



**TUGAS AKHIR - MN 184802**

## **ANALISIS KEKUATAN *SKEG* KAPAL AKIBAT PUTARAN BALING-BALING**

**Arum Dwi Kurniati  
NRP 0411154000067**

**Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D  
Dedi Budi Purwanto, S.T.,M.T.**

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



**TUGAS AKHIR - MN 184802**

**ANALISIS KEKUATAN *SKEG* KAPAL AKIBAT PUTARAN  
BALING-BALING**

**Arum Dwi Kurniati  
NRP 0411154000067**

**Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D  
Dedi Budi Purwanto, S.T.,M.T.**

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



---

**FINAL PROJECT - MN 184802**

**STRENGTH ANALYSIS OF SHIP SKEG  
EFFECT OF PROPELLER ROTATION**

**Arum Dwi Kurniati  
NRP 0411154000067**

**Supervisor  
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D  
Dedi Budi Purwanto, S.T.,M.T.**

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

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**ANALISIS KEKUATAN SKEG KAPAL AKIBAT PUTARAN**  
**BALING-BALING**

**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

**ARUM DWI KURNIATI**

**NRP 04111540000675**

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing II

Dosen Pembimbing I

**Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T.**

**Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.**

**NIP 19820320 201012 1 001**

**NIP 19590505 198403 1 012**

Mengetahui,  
Kepala Departemen Teknik Perkapalan

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

**NIP 19640210 198903 1 001**

**SURABAYA, 10 JULI 2019**

## LEMBAR REVISI

# ANALISIS KEKUATAN *SKEG* KAPAL AKIBAT PUTARAN BALING-BALING

### TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir  
Tanggal 10 Juli 2019

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

Oleh:

**ARUM DWI KURNIATI**  
NRP 04111540000067

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Aries Sulisetyono, S.T., M.ASc., Ph.D
2. Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng.
3. Totok Yulianto, S.T., M.T.

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
2. Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T.

The image shows four handwritten signatures, each placed above a horizontal dotted line. The first signature is a cursive signature, likely for Aries Sulisetyono. The second signature is a cursive signature, likely for Wing Hendroprasetyo. The third signature is a cursive signature, likely for Totok Yulianto. The fourth signature is a cursive signature, likely for Prof. Ir. Achmad Zubaydi. The fifth signature is a cursive signature, likely for Dedi Budi Purwanto.

SURABAYA, 10 JULI 2019

Dipersembahkan kepada mama papa tercinta atas segala dukungan, doa dan kepercayaan yang telah diberikan.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

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

1. Kedua orang tua (Kodrat Santosa dan Endang Margaretha) serta kakak saya (Andri Susanto) yang telah memberikan dukungan, kepercayaan, dan doa kepada saya hingga terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini;
2. Bapak Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D. dan Bapak Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
3. Prof. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Wali yang telah memberikan dukungan secara moril serta senantiasa memberikan nasihat kepada penulis selama berada di Departemen Teknik Perkapalan;
4. Ir. Agoes Achmad Masroeri, M.Eng, D.Eng selaku Kepala Nasional Ship Design & Engineering Center (NaSDEC) atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas izin pemakaian fasilitas kantor;
5. Insanu A.C.A., S.T., M.T. selaku senior NaSDEC yang selalu membantu dari awal pembuatan Tugas Akhir hingga Tugas Akhir ini selesai;
6. Mba Shakina Azizul Haque S.T. dan Nona Theresia S.T. merupakan kakak-kakak terbaik penulis yang banyak membantu dan memotivasi selama pengerjaan Tugas Akhir dan masa perkuliahan;
7. Sholichatul Ilmiah, Fajar Rahmanul Ichwan dan Vivi Kristiana yang merupakan teman seperjuangan Tugas Akhir yang senantiasa memberikan bantuan dan motivasi;
8. Elisarigitsifa Margareth Sitinjak yang senantiasa memberikan motivasi, menghibur dan menemani ketika penulis bahagia maupun bersedih selama masa perkuliahan dan pengerjaan Tugas Akhir;
9. Zhafirah, Vionadhiah, Nabella, Yunita, Kirana selaku sahabat yang senantiasa menyemangati dan menghibur penulis;
10. Teman-teman anggota *fearless* (ArDan, Hafiz, Angga, Ihsan, Kevin, Gizza, dan Hisyam) yang senantiasa menjadi kelompok diskusi selama masa perkuliahan dan memberikan saran dan motivasi selama masa perkuliahan dan pengerjaan Tugas Akhir;
11. Teman-teman NaSDEC R n' D (Mba Huy, Mba Bir, Mba Ay, Mas Rian, Mas Syafi, Mas Nova, Mas Danu, Mas Jeng, Mas Koyoy, Mas Kupang, Mas Diko, Mas Gusma, Mas Yonny, Mas Bahru) yang senantiasa menyemangati dan menghibur penulis;
12. P55 SAMUDRA RAKSA yang selama ini selalu menemani ketika suka maupun duka;
13. Mermaids P55 (Audi, Mia, Vivi, Ainun, Berlin, Jasmine, Feima, Namira, Fia) yang selama ini selalu menemani ketika suka maupun duka;

14. Adik-adik P56 IRON CLAD yang senantiasa menyemangati penulis;
15. HMBS P56 terutama Neysha, Swasti, Shindi, Dinda, Putri, Sintia, Dhyta, Tania dan Nobita yang senantiasa menyemangati penulis;
16. Adik-Adik P57 DREADNOUGHT yang telah memberikan banyak kisah selama penulis menjadi SC serta senantiasa memotivasi penulis selama mengerjakan Tugas Akhir;
17. Ciwi-ciwi P57 (Terbul, Plankton, Bocah, Nurmut, Novi, Niken, Nadya, Dita, Dona Cup, Yuli, Dewi, Bambang dan Bella) yang senantiasa menyemangati penulis;
18. Marsya Sungkar yang menemani dan memotivasi penulis selama masa-masa revisi;
19. Semua pihak yang telah membantu penulis, yang tidak bisa saya untuk disebutkan satu persatu.

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, 10 Juli 2019

Arum Dwi Kurniati

# ANALISIS KEKUATAN *SKEG* KAPAL AKIBAT PUTARAN BALING-BALING

Nama Mahasiswa : Arum Dwi Kurniati  
NRP : 0411154000067  
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan  
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.  
2. Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T.

## ABSTRAK

Kapal *twin screw* berpeluang untuk berlayar dengan satu *propeller*. Ketika hanya satu *propeller* yang berputar, maka gaya yang diterima *skeg* tidak sama dengan nol, sehingga perlu dilakukan analisis kekuatan *skeg*. Proses perhitungan beban dan tegangan yang terjadi pada *skeg* dilakukan dengan metode numerik, yaitu menggunakan pendekatan *computational fluids dynamic* dan *finite element method*. Pada penelitian ini, gaya yang bekerja pada *skeg* berupa resultan gaya dari fluida akibat adanya putaran *propeller*, dengan variasi kecepatan putar sebesar 40%RPM, 60%RPM, 80%RPM dan 100%RPM. Sedangkan model *skeg* berupa objek 3D solid dengan *mechanical properties* baja AH36, serta secara sederhana *skeg* dimodelkan seperti balok kantilever dengan tumpuan jepit pada sisi bagian atas *skeg* yang dilas dengan lambung kapal. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa, gaya dan tegangan von mises ketika kapal bergerak mundur lebih besar daripada ketika kapal bergerak maju, serta meningkat seiring dengan kenaikan kecepatan putar *propeller*. Nilai tegangan von mises maksimum terbesar terjadi ketika kapal bergerak mundur dengan kecepatan putar *propeller* sebesar 100%RPM bernilai 43.708MPa, dimana nilai tegangan maksimum ini lebih kecil daripada nilai tegangan izin material baja AH36, sehingga dapat disimpulkan bahwa *skeg* masih cukup kuat dalam menerima beban fluida yang dihasilkan oleh putaran *propeller*.

Kata kunci: kapal, kecepatan putar *propeller*, *skeg*, tegangan von mises

# **STRENGTH ANALYSIS OF SHIP SKEG EFFECT OF PROPELLER ROTATION**

Author : Arum Dwi Kurniati  
Student Number : 04111540000067  
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology  
Supervisor : 1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.  
2. Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T.

## **ABSTRACT**

Ships that use twin screw usually have high chances of only using one of its propellers during a voyage. In such occurrence where only one of the propellers runs, the resultant of the forces applied on the skeg does not equal to zero, therefore, this kind of event should be taken into further examination. Calculation process of the force and stress on the skeg are using numeric method with computational fluid dynamic and finite element method approach. In this research, the force acting on the skeg is an resultant force of fluid due to the propeller rotation, with variations in rotational speed of 40% RPM, 60% RPM, 80% RPM and 100% RPM. While the skeg model is a solid 3D object with mechanical properties of AH36 steel, and a simple skeg is modeled like a cantilever with a fixed support on the upper side of the skeg which is welded within the hull of the ship. The result of this research showed that the force and von mises stress when the ship moves backwards is greater than when the ship moves forward, and also increases as the propeller's rotational velocity escalates. The maximum von mises stress occurs when the ship moves backwards with a rotational speed of 100%, where its RPM reaches 43,708MPa. This value is smaller than the yield stress of AH36 steel, so it can be concluded that the skeg would withstand the fluid loads from the propeller's rotation.

Keywords: ship, skeg, the propeller's rotational speed, von mises stress

# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN.....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT .....	ix
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL .....	xv
DAFTAR SIMBOL .....	xvi
Bab I PENDAHULUAN .....	1
I.1.    Latar Belakang Masalah.....	1
I.2.    Perumusan Masalah.....	1
I.3.    Tujuan.....	2
I.4.    Batasan Masalah.....	2
I.5.    Manfaat.....	2
I.6.    Hipotesis.....	2
Bab II STUDI LITERATUR .....	3
II.1.    Dasar Teori.....	3
II.1.1. <i>Skeg</i> .....	3
II.1.2. <i>Propeller</i> .....	4
II.1.3.  Tegangan dan Regangan.....	7
II.1.3.1.  Diagram Tegangan-Regangan .....	8
II.1.3.2.  Tegangan Von Mises .....	8
II.1.4.  Angka Poisson .....	9
II.1.5.  Modulus Elastisitas.....	9
II.1.6.  Tumpuan.....	9
II.1.7. <i>Computational Fluid Dynamic (CFD)</i> .....	11
II.1.8. <i>Finite Element Method (FEM)</i> .....	11
II.1.9. <i>Meshing</i> .....	12
II.1.9.1. <i>Structured Mesh</i> .....	12
II.1.9.2. <i>Unstructured Mesh</i> .....	12
II.1.10. <i>Grid Independence</i> .....	13
II.1.11. <i>Grid Convergence</i> .....	14
Bab III METODOLOGI .....	17
III.1.    Metode.....	17
III.2.    Studi Literatur .....	17
III.3.    Pengumpulan Data .....	17
III.3.1. <i>Lines Plan</i> .....	18
III.3.2. <i>Propeller Arrangement</i> .....	19
III.3.3. <i>Skeg Construction</i> .....	20
III.3.4. <i>Engine Room Layout</i> .....	20
III.4.    Validasi Model .....	21
III.4.1.  Permodelan dan Validasi Model <i>Propeller</i> .....	21
III.4.2.  Permodelan dan Validasi Model Lambung.....	24
III.5.    Perhitungan Beban Pada <i>Skeg</i> .....	27

III.5.1.	Permodelan Lambung, <i>Skeg</i> dan <i>Propeller</i> .....	27
III.5.2.	Pembuatan <i>Meshing</i> .....	28
III.5.3.	<i>Computational Fluid Dynamic Preparation</i> .....	28
III.5.4.	<i>Computational Fluid Dynamic Simulation</i> .....	30
III.6.	Analisis Struktur <i>Skeg</i> .....	31
III.6.1.	<i>Engineering Data</i> .....	32
III.6.2.	Permodelan <i>Skeg</i> .....	32
III.6.3.	Pengecekan Sambungan.....	33
III.6.4.	Pembuatan <i>Meshing</i> .....	35
III.6.5.	Kondisi Batas .....	36
III.6.6.	Pembebanan .....	37
III.6.7.	<i>Grid Independence</i> dan <i>Grid Convergence</i> .....	38
III.6.8.	Analisis .....	40
III.6.9.	Diagram alir .....	41
Bab IV	ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....	43
IV.1.	Hasil dan Pembahasan Analisis.....	43
IV.1.1.	Gaya yang Terjadi pada Model <i>Skeg</i> .....	43
IV.1.2.	Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Maju dengan Kecepatan Putar <i>Propeller</i> 160RPM .....	44
IV.1.3.	Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Maju dengan Kecepatan Putar <i>Propeller</i> 240RPM .....	46
IV.1.4.	Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Maju dengan Kecepatan Putar <i>Propeller</i> 320RPM .....	48
IV.1.5.	Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Maju dengan Kecepatan Putar <i>Propeller</i> 400RPM .....	50
IV.1.6.	Pembahasan Tegangan Von Mises dan Deformasi pada <i>Skeg</i> Ketika Kapal Maju 52	
IV.1.7.	Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Mundur dengan Kecepatan Putar <i>Propeller</i> 160RPM .....	54
IV.1.8.	Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Mundur dengan Kecepatan Putar <i>Propeller</i> 240RPM .....	56
IV.1.9.	Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Mundur dengan Kecepatan Putar <i>Propeller</i> 320RPM .....	58
IV.1.10.	Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Mundur dengan Kecepatan Putar <i>Propeller</i> 400RPM .....	60
IV.1.11.	Pembahasan Tegangan Von Mises dan Deformasi pada <i>Skeg</i> Ketika Kapal Mundur 62	
IV.2.	Perbandingan Hasil Analisis Ketika Kapal Maju dan Mundur .....	64
IV.3.	Pengecekan Hasil Analisis .....	67
Bab V	KESIMPULAN DAN SARAN .....	69
V.1.	Kesimpulan.....	69
V.2.	Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA	.....	70
LAMPIRAN		
LAMPIRAN A	<i>LINES PLAN</i> KAPAL	
LAMPIRAN B	<i>PROPELLER ARRANGEMENT</i>	
LAMPIRAN C	<i>SKEG CONSTRUCTION</i>	
LAMPIRAN D	<i>ENGINE ROOM LAYOUT</i>	
BIODATA PENULIS		

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 <i>Lines Plan</i> Kapal Patroli 73m.....	18
Gambar 3. 2 <i>Propeller Arrangement</i> .....	19
Gambar 3. 3 <i>Propeller Particullar</i> .....	19
Gambar 3. 4 <i>Skeg Construction</i> .....	20
Gambar 3. 5 Tampak samping <i>engine room layout</i> .....	20
Gambar 3. 6 Pengisian data <i>propeller</i> .....	21
Gambar 3. 7 Model 3D <i>propeller</i> .....	21
Gambar 3. 8 Model <i>propeller</i> beserta <i>interface, inlet</i> dan <i>outlet area</i> .....	22
Gambar 3. 9 <i>Propeller meshing</i> .....	22
Gambar 3. 10 Hasil pengaturan pada tahap pra penyelesaian .....	23
Gambar 3. 11 Grafik perubahan elemen terhadap <i>propeller thrust</i> .....	23
Gambar 3. 12 Penentuan nilai KT .....	24
Gambar 3. 13 Hasil <i>redraw</i> dari <i>lines plan</i> kapal.....	25
Gambar 3. 14 Tampilan 3D lambung kapal .....	26
Gambar 3. 15 Data hidrostattk kapal pada sarat 9.6m.....	26
Gambar 3. 16 Model lambung kapal beserta <i>propeller</i> dan <i>skeg</i> .....	27
Gambar 3. 17 Hasil pembuatan <i>enclosure</i> pada kapal dan <i>propeller</i> .....	28
Gambar 3. 18 Hasil <i>meshing</i> pada model .....	28
Gambar 3. 19 Penentuan <i>inlet, outlet</i> dan dinding di sekeliling kapal ketika putaran <i>propeller</i> berlawanan jarum jam (kapal maju) .....	29
Gambar 3. 20 Penentuan <i>inlet, outlet</i> dan dinding di sekeliling kapal ketika putaran <i>propeller</i> searah jarum jam (kapal mundur).....	29
Gambar 3. 21 Ilustrasi aliran fluida akibat <i>propeller</i> ketika kapal bergerak maju.....	30
Gambar 3. 22 Ilustrasi aliran fluida akibat <i>propeller</i> ketika kapal bergerak mundur .....	31
Gambar 3. 23 Persebaran gaya pada <i>skeg</i> ketika kapal bergerak maju .....	31
Gambar 3. 24 Persebaran tekanan pada <i>skeg</i> ketika kapal bergerak maundur .....	31
Gambar 3. 25 Model struktur <i>skeg</i> .....	32
Gambar 3. 26 Model struktur penegar <i>skeg</i> .....	33
Gambar 3. 27 Contoh sambungan antara penegar melintang dengan plat alas <i>skeg</i> .....	34
Gambar 3. 28 Contoh sambungan antara penegar melintang dengan plat sisi <i>skeg</i> .....	34
Gambar 3. 29 Contoh sambungan antara penegar memanjang dengan plat sisi <i>skeg</i> .....	34
Gambar 3. 30 Contoh sambungan antara sambungan plat alas <i>skeg</i> dengan plat sisi <i>skeg</i> .....	35
Gambar 3. 31 Contoh sambungan antara sambungan plat alas <i>skeg</i> dengan plat belakang <i>skeg</i> .....	35
Gambar 3. 32 Contoh sambungan antara penegar dengan <i>flat bar</i> .....	35
Gambar 3. 33 Contoh sambungan antara <i>flat bar</i> dengan plat sisi kanan <i>skeg</i> .....	35
Gambar 3. 34 Hasil <i>meshing</i> model.....	36
Gambar 3. 35 Hasil <i>meshing</i> penegar <i>skeg</i> .....	36
Gambar 3. 36 Pemberian beban gaya pada <i>skeg</i> ketika kapal maju .....	37
Gambar 3. 37 Pemberian beban gaya pada <i>skeg</i> ketika kapal mundur.....	38
Gambar 3. 38 Grafik perubahan jumlah elemen terhadap <i>maximum stress</i> .....	39
Gambar 3. 39 Persebaran te	
Gambar 4. 1 Tegangan von mises pada <i>skeg</i> ketika kapal maju dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 160RPM.....	44

Gambar 4. 2 Detail lokasi tegangan von mises maksimum yang terjadi pada <i>skeg</i> .....	44
Gambar 4. 3 Deformasi pada <i>skeg</i> ketika kapal maju dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 160RPM.....	45
Gambar 4. 4 Detail lokasi terjadinya deformasi maksimum .....	45
Gambar 4. 5 Tegangan von mises pada <i>skeg</i> ketika kapal maju dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 240RPM.....	46
Gambar 4. 6 Detail lokasi terjadinya tegangan von mises maksimum.....	46
Gambar 4. 7 Deformasi pada <i>skeg</i> ketika kapal maju dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 240RPM.....	47
Gambar 4. 8 Detail lokasi terjadinya deformasi maksimum .....	47
Gambar 4. 9 Tegangan von mises pada <i>skeg</i> ketika kapal maju dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 320RPM.....	48
Gambar 4. 10 Detail lokasi terjadinya tegangan von mises maksimum.....	48
Gambar 4. 11 Deformasi pada <i>skeg</i> ketika kapal maju dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 320RPM.....	49
Gambar 4. 12 Detail lokasi terjadinya deformasi maksimum .....	49
Gambar 4. 13 Tegangan von mises pada <i>skeg</i> ketika kapal maju dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 400RPM.....	50
Gambar 4. 14 Detail lokasi terjadinya tegangan von mises maksimum.....	50
Gambar 4. 15 Deformasi pada <i>skeg</i> ketika kapal maju dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 400RPM.....	51
Gambar 4. 16 Detail lokasi terjadinya deformasi maksimum .....	51
Gambar 4. 17 Grafik tegangan maksimum <i>skeg</i> ketika kapal maju .....	52
Gambar 4. 18 Grafik deformasi maksimum <i>skeg</i> ketika kapal maju.....	53
Gambar 4. 19 Tegangan von mises pada <i>skeg</i> ketika kapal mundur dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 160RPM.....	54
Gambar 4. 20 Detail lokasi tegangan von mises maksimum yang terjadi pada <i>skeg</i> .....	54
Gambar 4. 21 Deformasi pada <i>skeg</i> ketika kapal mundur dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 160RPM.....	55
Gambar 4. 22 Detail lokasi deformasi maksimum yang terjadi pada <i>skeg</i> .....	55
Gambar 4. 23 Tegangan von mises pada <i>skeg</i> ketika kapal mundur dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 240RPM.....	56
Gambar 4. 24 Detail lokasi tegangan von mises maksimum yang terjadi pada <i>skeg</i> .....	56
Gambar 4. 25 Deformasi pada <i>skeg</i> ketika kapal mundur dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 240RPM.....	57
Gambar 4. 26\ Detail lokasi deformasi maksimum yang terjadi pada <i>skeg</i> .....	57
Gambar 4. 27 Tegangan von mises pada <i>skeg</i> ketika kapal mundur dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 320RPM.....	58
Gambar 4. 28 Detail lokasi tegangan von mises maksimum yang terjadi pada <i>skeg</i> .....	58
Gambar 4. 29 Deformasi pada <i>skeg</i> ketika kapal mundur dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 320RPM.....	59
Gambar 4. 30 Detail lokasi deformasi maksimum yang terjadi pada <i>skeg</i> .....	59
Gambar 4. 31 Tegangan von mises pada <i>skeg</i> ketika kapal mundur dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 400RPM.....	60
Gambar 4. 32 Detail lokasi tegangan von mises maksimum yang terjadi pada <i>skeg</i> .....	60
Gambar 4. 33 Deformasi pada <i>skeg</i> ketika kapal mundur dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 400RPM.....	61
Gambar 4. 34 Detail lokasi deformasi maksimum yang terjadi pada <i>skeg</i> .....	61
Gambar 4. 35 Grafik tegangan maksimum <i>skeg</i> ketika kapal maju .....	62

Gambar 4. 36 Grafik deformasi maksimum <i>skeg</i> ketika kapal maju.....	63
Gambar 4. 37 Grafik perbandingan tegangan maksimum ketika kapal maju dan mundur .....	64
Gambar 4. 38 Grafik perbandingan deformasi maksimum ketika kapal maju dan mundur.....	65
gangan dan lokasi tegangan maksimum pada <i>skeg</i> .....	39
Gambar 3. 40 Persebaran regangan dan lokasi regangan maksimum pada <i>skeg</i> .....	40

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Ukuran Utama Kapal.....	18
Tabel 3. 2 Data hidrostatik kapal.....	19
Tabel 3. 3 Rekapitulasi hasil simulasi model <i>propeller</i> .....	23
Tabel 3. 4 Validasi lambung kapal hasil <i>redraw</i> .....	27
Tabel 3. 5 Rekapitulasi resultan gaya yang terjadi pada <i>skeg</i> .....	30
Tabel 3. 6 <i>Physical properties</i> dan <i>mechanical properties</i> baja AH 36.....	32
Tabel 3. 7 Rekapitulasi gaya yang terjadi pada struktur <i>skeg</i> .....	37
Tabel 3. 8 <i>Grid independence</i> dan <i>grid convergence</i> struktur <i>skeg</i> .....	38
Tabel 4. 1 Rekapitulasi gaya yang diterima <i>skeg</i> kapal.....	44
Tabel 4. 2 Rekapitulasi Nilai Tegangan Von Mises dan Deformasi ketika Kapal Maju .....	52
Tabel 4. 3 Rekapitulasi Nilai Tegangan Von Mises dan Deformasi ketika Kapal Mundur ....	62
Tabel 4. 4 Pengecekan Nilai Tegangan .....	67

## DAFTAR SIMBOL

KT	=	<i>Thrust coefficient</i>
KQ	=	<i>Torque coefficient</i>
J	=	<i>Advanced coefficient</i>
T	=	<i>Thrust propeller (N)</i>
Q	=	<i>Torque propeller (N.m)</i>
$\rho$	=	<i>Fluid density (kg.m<sup>-3</sup>)</i>
D	=	<i>Diameter propeller (m)</i>
n	=	<i>Propeller angular velocity (rps)</i>
V <sub>a</sub>	=	<i>Wake speed (m/s)</i>
V <sub>s</sub>	=	<i>Ship speed (m/s)</i>
W <sub>T</sub>	=	<i>Wake fraction</i>
CB	=	<i>Block coefficient</i>
L	=	<i>Ship length (m)</i>
B	=	<i>Ship breadth (m)</i>
$\sigma$	=	<i>Tegangan (N/m<sup>2</sup>)</i>
P	=	<i>Gaya (N)</i>
A	=	<i>Luas penampang (m<sup>2</sup>)</i>
$\varepsilon$	=	<i>Regangan</i>
$\Delta$	=	<i>Perpanjangan (m)</i>
L <sub>0</sub>	=	<i>Panjang awal (m)</i>
$\sigma_{vm}$	=	<i>tegangan von mises (N/m<sup>2</sup>)</i>
$\sigma_x$	=	<i>tegangan normal elemen pada sumbu x (N/m<sup>2</sup>)</i>
$\sigma_y$	=	<i>tegangan normal elemen pada sumbu y(N/m<sup>2</sup>)</i>
$\sigma_z$	=	<i>tegangan normal elemen pada sumbu z(N/m<sup>2</sup>)</i>
$\tau_{xy}$	=	<i>tegangan geser elemen pada sumbu x dan y (N/m<sup>2</sup>)</i>
$\tau_{yz}$	=	<i>tegangan geser elemen pada sumbu y dan z (N/m<sup>2</sup>)</i>
$\tau_{xz}$	=	<i>tegangan geser elemen pada sumbu x dan z (N/m<sup>2</sup>)</i>
$\mu$	=	<i>angka poisson</i>

- $\varepsilon_h$  = regangan horizontal atau *lateral strain*  
 $\varepsilon_v$  = regangan vertikal *axial strain*  
E = Modulus elastisitas (N/m<sup>2</sup>)

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1. Latar Belakang Masalah

Kapal merupakan salah satu alat transportasi yang memiliki motor penggerak seperti *main engine* dan alat pendorong seperti *propeller* agar dapat berlayar. Biasanya kapal cepat atau kapal dengan kebutuhan *thrust* yang besar memiliki dua *propeller*, seperti kapal patroli dan *tug boat*. Ketika kapal berlayar menggunakan 2 *propeller* maka salah satu hal yang harus diperhatikan adalah aliran fluida yang masuk ke *propeller*. Hal ini karena adanya perbedaan antara kecepatan kapal dengan kecepatan air yang melalui *propeller* atau arus ikut (*wake*) (Harvald, 1983), dimana semakin besar *wake* maka daya yang diperlukan untuk mendorong kapal juga semakin besar, sehingga salah satu upaya untuk memperkecil nilai *wake*, dilakukan penambahan *skeg* di antara kedua *propeller* tersebut.

Pada saat kapal *twin screw* berlayar, tidak menutup kemungkinan kapal tersebut hanya berlayar dengan satu *propeller*. Salah satu contoh kasus ini terjadi kapal patroli 73m dengan *propeller* ganda yang dibangun pada galangan swasta di Indonesia mengalami kerusakan *radiator* pada *main engine* bagian *port side* ketika kapal melakukan *endurance test*. Pada saat itu proses perbaikan *radiator* tidak berhasil dilakukan, sedangkan dari pihak *owner* menginginkan agar kapal tetap melanjutkan serangkaian pengujian yang lain, sehingga kapal *twin screw* tersebut hanya berlayar dengan satu *propeller*. Ketika *skeg* menerima beban dari dua *propeller* yang berputar dengan arah saling berlawanan maka resultan gaya yang diterima *skeg* bernilai nol. Namun, ketika hanya satu *propeller* yang berputar maka resultan gaya yang diterima *skeg* tidak sama dengan nol. Berdasarkan hal tersebut maka diperlukan analisis kekuatan *skeg* akibat putaran salah satu *propeller*.

### I.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dijelaskan sebelumnya, maka permasalahan yang akan dicari penyelesaiannya dalam penelitian ini yaitu:

1. Berapakah besarnya beban yang diterima *skeg* akibat aliran fluida yang dihasilkan oleh putaran baling-baling?

2. Apakah konstruksi *skeg* pada kapal mampu menerima beban dari fluida yang dihasilkan oleh putaran baling-baling?

### **I.3. Tujuan**

Tujuan dari penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui besarnya beban yang diterima *skeg* akibat aliran fluida yang dihasilkan oleh putaran baling-baling
2. Mengetahui kekuatan konstruksi *skeg* pada kapal *patroli* dalam menerima beban dari fluida yang dihasilkan oleh putaran baling-baling

### **I.4. Batasan Masalah**

Batasan-batasan yang digunakan dalam pengerjaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dilakukan di perairan tenang
2. Kapal dalam kondisi muatan penuh
3. Menggunakan beban statis
4. Validasi *propeller* hanya dilakukan dengan validasi *open water test*
5. Lanjur las diabaikan

### **I.5. Manfaat**

Dari penulisan penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan gambaran aliran fluida dari hasil putaran baling-baling yang terjadi pada *skeg* kapal
2. Memberikan gambaran beban yang diterima oleh *skeg* akibat aliran fluida yang dihasilkan oleh putaran baling-baling
3. Membantu analisis kekuatan *skeg* pada kapal patroli
4. Sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan ukuran konstruksi *skeg* yang optimum

### **I.6. Hipotesis**

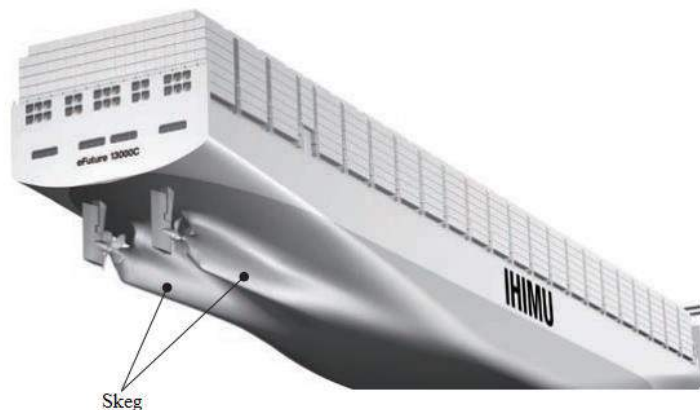
Semakin besar kecepatan putar baling-baling, maka beban yang diterima *skeg* juga semakin besar, sehingga beban terbesar yang diterima oleh *skeg* terjadi pada kecepatan putar baling-baling sebesar 100%RPM.

## BAB II STUDI LITERATUR

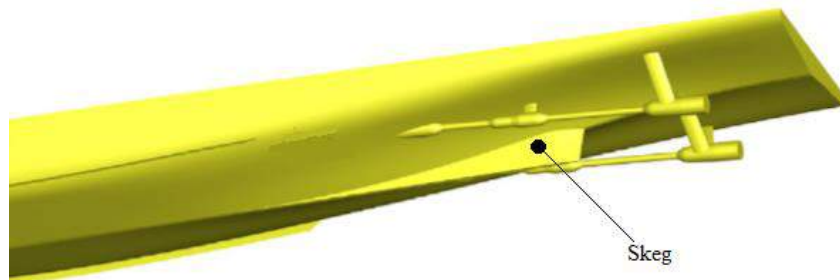
### II.1. Dasar Teori

#### II.1.1. *Skeg*

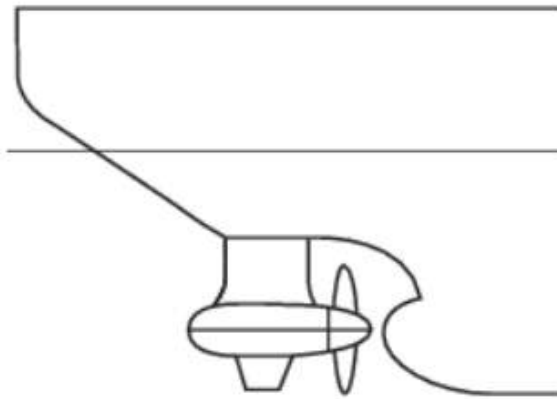
Smith dan Belcher (1867) mendefinisikan *skeg* sebagai bagian kecil dan tipis pada lunas kapal atau potongan miring berlebih pada buritan kapal yang tidak disertai dengan linggi buritan. Sedangkan menurut IMO (2002), *skeg* merupakan bagian vertikal atau miring yang menempel berupa plat berprofil atau *volumetric construction*. *Skeg* dapat dipasang pada poros *propeller* atau dipasang di luar poros *propeller* seperti yang terlihat pada gambar 2.1 dan 2.2. Kemudian bentuk *skeg* dapat berupa *faired skeg* atau *plated skeg* (IMO, 2011) seperti yang terlihat pada gambar 2.3 dan 2.4. Pada penelitian ini, *skeg* yang akan dianalisis adalah *skeg* yang dipasang di luar poros *propeller* dengan bentuk *plated skeg*.



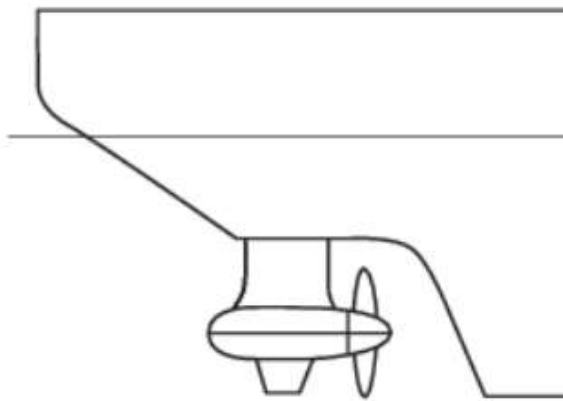
Gambar 2. 1 Contoh *skeg* yang dipasang pada poros *propeller*  
(Akira, et al., 2011)



Gambar 2. 2 Contoh *skeg* yang dipasang di luar poros *propeller*  
(Muscari, et al., 2017)



**Gambar 2. 3 Faired skeg**  
(IMO, 2011)



**Gambar 2. 4 Plated skeg**  
(IMO, 2011)

### **II.1.2. Propeller**

Bentuk alat pendorong yang paling umum adalah *screw propeller* yang pada dasarnya terdiri dari *central hub* dan beberapa *blades* atau daun *propeller* yang memanjang keluar secara radial pada *central hub*. Gaya angkat dihasilkan oleh daun *propeller*. Komponen gaya angkat akan menghasilkan gaya dorong yang diinginkan dan komponen lainnya menciptakan torsi yang harus diatasi oleh *engine* untuk mempertahankan rotasi *propeller* (ITTC, 2008). Dalam buku *Marine Propellers and Propulsion* (FREng, 2010) terdapat beberapa sistem propulsi yang sedang digunakan dan dalam pengembangan, diantaranya yaitu *fixed pitch propellers*, *ducted propellers*, *podded and azimuthing propulsors*, *contra-rotating propellers*, *overlapping propellers*, *tandem propellers*, *controllable pitch propellers*, *surface piercing propellers*, *waterjet propulsion*, *cycloidal propellers*, *paddle wheels*, *magnetohydrodynamic propulsion* dan *whale-tail propulsion*. Pada penelitian ini, *propeller* yang akan digunakan adalah *fixed*

*pitch propeller (FPP)*, yaitu *propeller* yang hanya memiliki variasi operasional berupa kecepatan putar *propeller*, serta tidak memiliki derajat kebebasan ekstra untuk merubah *blade pitch*. Tipikal *fixed pitch propeller* biasanya memiliki 4 daun *propeller* yang lebar untuk *bulk carrier* seperti pada gambar 2.5 (a), kemudian *high-speed patrol craft propeller* seperti pada gambar 2.5 (b), lalu 7 daun *propeller blanced high-screw design* seperti pada gambar 2.5 (c), *surface piercing propeller* seperti pada gambar 2.5 (d) dan *biased high-skew, low-blade-area ratio propeller* seperti pada gambar 2.5 (e). Rangkuman tipikal *fixed pitch propeller* dapat dilihat pada gambar 2.5 (a) hingga (e).



(a) FPP dengan 4 daun *propeller* yang lebar untuk *bulk carrier*



(b) *High-speed patrol craft propeller*



(c) FPP dengan 7 daun *propeller blanced high-screw design*



(d) *surface piercing propeller*



(e) *biased high-skew, low-blade-area ratio propeller*

Gambar 2. 5 Tipikal *fixed pitch propellers*

(FREng, 2010)

Karakteristik performa *propeller* dapat dibagi menjadi *open water* dan *behind-hull characteristics* (FREng, 2010). *Open water characteristics* berkaitan dengan gaya dan momen yang bekerja pada *propeller* ketika beroperasi dalam aliran fluida *uniform* yang sejajar dengan *center line* poros. Sedangkan karakteristik *behind-hull characteristics* berkaitan dengan gaya dan momen yang dihasilkan oleh *propeller* ketika beroperasi pada *mixed wake* di area belakang sebuah *body*. Selanjutnya hanya akan dibahas lebih lanjut mengenai *open water characteristics*.

Pada *open water characteristics*, gaya dan momen yang dihasilkan oleh *propeller* dinyatakan dalam karakteristik tidak berdimensi untuk mengkonfigurasi geometri dari *propeller*. Karakteristik-karakteristik tidak berdimensi ini dapat ditunjukkan dengan *thrust coefficient* ( $KT$ ), *troque coefficient* ( $KQ$ ) dan *advanced coefficient* ( $J$ ) yang nilainya dapat dilihat pada gambar 2.6 atau dengan persamaan II.1 II.2 dan II.3 berikut ini. Persamaan *wake fraction* ( $W_T$ ) II.5 digunakan untuk kapal-kapal *twin screw* dengan nilai  $L/B$  antara 6 hingga 7 (Molland, et al., 2011). Dalam penentuan diagram  $KT$   $KQ$   $J$  yang akan digunakan untuk mengetahui karakteristik performa *propeller* dapat ditentukan berdasarkan *series* dari *propeller*. Salah satu *series* tersebut adalah Wageningen B Series yaitu *propeller series* yang

memiliki dua hingga tujuh daun baling-baling, dengan BAR 0.3 hingga 1.05 serta dengan P/D sebesar 0.6 hingga 1.4 (Molland, et al., 2011).

