 %			26.2 %		

Konfigurasi	C						
Sudut	120	derajat					
RT	=	383.002 KN	Thrust rotor	=	24261.421 N		
Vs	=	13 Knot	RT'	=	358740.759 N		
		6.688 M/s					
eHP	=	2561.433 Kw	eHP'	=	2399.178 Kw		
η BHP	=	0.624					
BHP	=	4103.403 Kw	BHP'	=	3843.472 Kw		
			Δ HP	=	259.932 Kw		
					6.3 %		
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		2 Units					
		140 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	156.950673 Kw					
		Power (Kw)					
		3330	3774	4440			
		SFOC (g/Kw/h)					
		184.62	184.15	187.25			
		SFC	185.683 g/Kw.h				
		SFC'	184.473 g/Kw.h				
FC ME	=	761933.279 g/h	FC ME''	=	709018.136 g/h		
		761.933 Kg/h			709.018 Kg/h		
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw	$P_{Electrical}''$	=	754.931 Kw		
SFC Genset	=	185 g/Kw.h					
FC Genset	=	110626.3 g/h	FC' Genset	=	139662.1744 g/h		
		110.6263 Kg/h			139.6621744 Kg/h		
Δ FC ME	=	52.915 Kg/h	Δ FC Genset	=	29.036 Kg/h		
		6.9 %			26.2 %		

Konfigurasi	D						
Sudut	0	derajat					
RT	=	383.002 KN	Thrust rotor	=	-1710.906	N	
Vs	=	13 Knot	RT'	=	384713.086	N	
		6.688 M/s					
eHP	=	2561.433 Kw	eHP'	=	2572.875	Kw	
η BHP	=	0.624					
BHP	=	4103.403 Kw	BHP'	=	4121.733	Kw	
			Δ HP	=	-18.330	Kw	
					-0.4 %		
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		0 Units					
		0 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	0 Kw					
		Power (Kw)					
		3330	3774	4440			
		SFOC (g/Kw/h)					
		184.62	184.15	187.25			
		SFC	185.683	g/Kw.h			
		SFC'	185.769	g/Kw.h			
FC ME	=	761933.279 g/h	FC ME''	=	765688.575 g/h		
		761.933 Kg/h			765.689 Kg/h		
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw	$P_{Electrical}''$	=	597.980 Kw		
SFC Genset	=	185 g/Kw.h					
FC Genset	=	110626.3 g/h	FC' Genset	=	110626.3 g/h		
		110.6263 Kg/h			110.6263 Kg/h		
Δ FC ME	=	-3.755 Kg/h	Δ FC Genset	=	0.000 Kg/h		
		-0.5 %			0.0 %		

Konfigurasi	D						
Sudut	60	derajat					
RT	=	383.002 KN	Thrust rotor	=	30377.587 N		
Vs	=	13 Knot	RT'	=	352624.593 N		
		6.688 M/s					
eHP	=	2561.433 Kw	eHP'	=	2358.275 Kw		
η BHP	=	0.624					
BHP	=	4103.403 Kw	BHP'	=	3777.944 Kw		
			Δ HP	=	325.459 Kw		
					7.9 %		
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		2 Units					
		140 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	156.950673 Kw					
		Power (Kw)					
		3330	3774	4440			
		SFOC (g/Kw/h)					
		184.62	184.15	187.25			
		SFC	185.683 g/Kw.h				
		SFC'	184.168 g/Kw.h				
FC ME	=	761933.279 g/h	FC ME''	=	695777.797 g/h		
		761.933 Kg/h			695.778 Kg/h		
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw	$P_{Electrical}''$	=	754.931 Kw		
SFC Genset	=	185 g/Kw.h					
FC Genset	=	110626.3 g/h	FC' Genset	=	139662.1744 g/h		
		110.6263 Kg/h			139.6621744 Kg/h		
Δ FC ME	=	66.155 Kg/h	Δ FC Genset	=	29.036 Kg/h		
		8.7 %			26.2 %		