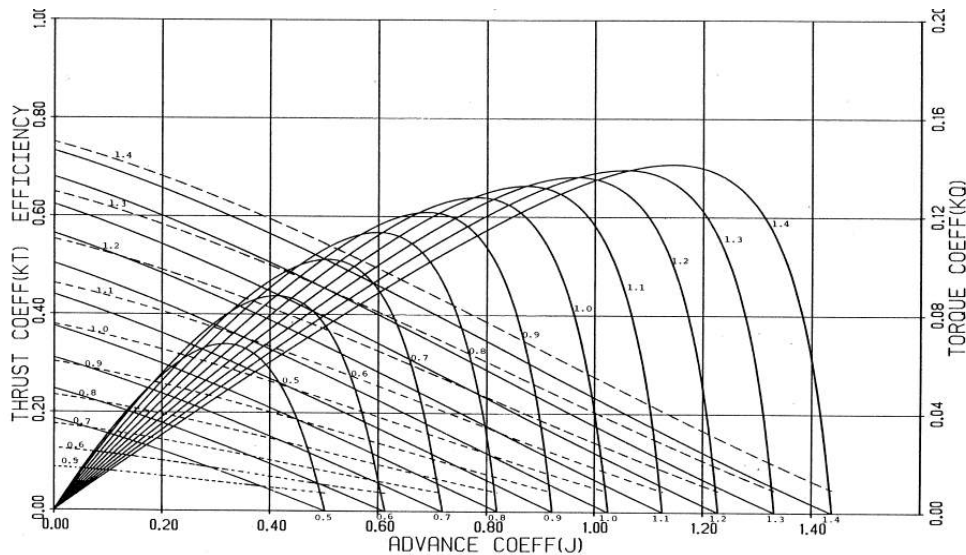
$$KT = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad \text{II.1}$$

$$KQ = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \quad \text{II.2}$$

$$J = \frac{Va}{nD} \quad \text{II.3}$$

$$Va = Vs(1 - W_T) \quad \text{II.4}$$

$$W_T = [0.71 - 2.39C_B + 2.33C_B^2] + [0.12C_B^4 \left(6.5 - \frac{L}{B}\right)] \quad \text{II.5}$$



**Gambar 2. 6 Diagram KT KQ dan J pada Wageningen *B-series propeller* untuk 4 daun dengan AE/A0 sebesar 1 dan P/D sebesar 0.5 hingga 1.4 (Bernitsas, et al., 1981)**

### II.1.3. Tegangan dan Regangan

Tegangan (*stress*) merupakan intensitas gaya yang mengenai suatu penampang luasan atau secara matematis tegangan diukur dalam satuan gaya dibagi dengan satuan luas (Popov, 1984), dimana persamaannya dapat dilihat pada persamaan II.6 berikut ini.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{II.6}$$

Regangan (*strain*) adalah perpanjangan atau besarnya perubahan panjang per ukuran panjang mula-mula (Popov, 1984), dimana persamaannya dapat dilihat pada persamaan II.7 berikut ini.

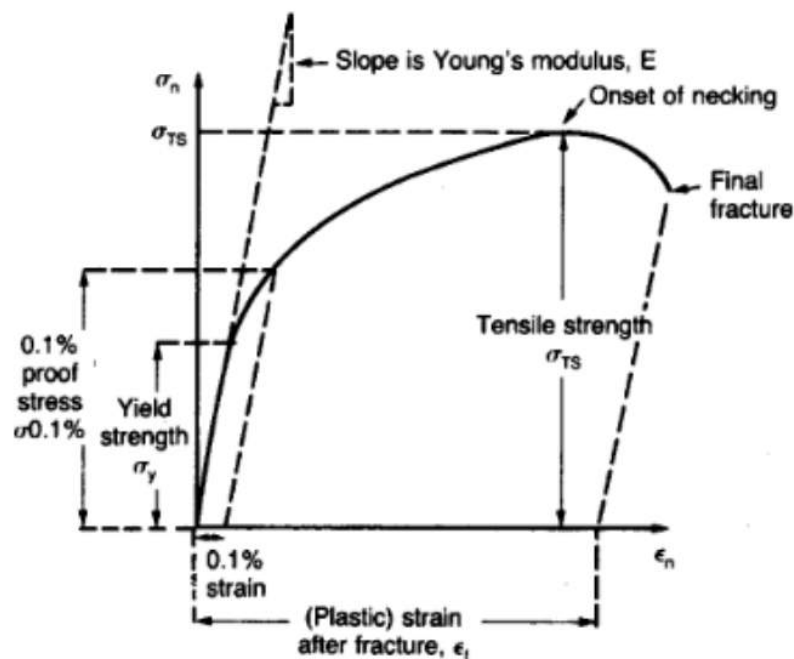
$$\varepsilon = \frac{\Delta}{L_0}$$

II.7

Besaran ini tidak berdimensi tetapi dapat juga memiliki dimensi meter per meter atau m/m. Regangan ini terkadang juga dapat diberikan dalam bentuk persen.

### II.1.3.1. Diagram Tegangan-Regangan

Diagram tegangan-regangan merupakan plot besarnya tegangan terhadap regangan (Popov, 1984). Berdasarkan eksperimen, diagram tegangan regangan berbeda untuk jenis material yang berbeda. Bahkan pada material yang sama, diagram ini juga berbeda tergantung pada suhu pengujian, kecepatan pengujian dan beberapa variabel lainnya (Popov, 1984). Contoh diagram tegangan-regangan untuk material *brittle* dapat dilihat pada gambar 2.7 berikut



Gambar 2. 7 Diagram tegangan regangan (Khlstov, et al., 2013)

### II.1.3.2. Tegangan Von Mises

Haque(2017) menjelaskan bahwa tegangan von mises merupakan kombinasi dari semua tegangan normal dalam tiga arah dan tegangan geser yang terjadi pada lokasi tertentu. Apabila tegangan von mises yang dihasilkan lebih besar dari *yield strength*, maka material tetap akan memberikan kekuatan sebesar *yield strength* dan material menjadi bersifat plastis. Kemudian jika tegangan von mises melebihi *ultimate strength* material tersebut maka material tersebut akan pecah. Suatu material atau struktur berada dalam kondisi aman selama nilai

maksimum dari *distortion energy* per satuan volume pada material lebih kecil dari *distortion energy* per satuan volume di titik luluh atau *yield* saat uji tarik pada material yang sama (Mises, 1913).

$$\sigma_{vm} = \sqrt{I_1^2 - 3I_2} \quad \text{II.8}$$

$$I_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \quad \text{II.9}$$

$$I_2 = \sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{xz}^2 \quad \text{II.10}$$

#### II.1.4. Angka Poisson

Angka poisson menunjukkan besarnya perbandingan antara regangan horizontal (*lateral strain*) dengan regangan vertikal (*axial strain*) yang diakibatkan oleh adanya beban sejajar sumbu dan regangan aksial (Yoder, 1975). Persamaan angka poisson dapat dilihat pada persamaan II.11 berikut ini.

$$\mu = \frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_v} \quad \text{II.11}$$

#### II.1.5. Modulus Elastisitas

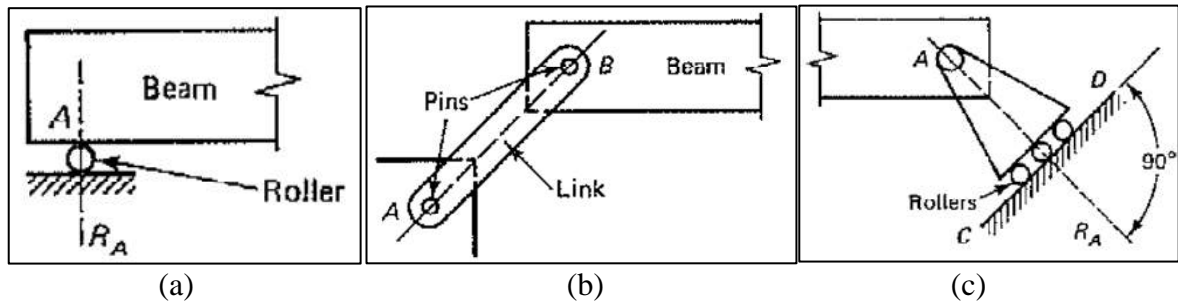
Dalam bukunya (Tripler, 1998) penentuan modulus elastisitas atau modulus young suatu bahan selalu berkaitan dengan sifat elastisitasnya termasuk batas elastis bahan tersebut. Elastis sendiri merupakan kemampuan suatu benda untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula ketika gaya yang sedang mengenainya dihilangkan. Batas elastis suatu benda terjadi pada tegangan terkecil yang dapat menghasilkan perubahan permanen pada benda tersebut. Sehingga benda tidak akan kembali ke bentuk dan ukuran semula ketika benda tersebut mendapat tegangan yang melebihi batas ini. Modulus elastis ini menentukan hubungan antara tegangan dan regangan apakah terjadi hubungan yang linier atau proporsional. Hukum yang menyatakan hubungan ini disebut dengan Hukum Hooke. Persamaan hubungan antara tegangan dan regangan dapat dilihat pada persamaan II.12 berikut ini.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \text{II.12}$$

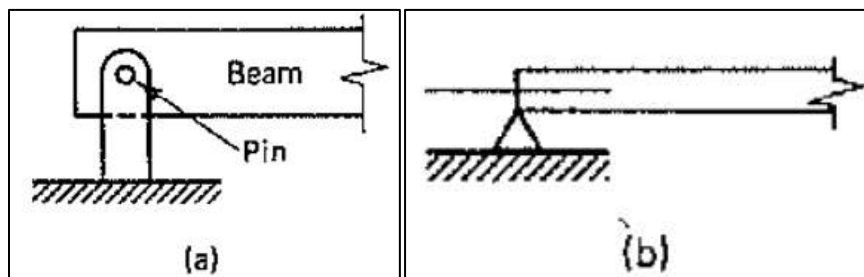
#### II.1.6. Tumpuan

Reaksi suatu struktur balok terhadap gaya yang diberikan bergantung dengan tumpuan yang terdapat pada balok tersebut. Jenis tumpuan ini ada 3 macam yaitu tumpuan *rol* atau

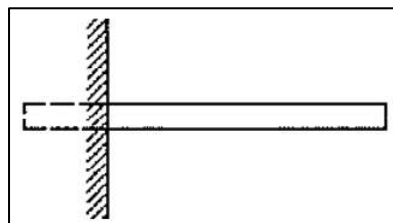
penghubung, tumpuan *pin* atau pasak dan yang terakhir adalah *fixed support* atau tumpuan jepit (Popov, 1984), dimana masing-masing ilustrasi dari tumpuan dapat dilihat pada gambar 2.8 untuk tumpuan rol, gambar 2.9 untuk tumpuan *pin*, dan gambar 2.10 untuk tumpuan jepit, sedangkan perbedaan ketiga jenis tumpuan dan reaksi yang terjadi pada masing-masing jenis tersebut dapat dilihat pada gambar 2.11 (Popov, 1984).



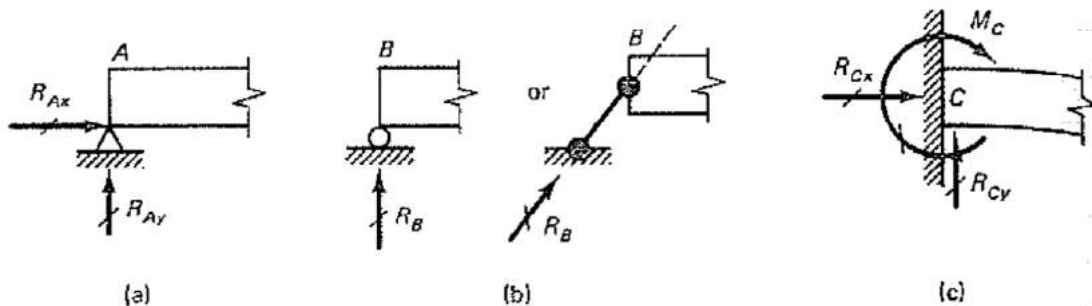
Gambar 2. 8 Macam-macam kondisi tumpuan rol (Popov, 1984)



Gambar 2. 9 Tumpuan *pin* pada kondisi aktual (a) dan bentuk diagram (b) (Popov, 1984)



Gambar 2. 10 Ilustrasi tumpuan jepit (Popov, 1984)



Gambar 2. 11 Perbedaan ketiga jenis tumpuan *pin* (a), *rol* (b) dan jepit (c) serta reaksi yang terjadi pada masing-masing tumpuan (Popov, 1984)

### **II.1.7. Computational Fluid Dynamic (CFD)**

CFD merupakan suatu studi yang dikhususkan untuk solusi persamaan aliran fluida melalui penggunaan komputer, dimana keluaran CFD ini dapat digunakan sebagai pembandingan hasil eksperimen (Cengel & Cimbala, 2006). Setiap orang cerdas yang paham komputer dapat menjalankan CFD, namun hasil yang diperolehnya mungkin tidak selalu benar, bahkan jika *grid* yang dihasilkan tidak benar atau kondisi batas dari aliran tidak diterapkan dengan benar maka hasil dari CFD ini akan sepenuhnya salah (Cengel & Cimbala, 2006).. Langkah-langkah pada analisis CFD ini adalah (Cengel & Cimbala, 2006).

#### a. *Preprocessing*

Merupakan tahapan yang melibatkan pembuatan model atau *model importing* dari hasil CAD dan diaplikasikan ke *finite-volume-based mesh* dan dilanjutkan dengan proses memasukkan data.

#### b. *Postprocessing*

Merupakan tahapan mengenai *organization* dan interpretasi data dan gambar.

### **II.1.8. Finite Element Method (FEM)**

Metode elemen hingga adalah metode numerik untuk memecahkan masalah dari *engineering and mathematical physics*. FEM dapat digunakan untuk melakukan analisis struktural dan non struktural, dimana tipe analisis struktural adalah analisis tegangan, *buckling*, dan analisis getaran, sedangkan tipe analisis non struktural adalah analisis perpindahan panas, aliran fluida dan potensi elektromagnetik. Analisis ini didapatkan dengan menghasilkan nilai perkiraan dari sejumlah *node-node* tertentu (Logan, 2007). Langkah-langkah pada analisis FEM adalah (Logan, 2007).

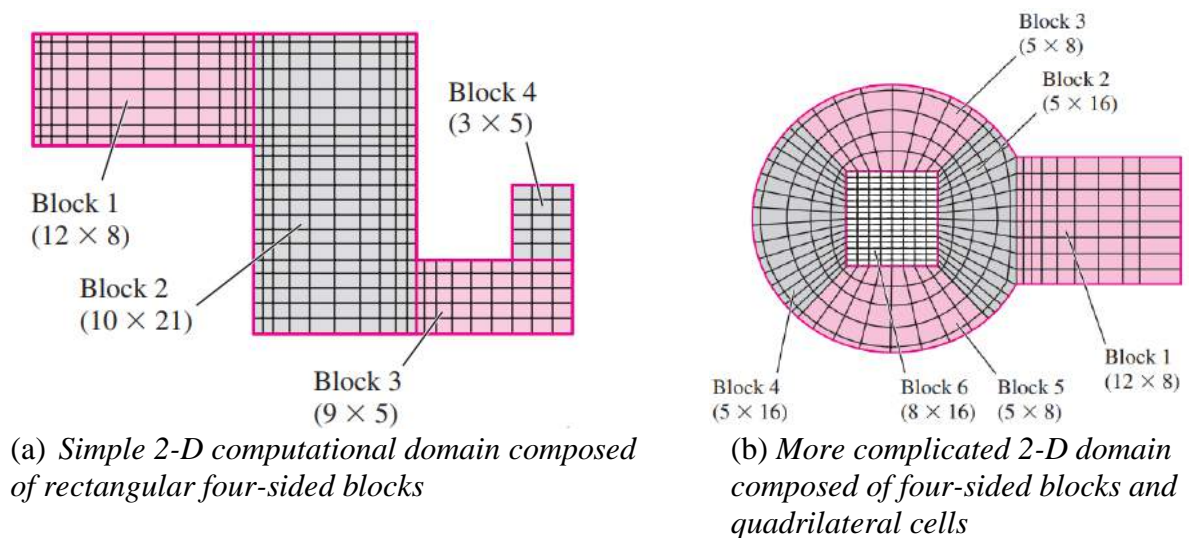
- a. Diskritisasi dan pemilihan tipe elemen
- b. Memilih *displacement function*
- c. Mendefinisikan regangan/*displacement* dan tegangan/hubungan regangan
- d. Menentukan matriks kekakuan elemen dan persamaan
- e. Menggabungkan persamaan elemen untuk mendapatkan global atau persamaan total, serta menentukan kondisi batas
- f. Menyelesaikan untuk derajat kebebasan yang tidak diketahui
- g. Menyelesaikan regangan dan tegangan pada elemen
- h. Menginterpretasi hasil

### II.1.9. Meshing

Dalam penelitiannya (Hoque, 2016) menyebutkan *meshing* atau *mesh generation* merupakan pembuatan elemen berbentuk poligonal atau polihedral yang mendekati domain geometris model. Dalam proses ini model dibagi menjadi beberapa elemen dengan ukuran yang lebih kecil. Pada metode elemen hingga, *meshing* merupakan salah satu tahapan dalam perhitungan numerik. Berdasarkan bentuk pertemuan antar elemen, *meshing* dibedakan menjadi dua tipe yaitu *structured mesh* dan *unstructured mesh*. Berikut ini akan dijelaskan lebih lanjut mengenai kedua tipe ini.

#### II.1.9.1. Structured Mesh

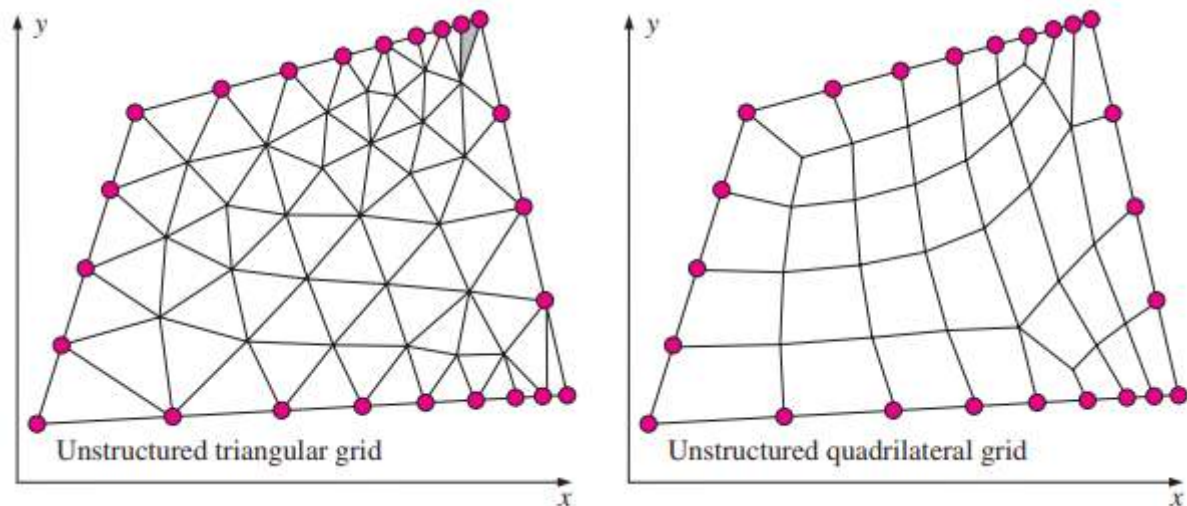
*Structured mesh* merupakan tipe *meshing* yang apabila dilihat dari *node meshing* yang dihasilkan memiliki jumlah elemen yang sama pada titik pertemuan antar elemennya. Elemen pada tipe *meshing* ini biasanya berbentuk quad atau hexagonal seperti yang ada di gambar 2.12 berikut ini.



Gambar 2. 12 Structured mesh  
(Cengel & Cimbala, 2006)

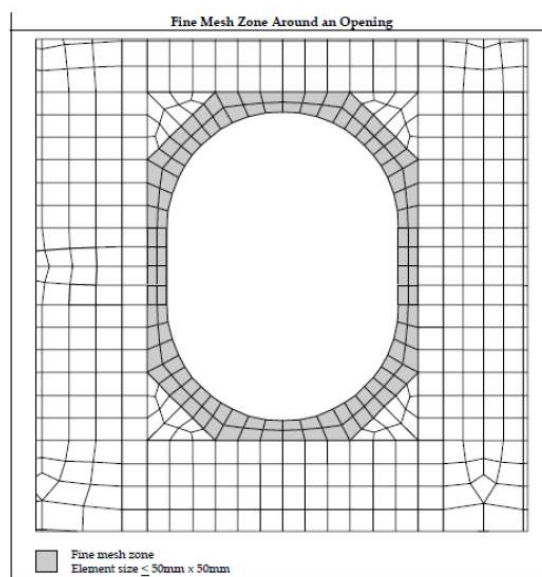
#### II.1.9.2. Unstructured Mesh

*Unstructured mesh* menghasilkan bentuk elemen maupun pertemuan antar elemen yang tidak beraturan. Elemen pada tipe *meshing* ini biasanya berbentuk tetrahedral atau triangul seperti yang ada di gambar 2.13.



**Gambar 2. 13 Unstructured mesh**  
(Cengel & Cimbala, 2006)

Ketika melakukan *meshing*, penentuan ukuran *meshing* ditentukan berdasarkan lokasinya. Pada area bertegangan tinggi harus menggunakan *fine mesh zone* (IACS, 2014). Ukuran elemen yang ada pada area tersebut tidak boleh lebih dari 50mm agar solusi yang dihasilkan mendekati penyelesaian yang sesungguhnya. Berikut ini pada gambar 2.7 diberikan contoh *fine mesh*.



**Gambar 2. 14 Fine mesh zone**  
(IACS, 2014)

### II.1.10. Grid Independence

Resolusi *grid* dan *time step* memiliki efek yang sangat besar pada hasil simulasi numerik yang tidak stabil dalam rentang tertentu (X. L., 2001). Pada prinsipnya *grid* yang sangat rapat dapat mengurangi nilai *error*, tetapi membutuhkan sumber daya yang besar,

sehingga untuk meningkatkan resolusi *grid* digunakan rasio 1/3 kemudian membandingkan kedua hasil simulasi. Jika hasil simulasi cenderung identik, maka *grid* tersebut dapat dianggap sebagai *grid independence* (Wei, et al., 2006). Sedangkan dalam penelitian (Dhana, 2018) penambahan jumlah *grid* dilakukan secara signifikan (misalnya dua kali lipat) dari satu percobaan ke percobaan selanjutnya agar perbedaan keluaran untuk masing-masing percobaan bersifat mutlak dan mencerminkan kondisi sesungguhnya.

#### **II.1.11. Grid Convergence**

Studi konvergensi merupakan acuan dalam pemilihan ukuran elemen *meshing* (Bijil, et al., 2010). Pada sebuah struktur, (Petit & Beran, 2006) menunjukkan bahwa dalam perhitungan *higher statistical moments*, diperlukan jumlah elemen yang optimum untuk mencapai elemen yang konvergen, dimana sangat penting agar jumlah elemen optimum pada masing-masing kasus struktur sehingga dapat dipastikan bahwa adanya perubahan *meshing* tidak mempengaruhi interpretasi hasil. Menurut (Anggara, 2013) jumlah elemen model telah optimum jika selisih *output* antara 2 percobaan yang berurutan dengan penambahan elemen adalah sebesar 2%.

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

Beberapa referensi maupun penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya terkait dengan penelitian yang sedang dikerjakan saat ini adalah.

- (Kim, et al., 2014) melakukan penelitian mengenai optimisasi hidrodinamika pada kapal LNG yang dilengkapi dengan *twin-skeg* menggunakan *CFD* dan pengujian model. Proses optimasi dan evaluasi menggunakan *Shipflow Friendship* dengan melakukan variasi berupa modifikasi bentuk dan posisi *skeg*. Penelitian ini menunjukkan bahwa *twin-skeg* dapat menjadi solusi untuk pengurangan bahan bakar hingga 13%.
- (Dwitara, et al., 2013) melakukan penelitian mengenai analisis aliran dan tekanan pada perubahan bentuk *skeg* kapal tongkang dengan pendekatan *CFD*. Kesimpulan pada penelitian ini adalah aliran fluida yang terjadi pada semua hasil simulasi kapal tongkang 160 ft dengan variasi bentuk *skeg* dan kecepatan fluida cenderung turbulen dengan nilai Reynolds Number tertinggi pada bentuk *skeg* konvensional sebesar 11652.45082 serta Semakin besar kecepatan dan sudut yang dibentuk oleh *skeg*, maka nilai *wall shear* (Pa) dan gaya hambat yang diterima akan semakin besar.
- (Widodo, et al., 2018) melakukan penelitian terkait studi variasi model *skeg* berdasarkan tahanan dan pola aliran yang melewati lambung *self propeller barge* dengan pendekatan

*CFD*. Desain *skeg* paling optimum ketika menggunakan *skeg* dengan luas permukaan *skeg* sebesar 30.59 m<sup>2</sup>, dimana menghasilkan hambatan sebesar 93.42kN dengan kecepatan aliran fluida 1.82m/s.

- (Maimun, et al., 2015) melakukan penelitian mengenai analisis peningkatan propulsi pada kapal *container* yang dilengkapi dengan *twin-skeg* dengan mengamati distribusi *wake* dan pola *streamline* aliran. Hasil penelitian ini menunjukkan kapal *container* yang dilengkapi dengan *twin-skeg* menghasilkan nilai *wake* yang lebih kecil yaitu sebesar 0.209. daripada ketika menggunakan *single skeg*.
- (Putra, et al., 2017) melakukan penelitian mengenai analisis pemasangan *skeg* pada linggi haluan terhadap pengurangan tahanan. Pemasangan *skeg* dengan ketebalan 1%, 3% dan 5% semakin meningkatkan tahanan kapal pada kecepatan 10knot, kecuali Tongkang Lct 188 dengan ketebalan *skeg* 1% dapat mengurangi resistance namun hanya sedikit.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB III METODOLOGI**

### **III.1. Metode**

Metode yang digunakan untuk mendapatkan beban fluida akibat putaran *propeller* terhadap *skeg* kapal dilakukan pendekatan *computational fluids dynamics* yang selanjutnya menjadi pembebanan pada konstruksi *skeg* kapal. Proses perhitungan ini nantinya dibantu dengan *software finite element method*. Beberapa variasi yang dilakukan pada penelitian ini untuk proses analisis tegangan yang diterima *skeg* kapal adalah variasi kecepatan putaran *propeller* (variasi RPM) dan variasi arah putaran *propeller*.

### **III.2. Studi Literatur**

Studi literatur terdiri dari dua bagian yaitu dasar teori dan tinjauan pustaka. Dasar teori merupakan uraian mengenai teori-teori yang memiliki keterkaitan langsung dalam penyelesaian penelitian. Sedangkan tinjauan pustaka berisi mengenai referensi maupun hasil penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya dan digunakan untuk menguraikan teori maupun sebagai bahan penelitian dalam menyusun kerangka pemikiran yang berkaitan dengan penelitian yang sedang dikerjakan.

### **III.3. Pengumpulan Data**

Sebelum melakukan pengerjaan penelitian, langkah yang harus dilakukan adalah pengumpulan data. Kegiatan ini dilakukan untuk mendapatkan data-data pendukung yang berkaitan dengan kondisi yang akan dianalisis dalam penelitian. Dalam pengerjaan penelitian ini data yang digunakan berupa data sekunder yang diperoleh dari salah satu galangan kapal yang ada di Indonesia. Data-data sekunder meliputi ukuran utama kapal, *lines plan*, *propeller arrangement*, *skeg construction* dan *engine room layout*.

Kapal yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini adalah Kapal Patroli 73m, dengan detail ukuran seperti pada tabel 3.1 berikut ini.

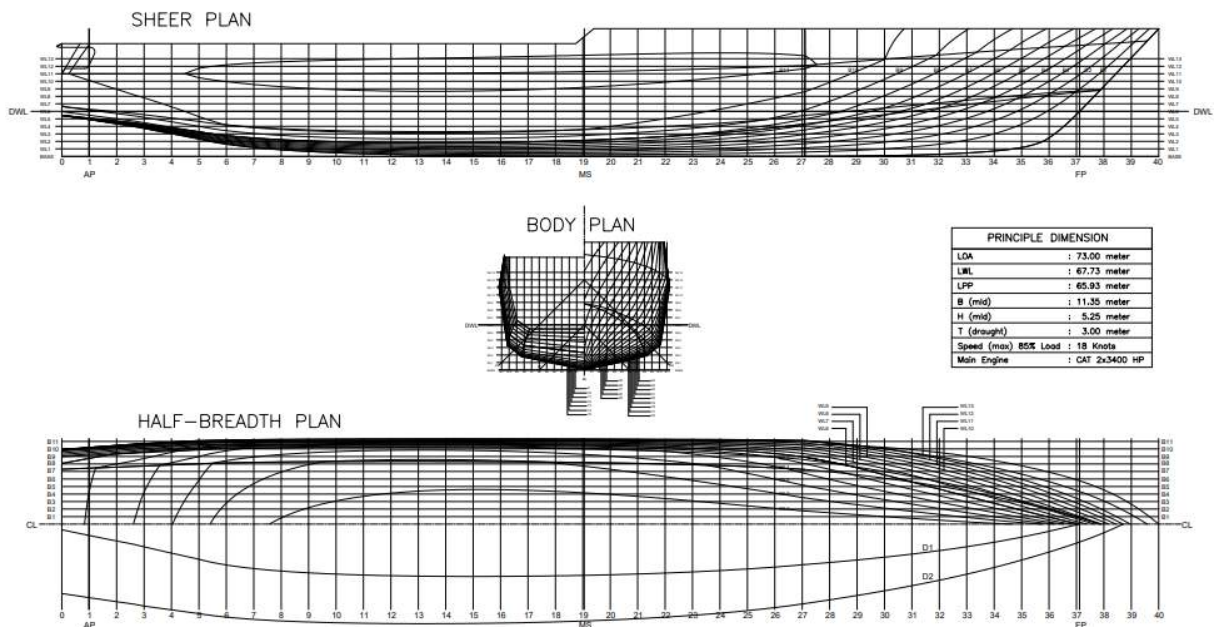
**Tabel 3. 1 Ukuran Utama Kapal**

PRINCIPLE DIMENSION	
LOA	: 73.00 meter
LWL	: 67.73 meter
LPP	: 65.93 meter
B (mld)	: 11.35 meter
H (mld)	: 5.25 meter
T (draught)	: 3.00 meter
Speed (max) 85% Load	: 18 Knots
Main Engine	: CAT 2x3400 HP

Sumber : PT.XX, 2018

### III.3.1. Lines Plan

Selain ukuran utama kapal, data sekunder yang berhasil didapatkan adalah *lines plan* kapal seperti yang terlihat pada gambar 3.1. *Lines plan* atau rencana garis digunakan sebagai acuan dalam proses permodelan lambung kapal. Permodelan ini dilakukan melalui proses *redraw* pada *software* permodelan lambung kapal.



**Gambar 3. 1 Lines Plan Kapal Patroli 73m  
(PT.XX, 2018)**

Data *lines plan* yang telah didapatkan juga dilengkapi dengan beberapa data hidrostatik kapal yang nantinya digunakan sebagai acuan dalam validasi lambung kapal, dimana data tersebut dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut ini.

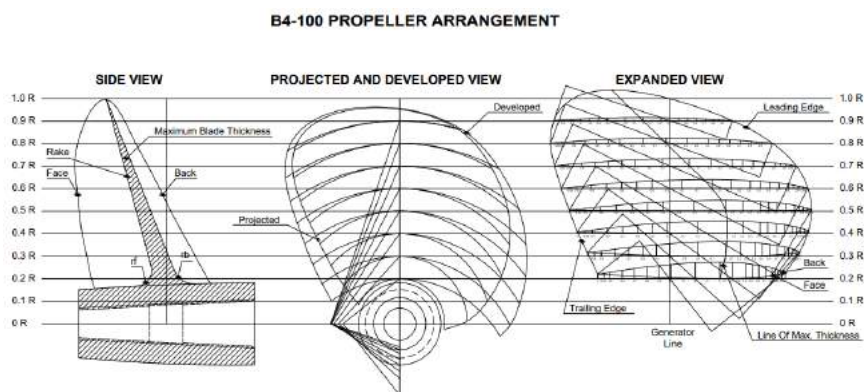
**Tabel 3. 2 Data hidrostatik kapal**

<i>Displacement</i>	: 1049.324 ton
<i>LCB (from AP)</i>	: 30.014 m
<i>CB</i>	: 0.455

Sumber : PT.XX, 2018

### III.3.2. Propeller Arrangement

*Propeller arrangement* dan *propeller particullar* dapat dilihat pada gambar 3.2 dan gambar 3.3. Data ini nantinya digunakan sebagai acuan dalam permodelan *propeller*. Hasil permodelan 3D *propeller* akan disatukan dengan model lambung dan digunakan sebagai penghasil beban yang akan mengenai *skeg* kapal dalam penelitian ini.



**Gambar 3. 2 Propeller Arrangement**

Sumber : PT.XX, 2018

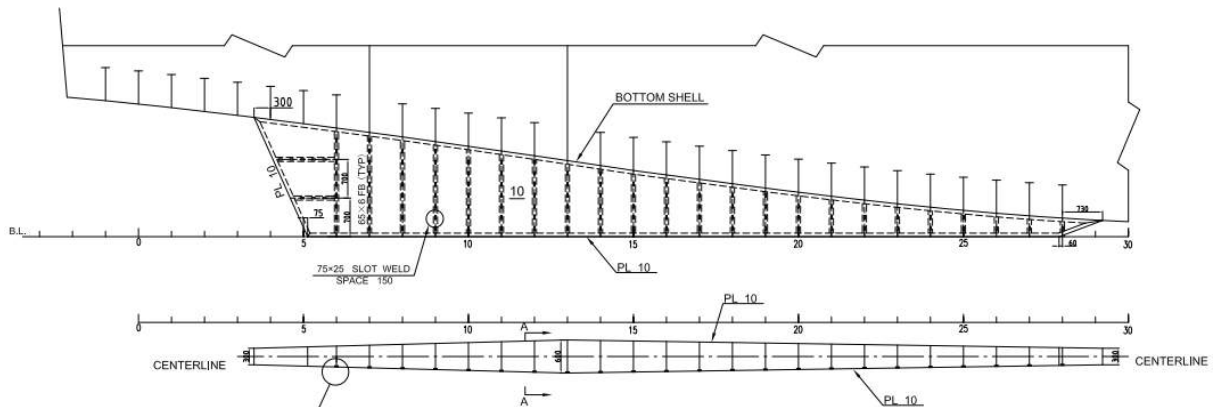
PROPELLER PARTICULLAR	: 1656 MM
PITCH ( CONSTANT ) IN MM	: 1542 MM
PITC RATIO	: 0.93
NO OF BLADES	: 4
TYPE	: B SERIES
DIRECTION	: LH & RH
MATERIAL	: MN BZ
DAR	: 0.45
<b>MAIN ENGINE</b>	
CONTINUOUS RATING	: 639.23
ENGINE RPM	: 1000
GEAR BOX RATIO	: 2.5 : 1
PROPELLER RPM	: 400
ENGINE MODEL	: CATERPILLAR C280

**Gambar 3. 3 Propeller Particullar**

Sumber : PT.XX, 2018

### III.3.3. Skeg Construction

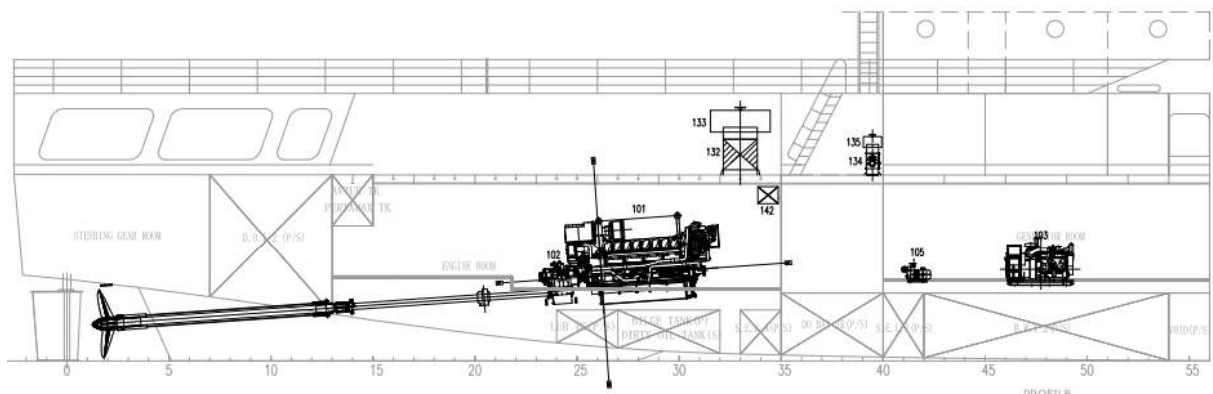
*Skeg construction* dapat dilihat pada gambar 3.4, sedangkan material yang digunakan pada *skeg* adalah baja AH36. Data ini nantinya digunakan sebagai acuan dalam permodelan *skeg*. Dalam penelitian ini, hasil permodelan 3D *skeg* akan dianalisis besarnya beban yang diterima dan kekuatan struktur *skeg*.



Gambar 3. 4 *Skeg Construction*  
Sumber : PT.XX, 2018

### III.3.4. Engine Room Layout

*Engine room layout* dapat dilihat pada gambar 3.5. Data ini nantinya digunakan sebagai acuan dalam penempatan posisi *skeg* dan *propeller* yang akan disatukan dengan lambung kapal.



Gambar 3. 5 Tampak samping *engine room layout*  
Sumber : PT.XX, 2018

### III.4. Validasi Model

#### III.4.1. Permodelan dan Validasi Model *Propeller*

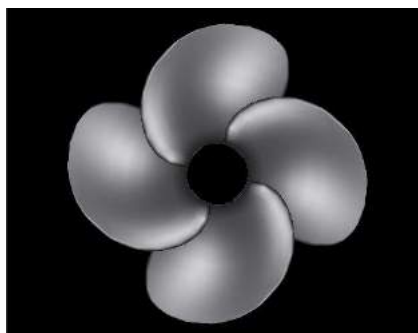
Permodelan *propeller* mengacu pada data *propeller arrangement*, dimana data-data yang diperlukan dalam permodelan ini adalah,

- Tipe *propeller*
- Rotasi
- Jumlah *blades*
- Diameter
- *Nominal pitch*
- *Expanded bar*
- *Skew angle*

Pembuatan model dilakukan menggunakan *software* CAD dengan tahapan proses seperti pengisian data *propeller* pada gambar 3.6 kemudian gambar hasil permodelan *propeller* dapat dilihat pada gambar 3.7 berikut ini.

Principal Data		
Prop Summary		
Type	FPP	
Rotation	Right	
Blades	4	
Diameter	1.656	m
Nominal pitch	1.542	m
Rake of GL aft	0.000	deg
Expanded BAR	1.000	
Skew angle	27.7	deg

Gambar 3. 6 Pengisian data *propeller*

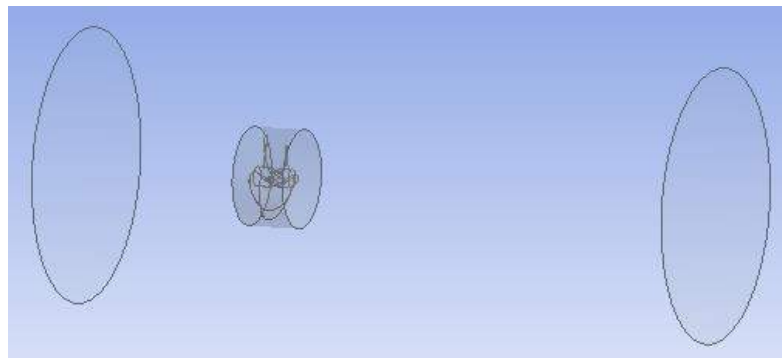


Gambar 3. 7 Model 3D *propeller*

Sebelum model 3D yang sudah terbentuk disatukan dengan lambung kapal, diperlukan validasi model *propeller* untuk memastikan bahwa model *propeller* yang telah dimodelkan sesuai dengan *propeller* yang sesungguhnya. Validasi ini dilakukan dengan membandingkan

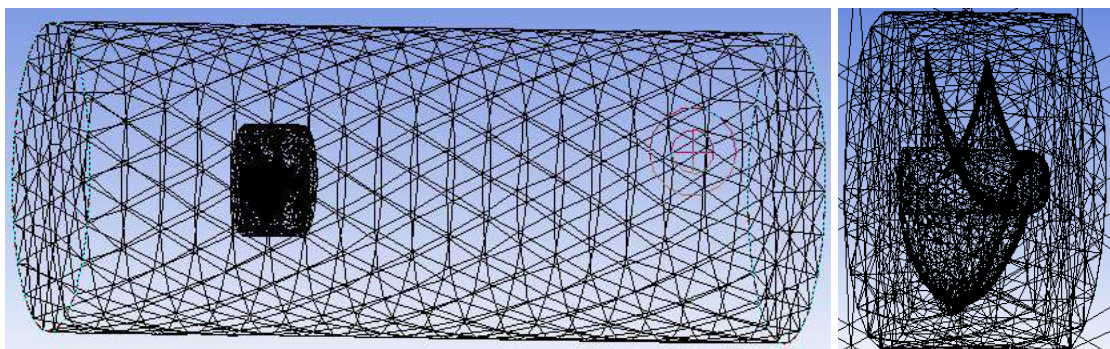
karakteristik *propeller* yaitu *thrust coefficient* (KT) model dengan diagram KT KQ. Nilai KT model diperoleh dengan mendapatkan nilai *thrust* atau gaya dorong yang dihasilkan model melalui *software finite element method*. Kemudian nilai *thrust* tersebut dimasukkan ke dalam persamaan II.1.

Model 3D *propeller* yang sudah dimodelkan pada *software CAD* selanjutnya *diexport* menjadi *file* yang berekstensi *.iges*. Setelah itu dilakukan *import file* tersebut pada *software FEM* dan dilakukan pembuatan area *inlet outlet* aliran fluida yang melewati *propeller* serta dilakukan pendefinisian bagian-bagian yang terdapat pada model. Ukuran panjang area *inlet outlet* mengacu pada (ITTC, 2014) dengan ukuran *inlet* minimum sebesar 2D dan *outlet* minimum sebesar 4D, dimana hasil permodelan tersebut dapat dilihat pada gambar 3.8 berikut ini.

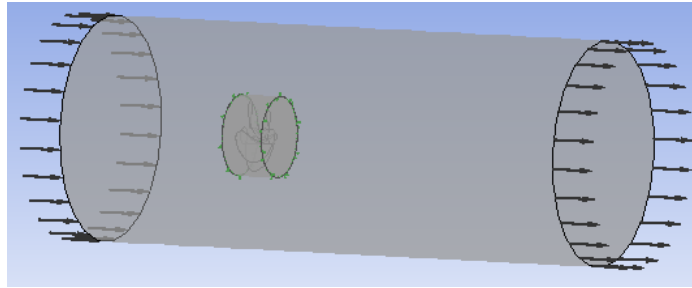


**Gambar 3. 8 Model *propeller* beserta *interface, inlet* dan *outlet area***

Setelah permodelan dan pendefinisian selesai, maka dapat dilanjutkan ke tahap *meshing* dan pengaturan *pre-solutions* dengan hasil seperti yang terlihat pada gambar 3.9 dan 3.10. Untuk mendapatkan konvergensi nilai KT pada model dilakukan perubahan variabel *growth rate* pada tahap *meshing* dan perhitungan nilai KT berdasarkan persamaan II.1



**Gambar 3. 9 *Propeller meshing***

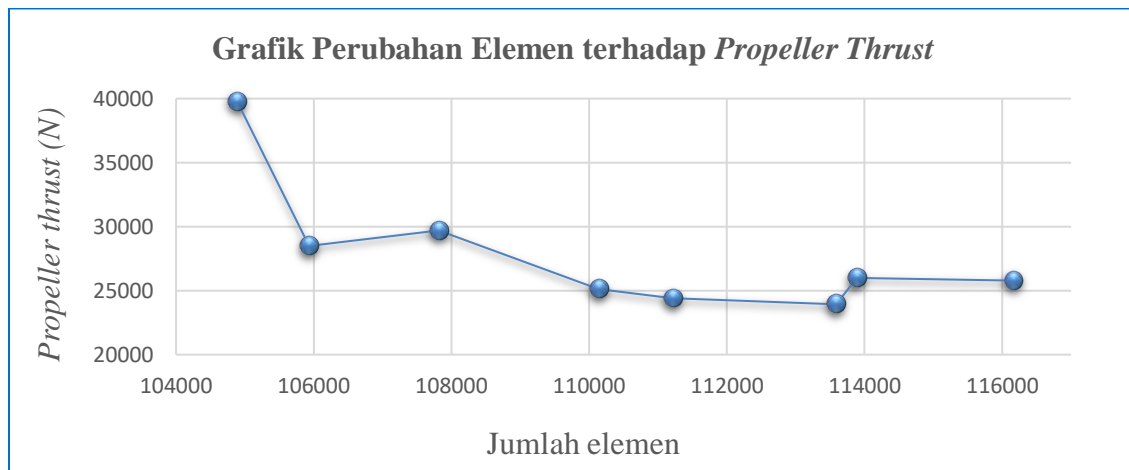


Gambar 3. 10 Hasil pengaturan pada tahap pra penyelesaian

Setelah serangkaian proses pengaturan *pre-solutions* seperti pengaturan kecepatan putaran *propeller*, kecepatan aliran fluida yang masuk ke *propeller*, arah putar *propeller* dan yang lainnya, maka dapat dilanjutkan dengan tahapan selanjutnya yaitu simulasi untuk mendapatkan nilai *thrust* yang dihasilkan oleh *propeller*, dimana nantinya nilai *thrust* ini akan digunakan untuk mendapatkan nilai KT atau *thrust coefficient* dari *propeller*. Rekapitulasi hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 3.4, namun untuk lebih memperjelas gambaran secara keseluruhan maka dibuat grafik perubahan jumlah elemen terhadap nilai *propeller thrust* seperti pada gambar 3.11.

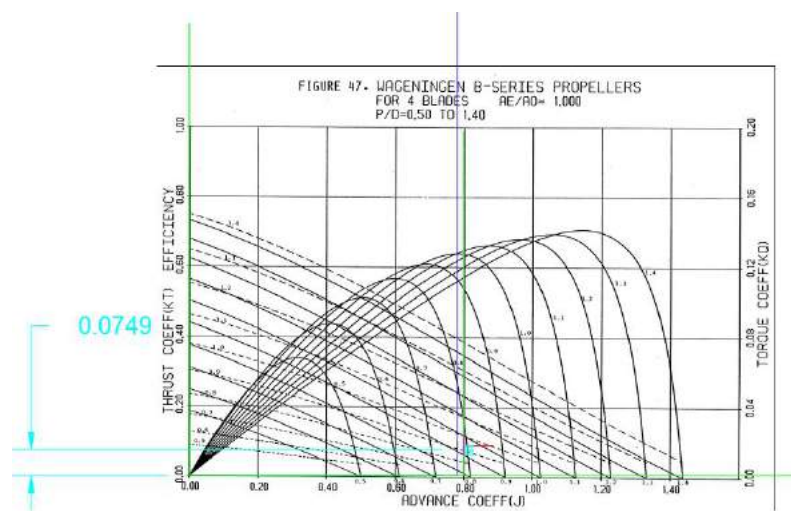
Tabel 3. 3 Rekapitulasi hasil simulasi model *propeller*

<i>Growth rates</i>	Elemen	T (N)	KT	<i>Relative Error</i>
1.7	104887	39782.9	0.116122	40%
1.69	105929	28487.2	0.083151	4%
1.68	107813	29722.3	0.086756	18%
1.67	110136	25117.1	0.073314	3%
1.66	111205	24408	0.071244	2%
1.65	113584	23934.3	0.069862	8%
1.64	113886	26010.5	0.075922	1%
1.63	116160	25794.4	0.075291	



Gambar 3. 11 Grafik perubahan elemen terhadap *propeller thrust*

Berdasarkan rekapitulasi hasil simulasi pada tabel 3.4 dan grafik perubahan elemen terhadap *propeller thrust* sebelumnya, maka dapat dilihat bahwa nilai *relative error* terkecil terdapat pada nilai *growth rate* 1.64 ke 1.63. Pada *growth rate* 1.64 didapatkan nilai KT sebesar 0.075922, dimana nilai KT ini akan dibandingkan dengan nilai KT pada gambar 3.12. Menurut gambar 3.12 nilai KT untuk *propeller* Wageningen B-Series dengan 4 daun,  $AE/A0$  bernilai 1,  $P/D$  sebesar 0.93 serta dengan *advance coefficient* bernilai 0.7966 maka didapatkan nilai KT sebesar 0.0749. Dari kedua nilai KT yang telah didapatkan ternyata terdapat perbedaan nilai KT model dengan nilai KT dari diagram KT KQ sebesar 1.36%. Penentuan nilai KT pada diagram KT KQ dapat dilihat pada gambar 3.12 berikut ini.

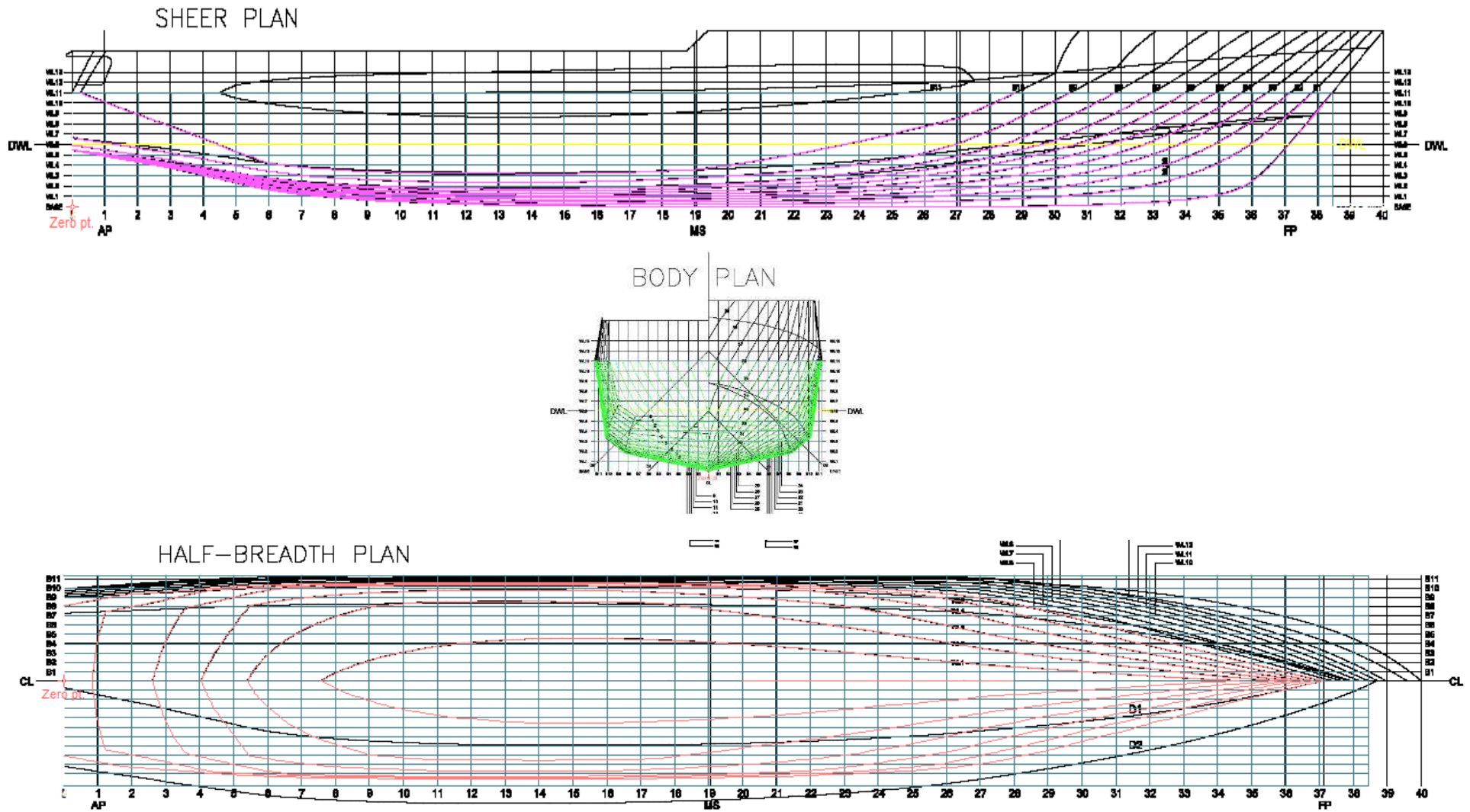


Gambar 3. 12 Penentuan nilai KT

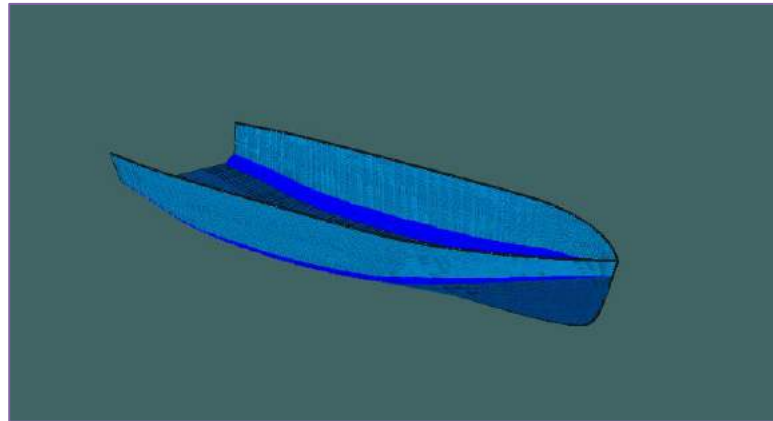
Karena perbedaan nilai KT model dengan KT pada diagram kecil, maka model *propeller* dapat dikatakan valid sehingga untuk tahap selanjutnya nilai *growth rate* yang digunakan pada *propeller* adalah 1.64 agar waktu simulasi yang akan dilakukan lebih singkat namun dalam kondisi *meshing propeller* yang sudah representatif.

### III.4.2. Permodelan dan Validasi Model Lambung

Permodelan lambung kapal dilakukan dengan melakukan *redraw* data *lines plan* serta mengacu pada data nilai *displacement*,  $CB$  dan  $LCB$  kapal. Proses *redraw* dilakukan pada 3 proyeksi tampilan kapal yaitu *body plan*, *half-bradth plan* dan *sheer plan*. Hasil dari proses *redraw* dapat dilihat pada gambar 3.13, sedangkan lambung hasil permodelan dapat dilihat pada gambar 3.14.



Gambar 3. 13 Hasil redraw dari lines plan kapal



Gambar 3. 14 Tampilan 3D lambung kapal

Berdasarkan model lambung kapal yang sudah terbentuk, maka tahap selanjutnya adalah melihat beberapa nilai hidrostatik kapal hingga setinggi sarat untuk dibandingkan dengan beberapa nilai hidrostatik kapal sesungguhnya, dimana rekapitulasi nilai hidrostatik model kapal dapat dilihat pada gambar 3.15.

Measurement	Value	Units
1 Displacement	1098	t
2 Volume (displaced)	1070.891	m <sup>3</sup>
3 Draft Amidships	3.000	m
4 Immersed depth	3.000	m
5 WL Length	67.737	m
6 Beam max extents on	10.645	m
7 Wetted Area	744.084	m <sup>2</sup>
8 Max sect. area	24.563	m <sup>2</sup>
9 Waterpl. Area	584.359	m <sup>2</sup>
10 Prismatic coeff. (Cp)	0.644	
11 Block coeff. (Cb)	0.495	
12 Max Sect. area coeff.	0.783	
13 Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.810	
14 LCB length	30.313	from zero pt. (+ve fwd) m
15 LCF length	29.229	from zero pt. (+ve fwd) m
16 LCB %	44.751	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
17 LCF %	43.151	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
18 KB	1.921	m
19 KG fluid	0.000	m
20 Bmt	4.324	m
21 BML	154.541	m
22 GMt corrected	6.244	m
23 GML	156.461	m
24 KMt	6.244	m
25 KML	156.461	m
26 Immersion (TPc)	5.990	tonne/cm
27 MTc	0.000	tonne.m
28 RM at 1deg = GMt.Dis	119.620	tonne.m

Density (water)

Std. densities

VCG

Gambar 3. 15 Data hidrostatikk kapal pada sarat 9.6m

Data hidrostatis model kapal yang telah didapatkan ini selanjutnya akan dibandingkan dengan beberapa data hidrostatis kapal sesungguhnya. Sehingga diperoleh validasi lambung kapal seperti pada tabel 3.4 berikut ini.

**Tabel 3. 4 Validasi lambung kapal hasil *redraw***

Item	Kapal	Model	Margin Error %
<i>Displacement (ton)</i>	1049.324	1098	4.639%
LCB (m)	30.014	30.313	0.996%

### III.5. Perhitungan Beban Pada *Skeg*

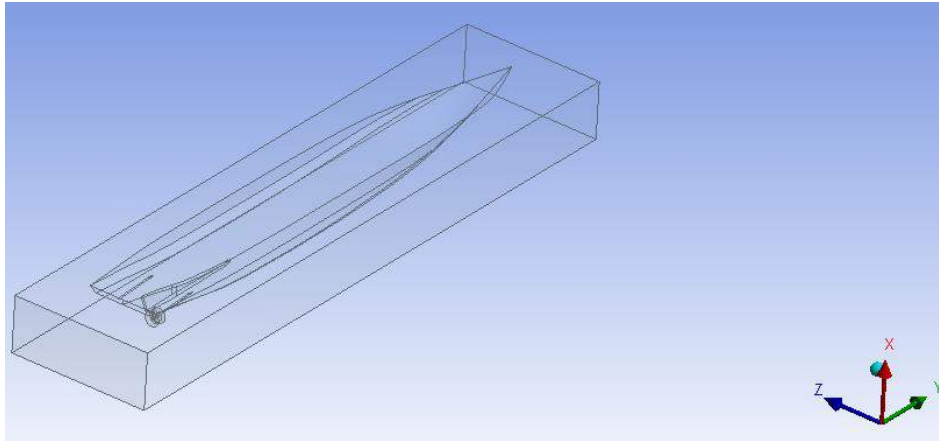
#### III.5.1. Permodelan Lambung, *Skeg* dan *Propeller*

Setelah dilakukan validasi terhadap lambung dan *propeller*, maka langkah selanjutnya adalah memasang *propeller* pada lambung kapal dan memodelkan kulit luar dari *skeg* yang kemudian juga dipasangkan pada lambung kapal. Lambung kapal yang digunakan hanya sampai pada ketinggian sarat yaitu sebesar 3m karena analisis yang akan dilakukan hanya pada area yang berada di dalam air. Agar model dapat disimulasikan maka ketiga model ini harus menjadi objek yang *solid* namun tidak menjadi satu kesatuan objek agar nantinya lebih mudah dalam mengatur ukuran elemen dari masing-masing objek, dimana hasil pembuatan ketiga model dapat dilihat pada gambar 3.16 berikut ini.



**Gambar 3. 16 Model lambung kapal beserta *propeller* dan *skeg***

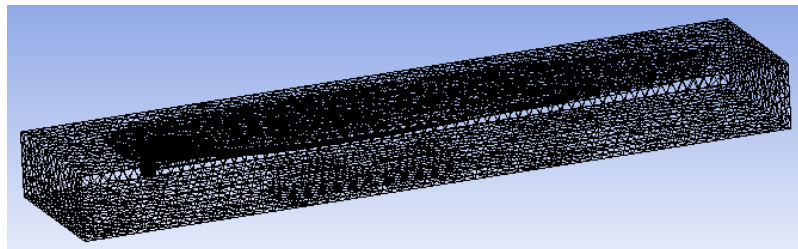
Langkah selanjutnya membuat *enclosure* untuk area fluida di sekitar kapal yang mengacu pada perbandingan panjang *inlet*, *outlet*, *side wall* dan *bottom wall* pada peraturan (ITTC, 2014). Pada simulasi ini, karena analisis yang dilakukan hanya berada di dalam air sehingga hanya terdapat satu fluida di sekeliling kapal, maka tidak akan timbul gelombang termasuk gelombang balik dari efek hantaman air dengan dinding di sekeliling lambung kapal. Selain itu untuk memperkuat tidak adanya gelombang balik dari efek hantaman air dengan dinding di sekeliling lambung maka *boundary* yang dipilih untuk pengaturan dinding adalah *no slip wall*. Dimana dengan memilih *boundary* ini maka kecepatan air pada dinding di sekeliling lambung kapal bernilai nol. Jarak *outlet* yang digunakan terhadap ujung terluar kapal adalah 1/9 LPP kapal, lalu jarak *inlet*, *bottom wall*, dan *side wall* sebesar 1/18 LPP kapal sedangkan bagian *top wall* dibuat sebesar 0.1m (kapal dianggap terendam di dalam air karena analisis yang dilakukan hanya berada di dalam air), dimana hasil pembuatan *enclosure* pada kapal dapat dilihat pada gambar 3.17 berikut ini.



Gambar 3. 17 Hasil pembuatan *enclosure* pada kapal dan *propeller*

### III.5.2. Pembuatan *Meshing*

Berdasarkan model yang telah dibuat sebelumnya dan validasi *propeller* yang telah dilaksanakan, maka pada *meshing* ini akan digunakan *growth rate* yang sama pada *propeller* ketika proses validasi sebelumnya yaitu pada *growth rate* 1.64 serta dengan pemilihan *unstructured mesh* karena bentuk lambung dan *propeller* yang rumit, dimana hasil *meshing* dapat dilihat pada gambar 3.18 berikut ini.



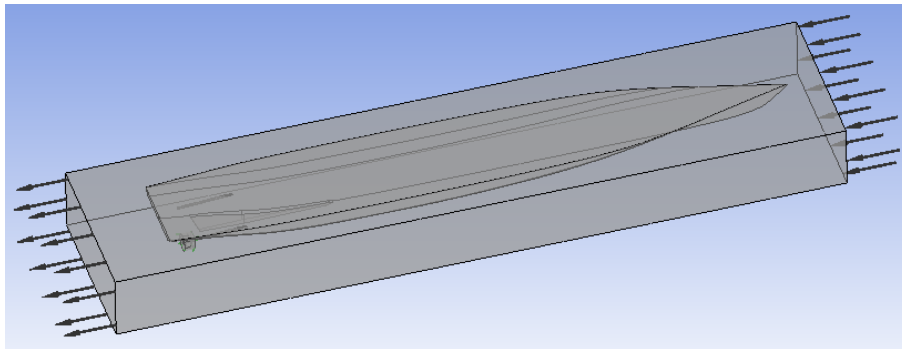
Gambar 3. 18 Hasil *meshing* pada model

### III.5.3. *Computational Fluid Dynamic Preparation*

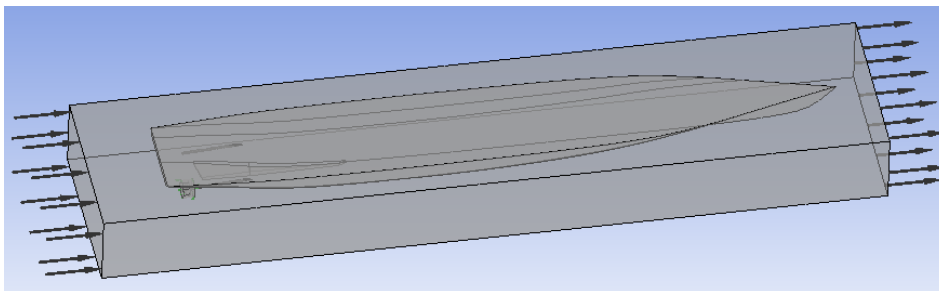
Setelah *meshing* selesai dilaksanakan, tahap selanjutnya adalah pengaturan pada model sebelum proses simulasi. Pada tahap ini beberapa pengaturan yang dilaksanakan adalah

- Penentuan arah dan kecepatan angular *propeller*
- Penentuan sumbu putar *propeller*
- Penentuan kecepatan kapal
- Penentuan letak *inlet*, *outlet* dan *wall*
- Pengaturan *solver control*

Pada penelitian ini, simulasi akan dilakukan dengan beberapa variasi diantaranya yaitu ketika *propeller* berputar searah jarum jam dan ketika *propeller* berputar berlawanan jarum jam dengan masing-masing kecepatan angular *propeller* sebesar 40% rpm atau 160 rpm, 60% rpm atau 240 rpm, 80%rpm atau 320 rpm dan 100%rpm atau 400 rpm. Simulasi pertama, model disimulasikan berlawanan jarum jam dengan kecepatan 100% rpm *propeller* yaitu sebesar 400rpm. Berdasarkan gambar 3.18 maka penentuan sumbu putar *propeller* yang digunakan adalah sumbu y. Sedangkan kecepatan yang digunakan adalah 18 knot. Penentuan *inlet*, *outlet* dan dinding di sekeliling kapal. Setelah penentuan tersebut telah dilaksanakan, maka kegiatan selanjutnya adalah penentuan *slower control*. Kegiatan ini dilakukan dengan menentukan batas kriteria konvergensi. Dimana proses iterasi akan berhenti ketika mencapai batas konvergensi yang telah ditentukan. Namun Iterasi dapat berhenti sebelum mencapai batas konvergensi jika telah mencapai jumlah maksimum iterasi yang ditentukan. Oleh karena itu jumlah iterasi dapat diisi sebanyak-banyaknya karena nantinya meskipun batas konvergensi telah tercapai namun iterasi belum mencapai nilai maksimalnya maka proses iterasi akan berhenti. Pada penelitian ini batas konvergensi yang digunakan sebesar  $10^{-4}$  sedangkan jumlah iterasi maksimum adalah sebesar 1000. Setelah pengaturan tersebut selesai, maka hasil dari pengaturan tersebut baik ketika kapal bergerak maju atau mundur dapat dilihat pada gambar 3.19 dan 3.20.



**Gambar 3. 19** Penentuan *inlet*, *outlet* dan dinding di sekeliling kapal ketika putaran *propeller* berlawanan jarum jam (kapal maju)



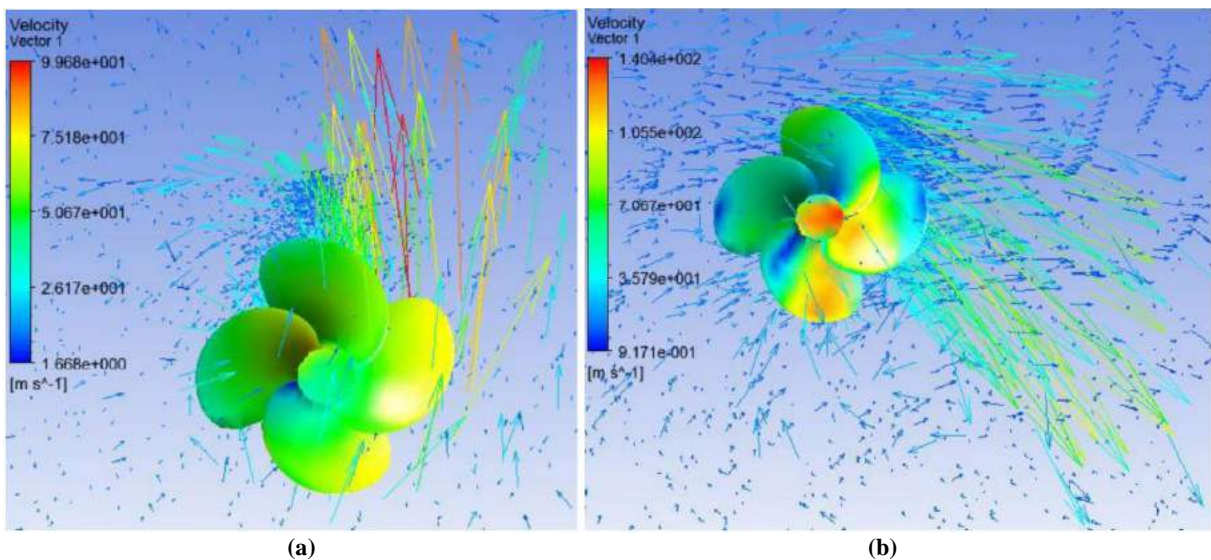
**Gambar 3. 20** Penentuan *inlet*, *outlet* dan dinding di sekeliling kapal ketika putaran *propeller* searah jarum jam (kapal mundur)

### III.5.4. Computational Fluid Dynamic Simulation

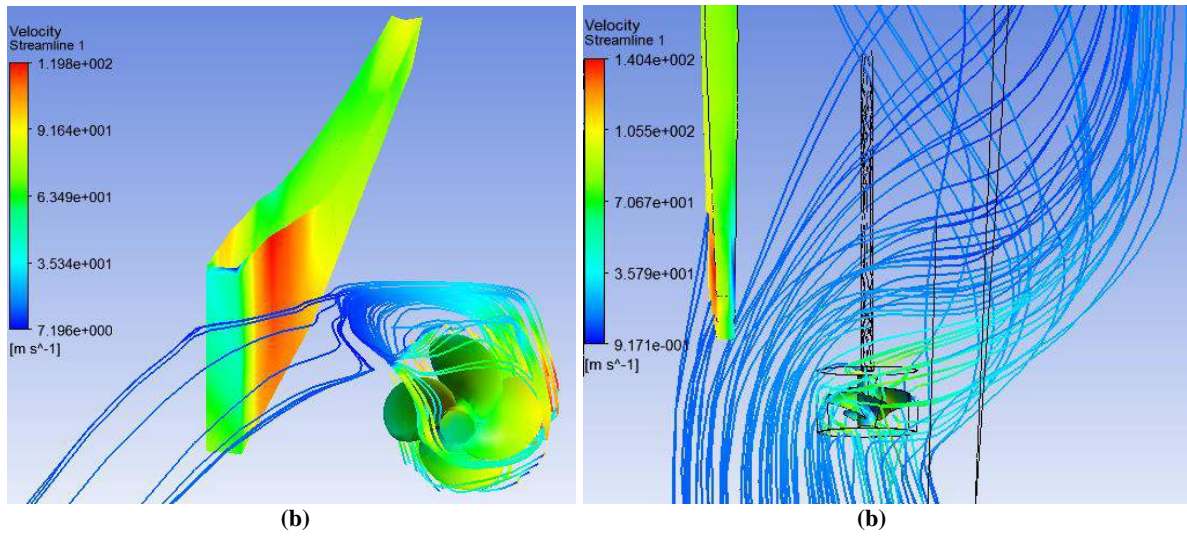
Apabila tahap *preparation* selesai dilaksanakan maka kegiatan dapat dilanjutkan ke tahap simulasi penyelesaian. Pada simulasi penyelesaian ini, karena *propeller* merupakan *fixed pitch propeller* (FPP) maka ketika kapal bergerak maju atau mundur, perubahan arah putaran *propeller* diakibatkan oleh adanya *reverse rotation* pada *main engine*. Pada simulasi ini, nilai yang akan diambil untuk analisis struktur selanjutnya adalah resultan gaya yang terjadi pada *skeg*, dimana rekapitulasi nilai resultan gaya yang terjadi pada *skeg* dapat dilihat pada tabel 3.5, sedangkan ilustrasi aliran fluida yang menabrak *skeg* akibat putaran *propeller* ketika kapal bergerak maju maupun mundur dapat dilihat pada gambar 3.21 dan 3.22, dimana aliran fluida ini akan menimbulkan beban pada *skeg* kapal yang pada penelitian ini diterjemahkan sebagai gaya resultan dengan persebaran seperti yang terlihat pada gambar 3.23 dan 3.24.

Tabel 3. 5 Rekapitulasi resultan gaya yang terjadi pada *skeg*

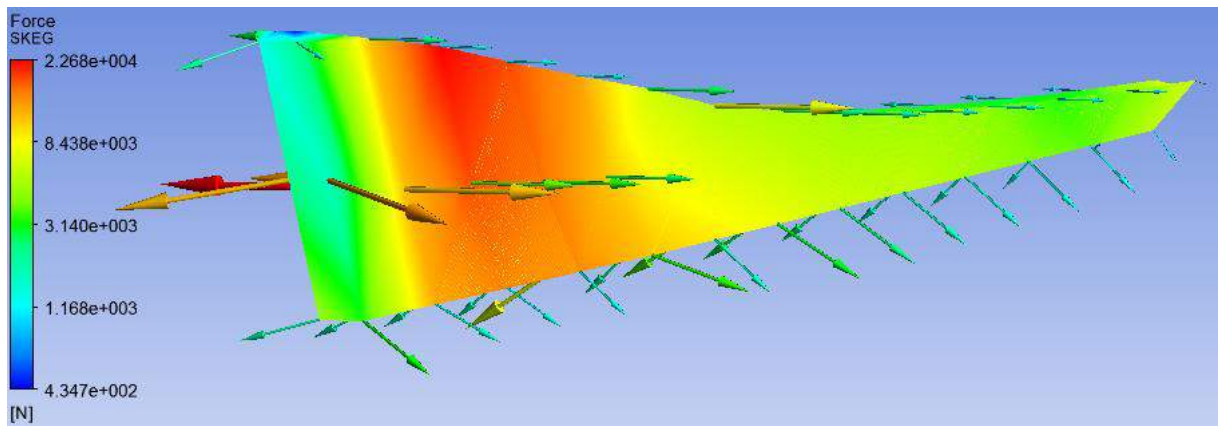
Putaran Propeller (rpm)	Resultan Gaya (N)			Resultan Gaya Total (N)
	x	y	z	
100% Ketika kapal maju	56078.3	-32632.1	142531	156600
Ketika kapal mundur	-377365	-32632.2	95435.8	389270
80% Ketika kapal maju	49116.3	-32632.3	133483	144540
Ketika kapal mundur	-295121	-32632.4	94093.8	309770
60% Ketika kapal maju	44422.6	-32632.5	125221	134260
Ketika kapal mundur	-188069	-32632.6	99079.2	212570
40% Ketika kapal maju	38098.4	-32632.7	117890	124630
Ketika kapal mundur	-100807	-32632.8	109389	148750



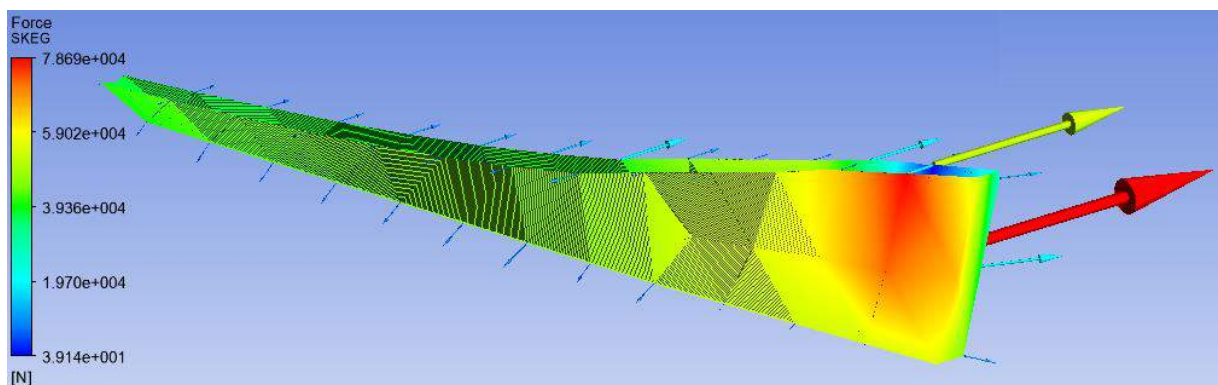
Gambar 3. 21 Ilustrasi aliran fluida di sekitar *propeller* ketika kapal bergerak maju (a) dan mundur (b)



Gambar 3. 22 Ilustrasi aliran fluida akibat *propeller* ketika kapal bergerak maju(a) dan mundur (b)



Gambar 3. 23 Persebaran gaya pada *skeg* ketika kapal bergerak maju



Gambar 3. 24 Persebaran tekanan pada *skeg* ketika kapal bergerak maundur

### III.6. Analisis Struktur *Skeg*

Analisis yang akan dilakukan pada struktur *skeg* menggunakan bantuan *software* yang menerapkan metode elemen hingga. *Output* yang akan dihasilkan dari analisis *software* ini adalah tegangan dan regangan maksimum yang terjadi pada struktur *skeg*.