Konfigurasi	D						
Sudut	90	derajat					
RT	=	383.002 KN	Thrust rotor	=	30722.446 N		
Vs	=	13 Knot	RT'	=	352279.734 N		
		6.688 M/s					
eHP	=	2561.433 Kw	eHP'	=	2355.968 Kw		
η BHP	=	0.624					
BHP	=	4103.403 Kw	BHP'	=	3774.250 Kw		
			Δ HP	=	329.154 Kw		
					8.0 %		
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		2 Units					
		140 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	156.950673 Kw					
		Power (Kw)					
		3330	3774	4440			
		SFOC (g/Kw/h)					
		184.62	184.15	187.25			
		SFC	185.683 g/Kw.h				
		SFC'	184.151 g/Kw.h				
FC ME	=	761933.279 g/h	FC ME''	=	695032.432 g/h		
		761.933 Kg/h			695.032 Kg/h		
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw	$P_{Electrical}''$	=	754.931 Kw		
SFC Genset	=	185 g/Kw.h					
FC Genset	=	110626.3 g/h	FC' Genset	=	139662.1744 g/h		
		110.6263 Kg/h			139.6621744 Kg/h		
Δ FC ME	=	66.901 Kg/h	Δ FC Genset	=	29.036 Kg/h		
		8.8 %			26.2 %		

Konfigurasi	D						
Sudut	120	derajat					
RT	=	383.002 KN	Thrust rotor	=	0.000 N		
Vs	=	13 Knot	RT'	=	383002.180 N		
		6.688 M/s					
eHP	=	2561.433 Kw	eHP'	=	2561.433 Kw		
η BHP	=	0.624					
BHP	=	4103.403 Kw	BHP'	=	4103.403 Kw		
			Δ HP	=	0.000 Kw		
					0.0 %		
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		0 Units					
		0 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	0 Kw					
		Power (Kw)					
		3330	3774	4440			
		SFOC (g/Kw/h)					
		184.62	184.15	187.25			
		SFC	185.683 g/Kw.h				
		SFC'	185.683 g/Kw.h				
FC ME	=	761933.279 g/h	FC ME''	=	761933.279 g/h		
		761.933 Kg/h			761.933 Kg/h		
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw	$P_{Electrical}''$	=	597.980 Kw		
SFC Genset	=	185 g/Kw.h					
FC Genset	=	110626.3 g/h	FC' Genset	=	110626.3 g/h		
		110.6263 Kg/h			110.6263 Kg/h		
Δ FC ME	=	0.000 Kg/h	Δ FC Genset	=	0.000 Kg/h		
		0.0 %			0.0 %		

Konfigurasi	E						
Sudut	0	derajat					
RT	=	383.002 KN	Thrust rotor	=	-3249.391 N		
Vs	=	13 Knot	RT'	=	386251.571 N		
		6.688 M/s					
eHP	=	2561.433 Kw	eHP'	=	2583.164 Kw		
η BHP	=	0.624					
BHP	=	4103.403 Kw	BHP'	=	4138.216 Kw		
			Δ HP	=	-34.813 Kw		
					-0.8 %		
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		0 Units					
		0 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	0 Kw					
		Power (Kw)					
		3330	3774	4440			
		SFOC (g/Kw/h)					
		184.62	184.15	187.25			
		SFC	185.683 g/Kw.h				
		SFC'	185.845 g/Kw.h				
FC ME	=	761933.279 g/h	FC ME''	=	769068.095 g/h		
		761.933 Kg/h			769.068 Kg/h		
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw	$P_{Electrical}''$	=	597.980 Kw		
SFC Genset	=	185 g/Kw.h					
FC Genset	=	110626.3 g/h	FC' Genset	=	110626.3 g/h		
		110.6263 Kg/h			110.6263 Kg/h		
Δ FC ME	=	-7.135 Kg/h	Δ FC Genset	=	0.000 Kg/h		
		-0.9 %			0.0 %		