### III.6.1. Engineering Data

Sebelum melakukan simulasi untuk mendapatkan nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada *skeg* maka perlu dilakukan pendefinisian jenis material yang digunakan pada struktur *skeg*. Berdasarkan data primer yang ada pada tabel 3.2 maka diketahui bahwa jenis material *skeg* adalah baja AH36. Menurut (ASTM, 1990) dan (Philip, 1982) pada tabel 3.6 berikut ini diberikan detail *physical properties* dan *mechanical properties* dari baja AH 36.

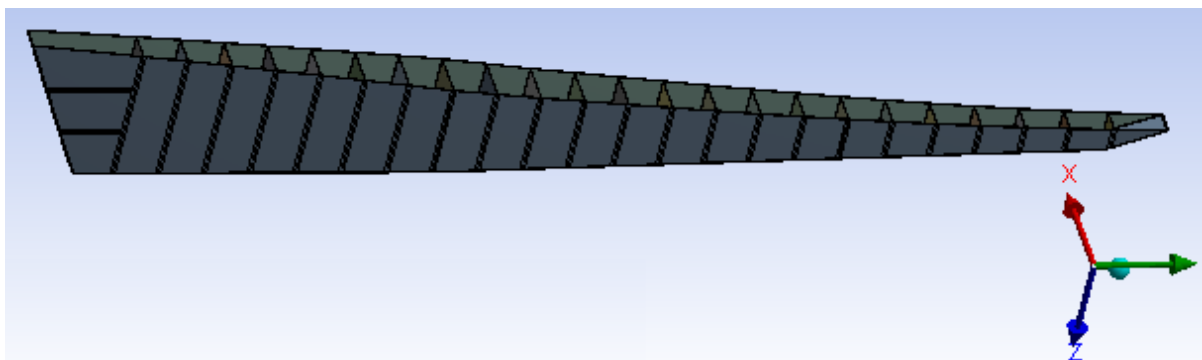
Tabel 3. 6 *Physical properties* dan *mechanical properties* baja AH 36

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.80 g/cc	0.282 lb/in <sup>3</sup>	Typical of ASTM Steel
Mechanical Properties			
Tensile Strength, Ultimate	490 - 620 MPa	71100 - 89900 psi	
Tensile Strength, Yield	350 MPa	50800 psi	
Elongation at Break	19 %	19 %	in 200 mm
	22 %	22 %	in 50 mm
Modulus of Elasticity	200 GPa	29000 ksi	Typical Carbon Steel
Bulk Modulus	160 GPa	23200 ksi	Typical for Steel
Poissons Ratio	0.29	0.29	Typical Carbon Steel
Shear Modulus	80.0 GPa	11600 ksi	Typical for Steel

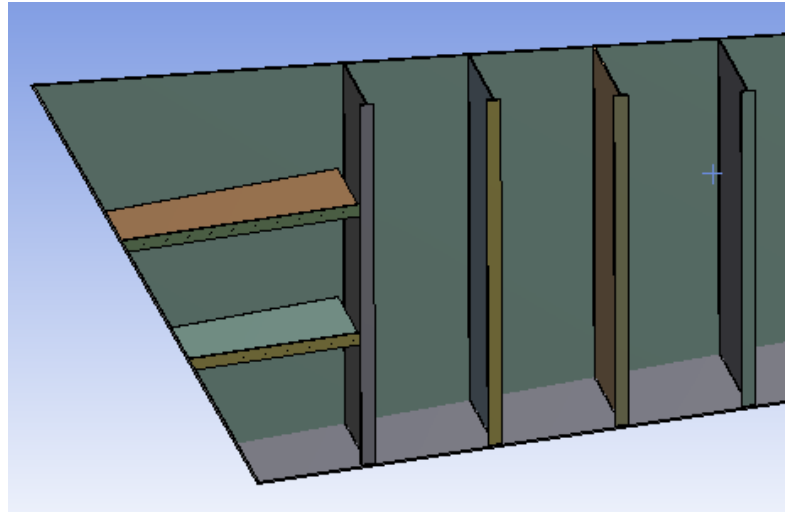
Setelah data *physical properties* dan *mechanical properties* dari baja AH 36 diketahui maka kita dapat mengatur *engineering data* dari material *skeg* yang akan digunakan pada *software* elemen hingga sesuai tabel 3.6 sebelumnya.

### III.6.2. Permodelan Skeg

Permodelan *skeg* mengacu pada gambar konstruksi *skeg* yang ada pada gambar 3.4. Model dibuat menggunakan *software CAD* dalam bentuk 3D *solid*. Hasil permodelan *skeg* dapat dilihat pada gambar 3.25 dan 3.26 berikut ini.



Gambar 3. 25 Model struktur *skeg*



**Gambar 3. 26 Model struktur penegar skeg**

Pada gambar 3.25 terdapat penegar melintang *skek* dengan tebal 8mm yang berjumlah 23 penegar sesuai pada data gambar konstruksi *skek* di gambar 3.4 sebelumnya. Dimana setiap penegar melintang berjarak 600mm serta pada masing-masing penegar melintang tersebut dihubungkan dengan *flat bar* berukuran 65x6mm pada sisi kanan *skek*. Sedangkan pada sisi kiri *skek* tidak terdapat *flat bar* namun langsung terhubung dengan plat sisi luar *skek* yang memiliki tebal 10mm. Selain penegar melintang, pada bagian belakang penegar melintang terakhir terdapat penegar memanjang hingga plat luar terbelakang *skek* dengan tebal 8mm yang masing-masing berjarak 700mm dan 1400mm dari *baseline* serta dihubungkan dengan *flat bar* berukuran 65x6mm pada bagian kanan *skek*.

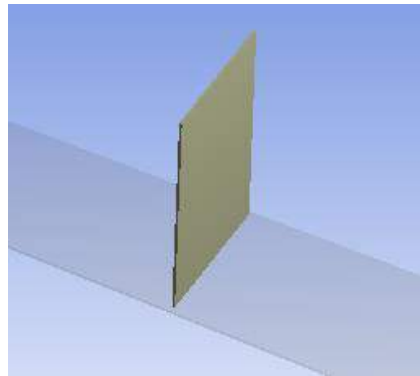
### **III.6.3. Pengecekan Sambungan**

Dalam analisis struktur, sebelum pembuatan *meshing* pada model maka diperlukan pengecekan sambungan pada struktur *skek*. Jenis sambungan yang digunakan adalah *bonded* yang berarti pada dua permukaan struktur yang disambung tidak akan terjadi pergeseran, tidak terdapat celah serta tidak akan terjadi perubahan panjang maupun luas. Meskipun sambungan pada model menggunakan tipe *bonded* yang memiliki karakteristik seperti sambungan las namun pada penelitian ini lajur las pada sambungan struktur diabaikan. Sambungan ini diantaranya terdapat pada,

1. Sambungan penegar melintang dengan plat alas *skek* dan sisi *skek*
2. Sambungan penegar memanjang dengan plat depan *skek*
3. Sambungan penegar memanjang dengan plat sisi *skek*
4. Sambungan antara plat alas *skek* dengan plat sisi, depan dan belakang *skek*
5. Sambungan antara penegar melintang dengan penegar memanjang

6. Sambungan antara penegar dengan *flat bar*
7. Sambungan antara *flat bar* dengan plat sisi kanan *skeg*
8. Sambungan antara *flat bar* dengan plat alas *skeg*

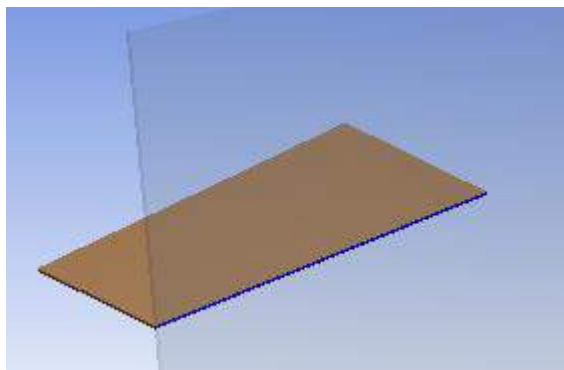
Berikut ini diberikan beberapa contoh sambungan pada struktur *skeg*, diantaranya adalah contoh sambungan penegar melintang dengan plat alas *skeg* pada gambar 3.27, penegar melintang dengan plat sisi *skeg* pada gambar 3.28, penegar memanjang dengan plat sisi *skeg* pada gambar 3.29, plat alas *skeg* dengan plat sisi *skeg* pada gambar 3.30, plat alas *skeg* dengan plat belakang *skeg* pada gambar 3.31, penegar dengan *flat bar* dan sambungan *flat bar* dengan plat sisi kanan *skeg* pada gambar 3.32 dan 3.33.



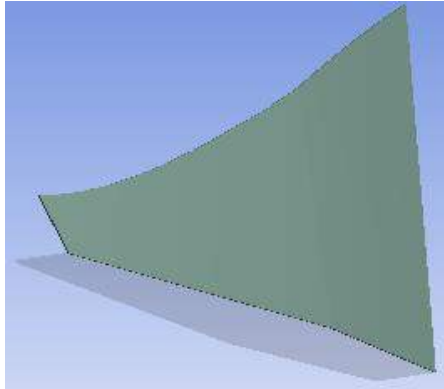
**Gambar 3. 27** Contoh sambungan antara penegar melintang dengan plat alas *skeg*



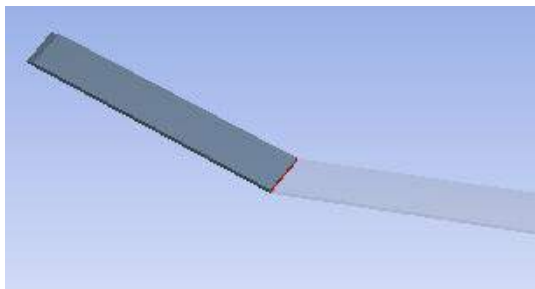
**Gambar 3. 28** Contoh sambungan antara penegar melintang dengan plat sisi *skeg*



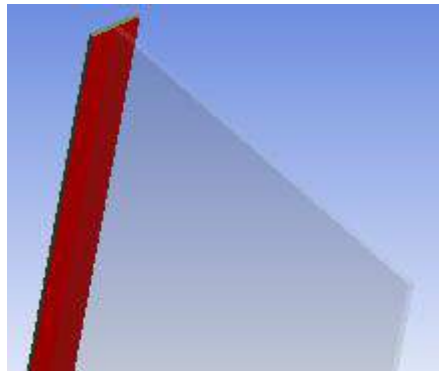
**Gambar 3. 29** Contoh sambungan antara penegar memanjang dengan plat sisi *skeg*



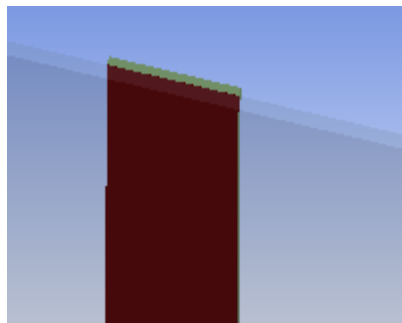
Gambar 3. 30 Contoh sambungan antara sambungan plat alas *skeg* dengan plat sisi *skeg*



Gambar 3. 31 Contoh sambungan antara sambungan plat alas *skeg* dengan plat belakang *skeg*



Gambar 3. 32 Contoh sambungan antara penegar dengan *flat bar*

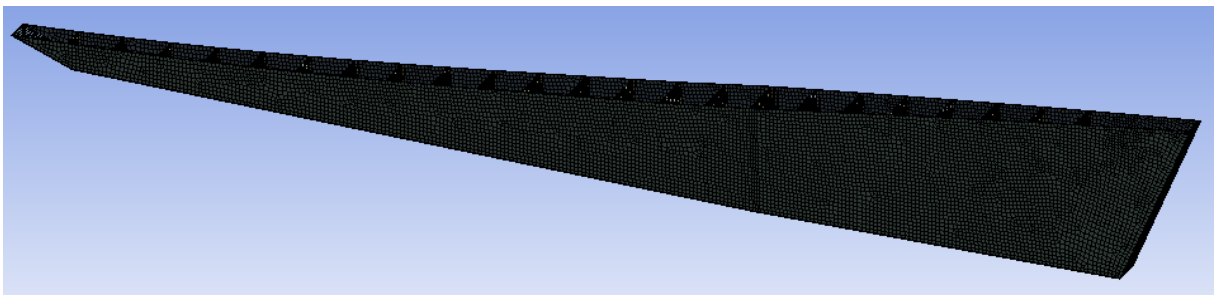


Gambar 3. 33 Contoh sambungan antara *flat bar* dengan plat sisi kanan *skeg*

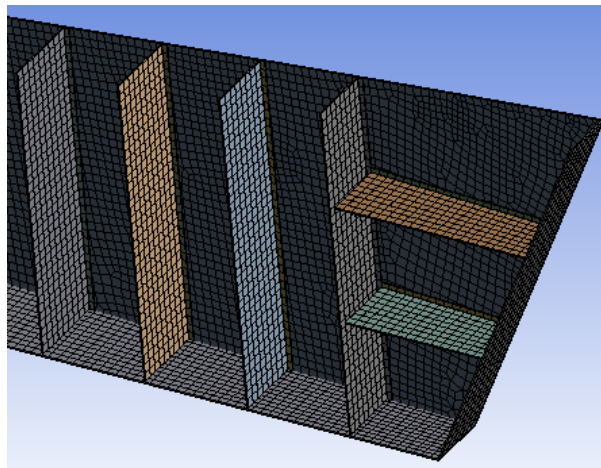
#### III.6.4. Pembuatan *Meshing*

Setelah semua sambungan struktur pada *skeg* sesuai. Kegiatan selanjutnya adalah mendeskripsikan *skeg* menjadi elemen-elemen kecil berhingga. Jenis *meshing* yang digunakan

pada model ini adalah *structured mesh* dengan bentuk elemen yang digunakan adalah tipe *hexahedron* karena struktur berbentuk 3D yang cenderung beraturan. Beberapa ukuran elemen dicoba pada kegiatan ini hingga didapatkan nilai tegangan dan regangan pada masing-masing ukuran elemen. Nilai tegangan dan regangan dari masing-masing ukuran elemen dapat dilihat pada sub bab III.6.6. Penentuan awal ukuran elemen adalah 600mm yang merupakan jarak antar penegar pada *skeg*. Sedangkan untuk ukuran elemen yang dipilih agar mendapatkan *output* yang sesuai dengan kondisi sesungguhnya, dimana *output* yang dihasilkan tidak terpengaruh dengan adanya perubahan *meshing* akan dibahas pada sub bab berikutnya yaitu pada sub bab *grid independence* dan *grid convergence*. Hasil *meshing* model *skeg* dapat dilihat pada gambar 3.34 dan gambar 3.35 berikut ini.



Gambar 3. 34 Hasil *meshing* model



Gambar 3. 35 Hasil *meshing* penegar *skeg*

### III.6.5. Kondisi Batas

Kondisi batas yang digunakan pada struktur *skeg* ini adalah *fixed support* atau tumpuan jepit pada seluruh sisi struktur-struktur yang menempel pada lambung kapal. Struktur-struktur ini diantaranya adalah bagian pangkal atas dari plat sisi, depan dan belakang *skeg*, pangkal atas dari penegar melintang *skeg*, dan pangkal atas dari *flat bar*. Pada kondisi sesungguhnya struktur-struktur ini dilas pada lambung kapal sehingga struktur-struktur ini tidak dapat

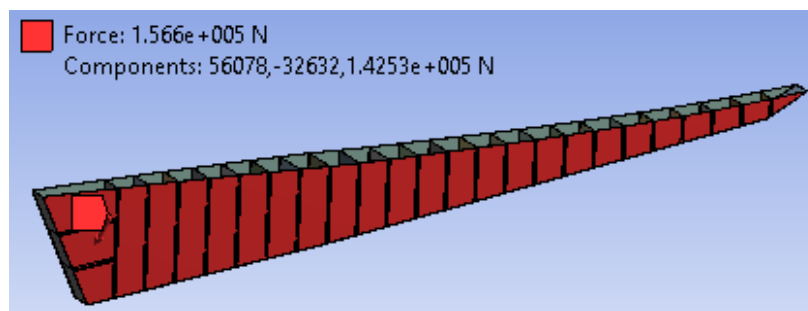
mengalami rotasi maupun translasi. Oleh karena itu *fix support* atau tumpuan jepit merupakan tumpuan yang sesuai dengan kondisi sesungguhnya.

### III.6.6. Pembebanan

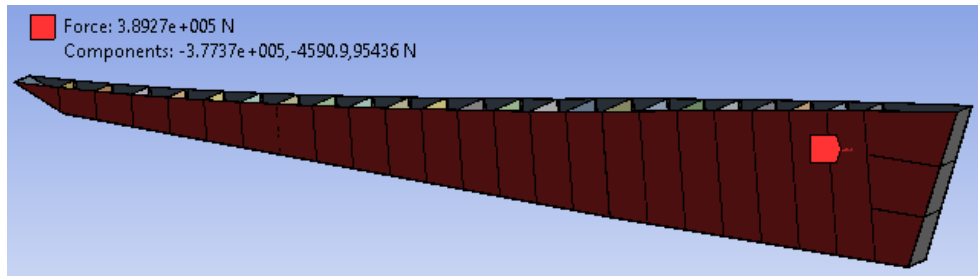
Pembebanan yang dilakukan pada struktur merupakan beban gaya yang didapatkan dari perhitungan beban gaya putaran *propeller* yang mengenai *skeg*. Besarnya gaya yang mengenai *skeg* sesuai dengan variasi kecepatan putar *propeller* seperti pada tabel 3.5 rekapitulasi gaya yang terjadi pada *skeg*. Lokasi pemberian beban gaya disesuaikan dengan arah gaya resultan yang terjadi pada plat terluar *skeg* baik ketika kapal bergerak maju maupun mundur seperti yang ada pada gambar 3.23 dan 3.24. Karena pada permodelan sumbu koordinat model (*skeg*) berbeda dengan sumbu koordinat *skeg* ketika simulasi perhitungan beban akibat putaran *propeller* maka vektor gaya sebelumnya yang mengenai *skeg* disesuaikan kembali dengan sumbu koordinat model saat ini, sehingga didapatkan gaya seperti tabel 3.7. Sedangkan gambar pembebanan pada struktur *skeg* dapat dilihat pada gambar 3.36 dan gambar 3.37 di bawah ini.

Tabel 3. 7 Rekapitulasi gaya yang terjadi pada struktur *skeg*

Putaran Propeller (rpm)		Resultan Gaya (N)			Resultan Gaya (N)
		x	y	z	
400	Ketika kapal maju	56078.3	-32632.1	142531	156600
	Ketika kapal mundur	-377365	-32632.2	95435.8	389270
320	Ketika kapal maju	49116.3	-32632.3	133483	144540
	Ketika kapal mundur	-295121	-32632.4	94093.8	309770
240	Ketika kapal maju	44422.6	-32632.5	125221	134260
	Ketika kapal mundur	-188069	-32632.6	99079.2	212570
160	Ketika kapal maju	38098.4	-32632.7	117890	124630
	Ketika kapal mundur	-100807	-32632.8	109389	148750



Gambar 3. 36 Pemberian beban gaya pada *skeg* ketika kapal maju



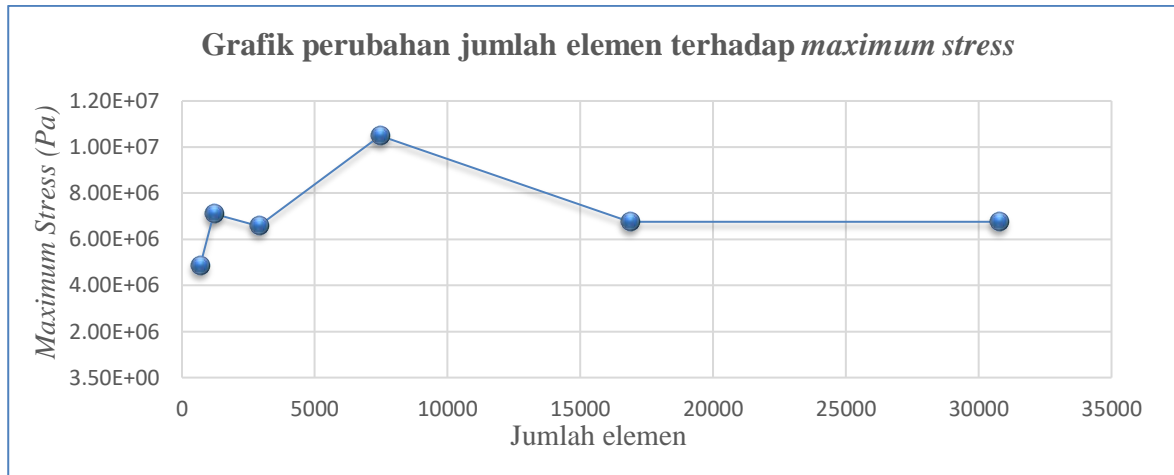
Gambar 3. 37 Pemberian beban gaya pada *skek* ketika kapal mundur

### III.6.7. *Grid Independence dan Grid Convergence*

Setelah pemberian beban pada struktur, maka dapat dilakukan ke tahap selanjutnya yaitu penyelesaian untuk mendapatkan nilai regangan dan tegangan von mises atau resultan dari semua tegangan yang terjadi pada struktur yang selanjutnya dalam penulisan disebut dengan tegangan. Simulasi penyelesaian ini dilakukan beberapa kali dengan menggunakan ukuran elemen *meshing* yang semakin mengecil hingga didapatkan hasil (tegangan dan regangan) yang sama dengan nilai *relative error* sebesar 2% meskipun dilakukan perubahan *meshing* dengan ukuran elemen yang semakin kecil dan perubahan jumlah elemen yang signifikan. Berikut ini pada tabel 3.8 diberikan hasil pengamatan *grid independence* dan *grid convergence* dari tegangan dan regangan pada struktur *skek*, serta untuk memudahkan dalam memahami perubahan jumlah elemen terhadap tegangan maksimum maka grafik perubahan jumlah elemen terhadap tegangan maksimum dapat dilihat pada gambar 3.38 berikut.

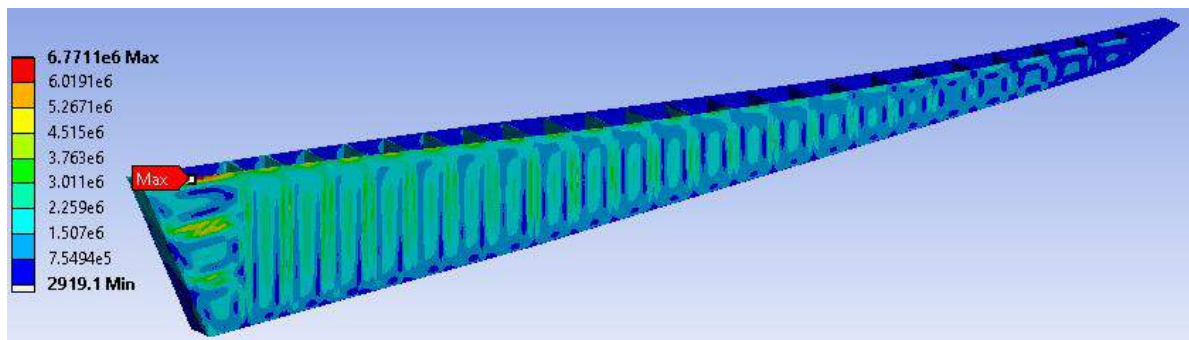
Tabel 3. 8 *Grid independence dan grid convergence* struktur *skek*

Elemen		Stress (Pa)	Deformation (mm)	Stress error relative (%)	Deformation error relative(%)
Ukuran (mm)	Jumlah				
600	681	4.84E+06	0.000141		
300	1193	7.11E+06	8.13E-05	47%	42%
150	2892	6.58E+06	1.09E-04	7%	34%
90	7458	1.05E+07	1.21E-04	59%	11%
60	16857	6.77E+06	1.09E-04	35%	10%
50	30760	6.77E+06	1.11E-04	0%	1.8%

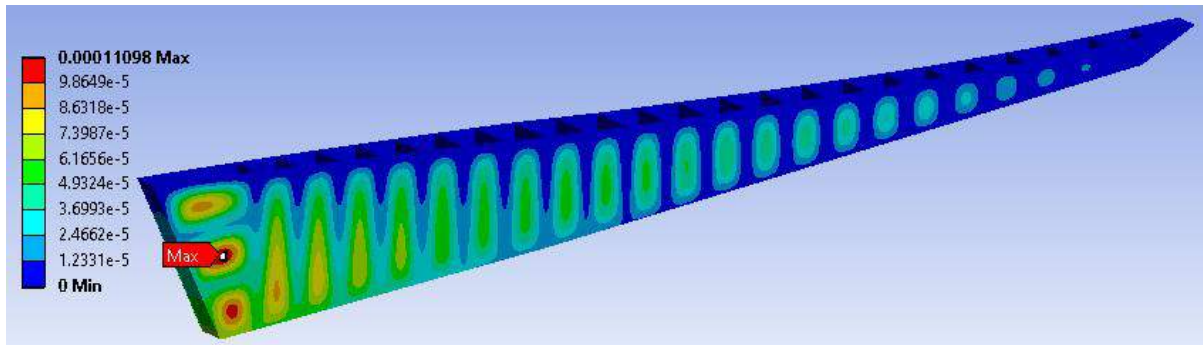


**Gambar 3. 38** Grafik perubahan jumlah elemen terhadap *maximum stress*

Pada tabel 3.8 dan grafik pada gambar 3.38 terlihat bahwa perubahan *stress* dan *deformation* yang terjadi ketika elemen berukuran 60mm dan ketika elemen berukuran 50mm dengan jumlah elemen 16857 dan 30760 buah memiliki nilai *error relative* paling kecil yaitu sebesar 0% untuk *stress error relative* dan 1.8% untuk *deformation error relative*. Berdasarkan hal tersebut, maka untuk analisis berikutnya dengan variasi kecepatan putar *propeller* yang lainnya akan digunakan ukuran elemen sebesar 50mm. Pengamatan *grid independence* dan *grid convergence* hanya dilakukan satu kali karena model struktur yang digunakan untuk variasi kecepatan angular *propeller* adalah sama, sedangkan ilustrasi persebaran tegangan dan deformasi dari hasil simulasi tegangan dan regangan pada *skeg* dapat dilihat pada gambar 3.39 dan gambar 3.40 berikut ini.



**Gambar 3. 39** Persebaran tegangan dan lokasi tegangan maksimum pada *skeg*



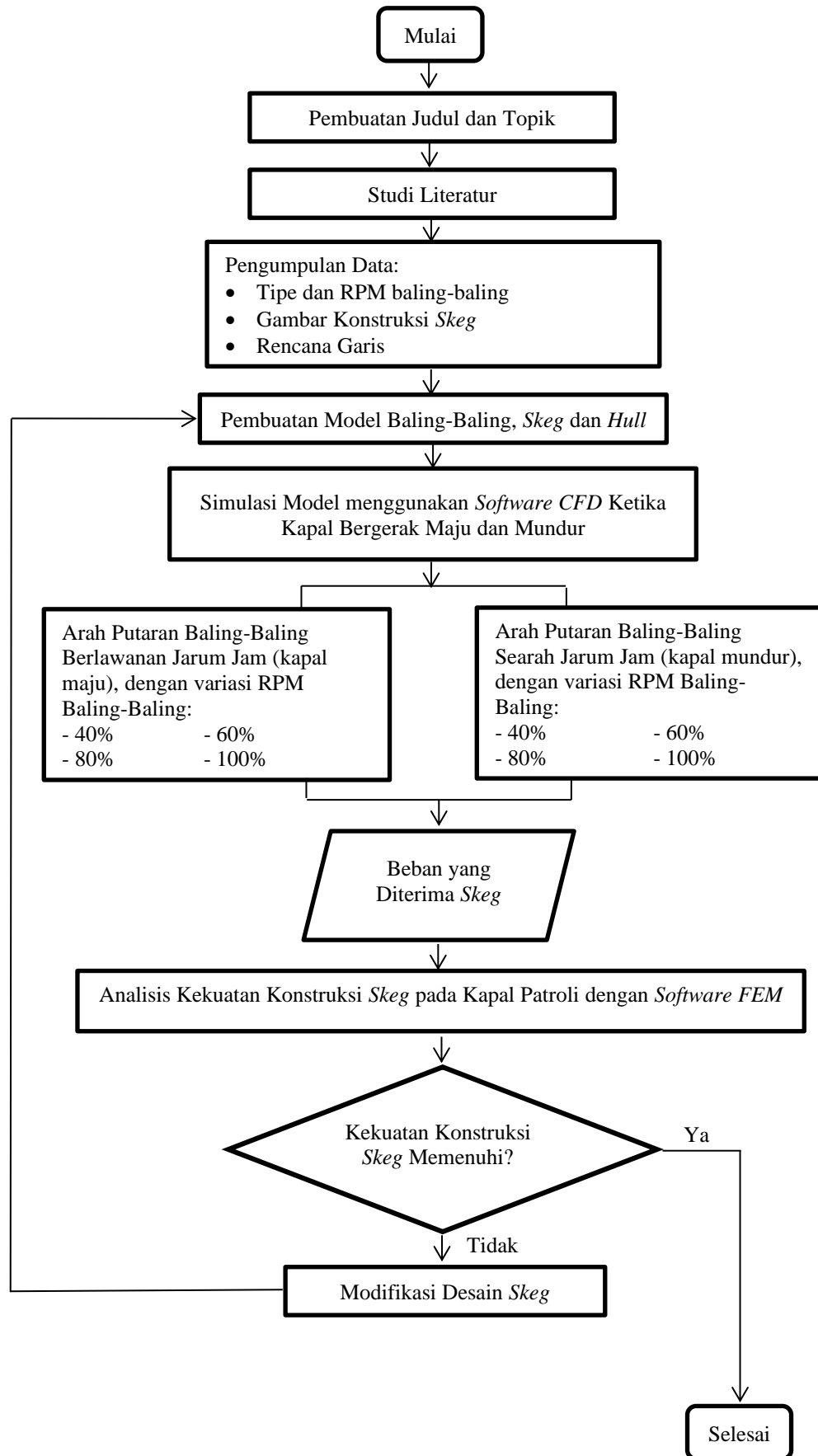
Gambar 3. 40 Persebaran regangan dan lokasi regangan maksimum pada *skeg*

### III.6.8. Analisis

Analisis dilakukan terhadap respon model *skeg* yang terjadi akibat beban putaran *propeller*. Variabel yang akan diamati dalam penelitian ini adalah tegangan dan deformasi yang terjadi pada model. Tegangan yang dimaksud adalah tegangan von mises. Sesuai dengan teori yang dijelaskan pada BAB II, tegangan von mises ini merupakan resultan dari semua tegangan normal dalam tiga arah dan tegangan geser yang terjadi. Nilai tegangan dan deformasi yang dihasilkan pada model dapat dilihat di bab selanjutnya.

### III.6.9. Diagram alir

Berikut ini diberikan diagram alir dari langkah-langkah pengerjaan dalam penelitian ini.



Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB IV**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **IV.1. Hasil dan Pembahasan Analisis**

Setelah melakukan tahapan-tahapan pada BAB III yaitu metodologi maka akan diperoleh luaran berupa tegangan dan deformasi yang terjadi pada model *skeg* untuk masing-masing variasi putaran *propeller*. Tegangan yang dihasilkan dalam analisis ini adalah tegangan von mises. Dari luaran tegangan yang terjadi pada model akan dibandingkan dengan tegangan izin material baja AH36. Struktur *skeg* dianggap memiliki kekuatan yang memadai jika tegangan yang terjadi pada *skeg* tidak melebihi nilai *minimum nominal upper yield* ( $R_{EH}$ ) material yang sebesar 350 MPa. Hasil tegangan von mises dan deformasi pada model *skeg* dapat dilihat seperti berikut ini.

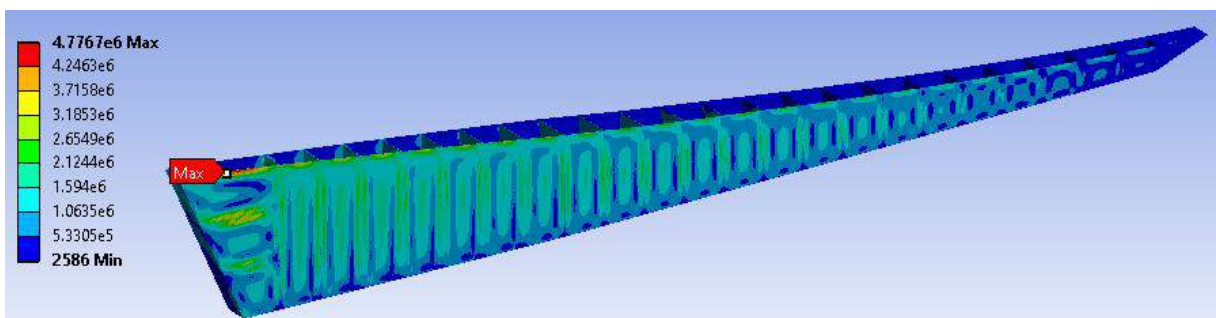
##### **IV.1.1. Gaya yang Terjadi pada Model *Skeg***

Setelah melakukan serangkaian tahapan analisis pada bab sebelumnya, diperoleh hasil analisis berupa gaya yang terjadi pada model *skeg*. Hasil analisis diperoleh dengan menggunakan *computational fluid dynamics* yang bervariasi menurut arah putaran *propeller* dan kecepatan *propeller*, dimana analisis tersebut menghasilkan rekapitulasi gaya pada bab sebelumnya, dimana nilai resultan gaya mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan kecepatan putar *propeller*. Hal ini sesuai dengan formula nilai KT pada persamaan II.1, dimana semakin besar nilai  $n$  atau kecepatan putar *propeller*, maka nilai  $T$  atau *thrust* yang dihasilkan *propeller* juga semakin meningkat. Ketika *thrust* yang dihasilkan *propeller* meningkat, maka resultan gaya dari *propeller thrust* tersebut yang mengenai *skeg* juga akan semakin meningkat. Kemudian, nilai resultan gaya yang diterima *skeg* ketika kapal bergerak mundur lebih besar daripada ketika kapal bergerak maju, hal ini dikarenakan posisi *skeg* yang berada di depan *propeller* sehingga ketika kapal bergerak mundur maka *thrust* yang dihasilkan akan langsung mengenai *skeg*. Rekapitulasi resultan gaya yang diterima *skeg* dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut.

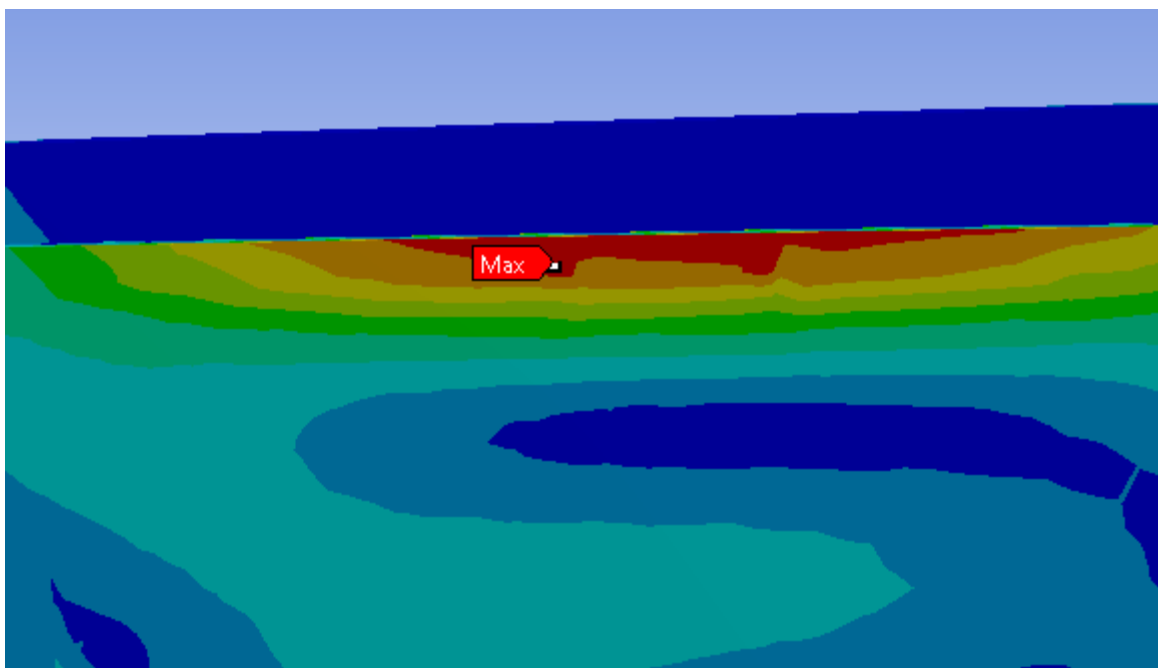
**Tabel 4. 1 Rekapitulasi gaya yang diterima *skeg* kapal**

Putaran Propeller (rpm)	Resultan Gaya (N)			Resultan Gaya Total (N)	Gaya Maksimum (N)	Gaya Rata-Rata (N)	Gaya Minimum (N)
	x	y	z				
100% Ketika kapal maju	56078.3	-32632.1	142531	156600	22676.90	11555.792	434.683
Ketika kapal mundur	-377365	-32632.2	95435.8	389270	73462.70	36736.117	9.53343
80% Ketika kapal maju	49116.3	-32632.3	133483	144540	20431.00	10394.896	358.792
Ketika kapal mundur	-295121	-32632.4	94093.8	309770	61911.20	30959.233	7.26589
60% Ketika kapal maju	44422.6	-32632.5	125221	134260	19437.70	9855.745	273.79
Ketika kapal mundur	-188069	-32632.6	99079.2	212570	46436.10	23220.272	4.44428
40% Ketika kapal maju	38098.4	-32632.7	117890	124630	18461.20	9304.222	147.243
Ketika kapal mundur	-100807	-32632.8	109389	148750	32794.40	16399.789	5.17753

#### IV.1.2. Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Maju dengan Kecepatan Putar *Propeller* 160RPM



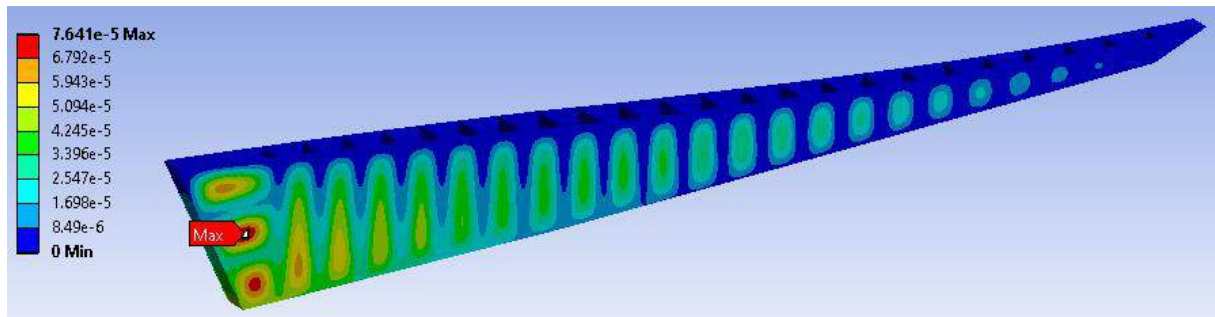
**Gambar 4. 1 Tegangan von mises pada *skeg* ketika kapal maju dengan kecepatan putar *propeller* 160RPM**



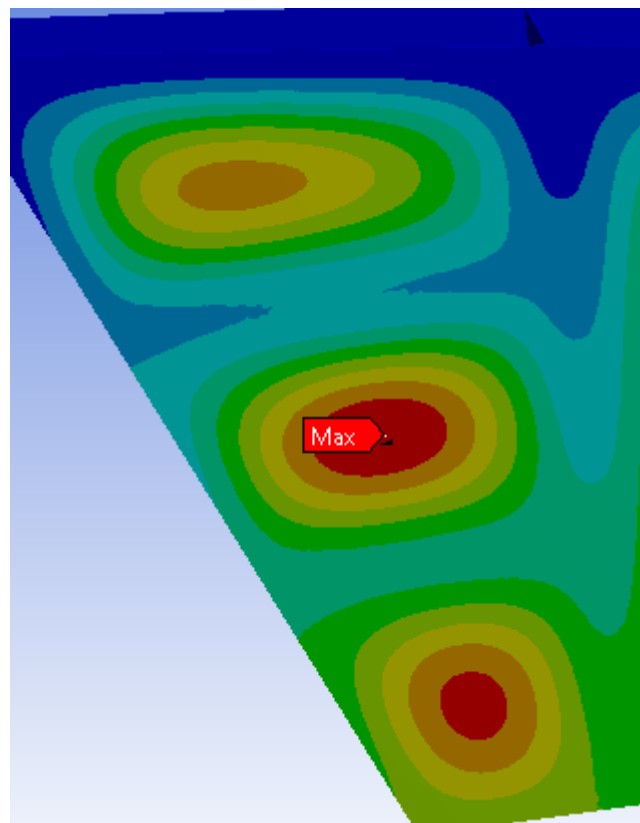
**Gambar 4. 2 Detail lokasi tegangan von mises maksimum yang terjadi pada *skeg***

Gambar 4.1 menunjukkan nilai tegangan von mises terbesar yang terjadi pada model *skeg* bernilai 4.7767 MPa, sedangkan tegangan terbesar berada di area berwarna merah pada plat sisi kanan *skeg* bagian atas yaitu pada sambungan plat sisi *skeg* dengan plat alas kapal

seperti yang terlihat pada gambar 4.2 di atas. Kondisi ini sesuai dengan konsep tegangan terbesar yang terjadi pada balok kantilever, dimana nilai tegangan terbesar terjadi pada area di pangkal jepit atau di sekitar ujung balok yang mendapat tumpuan jepit, sama seperti kasus pada *skeg* ini dimana pangkal bagian atas *skeg* disambun dengan lambung kapal sehingga pada area tersebut merupakan tumpuan jepit atau *fix support*. Sedangkan nilai tegangan von mises terkecil bernilai 0.002586 MPa yang terletak pada area berwarna biru tua.



Gambar 4. 3 Deformasi pada *skeg* ketika kapal maju dengan kecepatan putar *propeller* 160RPM

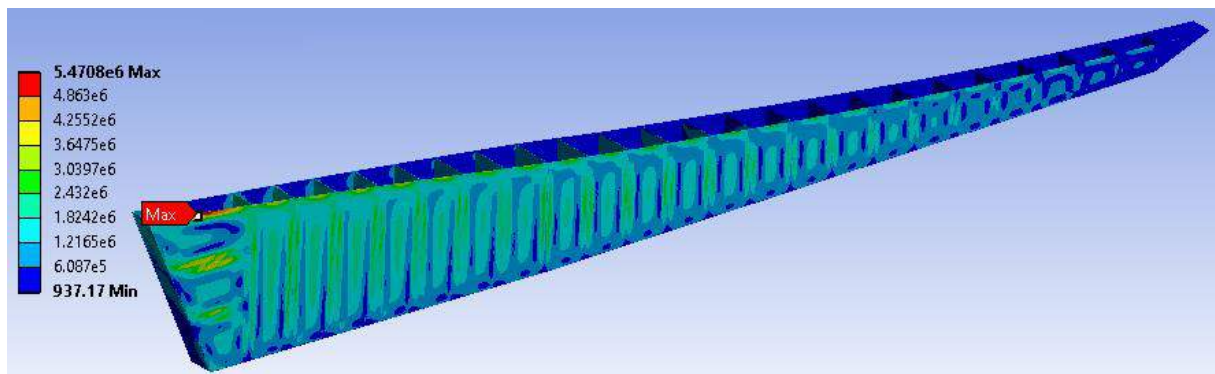


Gambar 4. 4 Detail lokasi terjadinya deformasi maksimum

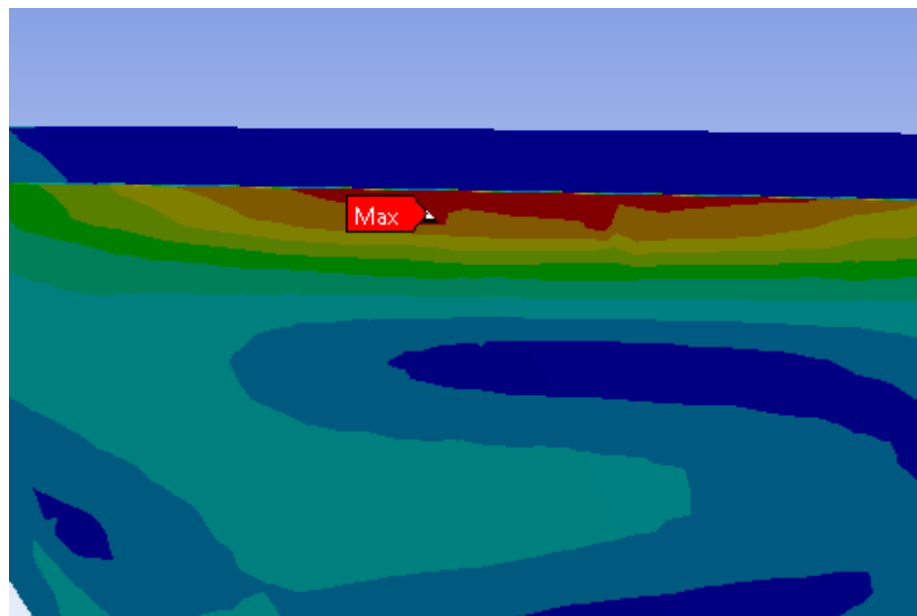
Selain tegangan von mises, variabel lain yang diamati dalam penelitian ini adalah deformasi yang terjadi pada model *skeg*. Besarnya deformasi pada model *skeg* dapat dilihat pada gambar 4.3 dengan nilai deformasi terbesar bernilai  $7.641 \times 10^{-5}$  mm, sedangkan detail lokasi terjadinya deformasi maksimum dapat dilihat pada gambar 4.4 di atas. Deformasi

terbesar berada di area berwarna merah pada plat sisi kanan *skeg* yang tepatnya berada di bagian tengah plat antara dua penegar memanjang *skeg*. Hal ini dikarenakan area tersebut merupakan plat dengan *unsupported span* terbesar dengan jarak vertikal antar penegar memanjang pada plat di *skeg* tersebut sebesar 700mm dan jarak horizontal antara penegar melintang terbelakang dengan plat *skeg* bagian belakang yang kedua terbesar setelah plat sisi *skeg* yang berada di atasnya. Kemudian ketika *skeg* mendapat beban dari samping maka plat sisi *skeg* menerima beban secara langsung dan momen inersia penampang plat lebih kecil daripada momen inersia penampang penegar di dalamnya.

#### IV.1.3. Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Maju dengan Kecepatan Putar *Propeller* 240RPM



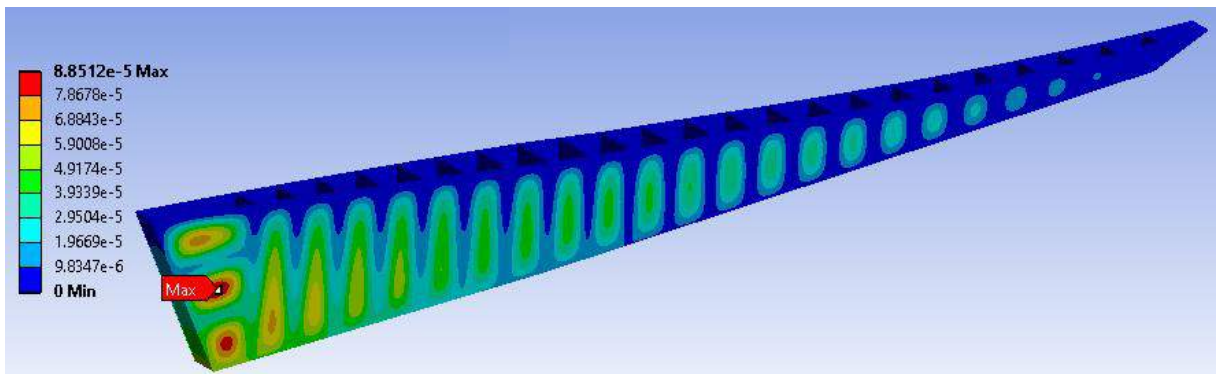
Gambar 4. 5 Tegangan von mises pada *skeg* ketika kapal maju dengan kecepatan putar *propeller* 240RPM



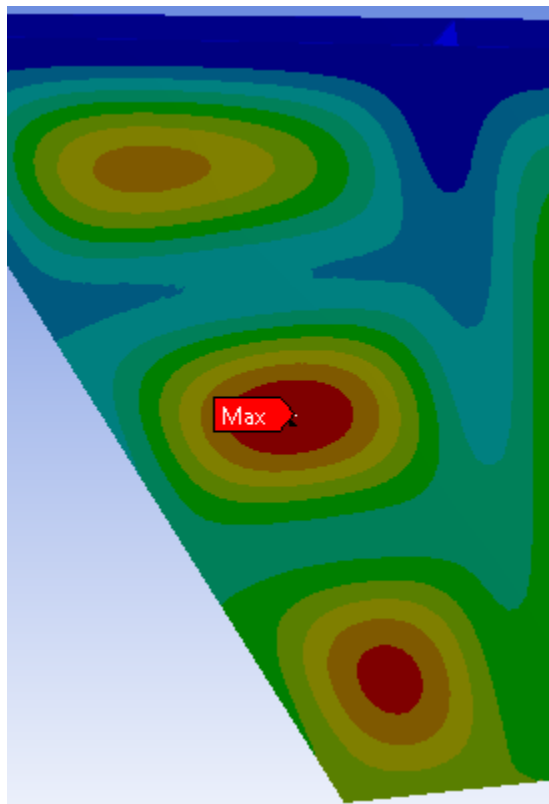
Gambar 4. 6 Detail lokasi terjadinya tegangan von mises maksimum

Pada gambar 4.5 terlihat bahwa nilai tegangan von mises terbesar yang terjadi pada model *skeg* bernilai 4.4708 MPa. Tegangan maksimum berada di area berwarna merah pada

plat sisi kanan *skeg* bagian atas yaitu pada sambungan plat sisi *skeg* dengan plat alas kapal seperti yang terlihat pada gambar 4.6. Hal ini karena *skeg* seperti balok kantilever yang ujung bagian atasnya disambung dengan lambung kapal yang berupa sambungan jepit, sehingga sesuai dengan konsep tegangan terbesar yang terjadi pada balok kantilever yaitu nilai tegangan terbesar terjadi pada area di pangkal jepit atau di sekitar ujung balok yang mendapat tumpuan jepit. Sedangkan nilai tegangan von mises terkecil bernilai 0.00093717 MPa yang terletak pada area berwarna biru tua.



Gambar 4. 7 Deformasi pada *skeg* ketika kapal maju dengan kecepatan putar *propeller* 240RPM

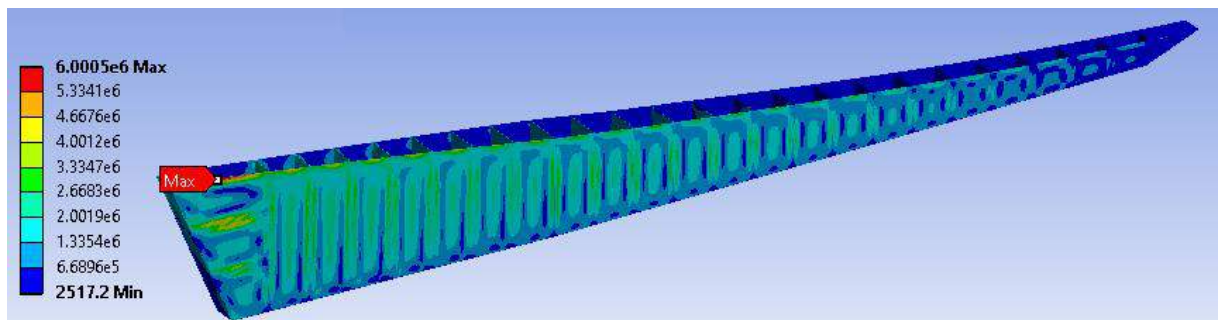


Gambar 4. 8 Detail lokasi terjadinya deformasi maksimum

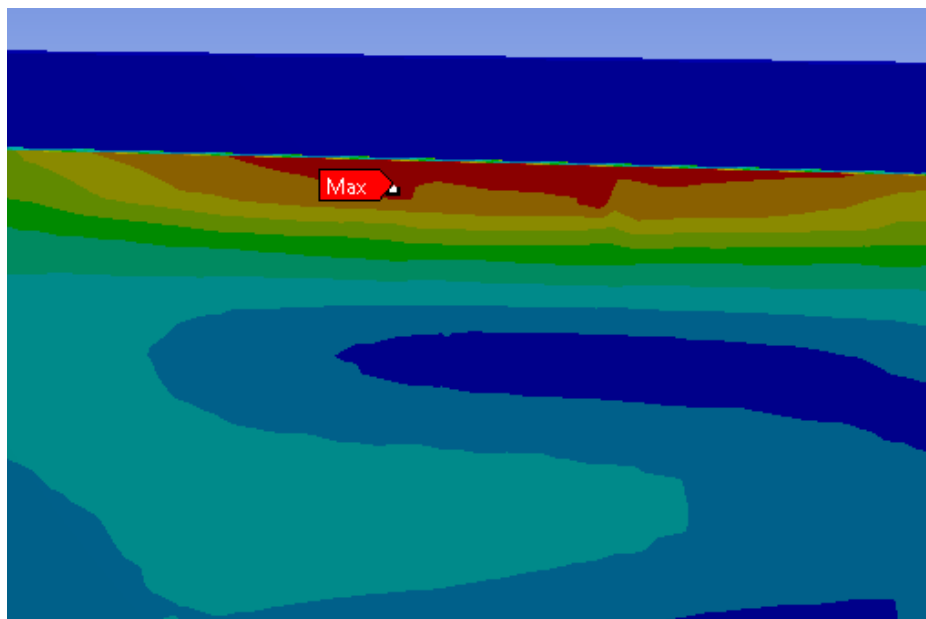
Besarnya deformasi pada model *skeg* dapat dilihat pada gambar 4.4 dengan nilai deformasi terbesar bernilai  $8.8512 \times 10^{-5}$  mm, sedangkan detail lokasi terjadinya deformasi

maksimum dapat dilihat pada gambar 4.8. Deformasi terbesar berada di area berwarna merah pada plat sisi kanan *skeg* yang tepatnya berada di bagian tengah plat antara dua penegar memanjang *skeg*. Lokasi deformasi maksimum terjadi pada area tersebut karena area tersebut merupakan plat dengan *unsupported span* terbesar dengan jarak vertikal antar penegar memanjang pada plat di *skeg* tersebut sebesar 700mm dan jarak horizontal antara penegar melintang terbelakang dengan plat *skeg* bagian belakang yang kedua terbesar setelah plat sisi *skeg* yang berada di atasnya. Selain itu karena ketika *skeg* mendapat beban dari samping maka plat sisi *skeg* menerima beban secara langsung dan momen inersia penampang plat lebih kecil daripada momen inersia penampang penegar di dalamnya.

#### IV.1.4. Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Maju dengan Kecepatan Putar *Propeller* 320RPM



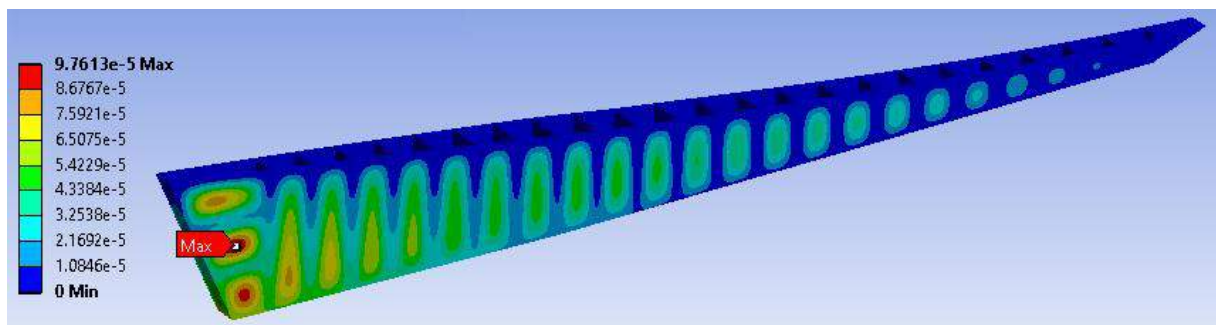
Gambar 4. 9 Tegangan von mises pada *skeg* ketika kapal maju dengan kecepatan putar *propeller* 320RPM



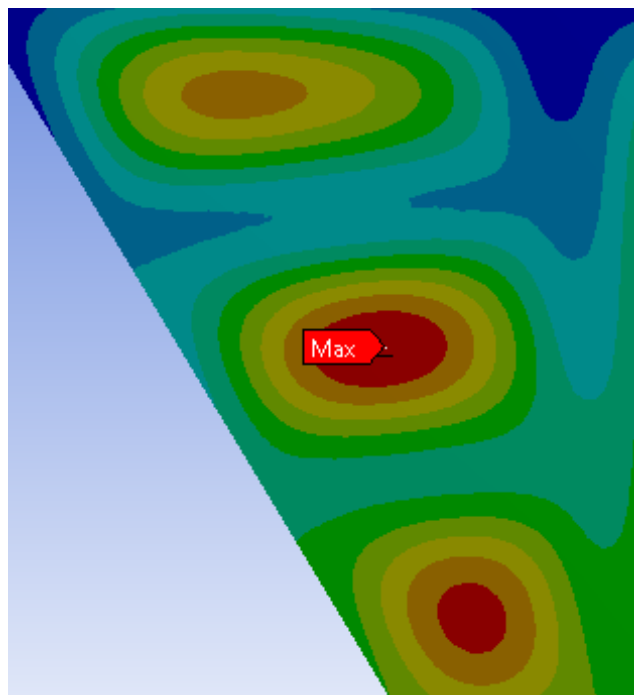
Gambar 4. 10 Detail lokasi terjadinya tegangan von mises maksimum

Gambar 4.9 menunjukkan nilai tegangan von mises terbesar yang terjadi pada model *skeg* bernilai 6.0005 MPa. Tegangan terbesar berada di area berwarna merah pada plat sisi

kanan *skeg* bagian atas yaitu pada sambungan plat sisi *skeg* dengan plat alas kapal seperti yang terlihat pada gambar 4.10. Tegangan von mises maksimum terjadi di area ini karena secara sederhana kondisi *skeg* sama seperti balok kantilever, dimana tegangan terbesar terjadi pada area di pangkal jepit atau di sekitar ujung balok yang mendapat tumpuan jepit, sama seperti kasus pada *skeg* ini dimana pangkal bagian atas *skeg* disambung dengan lambung kapal sehingga pada area tersebut merupakan tumpuan jepit. Sedangkan nilai tegangan von mises terkecil bernilai 0.0025172 MPa yang terletak pada area berwarna biru tua.



**Gambar 4. 11** Deformasi pada *skeg* ketika kapal maju dengan kecepatan putar *propeller* 320RPM

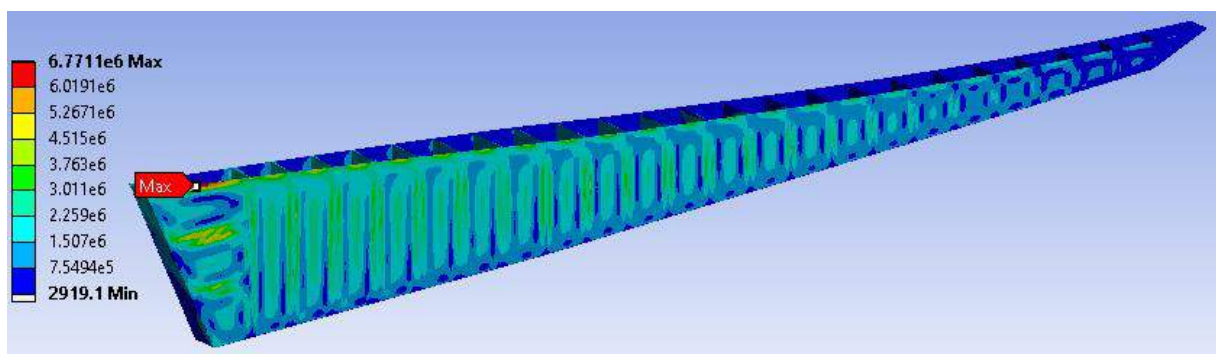


**Gambar 4. 12** Detail lokasi terjadinya deformasi maksimum

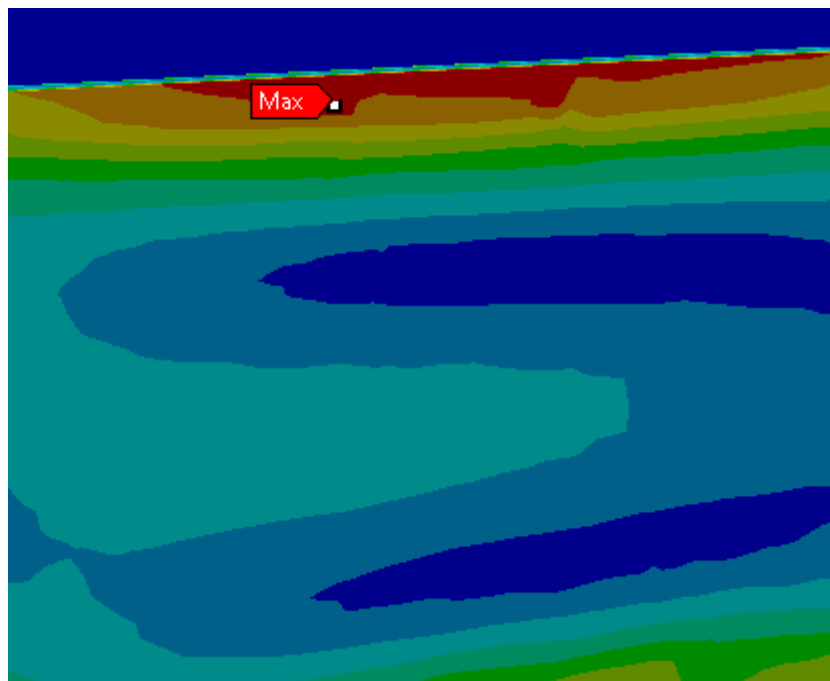
Variabel lain yang diamati dalam penelitian ini adalah deformasi yang terjadi pada model *skeg*. Besarnya deformasi pada model *skeg* dapat dilihat pada gambar 4.11 dengan nilai deformasi terbesar bernilai  $9.7613 \times 10^{-5}$  mm, seperti yang terlihat pada gambar 4.12 deformasi terbesar berada di area berwarna merah pada plat sisi kanan *skeg* yang tepatnya berada di bagian tengah plat antara dua penegar memanjang *skeg*. Kondisi ini terjadi karena area tersebut

merupakan plat dengan *unsupported span* terbesar dengan jarak vertikal antar penegar memanjang pada plat di *skeg* tersebut sebesar 700mm dan jarak horizontal antara penegar melintang terbelakang dengan plat *skeg* bagian belakang yang kedua terbesar setelah plat sisi *skeg* yang berada di atasnya. Kemudian ketika *skeg* mendapat beban dari samping maka plat sisi *skeg* menerima beban secara langsung dan momen inersia penampang plat lebih kecil daripada momen inersia penampang penegar di dalamnya.

#### IV.1.5. Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Maju dengan Kecepatan Putar *Propeller* 400RPM



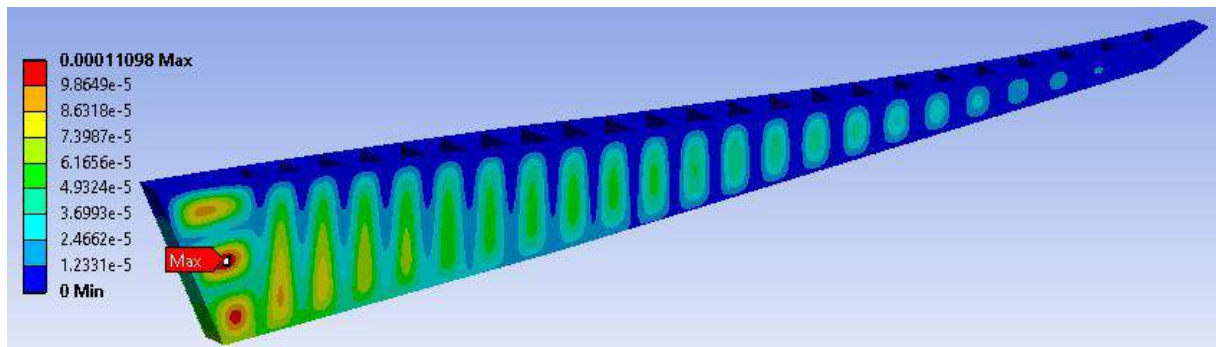
Gambar 4. 13 Tegangan von mises pada *skeg* ketika kapal maju dengan kecepatan putar *propeller* 400RPM



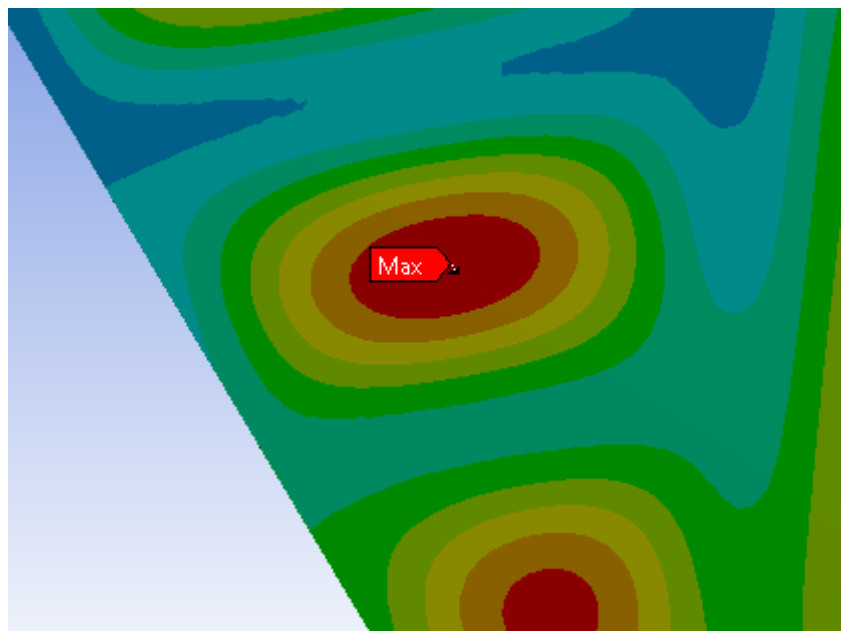
Gambar 4. 14 Detail lokasi terjadinya tegangan von mises maksimum

Nilai tegangan von mises terbesar yang terjadi pada model *skeg* bernilai 6.7711 MPa seperti yang terlihat pada gambar 4.13. Tegangan terbesar berada di area berwarna merah pada

plat sisi kanan *skeg* bagian atas yaitu pada sambungan plat sisi *skeg* dengan plat alas kapal sesuai dengan gambar 4.14. Kondisi yang demikian terjadi karena pangkal bagian atas *skeg* dilas dengan lambung kapal sehingga pada area tersebut merupakan tumpuan jepit atau *fix support*, dan seperti yang diketahui bahwa pada balok kantilever nilai tegangan terbesar terjadi pada area di pangkal jepit atau di sekitar ujung balok yang mendapat tumpuan jepit. Sedangkan nilai tegangan von mises terkecil bernilai 0.0029191 MPa yang terletak pada area berwarna biru tua.



Gambar 4. 15 Deformasi pada *skeg* ketika kapal maju dengan kecepatan putar *propeller* 400RPM



Gambar 4. 16 Detail lokasi terjadinya deformasi maksimum

Selain tegangan von mises, variabel lain yang diamati dalam penelitian ini adalah deformasi yang terjadi pada model *skeg*. Sesuai dengan gambar 4.15 B nilai deformasi terbesar bernilai  $1.1098 \times 10^{-5}$  mm, sedangkan detail lokasi terjadinya deformasi maksimum dapat dilihat pada gambar 4.16. Deformasi terbesar berada di area berwarna merah pada plat sisi kanan *skeg* yang tepatnya berada di bagian tengah plat antara dua penegar memanjang *skeg*. Hal ini terjadi karena area tersebut merupakan plat dengan *unsupported span* terbesar dengan jarak vertikal

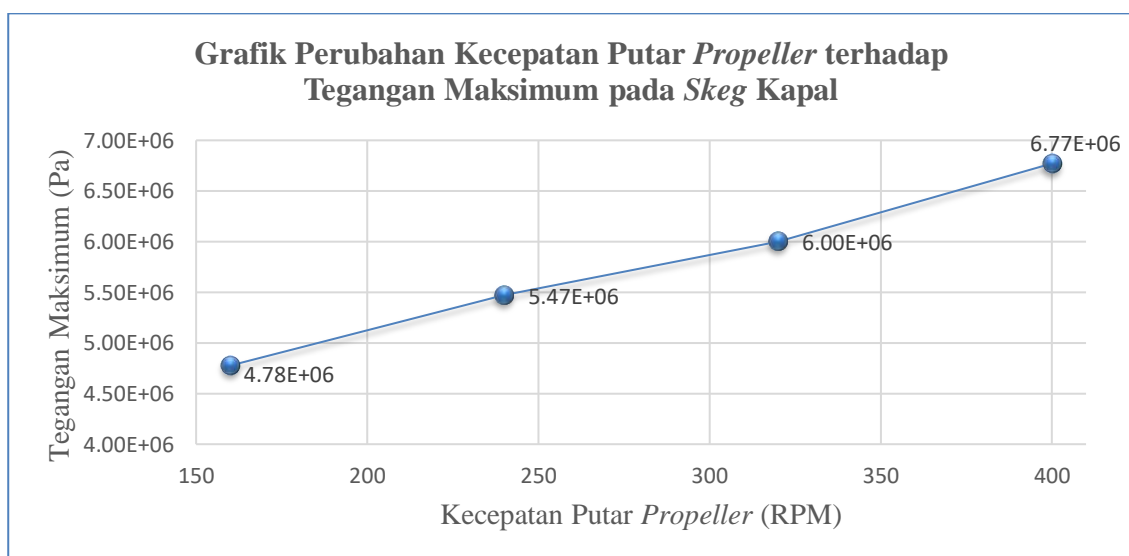
antar penegar memanjang pada plat di *skeg* tersebut sebesar 700mm dan jarak horizontal antara penegar melintang terbelakang dengan plat *skeg* bagian belakang yang kedua terbesar setelah plat sisi *skeg* yang berada di atasnya. Kemudian ketika *skeg* mendapat beban dari samping maka plat sisi *skeg* menerima beban secara langsung dan momen inersia penampang plat lebih kecil daripada momen inersia penampang penegar di dalamnya.

#### IV.1.6. Pembahasan Tegangan Von Mises dan Deformasi pada *Skeg* Ketika Kapal Maju

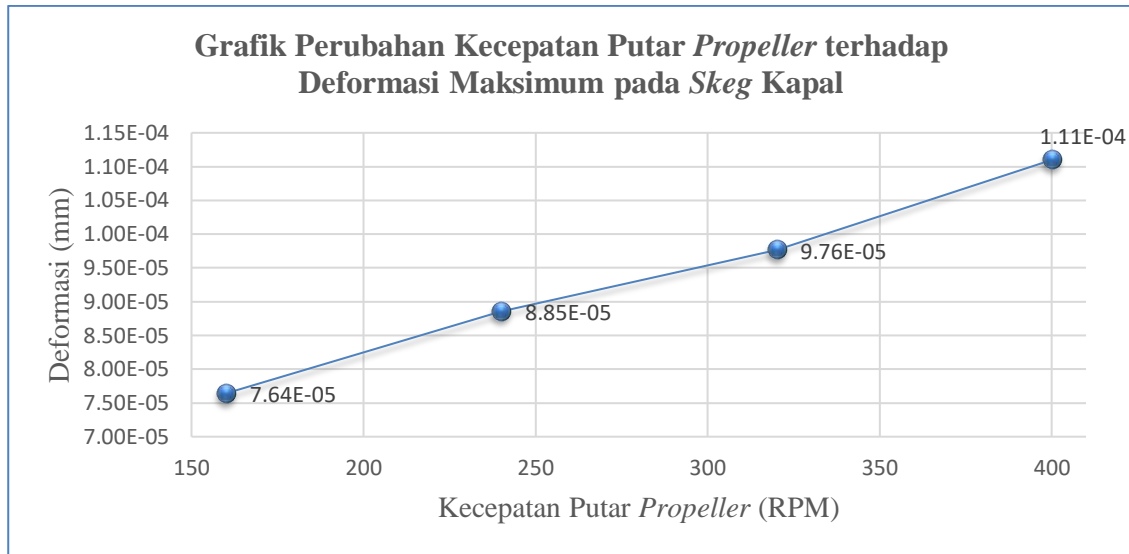
Berdasarkan hasil simulasi tegangan von mises dan deformasi yang telah dijelaskan pada sub-bab IV.1.2 hingga sub-bab IV.1.5 maka hasil tegangan von mises dan deformasi dapat ditampilkan pada tabel 4.2 berikut ini, serta untuk memudahkan dalam memahami hubungan kenaikan kecepatan putar *propeller* terhadap tegangan dan deformasi maka dapat dilihat pada grafik perubahan kecepatan putar *propeller* terhadap tegangan pada gambar 4.17 dan grafik perubahan kecepatan putar *propeller* terhadap deformasi pada gambar 4.18

**Tabel 4. 2 Rekapitulasi Nilai Tegangan Von Mises dan Deformasi ketika Kapal Maju**

Kecepatan Putar <i>Propeller</i> (RPM)	Tegangan Von Mises (MPa)	Deformasi (mm)
160	4.7767	$7.64 \times 10^{-5}$
240	5.4708	$8.85 \times 10^{-5}$
320	6.0005	$9.76 \times 10^{-5}$
400	6.7711	$11.1 \times 10^{-5}$



**Gambar 4. 17 Grafik tegangan maksimum *skeg* ketika kapal maju**



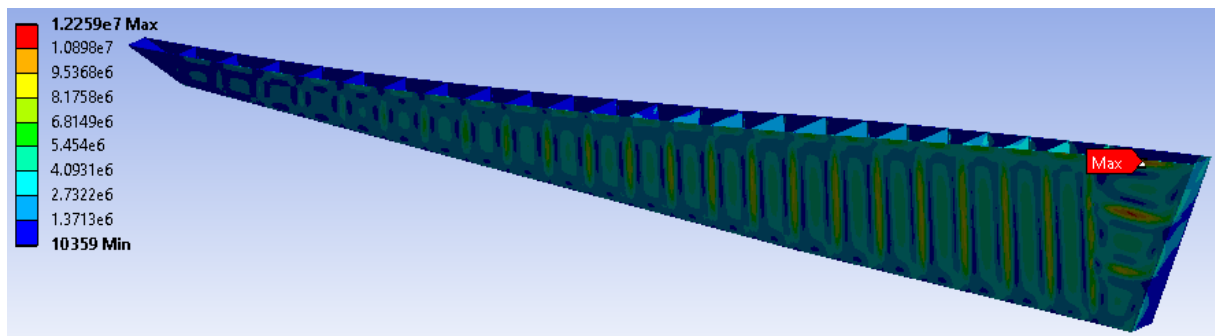
**Gambar 4. 18 Grafik deformasi maksimum skeg ketika kapal maju**

Tabel 4.1 menunjukkan nilai tegangan maksimum dan deformasi maksimum *skeg* setiap variasi kecepatan putar *propeller*. Nilai tegangan maksimum pada setiap variasi mengalami perubahan. Pada saat kapal maju, semakin besar variasi kecepatan putar *propeller*, maka nilai tegangan dan deformasi yang terjadi juga semakin besar. Tegangan von mises dan deformasi terbesar terjadi pada variasi kecepatan putar *propeller* maksimum yaitu ketika 400RPM, dengan nilai tegangan maksimum tertinggi sebesar 4.7767 MPa dan nilai deformasi maksimum tertinggi sebesar  $11.1 \times 10^{-05}$  mm. Sedangkan nilai tegangan von mises dan deformasi minimum terendah terjadi pada variasi putar *propeller* 160RPM dengan bilai tegangan minimum terendah sebesar 4.7767MPa dan nilai deformasi minimum terendah sebesar  $7.64 \times 10^{-05}$  mm.