Konfigurasi	E						
Sudut	60	derajat					
RT	=	383.002 KN	Thrust rotor	=	64156.254 N		
Vs	=	13 Knot	RT'	=	318845.926 N		
		6.688 M/s					
eHP	=	2561.433 Kw	eHP'	=	2132.371 Kw		
η BHP	=	0.624					
BHP	=	4103.403 Kw	BHP'	=	3416.047 Kw		
			Δ HP	=	687.356 Kw		
					16.8 %		
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		4 Units					
		280 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	313.901345 Kw					
		Power (Kw)					
		3330	3774	4440			
		SFOC (g/Kw/h)					
		184.62	184.15	187.25			
		SFC	185.683 g/Kw.h				
		SFC'	184.529 g/Kw.h				
FC ME	=	761933.279 g/h	FC ME''	=	630359.419 g/h		
		761.933 Kg/h			630.359 Kg/h		
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw	$P_{Electrical}''$	=	911.881 Kw		
SFC Genset	=	185 g/Kw.h					
FC Genset	=	110626.3 g/h	FC' Genset	=	168698.0489 g/h		
		110.6263 Kg/h			168.6980489 Kg/h		
Δ FC ME	=	131.574 Kg/h	Δ FC Genset	=	58.072 Kg/h		
		17.3 %			52.5 %		

Konfigurasi	E						
Sudut	90	derajat					
RT	=	383.002 KN	Thrust rotor	=	60159.626 N		
Vs	=	13 Knot	RT'	=	322842.554 N		
		6.688 M/s					
eHP	=	2561.433 Kw	eHP'	=	2159.099 Kw		
η BHP	=	0.624					
BHP	=	4103.403 Kw	BHP'	=	3458.866 Kw		
			Δ HP	=	644.537 Kw		
					15.7 %		
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		4 Units					
		280 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	313.901345 Kw					
		Power (Kw)					
		3330	3774	4440			
		SFOC (g/Kw/h)					
		184.62	184.15	187.25			
		SFC	185.683 g/Kw.h				
		SFC'	184.484 g/Kw.h				
FC ME	=	761933.279 g/h	FC ME''	=	638103.989 g/h		
		761.933 Kg/h			638.104 Kg/h		
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw	$P_{Electrical}''$	=	911.881 Kw		
SFC Genset	=	185 g/Kw.h					
FC Genset	=	110626.3 g/h	FC' Genset	=	168698.0489 g/h		
		110.6263 Kg/h			168.6980489 Kg/h		
Δ FC ME	=	123.829 Kg/h	Δ FC Genset	=	58.072 Kg/h		
		16.3 %			52.5 %		

Konfigurasi	E						
Sudut	120	derajat					
RT	=	383.002 KN	Thrust rotor	=	11888.618 N		
Vs	=	13 Knot	RT'	=	371113.562 N		
		6.688 M/s					
eHP	=	2561.433 Kw	eHP'	=	2481.925 Kw		
η BHP	=	0.624					
BHP	=	4103.403 Kw	BHP'	=	3976.031 Kw		
			Δ HP	=	127.372 Kw		
					3.1 %		
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		1 Units					
		70 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	78.4753363 Kw					
		Power (Kw)					
		3330	3774	4440			
		SFOC (g/Kw/h)					
		184.62	184.15	187.25			
		SFC	185.683 g/Kw.h				
		SFC'	185.090 g/Kw.h				
FC ME	=	761933.279 g/h	FC ME''	=	735925.130 g/h		
		761.933 Kg/h			735.925 Kg/h		
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw	$P_{Electrical}''$	=	676.455 Kw		
SFC Genset	=	185 g/Kw.h					
FC Genset	=	110626.3 g/h	FC' Genset	=	125144.2372 g/h		
		110.6263 Kg/h			125.1442372 Kg/h		
Δ FC ME	=	26.008 Kg/h	Δ FC Genset	=	14.518 Kg/h		
		3.4 %			13.1 %		