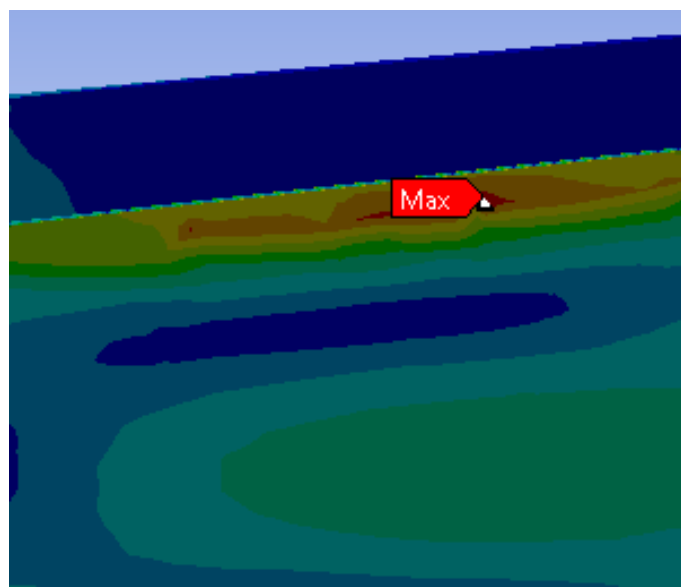
Pengaruh perubahan kecepatan putar *propeller* terhadap tegangan von mises pada *skeg* dapat dilihat pada gambar 4.17. Pada grafik tersebut terlihat bahwa tegangan maksimum tertinggi terjadi ketika kecepatan putar *propeller* sebesar 400RPM dengan nilai 6.77MPa. Tegangan von mises meningkat seiring dengan penambahan kecepatan putar *propeller* yaitu ketika kecepatan putar *propeller* 160RPM nilai tegangan maksimum sebesar 4.78MPa, lalu ketika kecepatan putar *propeller* 240RPM nilai tegangan maksimum sebesar 5.47MPa, kemudian ketika kecepatan putar *propeller* 320RPM nilai tegangan maksimum sebesar 6MPa dan ketika kecepatan putar *propeller* 400RPM nilai tegangan maksimum sebesar 6.77MPa. Berdasarkan grafik pada gambar 4.17 dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar kecepatan putar *propeller* maka besarnya tegangan yang terjadi pada *skeg* juga semakin meningkat.

Selain pada gambar 4.17, pengaruh perubahan kecepatan putar *propeller* terhadap *skeg* juga dapat dilihat pada gambar 4.18. Pada grafik tersebut terlihat bahwa deformasi maksimum tertinggi terjadi ketika kecepatan putar *propeller* sebesar 400RPM dengan nilai  $1.11 \times 10^{-4}$  mm. Deformasi meningkat seiring dengan penambahan kecepatan putar *propeller* yaitu ketika kecepatan putar *propeller* 160RPM nilai defromasi maksimum sebesar  $7.64 \times 10^{-5}$  mm, lalu ketika kecepatan putar *propeller* 240RPM nilai defromasi maksimum sebesar  $8.85 \times 10^{-5}$  mm, kemudian ketika kecepatan putar *propeller* 320RPM nilai defromasi maksimum sebesar  $9.76 \times 10^{-5}$  mm dan ketika kecepatan putar *propeller* 400RPM nilai defromasi maksimum sebesar  $1.11 \times 10^{-4}$  mm. Berdasarkan grafik pada gambar 4.18 dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar kecepatan putar *propeller* maka besarnya defromasi yang terjadi pada *skeg* juga semakin meningkat.

#### IV.1.7. Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Mundur dengan Kecepatan Putar *Propeller* 160RPM

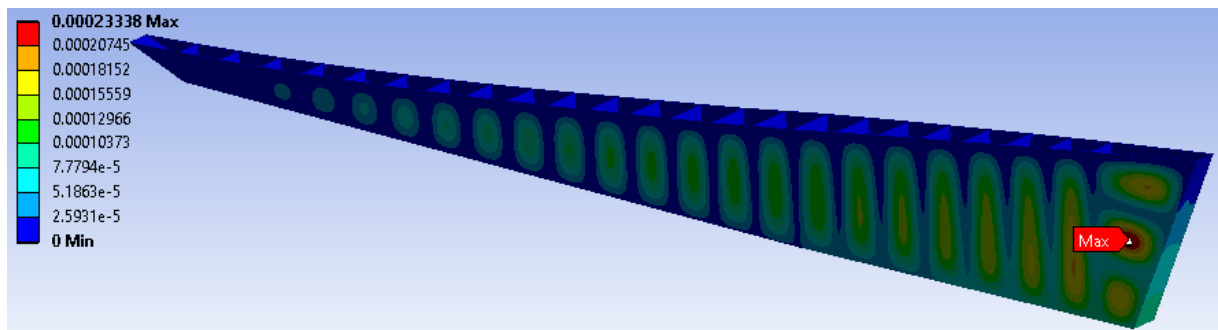


Gambar 4. 19 Tegangan von mises pada *skeg* ketika kapal mundur dengan kecepatan putar *propeller* 160RPM

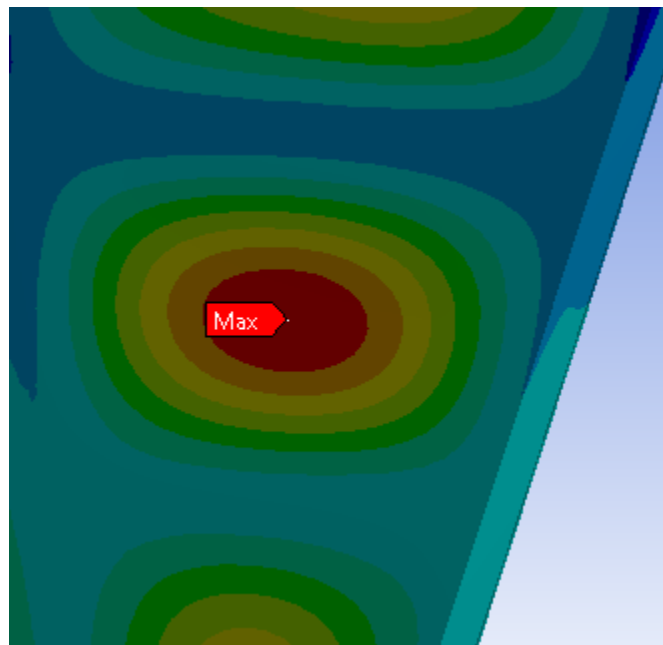


Gambar 4. 20 Detail lokasi tegangan von mises maksimum yang terjadi pada *skeg*

Gambar 4.19 menunjukkan nilai tegangan von mises terbesar yang terjadi pada model *skag* bernilai 12.259 MPa, sedangkan tegangan terbesar berada di area berwarna merah pada plat sisi kiri *skag* bagian atas yaitu pada sambungan plat sisi *skag* dengan plat alas kapal seperti yang terlihat pada gambar 4.20 di atas. Kondisi ini sesuai dengan konsep tegangan terbesar yang terjadi pada balok kantilever, dimana nilai tegangan terbesar terjadi pada area di pangkal jepit atau di sekitar ujung balok yang mendapat tumpuan jepit, sama seperti kasus pada *skag* ini dimana pangkal bagian atas *skag* disambun dengan lambung kapal sehingga pada area tersebut merupakan tumpuan jepit atau *fix support*. Sedangkan nilai tegangan von mises terkecil bernilai 0.010359 MPa yang terletak pada area berwarna biru tua.



Gambar 4. 21 Deformasi pada *skag* ketika kapal mundur dengan kecepatan putar *propeller* 160RPM

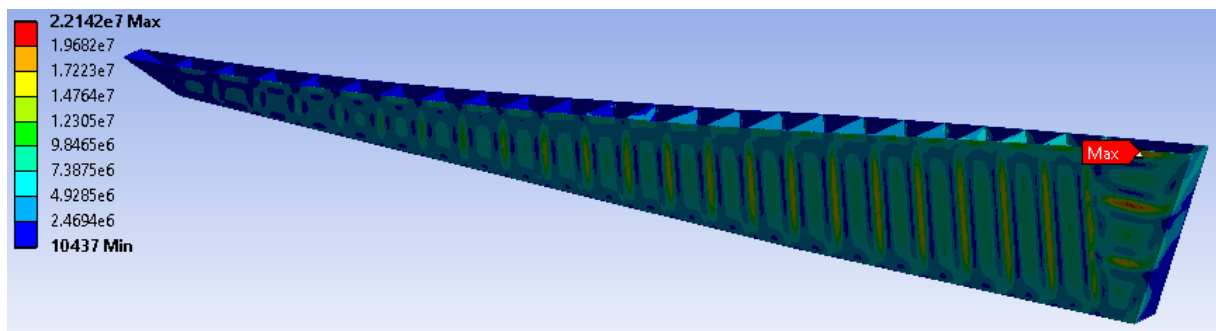


Gambar 4. 22 Detail lokasi deformasi maksimum yang terjadi pada *skag*

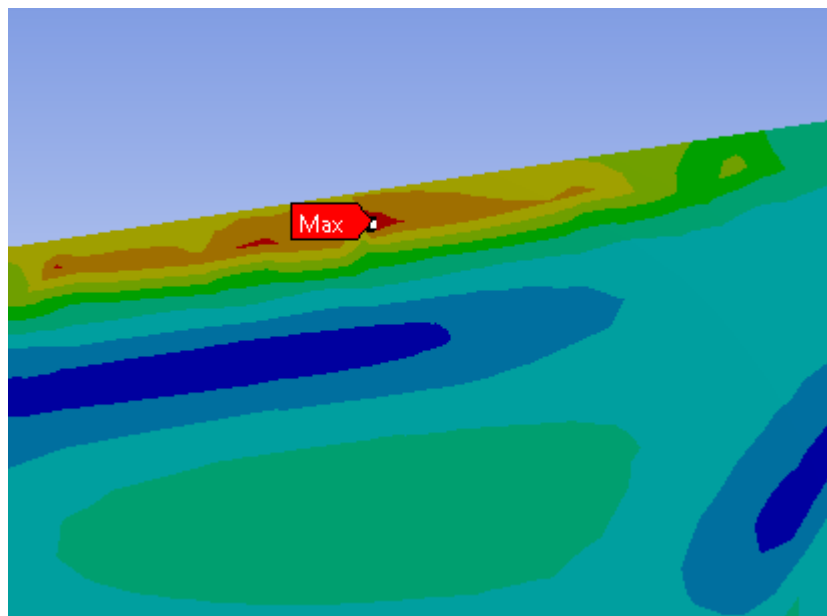
Selain tegangan von mises, variabel lain yang diamati dalam penelitian ini adalah deformasi yang terjadi pada model *skag*. Besarnya deformasi pada model *skag* dapat dilihat pada gambar 4.21 dengan nilai deformasi terbesar bernilai  $2.3338 \times 10^{-4}$  mm, sedangkan detail

lokasi terjadinya deformasi maksimum dapat dilihat pada gambar 4.4 di atas. Deformasi terbesar berada di area berwarna merah pada plat sisi kiri *skeg* yang tepatnya berada di bagian tengah plat antara dua penegar memanjang *skeg*. Hal ini dikarenakan area tersebut merupakan plat dengan *unsupported span* terbesar dengan jarak vertikal antar penegar memanjang pada plat di *skeg* tersebut sebesar 700mm dan jarak horizontal antara penegar melintang terbelakang dengan plat *skeg* bagian belakang yang kedua terbesar setelah plat sisi *skeg* yang berada di atasnya. Kemudian ketika *skeg* mendapat beban dari samping maka plat sisi *skeg* menerima beban secara langsung dan momen inersia penampang plat lebih kecil daripada momen inersia penampang penegar di dalamnya.

#### IV.1.8. Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Mundur dengan Kecepatan Putar *Propeller* 240RPM

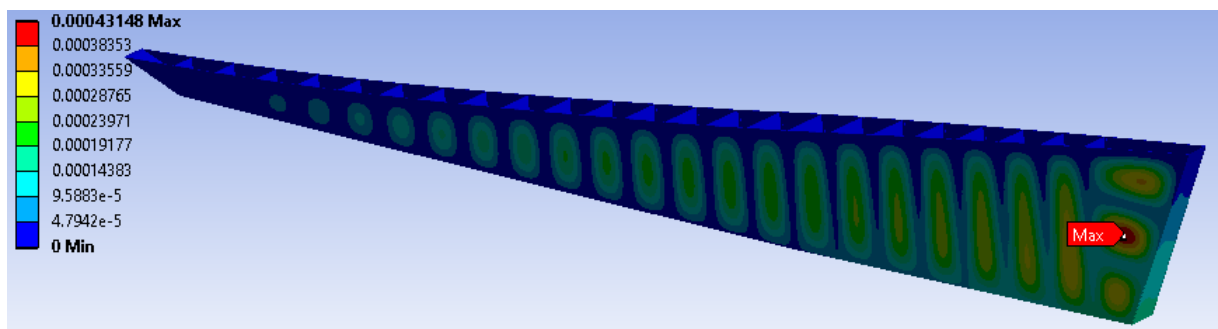


Gambar 4. 23 Tegangan von mises pada *skeg* ketika kapal mundur dengan kecepatan putar *propeller* 240RPM

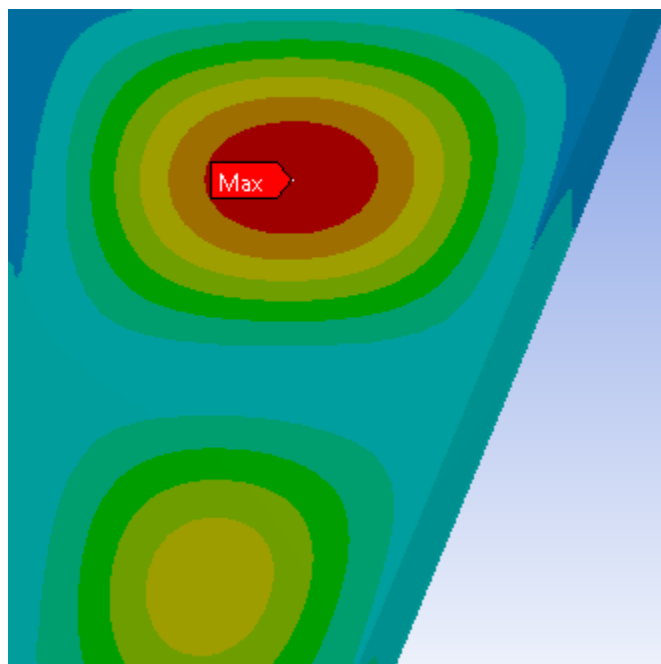


Gambar 4. 24 Detail lokasi tegangan von mises maksimum yang terjadi pada *skeg*

Pada gambar 4.23 terlihat bahwa nilai tegangan von mises terbesar yang terjadi pada model *skeg* bernilai 22.142 MPa. Tegangan maksimum berada di area berwarna merah pada plat sisi kiri *skeg* bagian atas yaitu pada sambungan plat sisi *skeg* dengan plat alas kapal seperti yang terlihat pada gambar 4.24. Hal ini karena *skeg* seperti balok kantilever yang ujung bagian atasnya disambung dengan lambung kapal yang berupa sambungan jepit, sehingga sesuai dengan konsep tegangan terbesar yang terjadi pada balok kantilever yaitu nilai tegangan terbesar terjadi pada area di pangkal jepit atau di sekitar ujung balok yang mendapat tumpuan jepit. Sedangkan nilai tegangan von mises terkecil bernilai 0.010437 MPa yang terletak pada area berwarna biru tua.



Gambar 4. 25 Deformasi pada *skeg* ketika kapal mundur dengan kecepatan putar *propeller* 240RPM

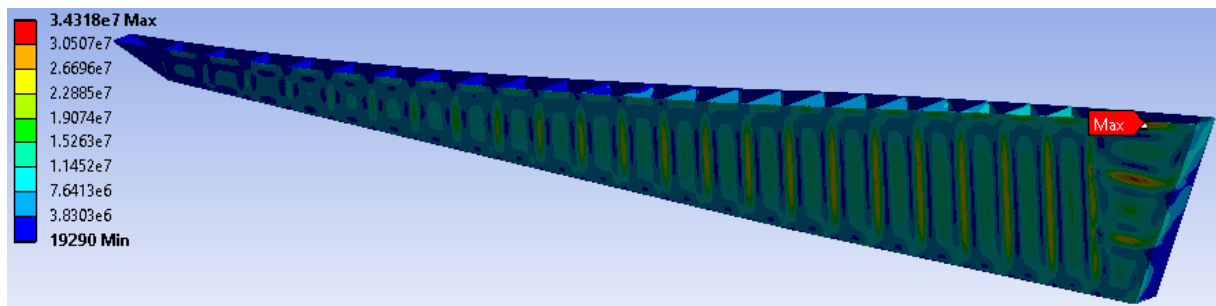


Gambar 4. 26\ Detail lokasi deformasi maksimum yang terjadi pada *skeg*

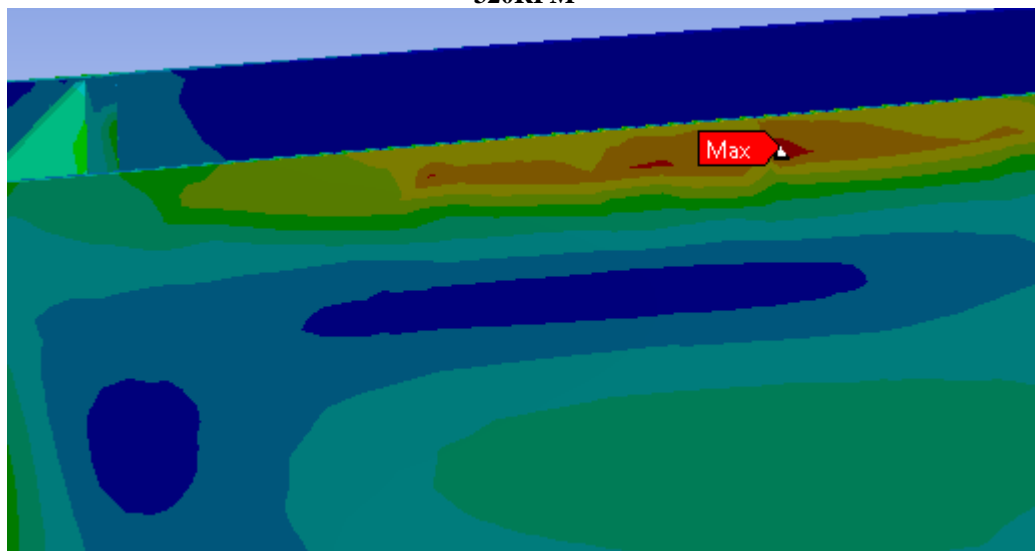
Besarnya deformasi pada model *skeg* dapat dilihat pada gambar 4.25 dengan nilai deformasi terbesar bernilai  $4.3148 \times 10^{-4}$  mm, sedangkan detail lokasi terjadinya deformasi maksimum dapat dilihat pada gambar 4.8. Deformasi terbesar berada di area berwarna merah

pada plat sisi kiri *skeg* yang tepatnya berada di bagian tengah plat antara dua penegar memanjang *skeg*. Lokasi deformasi maksimum terjadi pada area tersebut karena area tersebut merupakan plat dengan *unsupported span* terbesar dengan jarak vertikal antar penegar memanjang pada plat di *skeg* tersebut sebesar 700mm dan jarak horizontal antara penegar melintang terbelakang dengan plat *skeg* bagian belakang yang kedua terbesar setelah plat sisi *skeg* yang berada di atasnya. Selain itu karena ketika *skeg* mendapat beban dari samping maka plat sisi *skeg* menerima beban secara langsung dan momen inersia penampang plat lebih kecil daripada momen inersia penampang penegar di dalamnya.

#### IV.1.9. Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Mundur dengan Kecepatan Putar *Propeller* 320RPM



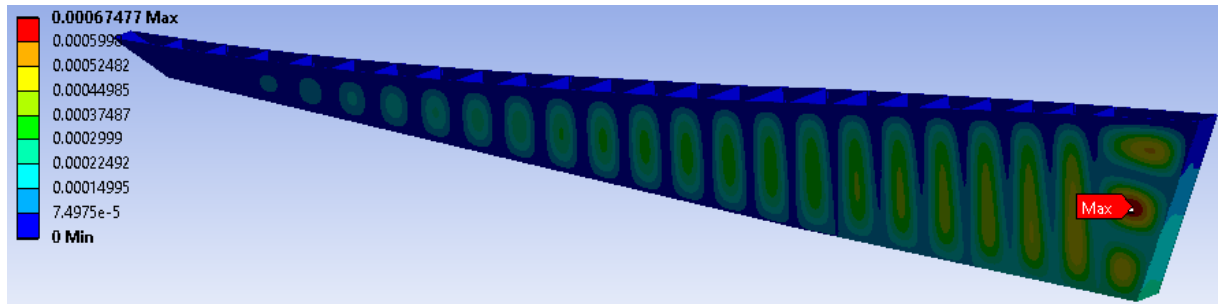
Gambar 4. 27 Tegangan von mises pada *skeg* ketika kapal mundur dengan kecepatan putar *propeller* 320RPM



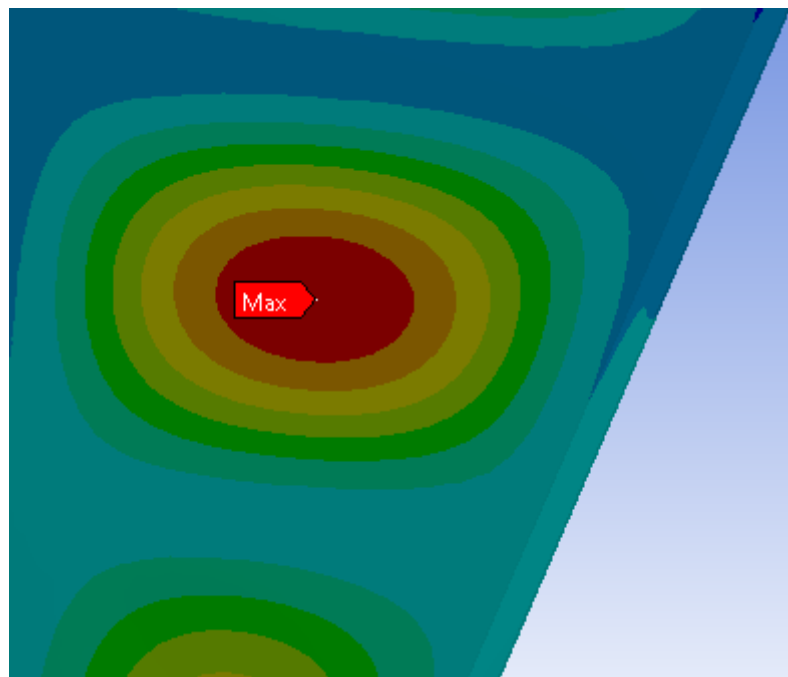
Gambar 4. 28 Detail lokasi tegangan von mises maksimum yang terjadi pada *skeg*

Gambar 4.27 menunjukkan nilai tegangan von mises terbesar yang terjadi pada model *skeg* bernilai 34.318 MPa. Tegangan terbesar berada di area berwarna merah pada plat sisi kiri *skeg* bagian atas yaitu pada sambungan plat sisi *skeg* dengan plat alas kapal seperti yang terlihat pada gambar 4.28. Tegangan von mises maksimum terjadi di area ini karena secara sederhana

kondisi *skeg* sama seperti balok kantilever, dimana tegangan terbesar terjadi pada area di pangkal jepit atau di sekitar ujung balok yang mendapat tumpuan jepit, sama seperti kasus pada *skeg* ini dimana pangkal bagian atas *skeg* disambung dengan lambung kapal sehingga pada area tersebut merupakan tumpuan jepit. Sedangkan nilai tegangan von mises terkecil bernilai 0.019290 MPa yang terletak pada area berwarna biru tua.



Gambar 4. 29 Deformasi pada *skeg* ketika kapal mundur dengan kecepatan putar *propeller* 320RPM

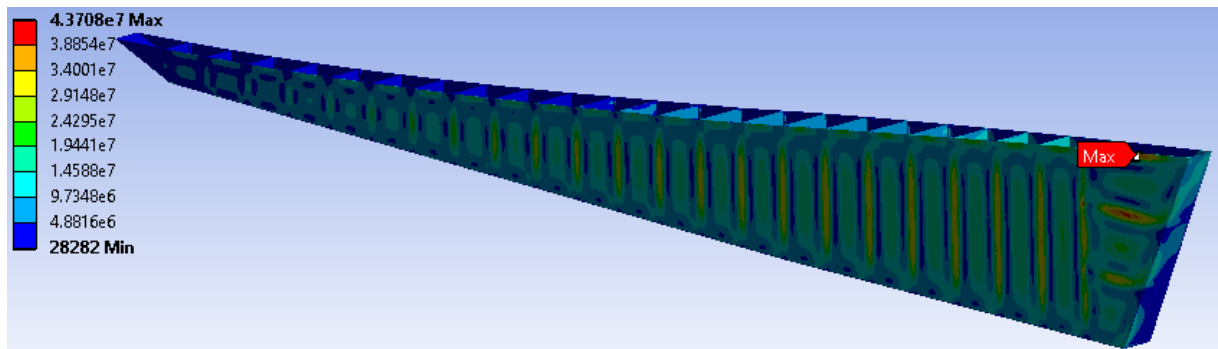


Gambar 4. 30 Detail lokasi deformasi maksimum yang terjadi pada *skeg*

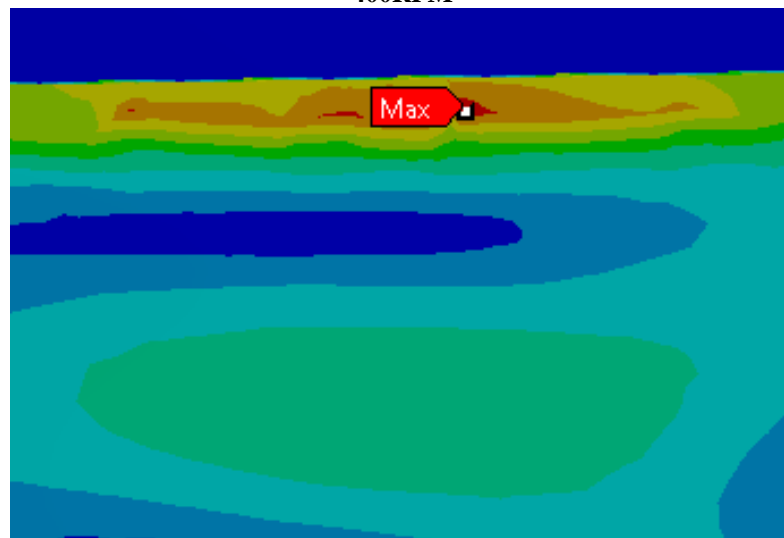
Variabel lain yang diamati dalam penelitian ini adalah deformasi yang terjadi pada model *skeg*. Besarnya deformasi pada model *skeg* dapat dilihat pada gambar 4.29 dengan nilai deformasi terbesar bernilai  $6.7477 \times 10^{-4}$  mm, seperti yang terlihat pada gambar 4.30 deformasi terbesar berada di area berwarna merah pada plat sisi kiri *skeg* yang tepatnya berada di bagian tengah plat antara dua penegar memanjang *skeg*. Kondisi ini terjadi karena area tersebut merupakan plat dengan *unsupported span* terbesar dengan jarak vertikal antar penegar memanjang pada plat di *skeg* tersebut sebesar 700mm dan jarak horizontal antara penegar melintang terbelakang dengan plat *skeg* bagian belakang yang kedua terbesar setelah plat sisi

*skeg* yang berada di atasnya. Kemudian ketika *skeg* mendapat beban dari samping maka plat sisi *skeg* menerima beban secara langsung dan momen inersia penampang plat lebih kecil daripada momen inersia penampang penegar di dalamnya.

#### IV.1.10. Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Mundur dengan Kecepatan Putar *Propeller* 400RPM

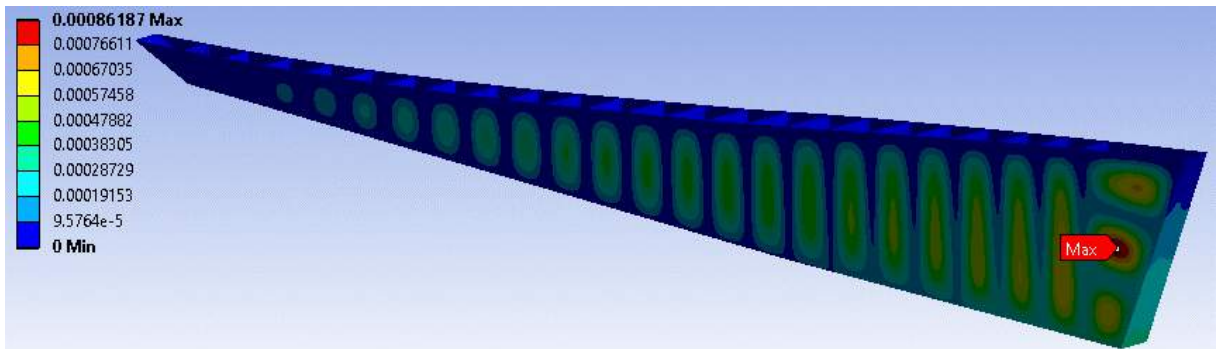


Gambar 4. 31 Tegangan von mises pada *skeg* ketika kapal mundur dengan kecepatan putar *propeller* 400RPM

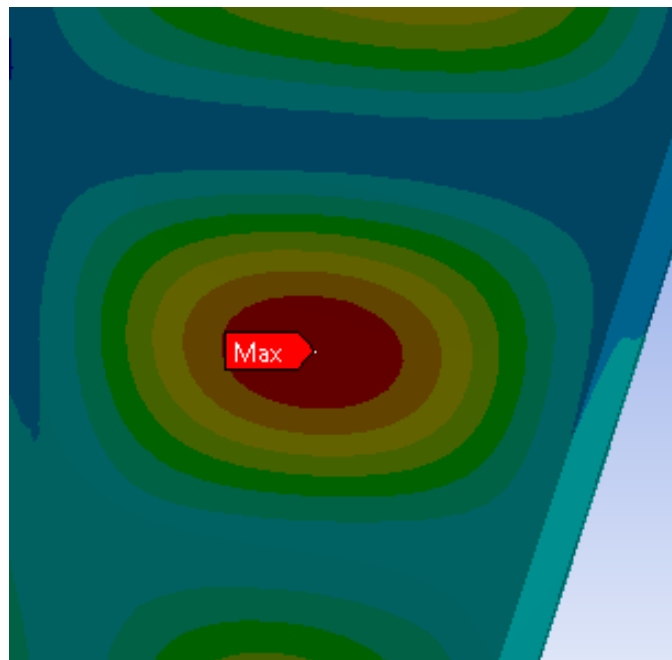


Gambar 4. 32 Detail lokasi tegangan von mises maksimum yang terjadi pada *skeg*

Nilai tegangan von mises terbesar yang terjadi pada model *skeg* bernilai 43.708 MPa seperti yang terlihat pada gambar 4.31. Tegangan terbesar berada di area berwarna merah pada plat sisi kiri *skeg* bagian atas yaitu pada sambungan plat sisi *skeg* dengan plat alas kapal sesuai dengan gambar 4.32. Kondisi yang demikian terjadi karena pangkal bagian atas *skeg* dilas dengan lambung kapal sehingga pada area tersebut merupakan tumpuan jepit atau *fix support*, dan seperti yang diketahui bahwa pada balok kantilever nilai tegangan terbesar terjadi pada area di pangkal jepit atau di sekitar ujung balok yang mendapat tumpuan jepit. Sedangkan nilai tegangan von mises terkecil bernilai 0.028282 MPa yang terletak pada area berwarna biru tua.



**Gambar 4. 33** Deformasi pada *skeg* ketika kapal mundur dengan kecepatan putar *propeller* 400RPM



**Gambar 4. 34** Detail lokasi deformasi maksimum yang terjadi pada *skeg*

Selain tegangan von mises, variabel lain yang diamati dalam penelitian ini adalah deformasi yang terjadi pada model *skeg*. Sesuai dengan gambar 4.33 nilai deformasi terbesar bernilai  $8.6187 \times 10^{-4}$  mm, sedangkan detail lokasi terjadinya deformasi maksimum dapat dilihat pada gambar 4.34. Deformasi terbesar berada di area berwarna merah pada plat sisi kiri *skeg* yang tepatnya berada di bagian tengah plat antara dua penegar memanjang *skeg*. Hal ini terjadi karena area tersebut merupakan plat dengan *unsupported span* terbesar dengan jarak vertikal antar penegar memanjang pada plat di *skeg* tersebut sebesar 700mm dan jarak horizontal antara penegar melintang terbelakang dengan plat *skeg* bagian belakang yang kedua terbesar setelah plat sisi *skeg* yang berada di atasnya. Kemudian ketika *skeg* mendapat beban dari samping maka

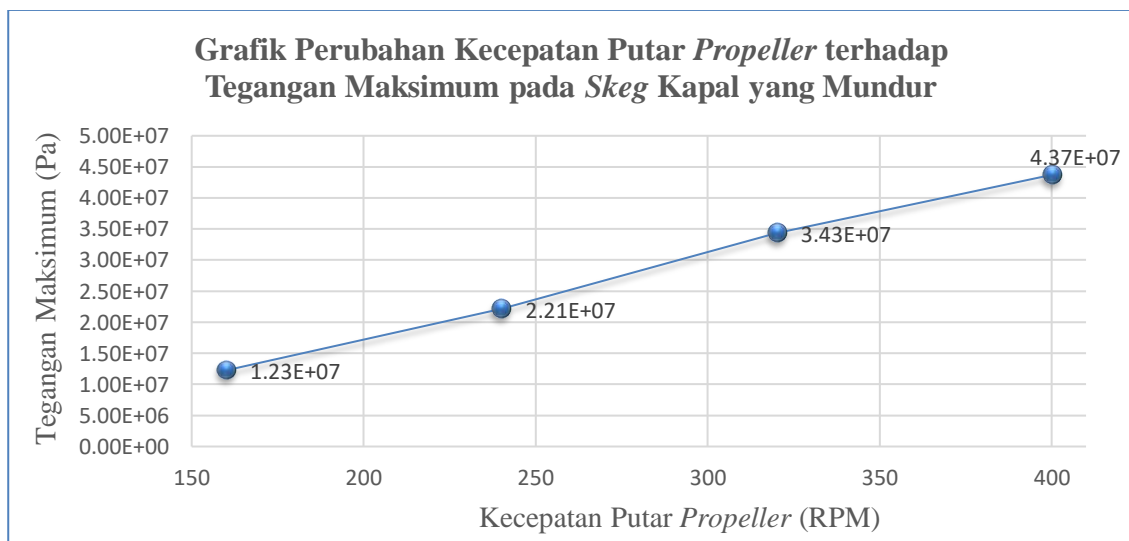
plat sisi *skeg* menerima beban secara langsung dan momen inersia penampang plat lebih kecil daripada momen inersia penampang penegar di dalamnya.

#### IV.1.11. Pembahasan Tegangan Von Mises dan Deformasi pada *Skeg* Ketika Kapal Mundur

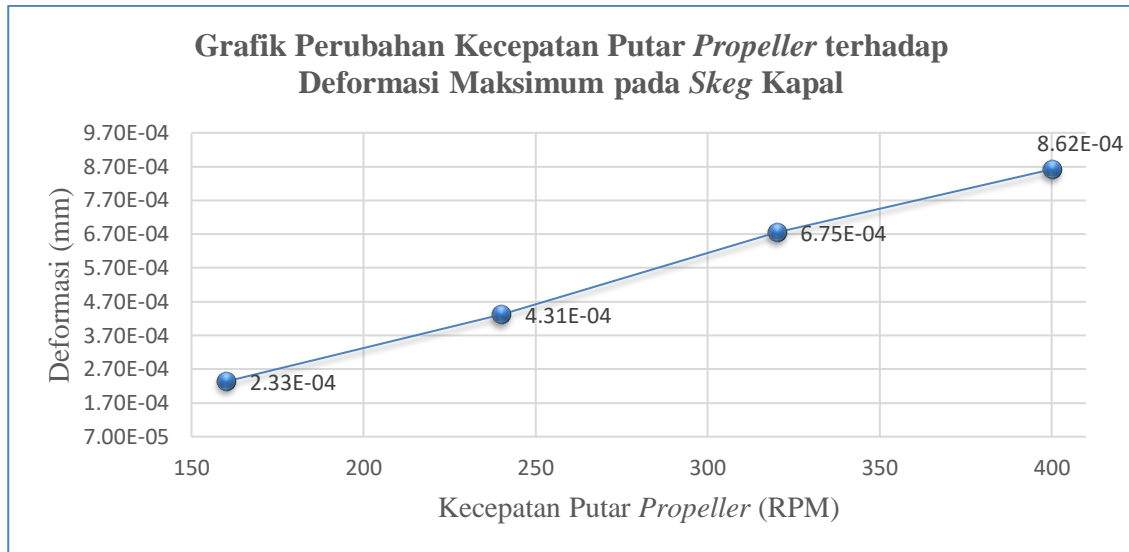
Berdasarkan hasil simulasi tegangan von mises dan deformasi yang telah dijelaskan pada sub-bab IV.1.7 hingga sub-bab IV.1.10 maka hasil tegangan von mises dan deformasi dapat ditampilkan pada tabel 4.3 berikut ini.

**Tabel 4. 3 Rekapitulasi Nilai Tegangan Von Mises dan Deformasi ketika Kapal Mundur**

Kecepatan Putar <i>Propeller</i> (RPM)	Tegangan Von Mises (MPa)	Deformasi (mm)
160	12.259	$2.33 \times 10^{-4}$
240	22.142	$4.31 \times 10^{-4}$
320	34.318	$6.75 \times 10^{-4}$
400	43.708	$8.62 \times 10^{-4}$



**Gambar 4. 35 Grafik tegangan maksimum *skeg* ketika kapal maju**



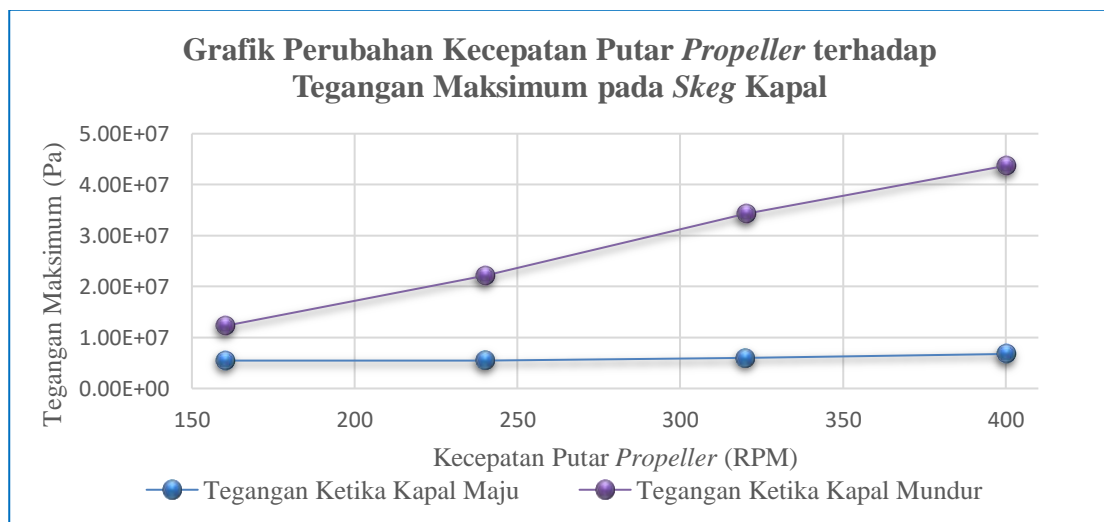
**Gambar 4. 36 Grafik deformasi maksimum skeg ketika kapal maju**

Tabel 4.2 menunjukkan nilai tegangan maksimum dan deformasi maksimum *skeg* setiap variasi kecepatan putar *propeller*. Nilai tegangan maksimum pada setiap variasi mengalami perubahan. Pada saat kapal maju, semakin besar variasi kecepatan putar *propeller*, maka nilai tegangan dan deformasi yang terjadi juga semakin besar. Tegangan von mises dan deformasi terbesar terjadi pada variasi kecepatan putar *propeller* maksimum yaitu ketika 400RPM, dengan nilai tegangan maksimum tertinggi sebesar 43.708MPa dan nilai deformasi maksimum tertinggi sebesar  $8.62 \times 10^{-4}$ mm. Sedangkan nilai tegangan von mises dan deformasi minimum terendah terjadi pada variasi putar *propeller* 160RPM dengan bilai tegangan minimum terendah sebesar 12.259 MPa dan nilai deformasi minimum terendah sebesar  $2.33 \times 10^{-4}$  mm.

Pengaruh perubahan kecepatan putar *propeller* terhadap tegangan von mises pada *skeg* dapat dilihat pada gambar 4.35. Pada grafik tersebut terlihat bahwa tegangan maksimum tertinggi terjadi ketika kecepatan putar *propeller* sebesar 400RPM dengan nilai 43.708 MPa. Tegangan von mises meningkat seiring dengan penambahan kecepatan putar *propeller* yaitu ketika kecepatan putar *propeller* 160RPM nilai tegangan maksimum sebesar 12.259 MPa, lalu ketika kecepatan putar *propeller* 240RPM nilai tegangan maksimum sebesar 22.142Pa, kemudian ketika kecepatan putar *propeller* 320RPM nilai tegangan maksimum sebesar 34.318MPa dan ketika kecepatan putar *propeller* 400RPM nilai tegangan maksimum sebesar 43.708MPa. Berdasarkan grafik pada gambar 4.19 dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar kecepatan putar *propeller* maka besarnya tegangan yang terjadi pada *skeg* juga semakin meningkat.

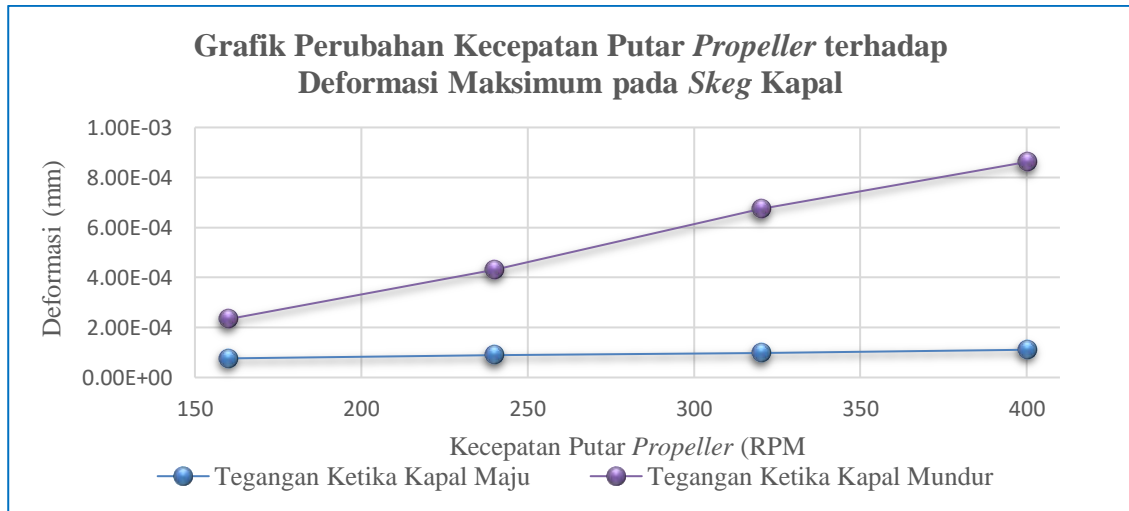
Selain pada gambar 4.35, pengaruh perubahan kecepatan putar *propeller* terhadap *skeg* juga dapat dilihat pada gambar 4.36. Pada grafik tersebut terlihat bahwa deformasi maksimum tertinggi terjadi ketika kecepatan putar *propeller* sebesar 400RPM dengan nilai  $8.62 \times 10^{-4}$  mm. Deformasi meningkat seiring dengan penambahan kecepatan putar *propeller* yaitu ketika kecepatan putar *propeller* 160RPM nilai defromasi maksimum sebesar  $2.33 \times 10^{-5}$  mm, lalu ketika kecepatan putar *propeller* 240RPM nilai defromasi maksimum sebesar  $4.31 \times 10^{-4}$  mm, kemudian ketika kecepatan putar *propeller* 320RPM nilai defromasi maksimum sebesar  $6.75 \times 10^{-4}$  mm dan ketika kecepatan putar *propeller* 400RPM nilai defromasi maksimum sebesar  $8.62 \times 10^{-4}$  mm. Berdasarkan grafik pada gambar 4.20 dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar kecepatan putar *propeller* maka besarnya defromasi yang terjadi pada *skeg* juga semakin meningkat.

#### IV.2. Perbandingan Hasil Analisis Ketika Kapal Maju dan Mundur



Gambar 4. 37 Grafik perbandingan tegangan maksimum ketika kapal maju dan mundur

Berdasarkan grafik pada gambar 4.37 dapat dilihat bahwa tegangan maksimum *skeg* ketika kapal bergerak mundur lebih besar daripada tegangan maksimum pada *skeg* ketika kapal bergerak maju. Ketika kapal maju, *thrust* yang dihasilkan oleh *propeller* menuju kearah buritan kapal sehingga tidak secara langsung mengenai *skeg* yang berada di depan *propeller*. Sedangkan ketika kapal bergerak mundur, *thrust* yang dihasilkan *propeller* menuju kearah haluan kapal, sehingga *thrust* tersebut secara langsung mengenai *skeg* kapal. Sesuai dengan persamaan II.6, semakin besar *thrust* yang bekerja pada suatu struktur dengan luasan yang sama maka tegangan yang terjadi pada struktur tersebut juga semakin besar.



**Gambar 4. 38** Grafik perbandingan deformasi maksimum ketika kapal maju dan mundur

Berdasarkan grafik pada gambar 4.38 dapat dilihat bahwa deformasi maksimum *skeg* ketika kapal bergerak mundur lebih besar daripada deformasi maksimum pada *skeg* ketika kapal bergerak maju. Pada paragraf sebelumnya juga dijelaskan bahwa tegangan maksimum pada *skeg* ketika kapal bergerak mundur lebih besar daripada tegangan maksimum pada *skeg* ketika kapal bergerak maju. Sesuai dengan persamaan II.12, semakin besar tegangan yang terjadi pada suatu struktur maka deformasi yang terjadi juga semakin besar.

Selain adanya perbedaan nilai tegangan maksimum dan deformasi maksimum ketika kapal bergerak maju atau mundur, maka apabila diperhatikan lebih lanjut pada sub-bab IV.1.2 hingga sub-bab IV.1.5 serta pada sub-bab IV.1.7 hingga sub-bab IV.1.10, terlihat bahwa ketika kapal bergerak maju maupun mundur, lokasi tegangan maksimum terletak pada area disekitar sambungan plat sisi *skeg* dengan plat alas kapal. Tegangan maksimum terjadi pada lokasi tersebut karena ketika suatu struktur pada salah satu ujungnya ditumpu dengan jepit (*fixed support*) sedangkan pada sisi yang lain bebas (*free support*) maka momen terbesar terjadi pada ujung pangkal yang ditumpu dengan jepit. Semakin besar momen yang terjadi pada struktur maka tegangan yang terjadi juga semakin besar.

Sesuai dengan hasil resultan gaya dari ketiga sumbu yaitu x, y dan z maka dengan besar gaya yang tetap maka momen yang terjadi sepanjang ujung pangkal sambungan *skeg* dengan alas kapal hanya dipengaruhi oleh besarnya lengan momen yaitu jarak dari sambungan *skeg* dengan alas kapal terhadap ujung bebas *skeg* atau plat alas dari *skeg*. Semakin besar lengan momen maka momen yang terjadi juga semakin besar. Oleh karena itu pada hasil analisis ini yaitu pada sub-bab IV.1.2 hingga sub-bab IV.1.5 serta pada sub-bab IV.1.7 hingga sub-bab

IV.1.10, terlihat bahwa tegangan maksimum terjadi pada sambungan plat sisi *skeg* dengan alas kapal ketika jarak terjauh dari alas *skeg*.

Deformasi maksimum yang terbentuk baik ketika kapal bergerak maju maupun mundur sesuai pada sub-bab IV.1.2 hingga sub-bab IV.1.5 serta pada sub-bab IV.1.7 hingga sub-bab IV.1.10 maka dapat diketahui bahwa nilai maksimumnya terletak pada plat sisi *skeg* diantara dua penegar memanjang *skeg*. Hal ini dikarenakan ketika *skeg* cenderung melengkung ke arah kanan maupun kiri maka momen inersia penampang plat *skeg* lebih kecil daripada momen inersia penampang penegar *skeg*.

Secara keseluruhan tegangan plat disekitar penegar lebih besar daripada tegangan yang jauh dari penegar. Hal ini karena sambungan plat sisi *skeg* dengan penegar *skeg* merupakan las-lasan yang tidak memungkinkan terjadinya rotasi maupun pergeseran sehingga diterjemahkan sebagai *fixed support*. Sedangkan pada struktur yang memiliki sambungan *fixed support* maka nilai momen terbesarnya berada pada pangkal sambungan *fixed support* tersebut. Semakin besarnya nilai momen pada suatu struktur maka tegangan yang terjadi pada struktur tersebut juga semakin meningkat.

Deformasi yang terjadi pada plat sisi *skeg* secara keseluruhan bernilai 0 pada lokasi sambungan plat dengan penegar *skeg*. Hal ini karena sambungan plat sisi *skeg* dengan penegar *skeg* merupakan las-lasan yang tidak memungkinkan terjadinya rotasi maupun pergeseran sehingga diterjemahkan sebagai *fixed support*. Oleh karena itu deformasi pada lokasi sambungan plat dengan penegar bernilai 0.

### IV.3. Pengecekan Hasil Analisis

Menurut rekapitulasi tegangan, baik ketika kapal bergerak maju maupun mundur yang terdapat pada tabel 4.2 dan 4.3 akan dilakukan pengecekan terhadap tegangan izin seperti yang terlihat pada tabel 4.4. Sesuai dengan sub bab III.6.1 nilai tegangan izin yang akan digunakan untuk material *skeg* AH36 sebesar 350MPa.

Tabel 4. 4 Pengecekan Nilai Tegangan

Arah Gerakan Kapal	Kecepatan Putar <i>Propeller</i> (RPM)	Tegangan Von Mises (MPa)	Faktor keamanan	Keterangan
Maju	160	4.7767	73.27	Memenuhi
	240	5.4708	63.98	Memenuhi
	320	6.0005	58.33	Memenuhi
	400	6.7711	51.69	Memenuhi
Mundur	160	12.259	28.55	Memenuhi
	240	22.142	15.81	Memenuhi
	320	34.318	10.20	Memenuhi
	400	43.708	8.01	Memenuhi

Berdasarkan tabel 4.3 di atas maka terlihat bahwa nilai tegangan yang terjadi pada *skeg* masih lebih kecil dari nilai tegangan izin material *skeg* dengan nilai faktor keamanan yang lebih dari 1. Semakin besar nilai faktor keamanan maka tingkat keamanan struktur juga semakin kuat. Nilai faktor keamanan terkecil bernilai 8.01, terjadi ketika kapal bergerak mundur dengan kecepatan putar *propeller* sebesar 400RPM. Sedangkan nilai faktor keamanan terbesar bernilai 73.27, terjadi ketika kapal bergerak maju dengan kecepatan putar *propeller* sebesar 160RPM.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1. Kesimpulan**

Setelah dilakukan analisis pada *skeg* ketika kapal bergerak maju maupun mundur dengan beberapa variasi putaran *propeller* maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Besarnya beban yang diterima *skeg* akibat aliran fluida yang dihasilkan oleh putaran baling-baling adalah.
  - Resultan gaya maksimum pada *skeg* bernilai 389.270 kN, terjadi ketika kapal bergerak mundur dengan kecepatan putar *propeller* 400RPM.
  - Resultan gaya minimum pada *skeg* bernilai 124.630 kN, terjadi ketika kapal bergerak maju dengan kecepatan putar *propeller* 160RPM.
2. Konstruksi *skeg* pada kapal patroli masih cukup kuat dalam menerima beban dari fluida yang dihasilkan oleh putaran baling-baling, karena semua tegangan maksimum yang terjadi pada *skeg* kurang dari tegangan izin material *skeg* (baja AH36). Tegangan maksimum yang terjadi pada *skeg* adalah.
  - Tegangan maksimum terbesar pada *skeg* bernilai 43.708MPa dengan *safety factor* sebesar 8.01, terjadi ketika kapal bergerak mundur dengan kecepatan putar *propeller* 400RPM.
  - Tegangan maksimum terkecil pada *skeg* bernilai 4.7767 dengan *safety factor* sebesar 73.27, terjadi ketika kapal bergerak maju dengan kecepatan putar *propeller* 160RPM.

#### **V.2. Saran**

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah:

Hasil perhitungan tegangan menggunakan metode elemen hingga pada penelitian ini hanya terbatas pada beban statis sehingga untuk penelitian lebih lanjut dapat dikembangkan menggunakan beban dinamis serta dapat dilanjutkan dengan analisis *fatigue life*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akira, M. et al., 2011. *Development of Environmentally-Friendly Container Carrier “eFuture 13000C”*. *IHI Engineering Review Vol. 44 No. 1*, p. 2.
- Anggara, S., 2013. *Studi Komperatif Performa Hidrodinamik Kapal Bertipe Shallow Draft Barge pada Kondisi Perairan Dangkal, Sedang dan Dalam*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- ASTM, 1990. *Metals Handbook Vol.1*. s.l.:ASM International 10th Ed.
- Bernitsas, M. M., Ray, D. & Kinley, P., 1981. *KT, KQ and Efficiency Curves for the Wageningen B-Series Propellers*. Michigan: The University of Michigan.
- Bijil, H., Lucor, D. & Mishra, S., 2010. *Uncertainty Quantification in Computational Fluid Dynamics*. London: Springer.
- Cengel, Y. A. & Cimbala, J. M., 2006. *Fluid Mechanics: Fundamental and Applications*. New York: McGraw-Hill.
- Dhana, F. R., 2018. *Analisis Alternatif Hull Form Self-Propelled Barge untuk Meningkatkan Performa Hidrodinamika*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Dwitara, I., Santoso, A. & Amiadji, 2013. *Analisa Aliran dan Tekanan pada Perubahan Bentuk Skeg Kapal Tongkang dengan Pendekatan CFD*. *JURNAL TEKNIK POMITS*, Volume 2, p. 1.
- FReng, C. J. S., 2010. *Marine Propellers and Propulsion*. London: Elsevier Ltd.
- Harvald, S. S., 1983. *Resistance and Propulsion of Ships*. New York: John Wiley and Sons.
- Hoque, K., 2016. *Analysis of Structural Discontinuities in Ship Hull Using Finite Element Method*, Bangladesh: s.n.
- IACS, 2014. *Common Structural Rules for Double Hull Oil Tanker*, s.l.: IACS.
- IMO, 2002. *Maritime Safety Committee, Interim Guidelines for Wing-In-Ground (WIG) Craft*. London: IMO Publishing.
- IMO, 2011. *Technical Background to the Provisional Rules for the Classification of Stern First Ice Class Ships*. London: IMO Publishing.
- ITTC, 2008. *Model Manufacture, Propeller Models Terminology and Nomenclature for Propeller Geometry*. s.l.:ITTC.
- ITTC, 2014. *Practical Guidelines for RANS Calculation of Nominal Wakes*. s.l., ITTC, p. 5.
- ITTC, 2014. *Practical Guidelines for Ship Self-Propulsion CFD*. s.l., ITTC, p. 7.
- Khlstov, N., Lizardo, D., Matsushita, K. & Zheng, J., 2013. *Uniaxial Tension and Compression Testing of Materials*, s.l.: s.n.
- Kim, K., Tilling, F., Bathfield, N. & Liljenberg, H., 2014. *Hydrodynamic optimization of twin-skeg LNG ships by CFD and model testing*. *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.*, Volume 6, p. 392.
- Logan, D. L., 2007. *A First Course in the Finite Element Method*. fourth ed. Canada: Chris Carson.
- Maimun, A. et al., 2015. *Numerical Simulation for Stern Flow Characteristics of Twin Skeg Container Vessel*. *International Journal of Mining, Metallurgy & Mechanical Engineering (IJMMME)*, 3(3), p. 149.
- Mises, R. V., 1913. *Mechanik der festen Körper im plastisch deformablen Zustand*. *Göttin.Nachr.Math.Phys*, Volume 1, pp. 582-592.
- Molland, A. F., Turnock, S. R. & Hudson, D. D., 2011. *Ship Resistance and Propulsion*. United States of America: Cambridge University Press.

- Muscari, R., Dubbioso, G., Ortolani, F. & Mascio, A. D., 2017. *CFD Analysis of the Sensitivity of Propeller Bearing Loads to Stern Appendages and Propulsive Configurations*. Elsevier, p. 206.
- Petit, C. & Beran, P., 2006. *Convergence Studies of Wiener Expansions for Computational Nonlinear Mechanics*. Rhode Island, Proceedings of the 8th AIAA non-deterministic approaches conference,.
- Philip, D. H., 1982. *Engineering Properties of Steels*. s.l.:American Society for Metals.
- Popov, E. P., 1984. *Mechanics of Material*. Berkeley: University of California.
- Putra, P. A., Munazid, A. & Suwasono, B., 2017. *Performance Pemasangan Skeg Di Linggi Haluan Pada Kapal*. Surabaya, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan Universitas Hang Tuah.
- Smith, W. H. & Belcher, E., 1867. *Sailor's Word-Book: An Alphabetical Digest of Nautical Terms*. London: Blackie and Son.
- Tripler, P. A., 1998. *Physics for Scientists and Engineers*. 3 ed. New York: W.H. Freeman & Company .
- Wei, Y., Jian, W. & Guangxuan, L., 2006. *Grid-independent Issue in Numerical Heat Transfer*, Hefei: University of Science and Technology of China.
- Widodo, Yasim, A., Rina & Ghofur, A., 2018. Sudi Variasi Model Skeg Berdasarkan Tahanan dan Pola Aliran yang Melewati Lambung Barge, Kasus pada Desain Wahana Pembongkaran ALPO. *Jurnal Wave*, Volume 12, p. 1.
- X. L., Z. Z., 2001. *Numerical Study of The 3-D unsteady Flow in Turbomachinery Stages*. *Acta Aeronautica Et Astronautica Sinica*, Volume 22, pp. 10-14.
- Yoder, E., 1975. *Principle of Pavement Design*. second ed. New York: A Wiley-Interscience Publication.

# LAMPIRAN

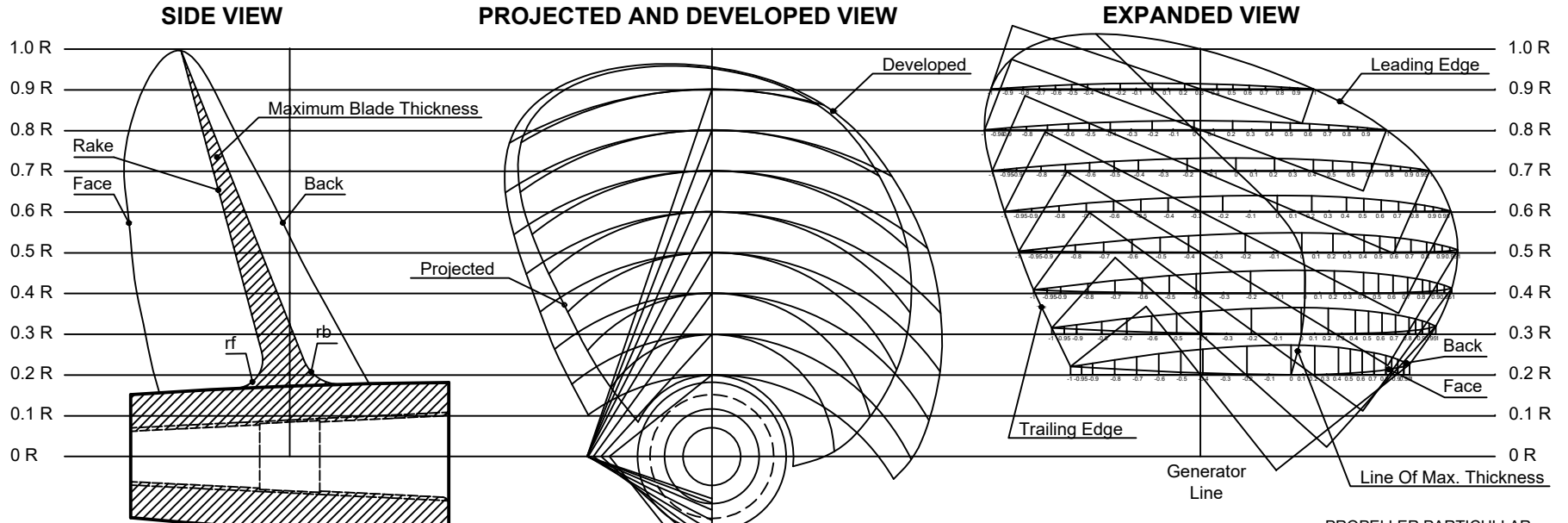
- Lampiran A *Lines Plan Kapal*
- Lampiran B *Propeller Arrangement*
- Lampiran C *Skeg Construction*
- Lampiran D *Engine Room Layout*

**LAMPIRAN A**  
***LINES PLAN KAPAL***



**LAMPIRAN B**  
***PROPELLER ARRANGEMENT***

# B4-100 PROPELLER ARRANGEMENT



## PROPELLER PARTICULAR

PROPELLER PARTICULAR : 1656 MM  
 PITCH ( CONSTANT ) IN MM : 1542 MM  
 PITC RATIO : 0.93  
 NO OF BLADES : 4  
 TYPE : B SERIES  
 DIRECTION : LH & RH  
 MATERIAL : MN BZ  
 DAR : 0.45

## MAIN ENGINE

CONTINUOUS RATING : 639.23  
 ENGINE RPM : 1000  
 GEAR BOX RATIO : 2.5 : 1  
 PROPELLER RPM : 400  
 ENGINE MODEL : CATERPILLAR C280

Y/face	1	0.95	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95	1
r/h	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
r/b	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
r/c	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
r/d	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
r/e	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
r/f	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
r/g	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
r/h	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
r/i	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

Y/back	1	0.95	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95	1
r/h	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
r/b	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
r/c	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
r/d	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
r/e	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
r/f	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
r/g	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
r/h	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
r/i	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

YEAR : 2016	PROJECT NAME : KAPAL PATROLI KELAS A II	PROJECT NO : 388
DRAWN BY : Mh	DRAWING / DOCUMENT NAME : PROPELLER DESIGN	OWNER : POLAR
DESIGNED BY : As		CLASS : BK
CHECKED BY : Dd		DESIGNER : PT. RSPN Jabang
APPROVED BY : DR		GROUP : GENERAL
		SCALE : 1 : 150
		SIZE : A1
		SHEET : 1 SHEET
		DRAW / DOCUMENT NO : G.0303
		REV : 1 2 3 4 5

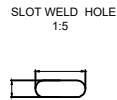
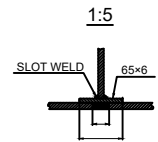
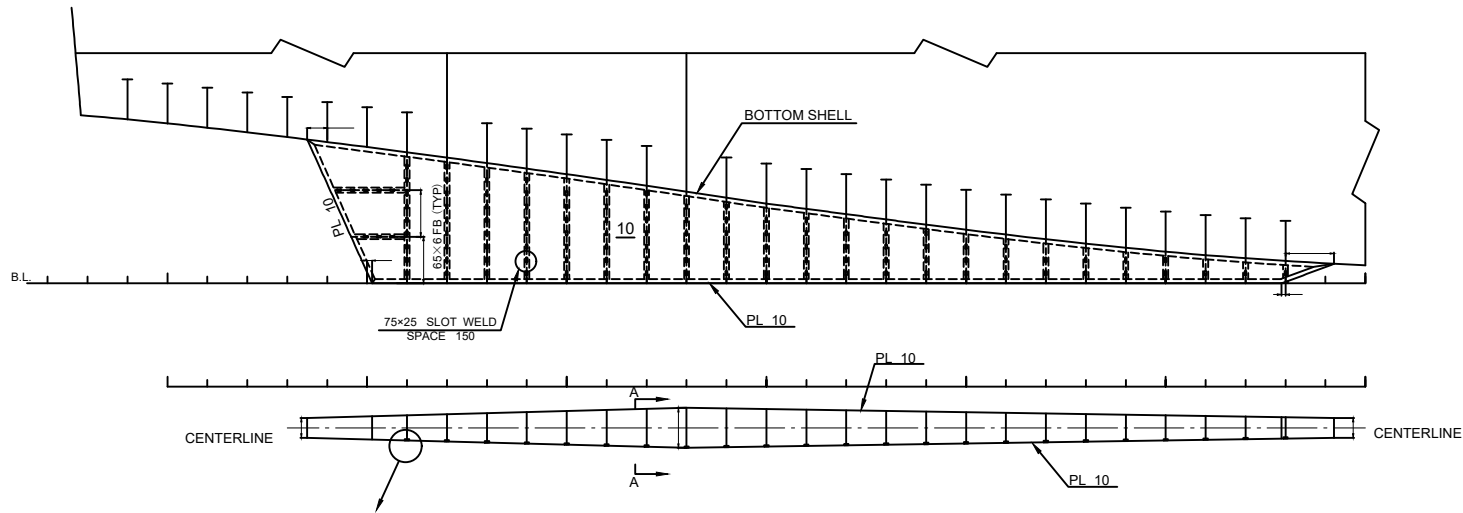
**LAMPIRAN C**  
***SKEG CONSTRUCTION***

SMD1628-110-19

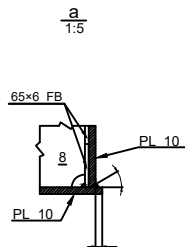
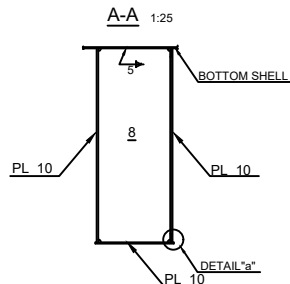
BIBLIOGRAPHY

REV. NO.	DATE	DESCRIPTION	DWN	CHKD	APPD
A	2016-09-06	SUBMITTED TO OWNER & CLASS FOR APPROVAL.			

SKEG PROFILE



- NOTE:
1. THE ACCURATE SIZE OF ALL PARTS SHOULD BE DETERMINED BY LOFTING.
  2. ALL MATERIALS ARE TO BE GRADE "BKI-A" STEEL UNLESS NOTED.
  3. CORNER CUT OF ALL DIAPHRAGM PLATE TO BE R20.



THIS DRAWING OR DOCUMENT IS THE PROPERTY OF THE NANJING SHIPTON MARINE DESIGN CO., LTD AND MUST NOT BE PARTIALLY OR WHOLLY COPIED OR USED FOR ANY OTHER PURPOSE WITHOUT PRIOR WRITE PERMISSION OF NANJING SHIPTON MARINE DESIGN CO., LTD

HULL NO.	PROJECT		
	73M MARITIME PATROL VESSEL		
APPD BY	TITLE		
	SKEG CONSTRUCTION		
CHKD BY			
DWN. BY	CLASS	DATE	SHEET 1 OF 1
STAN. BY	DWG. NO.	SCALE	REV. NO.
	SMD1628-110-19	1:50	A
OWNER			
BUILDER			

**LAMPIRAN D**  
***ENGINE ROOM LAYOUT***



## BIODATA PENULIS



Arum Dwi Kurniati, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Lumajang pada 16 Maret 1996 silam. Penulis merupakan anak terakhir dari dua bersaudara dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK NU Muslimat 12, kemudian melanjutkan ke SDN 1 Jogoyudan, SMPN 1 Sukodono dan SMAN 3 Lumajang. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2015 melalui jalur SBMPTN.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal. Selama masa studi di ITS, Penulis pernah menjadi *staff* Departemen Riset dan Teknologi HIMATEKPAL 2016/2017, *staff* Departemen Keputrian As-Safiinah 2016/2017 serta menjadi *Steering Committee* Departemen Kaderisasi HIMATEKPAL 2017/2018. Selain itu, Penulis juga aktif sebagai panitia kegiatan yang diadakan di ITS. Sedangkan dibidang akademis, Penulis pernah menjadi *grader* untuk praktikum *Autocad* dan beberapa mata kuliah seperti Mekanika Teknik I, Mekanika Teknik II dan Desain Konstruksi Kapal.

Email: [dwikurniarum@gmail.com](mailto:dwikurniarum@gmail.com)

Dipersembahkan kepada mama papa tercinta atas segala dukungan, doa dan kepercayaan yang telah diberikan.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

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

1. Kedua orang tua (Kodrat Santosa dan Endang Margaretha) serta kakak saya (Andri Susanto) yang telah memberikan dukungan, kepercayaan, dan doa kepada saya hingga terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini;
2. Bapak Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D. dan Bapak Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
3. Prof. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Wali yang telah memberikan dukungan secara moril serta senantiasa memberikan nasihat kepada penulis selama berada di Departemen Teknik Perkapalan;
4. Ir. Agoes Achmad Masroeri, M.Eng, D.Eng selaku Kepala Nasional Ship Design & Engineering Center (NaSDEC) atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas izin pemakaian fasilitas kantor;
5. Insanu A.C.A., S.T., M.T. selaku senior NaSDEC yang selalu membantu dari awal pembuatan Tugas Akhir hingga Tugas Akhir ini selesai;
6. Mba Shakina Azizul Haque S.T. dan Nona Theresia S.T. merupakan kakak-kakak terbaik penulis yang banyak membantu dan memotivasi selama pengerjaan Tugas Akhir dan masa perkuliahan;
7. Sholichatul Ilmiah, Fajar Rahmanul Ichwan dan Vivi Kristiana yang merupakan teman seperjuangan Tugas Akhir yang senantiasa memberikan bantuan dan motivasi;
8. Elisarigitsifa Margareth Sitinjak yang senantiasa memberikan motivasi, menghibur dan menemani ketika penulis bahagia maupun bersedih selama masa perkuliahan dan pengerjaan Tugas Akhir;
9. Zhafirah, Vionadhiah, Nabella, Yunita, Kirana selaku sahabat yang senantiasa menyemangati dan menghibur penulis;
10. Teman-teman anggota *fearless* (ArDan, Hafiz, Angga, Ihsan, Kevin, Gizza, dan Hisyam) yang senantiasa menjadi kelompok diskusi selama masa perkuliahan dan memberikan saran dan motivasi selama masa perkuliahan dan pengerjaan Tugas Akhir;
11. Teman-teman NaSDEC R n' D (Mba Huy, Mba Bir, Mba Ay, Mas Rian, Mas Syafi, Mas Nova, Mas Danu, Mas Jeng, Mas Koyoy, Mas Kupang, Mas Diko, Mas Gusma, Mas Yonny, Mas Bahru) yang senantiasa menyemangati dan menghibur penulis;
12. P55 SAMUDRA RAKSA yang selama ini selalu menemani ketika suka maupun duka;
13. Mermaids P55 (Audi, Mia, Vivi, Ainun, Berlin, Jasmine, Feima, Namira, Fia) yang selama ini selalu menemani ketika suka maupun duka;

14. Adik-adik P56 IRON CLAD yang senantiasa menyemangati penulis;
15. HMBS P56 terutama Neysha, Swasti, Shindi, Dinda, Putri, Sintia, Dhyta, Tania dan Nobita yang senantiasa menyemangati penulis;
16. Adik-Adik P57 DREADNOUGHT yang telah memberikan banyak kisah selama penulis menjadi SC serta senantiasa memotivasi penulis selama mengerjakan Tugas Akhir;
17. Ciwi-ciwi P57 (Terbul, Plankton, Bocah, Nurmut, Novi, Niken, Nadya, Dita, Dona Cup, Yuli, Dewi, Bambang dan Bella) yang senantiasa menyemangati penulis;
18. Marsya Sungkar yang menemani dan memotivasi penulis selama masa-masa revisi;
19. Semua pihak yang telah membantu penulis, yang tidak bisa saya untuk disebutkan satu persatu.

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, 10 Juli 2019

Arum Dwi Kurniati

# ANALISIS KEKUATAN *SKEG* KAPAL AKIBAT PUTARAN BALING-BALING

Nama Mahasiswa : Arum Dwi Kurniati  
NRP : 0411154000067  
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan  
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.  
2. Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T.

## ABSTRAK

Kapal *twin screw* berpeluang untuk berlayar dengan satu *propeller*. Ketika hanya satu *propeller* yang berputar, maka gaya yang diterima *skeg* tidak sama dengan nol, sehingga perlu dilakukan analisis kekuatan *skeg*. Proses perhitungan beban dan tegangan yang terjadi pada *skeg* dilakukan dengan metode numerik, yaitu menggunakan pendekatan *computational fluids dynamic* dan *finite element method*. Pada penelitian ini, gaya yang bekerja pada *skeg* berupa resultan gaya dari fluida akibat adanya putaran *propeller*, dengan variasi kecepatan putar sebesar 40%RPM, 60%RPM, 80%RPM dan 100%RPM. Sedangkan model *skeg* berupa objek 3D solid dengan *mechanical properties* baja AH36, serta secara sederhana *skeg* dimodelkan seperti balok kantilever dengan tumpuan jepit pada sisi bagian atas *skeg* yang dilas dengan lambung kapal. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa, gaya dan tegangan von mises ketika kapal bergerak mundur lebih besar daripada ketika kapal bergerak maju, serta meningkat seiring dengan kenaikan kecepatan putar *propeller*. Nilai tegangan von mises maksimum terbesar terjadi ketika kapal bergerak mundur dengan kecepatan putar *propeller* sebesar 100%RPM bernilai 43.708MPa, dimana nilai tegangan maksimum ini lebih kecil daripada nilai tegangan izin material baja AH36, sehingga dapat disimpulkan bahwa *skeg* masih cukup kuat dalam menerima beban fluida yang dihasilkan oleh putaran *propeller*.

Kata kunci: kapal, kecepatan putar *propeller*, *skeg*, tegangan von mises

# **STRENGTH ANALYSIS OF SHIP SKEG EFFECT OF PROPELLER ROTATION**

Author : Arum Dwi Kurniati  
Student Number : 04111540000067  
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology  
Supervisor : 1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.  
2. Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T.

## **ABSTRACT**

Ships that use twin screw usually have high chances of only using one of its propellers during a voyage. In such occurrence where only one of the propellers runs, the resultant of the forces applied on the skeg does not equal to zero, therefore, this kind of event should be taken into further examination. Calculation process of the force and stress on the skeg are using numeric method with computational fluid dynamic and finite element method approach. In this research, the force acting on the skeg is an resultant force of fluid due to the propeller rotation, with variations in rotational speed of 40% RPM, 60% RPM, 80% RPM and 100% RPM. While the skeg model is a solid 3D object with mechanical properties of AH36 steel, and a simple skeg is modeled like a cantilever with a fixed support on the upper side of the skeg which is welded within the hull of the ship. The result of this research showed that the force and von mises stress when the ship moves backwards is greater than when the ship moves forward, and also increases as the propeller's rotational velocity escalates. The maximum von mises stress occurs when the ship moves backwards with a rotational speed of 100%, where its RPM reaches 43,708MPa. This value is smaller than the yield stress of AH36 steel, so it can be concluded that the skeg would withstand the fluid loads from the propeller's rotation.