Konfigurasi	F						
Sudut	0	derajat					
RT	=	383.002 KN	Thrust rotor	=	-3950.130 N		
Vs	=	13 Knot	RT'	=	386952.310 N		
		6.688 M/s					
eHP	=	2561.433 Kw	eHP'	=	2587.851 Kw		
η BHP	=	0.624					
BHP	=	4103.403 Kw	BHP'	=	4145.724 Kw		
			Δ HP	=	-42.321 Kw		
					-1.0 %		
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		0 Units					
		0 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	0 Kw					
		Power (Kw)					
		3330	3774	4440			
		SFOC (g/Kw/h)					
		184.62	184.15	187.25			
		SFC	185.683 g/Kw.h				
		SFC'	185.880 g/Kw.h				
FC ME	=	761933.279 g/h	FC ME''	=	770608.212 g/h		
		761.933 Kg/h			770.608 Kg/h		
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw	$P_{Electrical}''$	=	597.980 Kw		
SFC Genset	=	185 g/Kw.h					
FC Genset	=	110626.3 g/h	FC' Genset	=	110626.3 g/h		
		110.6263 Kg/h			110.6263 Kg/h		
Δ FC ME	=	-8.675 Kg/h	Δ FC Genset	=	0.000 Kg/h		
		-1.1 %			0.0 %		

Konfigurasi	F						
Sudut	60	derajat					
RT	=	383.002 KN	Thrust rotor	=	62145.726 N		
Vs	=	13 Knot	RT'	=	320856.454 N		
		6.688 M/s					
eHP	=	2561.433 Kw	eHP'	=	2145.816 Kw		
η BHP	=	0.624					
BHP	=	4103.403 Kw	BHP'	=	3437.587 Kw		
			Δ HP	=	665.816 Kw		
					16.2 %		
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		4 Units					
		280 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	313.901345 Kw					
		Power (Kw)					
		3330	3774	4440			
		SFOC (g/Kw/h)					
		184.62	184.15	187.25			
		SFC	185.683 g/Kw.h				
		SFC'	184.506 g/Kw.h				
FC ME	=	761933.279 g/h	FC ME''	=	634255.858 g/h		
		761.933 Kg/h			634.256 Kg/h		
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw	$P_{Electrical}''$	=	911.881 Kw		
SFC Genset	=	185 g/Kw.h					
FC Genset	=	110626.3 g/h	FC' Genset	=	168698.0489 g/h		
		110.6263 Kg/h			168.6980489 Kg/h		
Δ FC ME	=	127.677 Kg/h	Δ FC Genset	=	58.072 Kg/h		
		16.8 %			52.5 %		

Konfigurasi	F						
Sudut	90	derajat					
RT	=	383.002 KN	Thrust rotor	=	62476.536	N	
Vs	=	13 Knot	RT'	=	320525.644	N	
		6.688 M/s					
eHP	=	2561.433 Kw	eHP'	=	2143.604	Kw	
η BHP	=	0.624					
BHP	=	4103.403 Kw	BHP'	=	3434.043	Kw	
			Δ HP	=	669.360	Kw	
					16.3	%	
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		4 Units					
		280 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	313.901345 Kw					
		Power (Kw)					
		3330	3774	4440			
		SFOC (g/Kw/h)					
		184.62	184.15	187.25			
		SFC	185.683	g/Kw.h			
		SFC'	184.510	g/Kw.h			
FC ME	=	761933.279 g/h	FC ME''	=	633614.809 g/h		
		761.933 Kg/h			633.615 Kg/h		
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw	$P_{Electrical}''$	=	911.881 Kw		
SFC Genset	=	185 g/Kw.h					
FC Genset	=	110626.3 g/h	FC' Genset	=	168698.0489 g/h		
		110.6263 Kg/h			168.6980489 Kg/h		
Δ FC ME	=	128.318 Kg/h	Δ FC Genset	=	58.072 Kg/h		
		16.8 %			52.5 %		

Konfigurasi	F						
Sudut	120	derajat					
RT	=	383.002 KN	Thrust rotor	=	33039.066 N		
Vs	=	13 Knot	RT'	=	349963.114 N		
		6.688 M/s					
eHP	=	2561.433 Kw	eHP'	=	2340.475 Kw		
η BHP	=	0.624					
BHP	=	4103.403 Kw	BHP'	=	3749.430 Kw		
			Δ HP	=	353.973 Kw		
					8.6 %		
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		3 Units					
		210 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	235.426009 Kw					
		Power (Kw)					
		3330	3774	4440			
		SFOC (g/Kw/h)					
		184.62	184.15	187.25			
		SFC	185.683 g/Kw.h				
		SFC'	184.176 g/Kw.h				
FC ME	=	761933.279 g/h	FC ME''	=	690555.008 g/h		
		761.933 Kg/h			690.555 Kg/h		
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw	$P_{Electrical}''$	=	833.406 Kw		
SFC Genset	=	185 g/Kw.h					
FC Genset	=	110626.3 g/h	FC' Genset	=	154180.1117 g/h		
		110.6263 Kg/h			154.1801117 Kg/h		
Δ FC ME	=	71.378 Kg/h	Δ FC Genset	=	43.554 Kg/h		
		9.4 %			39.4 %		

Konfigurasi	G						
Sudut	0	derajat					
RT	=	383.002 KN	Thrust rotor	=	-3822.264 N		
Vs	=	13 Knot	RT'	=	386824.444 N		
		6.688 M/s					
eHP	=	2561.433 Kw	eHP'	=	2586.996 Kw		
η BHP	=	0.624					
BHP	=	4103.403 Kw	BHP'	=	4144.354 Kw		
			Δ HP	=	-40.951 Kw		
					-1.0 %		
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		0 Units					
		0 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	0 Kw					
		Power (Kw)					
		3330	3774	4440			
		SFOC (g/Kw/h)					
		184.62	184.15	187.25			
		SFC	185.683 g/Kw.h				
		SFC'	185.874 g/Kw.h				
FC ME	=	761933.279 g/h	FC ME''	=	770327.143 g/h		
		761.933 Kg/h			770.327 Kg/h		
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw	$P_{Electrical}''$	=	597.980 Kw		
SFC Genset	=	185 g/Kw.h					
FC Genset	=	110626.3 g/h	FC' Genset	=	110626.3 g/h		
		110.6263 Kg/h			110.6263 Kg/h		
Δ FC ME	=	-8.394 Kg/h	Δ FC Genset	=	0.000 Kg/h		
		-1.1 %			0.0 %		

Konfigurasi	G						
Sudut	60	derajat					
RT	=	383.002 KN	Thrust rotor	=	83116.281 N		
Vs	=	13 Knot	RT'	=	299885.899 N		
		6.688 M/s					
eHP	=	2561.433 Kw	eHP'	=	2005.570 Kw		
η BHP	=	0.624					
BHP	=	4103.403 Kw	BHP'	=	3212.913 Kw		
			Δ HP	=	890.490 Kw		
					21.7 %		
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		5 Units					
		350 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	392.376682 Kw					
		Power (Kw)					
		3330	3774	4440			
		SFOC (g/Kw/h)					
		184.62	184.15	187.25			
		SFC	185.683 g/Kw.h				
		SFC'	184.744 g/Kw.h				
FC ME	=	761933.279 g/h	FC ME''	=	593566.255 g/h		
		761.933 Kg/h			593.566 Kg/h		
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw	$P_{Electrical}''$	=	990.357 Kw		
SFC Genset	=	185 g/Kw.h					
FC Genset	=	110626.3 g/h	FC' Genset	=	183215.9861 g/h		
		110.6263 Kg/h			183.2159861 Kg/h		
Δ FC ME	=	168.367 Kg/h	Δ FC Genset	=	72.590 Kg/h		
		22.1 %			65.6 %		

Konfigurasi	G						
Sudut	90	derajat					
RT	=	383.002 KN		Thrust rotor	=	83821.009 N	
Vs	=	13 Knot		RT'	=	299181.171 N	
		6.688 M/s					
eHP	=	2561.433 Kw		eHP'	=	2000.857 Kw	
η BHP	=	0.624					
BHP	=	4103.403 Kw		BHP'	=	3205.363 Kw	
				Δ HP	=	898.040 Kw	
						21.9 %	
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		5 Units					
		350 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	392.376682 Kw					
		Power (Kw)					
		3330	3774	4440			
		SFOC (g/Kw/h)					
		184.62	184.15	187.25			
		SFC	185.683	g/Kw.h			
		SFC'	184.752	g/Kw.h			
FC ME	=	761933.279 g/h		FC ME''	=	592197.000 g/h	
		761.933 Kg/h				592.197 Kg/h	
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw		$P_{Electrical}''$	=	990.357 Kw	
SFC Genset	=	185 g/Kw.h					
FC Genset	=	110626.3 g/h		FC' Genset	=	183215.9861 g/h	
		110.6263 Kg/h				183.2159861 Kg/h	
Δ FC ME	=	169.736 Kg/h		Δ FC Genset	=	72.590 Kg/h	
		22.3 %				65.6 %	

Konfigurasi	G						
Sudut	120	derajat					
RT	=	383.002 KN	Thrust rotor	=	54752.952 N		
Vs	=	13 Knot	RT'	=	328249.228 N		
		6.688 M/s					
eHP	=	2561.433 Kw	eHP'	=	2195.258 Kw		
η BHP	=	0.624					
BHP	=	4103.403 Kw	BHP'	=	3516.792 Kw		
			Δ HP	=	586.611 Kw		
					14.3 %		
P_{Rot}	=	70 Kw					
Rotor Aktif		4 Units					
		280 Kw					
η Genset	=	89.2 %					
Δ HP Genset	=	313.901345 Kw					
		Power (Kw)					
		3330	3774	4440			
		SFOC (g/Kw/h)					
		184.62	184.15	187.25			
		SFC	185.683 g/Kw.h				
		SFC'	184.422 g/Kw.h				
FC ME	=	761933.279 g/h	FC ME''	=	648574.732 g/h		
		761.933 Kg/h			648.575 Kg/h		
$P_{Electrical}$	=	597.98 Kw	$P_{Electrical}''$	=	911.881 Kw		
SFC Genset	=	185 g/Kw.h					
FC Genset	=	110626.3 g/h	FC' Genset	=	168698.0489 g/h		
		110.6263 Kg/h			168.6980489 Kg/h		
Δ FC ME	=	113.359 Kg/h	Δ FC Genset	=	58.072 Kg/h		
		14.9 %			52.5 %		

BIODATA PENULIS



Agung Budi Prabowo, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Magetan pada 5 Januari 1995 silam, Penulis merupakan anak ketiga dari 3 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK PG Poerwadadie, kemudian melanjutkan ke SDN Manisrejo I, SMPN 1 Maospati dan SMAN 3 Madiun. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2013 melalui jalur SNMPTN Undangan.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Hidrodinamika Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi mengikuti pelatihan seperti LKMM pra-TD, Maxsurf *Training*, dan pelatihan Peulisan Karya Ilmiah serta menjadi *staff* Departemen Kajian Strategis HIMATEKPAL FTK ITS 2014/2015 dan dilanjutkan sebagai kadiv pada periode selanjutnya. Selain itu, Penulis juga pernah menjadi peserta LOKARINA ITS, Panitia SAMPAN8ITS, dan Konsepror Dialog interaktif SAMPAN9ITS.

Email: prabowoagungbudi@gmail.com