Keywords: ship, skeg, the propeller's rotational speed, von mises stress

# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN.....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT .....	ix
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL .....	xv
DAFTAR SIMBOL .....	xvi
Bab I PENDAHULUAN .....	1
I.1.    Latar Belakang Masalah.....	1
I.2.    Perumusan Masalah.....	1
I.3.    Tujuan.....	2
I.4.    Batasan Masalah.....	2
I.5.    Manfaat.....	2
I.6.    Hipotesis.....	2
Bab II STUDI LITERATUR .....	3
II.1.    Dasar Teori.....	3
II.1.1. <i>Skeg</i> .....	3
II.1.2. <i>Propeller</i> .....	4
II.1.3.  Tegangan dan Regangan.....	7
II.1.3.1.  Diagram Tegangan-Regangan .....	8
II.1.3.2.  Tegangan Von Mises .....	8
II.1.4.  Angka Poisson .....	9
II.1.5.  Modulus Elastisitas.....	9
II.1.6.  Tumpuan.....	9
II.1.7. <i>Computational Fluid Dynamic (CFD)</i> .....	11
II.1.8. <i>Finite Element Method (FEM)</i> .....	11
II.1.9. <i>Meshing</i> .....	12
II.1.9.1. <i>Structured Mesh</i> .....	12
II.1.9.2. <i>Unstructured Mesh</i> .....	12
II.1.10. <i>Grid Independence</i> .....	13
II.1.11. <i>Grid Convergence</i> .....	14
Bab III METODOLOGI .....	17
III.1.    Metode.....	17
III.2.    Studi Literatur .....	17
III.3.    Pengumpulan Data .....	17
III.3.1. <i>Lines Plan</i> .....	18
III.3.2. <i>Propeller Arrangement</i> .....	19
III.3.3. <i>Skeg Construction</i> .....	20
III.3.4. <i>Engine Room Layout</i> .....	20
III.4.    Validasi Model .....	21
III.4.1.  Permodelan dan Validasi Model <i>Propeller</i> .....	21
III.4.2.  Permodelan dan Validasi Model Lambung.....	24
III.5.    Perhitungan Beban Pada <i>Skeg</i> .....	27

III.5.1.	Permodelan Lambung, <i>Skeg</i> dan <i>Propeller</i> .....	27
III.5.2.	Pembuatan <i>Meshing</i> .....	28
III.5.3.	<i>Computational Fluid Dynamic Preparation</i> .....	28
III.5.4.	<i>Computational Fluid Dynamic Simulation</i> .....	30
III.6.	Analisis Struktur <i>Skeg</i> .....	31
III.6.1.	<i>Engineering Data</i> .....	32
III.6.2.	Permodelan <i>Skeg</i> .....	32
III.6.3.	Pengecekan Sambungan.....	33
III.6.4.	Pembuatan <i>Meshing</i> .....	35
III.6.5.	Kondisi Batas .....	36
III.6.6.	Pembebanan .....	37
III.6.7.	<i>Grid Independence</i> dan <i>Grid Convergence</i> .....	38
III.6.8.	Analisis .....	40
III.6.9.	Diagram alir .....	41
Bab IV	ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....	43
IV.1.	Hasil dan Pembahasan Analisis.....	43
IV.1.1.	Gaya yang Terjadi pada Model <i>Skeg</i> .....	43
IV.1.2.	Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Maju dengan Kecepatan Putar <i>Propeller</i> 160RPM .....	44
IV.1.3.	Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Maju dengan Kecepatan Putar <i>Propeller</i> 240RPM .....	46
IV.1.4.	Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Maju dengan Kecepatan Putar <i>Propeller</i> 320RPM .....	48
IV.1.5.	Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Maju dengan Kecepatan Putar <i>Propeller</i> 400RPM .....	50
IV.1.6.	Pembahasan Tegangan Von Mises dan Deformasi pada <i>Skeg</i> Ketika Kapal Maju 52	
IV.1.7.	Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Mundur dengan Kecepatan Putar <i>Propeller</i> 160RPM .....	54
IV.1.8.	Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Mundur dengan Kecepatan Putar <i>Propeller</i> 240RPM .....	56
IV.1.9.	Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Mundur dengan Kecepatan Putar <i>Propeller</i> 320RPM .....	58
IV.1.10.	Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Mundur dengan Kecepatan Putar <i>Propeller</i> 400RPM .....	60
IV.1.11.	Pembahasan Tegangan Von Mises dan Deformasi pada <i>Skeg</i> Ketika Kapal Mundur 62	
IV.2.	Perbandingan Hasil Analisis Ketika Kapal Maju dan Mundur .....	64
IV.3.	Pengecekan Hasil Analisis .....	67
Bab V	KESIMPULAN DAN SARAN .....	69
V.1.	Kesimpulan.....	69
V.2.	Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA	.....	70
LAMPIRAN		
LAMPIRAN A	<i>LINES PLAN</i> KAPAL	
LAMPIRAN B	<i>PROPELLER ARRANGEMENT</i>	
LAMPIRAN C	<i>SKEG CONSTRUCTION</i>	
LAMPIRAN D	<i>ENGINE ROOM LAYOUT</i>	
BIODATA PENULIS		

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 <i>Lines Plan</i> Kapal Patroli 73m.....	18
Gambar 3. 2 <i>Propeller Arrangement</i> .....	19
Gambar 3. 3 <i>Propeller Particullar</i> .....	19
Gambar 3. 4 <i>Skeg Construction</i> .....	20
Gambar 3. 5 Tampak samping <i>engine room layout</i> .....	20
Gambar 3. 6 Pengisian data <i>propeller</i> .....	21
Gambar 3. 7 Model 3D <i>propeller</i> .....	21
Gambar 3. 8 Model <i>propeller</i> beserta <i>interface</i> , <i>inlet</i> dan <i>outlet area</i> .....	22
Gambar 3. 9 <i>Propeller meshing</i> .....	22
Gambar 3. 10 Hasil pengaturan pada tahap pra penyelesaian .....	23
Gambar 3. 11 Grafik perubahan elemen terhadap <i>propeller thrust</i> .....	23
Gambar 3. 12 Penentuan nilai KT .....	24
Gambar 3. 13 Hasil <i>redraw</i> dari <i>lines plan</i> kapal.....	25
Gambar 3. 14 Tampilan 3D lambung kapal .....	26
Gambar 3. 15 Data hidrostatik kapal pada sarat 9.6m.....	26
Gambar 3. 16 Model lambung kapal beserta <i>propeller</i> dan <i>skeg</i> .....	27
Gambar 3. 17 Hasil pembuatan <i>enclosure</i> pada kapal dan <i>propeller</i> .....	28
Gambar 3. 18 Hasil <i>meshing</i> pada model .....	28
Gambar 3. 19 Penentuan <i>inlet</i> , <i>outlet</i> dan dinding di sekeliling kapal ketika putaran <i>propeller</i> berlawanan jarum jam (kapal maju) .....	29
Gambar 3. 20 Penentuan <i>inlet</i> , <i>outlet</i> dan dinding di sekeliling kapal ketika putaran <i>propeller</i> searah jarum jam (kapal mundur).....	29
Gambar 3. 21 Ilustrasi aliran fluida akibat <i>propeller</i> ketika kapal bergerak maju.....	30
Gambar 3. 22 Ilustrasi aliran fluida akibat <i>propeller</i> ketika kapal bergerak mundur .....	31
Gambar 3. 23 Persebaran gaya pada <i>skeg</i> ketika kapal bergerak maju .....	31
Gambar 3. 24 Persebaran tekanan pada <i>skeg</i> ketika kapal bergerak maundur .....	31
Gambar 3. 25 Model struktur <i>skeg</i> .....	32
Gambar 3. 26 Model struktur penegar <i>skeg</i> .....	33
Gambar 3. 27 Contoh sambungan antara penegar melintang dengan plat alas <i>skeg</i> .....	34
Gambar 3. 28 Contoh sambungan antara penegar melintang dengan plat sisi <i>skeg</i> .....	34
Gambar 3. 29 Contoh sambungan antara penegar memanjang dengan plat sisi <i>skeg</i> .....	34
Gambar 3. 30 Contoh sambungan antara sambungan plat alas <i>skeg</i> dengan plat sisi <i>skeg</i> .....	35
Gambar 3. 31 Contoh sambungan antara sambungan plat alas <i>skeg</i> dengan plat belakang <i>skeg</i> .....	35
Gambar 3. 32 Contoh sambungan antara penegar dengan <i>flat bar</i> .....	35
Gambar 3. 33 Contoh sambungan antara <i>flat bar</i> dengan plat sisi kanan <i>skeg</i> .....	35
Gambar 3. 34 Hasil <i>meshing</i> model.....	36
Gambar 3. 35 Hasil <i>meshing</i> penegar <i>skeg</i> .....	36
Gambar 3. 36 Pemberian beban gaya pada <i>skeg</i> ketika kapal maju .....	37
Gambar 3. 37 Pemberian beban gaya pada <i>skeg</i> ketika kapal mundur.....	38
Gambar 3. 38 Grafik perubahan jumlah elemen terhadap <i>maximum stress</i> .....	39
Gambar 3. 39 Persebaran te	
Gambar 4. 1 Tegangan von mises pada <i>skeg</i> ketika kapal maju dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 160RPM.....	44

Gambar 4. 2 Detail lokasi tegangan von mises maksimum yang terjadi pada <i>skeg</i> .....	44
Gambar 4. 3 Deformasi pada <i>skeg</i> ketika kapal maju dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 160RPM.....	45
Gambar 4. 4 Detail lokasi terjadinya deformasi maksimum .....	45
Gambar 4. 5 Tegangan von mises pada <i>skeg</i> ketika kapal maju dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 240RPM.....	46
Gambar 4. 6 Detail lokasi terjadinya tegangan von mises maksimum.....	46
Gambar 4. 7 Deformasi pada <i>skeg</i> ketika kapal maju dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 240RPM.....	47
Gambar 4. 8 Detail lokasi terjadinya deformasi maksimum .....	47
Gambar 4. 9 Tegangan von mises pada <i>skeg</i> ketika kapal maju dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 320RPM.....	48
Gambar 4. 10 Detail lokasi terjadinya tegangan von mises maksimum.....	48
Gambar 4. 11 Deformasi pada <i>skeg</i> ketika kapal maju dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 320RPM.....	49
Gambar 4. 12 Detail lokasi terjadinya deformasi maksimum .....	49
Gambar 4. 13 Tegangan von mises pada <i>skeg</i> ketika kapal maju dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 400RPM.....	50
Gambar 4. 14 Detail lokasi terjadinya tegangan von mises maksimum.....	50
Gambar 4. 15 Deformasi pada <i>skeg</i> ketika kapal maju dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 400RPM.....	51
Gambar 4. 16 Detail lokasi terjadinya deformasi maksimum .....	51
Gambar 4. 17 Grafik tegangan maksimum <i>skeg</i> ketika kapal maju .....	52
Gambar 4. 18 Grafik deformasi maksimum <i>skeg</i> ketika kapal maju.....	53
Gambar 4. 19 Tegangan von mises pada <i>skeg</i> ketika kapal mundur dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 160RPM.....	54
Gambar 4. 20 Detail lokasi tegangan von mises maksimum yang terjadi pada <i>skeg</i> .....	54
Gambar 4. 21 Deformasi pada <i>skeg</i> ketika kapal mundur dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 160RPM.....	55
Gambar 4. 22 Detail lokasi deformasi maksimum yang terjadi pada <i>skeg</i> .....	55
Gambar 4. 23 Tegangan von mises pada <i>skeg</i> ketika kapal mundur dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 240RPM.....	56
Gambar 4. 24 Detail lokasi tegangan von mises maksimum yang terjadi pada <i>skeg</i> .....	56
Gambar 4. 25 Deformasi pada <i>skeg</i> ketika kapal mundur dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 240RPM.....	57
Gambar 4. 26\ Detail lokasi deformasi maksimum yang terjadi pada <i>skeg</i> .....	57
Gambar 4. 27 Tegangan von mises pada <i>skeg</i> ketika kapal mundur dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 320RPM.....	58
Gambar 4. 28 Detail lokasi tegangan von mises maksimum yang terjadi pada <i>skeg</i> .....	58
Gambar 4. 29 Deformasi pada <i>skeg</i> ketika kapal mundur dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 320RPM.....	59
Gambar 4. 30 Detail lokasi deformasi maksimum yang terjadi pada <i>skeg</i> .....	59
Gambar 4. 31 Tegangan von mises pada <i>skeg</i> ketika kapal mundur dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 400RPM.....	60
Gambar 4. 32 Detail lokasi tegangan von mises maksimum yang terjadi pada <i>skeg</i> .....	60
Gambar 4. 33 Deformasi pada <i>skeg</i> ketika kapal mundur dengan kecepatan putar <i>propeller</i> 400RPM.....	61
Gambar 4. 34 Detail lokasi deformasi maksimum yang terjadi pada <i>skeg</i> .....	61
Gambar 4. 35 Grafik tegangan maksimum <i>skeg</i> ketika kapal maju .....	62

Gambar 4. 36 Grafik deformasi maksimum <i>skeg</i> ketika kapal maju.....	63
Gambar 4. 37 Grafik perbandingan tegangan maksimum ketika kapal maju dan mundur .....	64
Gambar 4. 38 Grafik perbandingan deformasi maksimum ketika kapal maju dan mundur.....	65
gangan dan lokasi tegangan maksimum pada <i>skeg</i> .....	39
Gambar 3. 40 Persebaran regangan dan lokasi regangan maksimum pada <i>skeg</i> .....	40

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Ukuran Utama Kapal.....	18
Tabel 3. 2 Data hidrostatik kapal.....	19
Tabel 3. 3 Rekapitulasi hasil simulasi model <i>propeller</i> .....	23
Tabel 3. 4 Validasi lambung kapal hasil <i>redraw</i> .....	27
Tabel 3. 5 Rekapitulasi resultan gaya yang terjadi pada <i>skeg</i> .....	30
Tabel 3. 6 <i>Physical properties</i> dan <i>mechanical properties</i> baja AH 36.....	32
Tabel 3. 7 Rekapitulasi gaya yang terjadi pada struktur <i>skeg</i> .....	37
Tabel 3. 8 <i>Grid independence</i> dan <i>grid convergence</i> struktur <i>skeg</i> .....	38
Tabel 4. 1 Rekapitulasi gaya yang diterima <i>skeg</i> kapal.....	44
Tabel 4. 2 Rekapitulasi Nilai Tegangan Von Mises dan Deformasi ketika Kapal Maju .....	52
Tabel 4. 3 Rekapitulasi Nilai Tegangan Von Mises dan Deformasi ketika Kapal Mundur ....	62
Tabel 4. 4 Pengecekan Nilai Tegangan .....	67

## DAFTAR SIMBOL

KT	=	<i>Thrust coefficient</i>
KQ	=	<i>Torque coefficient</i>
J	=	<i>Advanced coefficient</i>
T	=	<i>Thrust propeller (N)</i>
Q	=	<i>Torque propeller (N.m)</i>
$\rho$	=	<i>Fluid density (kg.m<sup>-3</sup>)</i>
D	=	<i>Diameter propeller (m)</i>
n	=	<i>Propeller angular velocity (rps)</i>
V <sub>a</sub>	=	<i>Wake speed (m/s)</i>
V <sub>s</sub>	=	<i>Ship speed (m/s)</i>
W <sub>T</sub>	=	<i>Wake fraction</i>
CB	=	<i>Block coefficient</i>
L	=	<i>Ship length (m)</i>
B	=	<i>Ship breadth (m)</i>
$\sigma$	=	<i>Tegangan (N/m<sup>2</sup>)</i>
P	=	<i>Gaya (N)</i>
A	=	<i>Luas penampang (m<sup>2</sup>)</i>
$\varepsilon$	=	<i>Regangan</i>
$\Delta$	=	<i>Perpanjangan (m)</i>
L <sub>0</sub>	=	<i>Panjang awal (m)</i>
$\sigma_{vm}$	=	<i>tegangan von mises (N/m<sup>2</sup>)</i>
$\sigma_x$	=	<i>tegangan normal elemen pada sumbu x (N/m<sup>2</sup>)</i>
$\sigma_y$	=	<i>tegangan normal elemen pada sumbu y(N/m<sup>2</sup>)</i>
$\sigma_z$	=	<i>tegangan normal elemen pada sumbu z(N/m<sup>2</sup>)</i>
$\tau_{xy}$	=	<i>tegangan geser elemen pada sumbu x dan y (N/m<sup>2</sup>)</i>
$\tau_{yz}$	=	<i>tegangan geser elemen pada sumbu y dan z (N/m<sup>2</sup>)</i>
$\tau_{xz}$	=	<i>tegangan geser elemen pada sumbu x dan z (N/m<sup>2</sup>)</i>
$\mu$	=	<i>angka poisson</i>

- $\varepsilon_h$  = regangan horizontal atau *lateral strain*  
 $\varepsilon_v$  = regangan vertikal *axial strain*  
E = Modulus elastisitas (N/m<sup>2</sup>)

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1. Latar Belakang Masalah

Kapal merupakan salah satu alat transportasi yang memiliki motor penggerak seperti *main engine* dan alat pendorong seperti *propeller* agar dapat berlayar. Biasanya kapal cepat atau kapal dengan kebutuhan *thrust* yang besar memiliki dua *propeller*, seperti kapal patroli dan *tug boat*. Ketika kapal berlayar menggunakan 2 *propeller* maka salah satu hal yang harus diperhatikan adalah aliran fluida yang masuk ke *propeller*. Hal ini karena adanya perbedaan antara kecepatan kapal dengan kecepatan air yang melalui *propeller* atau arus ikut (*wake*) (Harvald, 1983), dimana semakin besar *wake* maka daya yang diperlukan untuk mendorong kapal juga semakin besar, sehingga salah satu upaya untuk memperkecil nilai *wake*, dilakukan penambahan *skeg* di antara kedua *propeller* tersebut.

Pada saat kapal *twin screw* berlayar, tidak menutup kemungkinan kapal tersebut hanya berlayar dengan satu *propeller*. Salah satu contoh kasus ini terjadi kapal patroli 73m dengan *propeller* ganda yang dibangun pada galangan swasta di Indonesia mengalami kerusakan *radiator* pada *main engine* bagian *port side* ketika kapal melakukan *endurance test*. Pada saat itu proses perbaikan *radiator* tidak berhasil dilakukan, sedangkan dari pihak *owner* menginginkan agar kapal tetap melanjutkan serangkaian pengujian yang lain, sehingga kapal *twin screw* tersebut hanya berlayar dengan satu *propeller*. Ketika *skeg* menerima beban dari dua *propeller* yang berputar dengan arah saling berlawanan maka resultan gaya yang diterima *skeg* bernilai nol. Namun, ketika hanya satu *propeller* yang berputar maka resultan gaya yang diterima *skeg* tidak sama dengan nol. Berdasarkan hal tersebut maka diperlukan analisis kekuatan *skeg* akibat putaran salah satu *propeller*.

### I.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dijelaskan sebelumnya, maka permasalahan yang akan dicari penyelesaiannya dalam penelitian ini yaitu:

1. Berapakah besarnya beban yang diterima *skeg* akibat aliran fluida yang dihasilkan oleh putaran baling-baling?

2. Apakah konstruksi *skeg* pada kapal mampu menerima beban dari fluida yang dihasilkan oleh putaran baling-baling?

### **I.3. Tujuan**

Tujuan dari penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui besarnya beban yang diterima *skeg* akibat aliran fluida yang dihasilkan oleh putaran baling-baling
2. Mengetahui kekuatan konstruksi *skeg* pada kapal *patroli* dalam menerima beban dari fluida yang dihasilkan oleh putaran baling-baling

### **I.4. Batasan Masalah**

Batasan-batasan yang digunakan dalam pengerjaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dilakukan di perairan tenang
2. Kapal dalam kondisi muatan penuh
3. Menggunakan beban statis
4. Validasi *propeller* hanya dilakukan dengan validasi *open water test*
5. Lanjur las diabaikan

### **I.5. Manfaat**

Dari penulisan penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan gambaran aliran fluida dari hasil putaran baling-baling yang terjadi pada *skeg* kapal
2. Memberikan gambaran beban yang diterima oleh *skeg* akibat aliran fluida yang dihasilkan oleh putaran baling-baling
3. Membantu analisis kekuatan *skeg* pada kapal patroli
4. Sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan ukuran konstruksi *skeg* yang optimum

### **I.6. Hipotesis**

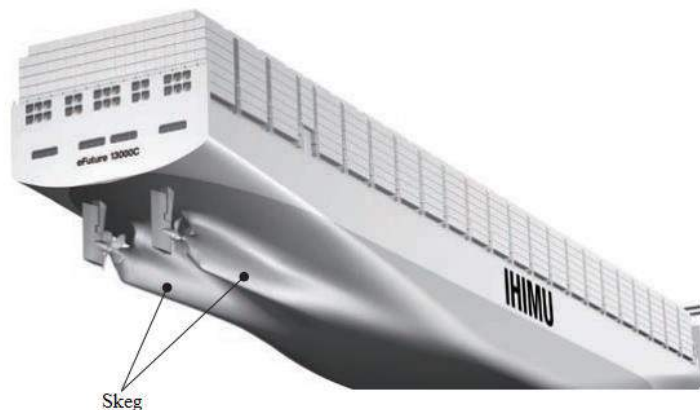
Semakin besar kecepatan putar baling-baling, maka beban yang diterima *skeg* juga semakin besar, sehingga beban terbesar yang diterima oleh *skeg* terjadi pada kecepatan putar baling-baling sebesar 100%RPM.

## BAB II STUDI LITERATUR

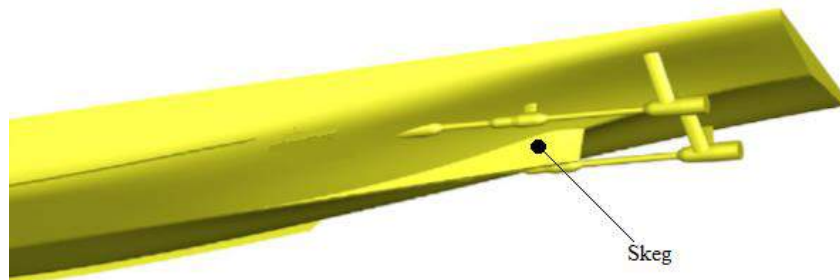
### II.1. Dasar Teori

#### II.1.1. *Skeg*

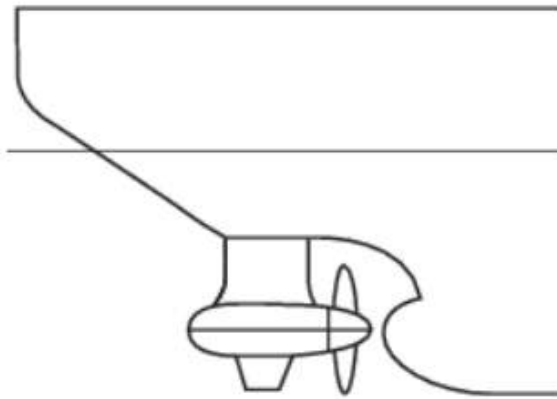
Smith dan Belcher (1867) mendefinisikan *skeg* sebagai bagian kecil dan tipis pada lunas kapal atau potongan miring berlebih pada buritan kapal yang tidak disertai dengan linggi buritan. Sedangkan menurut IMO (2002), *skeg* merupakan bagian vertikal atau miring yang menempel berupa plat berprofil atau *volumetric construction*. *Skeg* dapat dipasang pada poros *propeller* atau dipasang di luar poros *propeller* seperti yang terlihat pada gambar 2.1 dan 2.2. Kemudian bentuk *skeg* dapat berupa *faired skeg* atau *plated skeg* (IMO, 2011) seperti yang terlihat pada gambar 2.3 dan 2.4. Pada penelitian ini, *skeg* yang akan dianalisis adalah *skeg* yang dipasang di luar poros *propeller* dengan bentuk *plated skeg*.



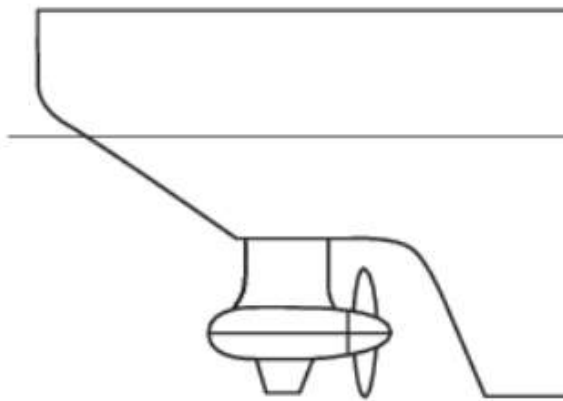
Gambar 2. 1 Contoh *skeg* yang dipasang pada poros *propeller*  
(Akira, et al., 2011)



Gambar 2. 2 Contoh *skeg* yang dipasang di luar poros *propeller*  
(Muscari, et al., 2017)



**Gambar 2. 3 Faired skeg**  
(IMO, 2011)



**Gambar 2. 4 Plated skeg**  
(IMO, 2011)

### **II.1.2. Propeller**

Bentuk alat pendorong yang paling umum adalah *screw propeller* yang pada dasarnya terdiri dari *central hub* dan beberapa *blades* atau daun *propeller* yang memanjang keluar secara radial pada *central hub*. Gaya angkat dihasilkan oleh daun *propeller*. Komponen gaya angkat akan menghasilkan gaya dorong yang diinginkan dan komponen lainnya menciptakan torsi yang harus diatasi oleh *engine* untuk mempertahankan rotasi *propeller* (ITTC, 2008). Dalam buku *Marine Propellers and Propulsion* (FREng, 2010) terdapat beberapa sistem propulsi yang sedang digunakan dan dalam pengembangan, diantaranya yaitu *fixed pitch propellers*, *ducted propellers*, *podded and azimuthing propulsors*, *contra-rotating propellers*, *overlapping propellers*, *tandem propellers*, *controllable pitch propellers*, *surface piercing propellers*, *waterjet propulsion*, *cycloidal propellers*, *paddle wheels*, *magnetohydrodynamic propulsion* dan *whale-tail propulsion*. Pada penelitian ini, *propeller* yang akan digunakan adalah *fixed*

*pitch propeller (FPP)*, yaitu *propeller* yang hanya memiliki variasi operasional berupa kecepatan putar *propeller*, serta tidak memiliki derajat kebebasan ekstra untuk merubah *blade pitch*. Tipikal *fixed pitch propeller* biasanya memiliki 4 daun *propeller* yang lebar untuk *bulk carrier* seperti pada gambar 2.5 (a), kemudian *high-speed patrol craft propeller* seperti pada gambar 2.5 (b), lalu 7 daun *propeller blanced high-screw design* seperti pada gambar 2.5 (c), *surface piercing propeller* seperti pada gambar 2.5 (d) dan *biased high-skew, low-blade-area ratio propeller* seperti pada gambar 2.5 (e). Rangkuman tipikal *fixed pitch propeller* dapat dilihat pada gambar 2.5 (a) hingga (e).



(a) FPP dengan 4 daun *propeller* yang lebar untuk *bulk carrier*



(b) *High-speed patrol craft propeller*



(c) FPP dengan 7 daun *propeller blanced high-screw design*



(d) *surface piercing propeller*



(e) *biased high-skew, low-blade-area ratio propeller*

Gambar 2. 5 Tipikal *fixed pitch propellers*

(FREng, 2010)

Karakteristik performa *propeller* dapat dibagi menjadi *open water* dan *behind-hull characteristics* (FREng, 2010). *Open water characteristics* berkaitan dengan gaya dan momen yang bekerja pada *propeller* ketika beroperasi dalam aliran fluida *uniform* yang sejajar dengan *center line* poros. Sedangkan karakteristik *behind-hull characteristics* berkaitan dengan gaya dan momen yang dihasilkan oleh *propeller* ketika beroperasi pada *mixed wake* di area belakang sebuah *body*. Selanjutnya hanya akan dibahas lebih lanjut mengenai *open water characteristics*.

Pada *open water characteristics*, gaya dan momen yang dihasilkan oleh *propeller* dinyatakan dalam karakteristik tidak berdimensi untuk mengkonfigurasi geometri dari *propeller*. Karakteristik-karakteristik tidak berdimensi ini dapat ditunjukkan dengan *thrust coefficient* ( $KT$ ), *troque coefficient* ( $KQ$ ) dan *advanced coefficient* ( $J$ ) yang nilainya dapat dilihat pada gambar 2.6 atau dengan persamaan II.1 II.2 dan II.3 berikut ini. Persamaan *wake fraction* ( $W_T$ ) II.5 digunakan untuk kapal-kapal *twin screw* dengan nilai  $L/B$  antara 6 hingga 7 (Molland, et al., 2011). Dalam penentuan diagram  $KT$   $KQ$   $J$  yang akan digunakan untuk mengetahui karakteristik performa *propeller* dapat ditentukan berdasarkan *series* dari *propeller*. Salah satu *series* tersebut adalah Wageningen B Series yaitu *propeller series* yang

memiliki dua hingga tujuh daun baling-baling, dengan BAR 0.3 hingga 1.05 serta dengan P/D sebesar 0.6 hingga 1.4 (Molland, et al., 2011).

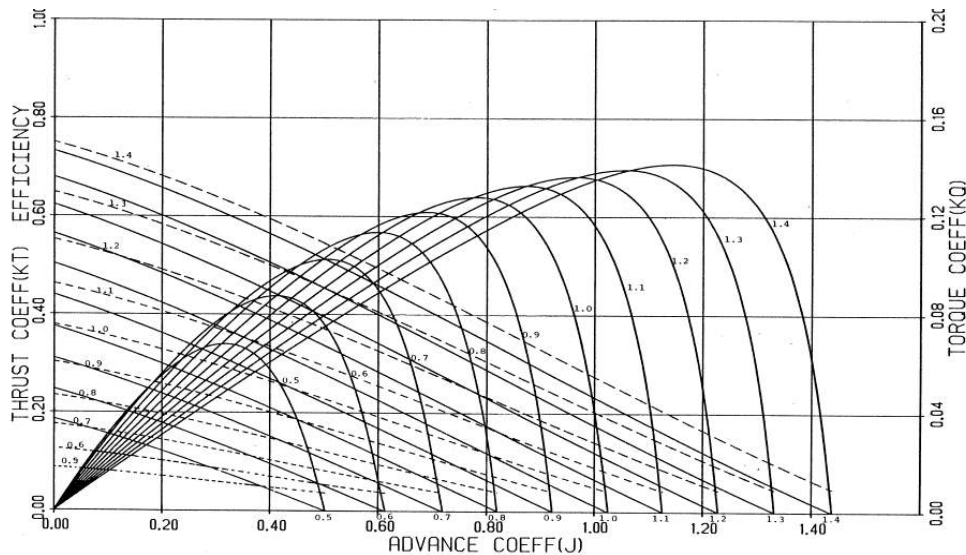
$$KT = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad \text{II.1}$$

$$KQ = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \quad \text{II.2}$$

$$J = \frac{Va}{nD} \quad \text{II.3}$$

$$Va = Vs(1 - W_T) \quad \text{II.4}$$

$$W_T = [0.71 - 2.39C_B + 2.33C_B^2] + [0.12C_B^4 \left(6.5 - \frac{L}{B}\right)] \quad \text{II.5}$$



**Gambar 2. 6 Diagram KT KQ dan J pada Wageningen *B-series propeller* untuk 4 daun dengan AE/A0 sebesar 1 dan P/D sebesar 0.5 hingga 1.4 (Bernitsas, et al., 1981)**

### II.1.3. Tegangan dan Regangan

Tegangan (*stress*) merupakan intensitas gaya yang mengenai suatu penampang luasan atau secara matematis tegangan diukur dalam satuan gaya dibagi dengan satuan luas (Popov, 1984), dimana persamaannya dapat dilihat pada persamaan II.6 berikut ini.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{II.6}$$

Regangan (*strain*) adalah perpanjangan atau besarnya perubahan panjang per ukuran panjang mula-mula (Popov, 1984), dimana persamaannya dapat dilihat pada persamaan II.7 berikut ini.

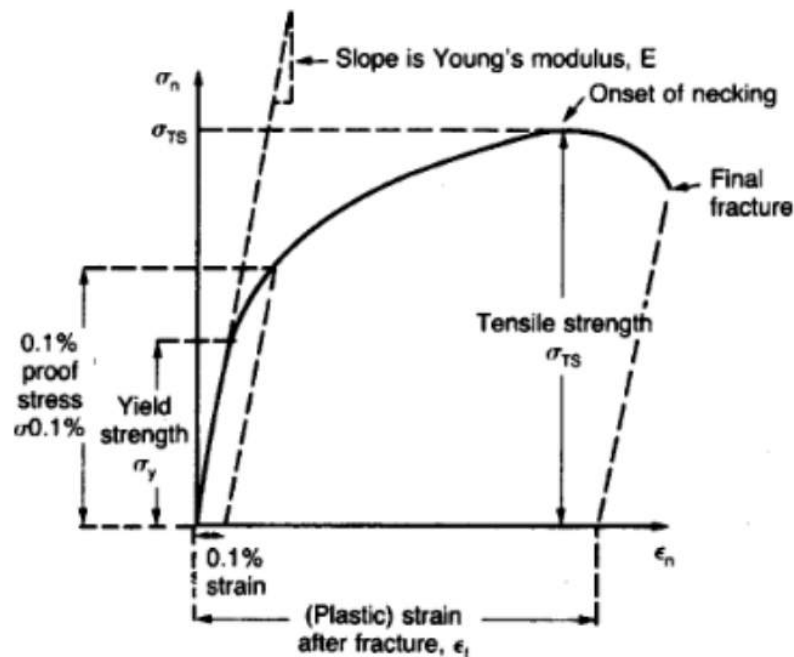
$$\varepsilon = \frac{\Delta}{L_0}$$

II.7

Besaran ini tidak berdimensi tetapi dapat juga memiliki dimensi meter per meter atau m/m. Regangan ini terkadang juga dapat diberikan dalam bentuk persen.

### II.1.3.1. Diagram Tegangan-Regangan

Diagram tegangan-regangan merupakan plot besarnya tegangan terhadap regangan (Popov, 1984). Berdasarkan eksperimen, diagram tegangan regangan berbeda untuk jenis material yang berbeda. Bahkan pada material yang sama, diagram ini juga berbeda tergantung pada suhu pengujian, kecepatan pengujian dan beberapa variabel lainnya (Popov, 1984). Contoh diagram tegangan-regangan untuk material *brittle* dapat dilihat pada gambar 2.7 berikut



Gambar 2. 7 Diagram tegangan regangan  
(Khlstov, et al., 2013)

### II.1.3.2. Tegangan Von Mises

Haque(2017) menjelaskan bahwa tegangan von mises merupakan kombinasi dari semua tegangan normal dalam tiga arah dan tegangan geser yang terjadi pada lokasi tertentu. Apabila tegangan von mises yang dihasilkan lebih besar dari *yield strength*, maka material tetap akan memberikan kekuatan sebesar *yield strength* dan material menjadi bersifat plastis. Kemudian jika tegangan von mises melebihi *ultimate strength* material tersebut maka material tersebut akan pecah. Suatu material atau struktur berada dalam kondisi aman selama nilai

maksimum dari *distortion energy* per satuan volume pada material lebih kecil dari *distortion energy* per satuan volume di titik luluh atau *yield* saat uji tarik pada material yang sama (Mises, 1913).

$$\sigma_{vm} = \sqrt{I_1^2 - 3I_2} \quad \text{II.8}$$

$$I_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \quad \text{II.9}$$

$$I_2 = \sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{xz}^2 \quad \text{II.10}$$

#### II.1.4. Angka Poisson

Angka poisson menunjukkan besarnya perbandingan antara regangan horizontal (*lateral strain*) dengan regangan vertikal (*axial strain*) yang diakibatkan oleh adanya beban sejajar sumbu dan regangan aksial (Yoder, 1975). Persamaan angka poisson dapat dilihat pada persamaan II.11 berikut ini.

$$\mu = \frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_v} \quad \text{II.11}$$

#### II.1.5. Modulus Elastisitas

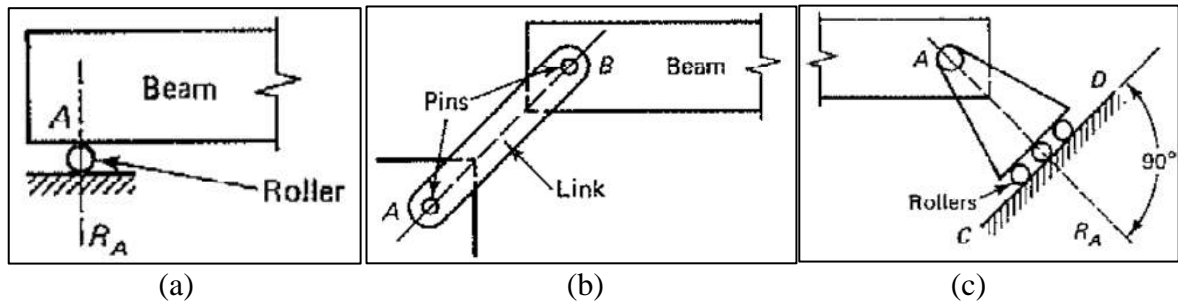
Dalam bukunya (Tripler, 1998) penentuan modulus elastisitas atau modulus young suatu bahan selalu berkaitan dengan sifat elastisitasnya termasuk batas elastis bahan tersebut. Elastis sendiri merupakan kemampuan suatu benda untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula ketika gaya yang sedang mengenainya dihilangkan. Batas elastis suatu benda terjadi pada tegangan terkecil yang dapat menghasilkan perubahan permanen pada benda tersebut. Sehingga benda tidak akan kembali ke bentuk dan ukuran semula ketika benda tersebut mendapat tegangan yang melebihi batas ini. Modulus elastis ini menentukan hubungan antara tegangan dan regangan apakah terjadi hubungan yang linier atau proporsional. Hukum yang menyatakan hubungan ini disebut dengan Hukum Hooke. Persamaan hubungan antara tegangan dan regangan dapat dilihat pada persamaan II.12 berikut ini.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \text{II.12}$$

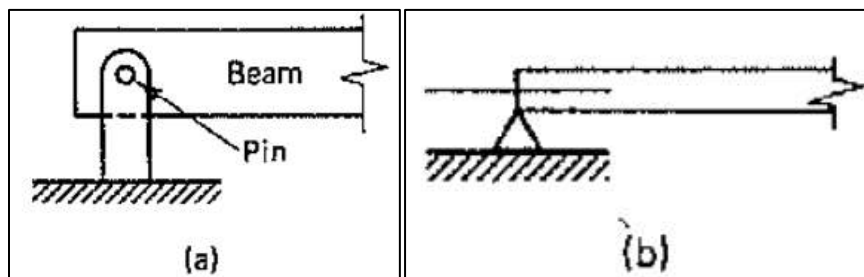
#### II.1.6. Tumpuan

Reaksi suatu struktur balok terhadap gaya yang diberikan bergantung dengan tumpuan yang terdapat pada balok tersebut. Jenis tumpuan ini ada 3 macam yaitu tumpuan *rol* atau

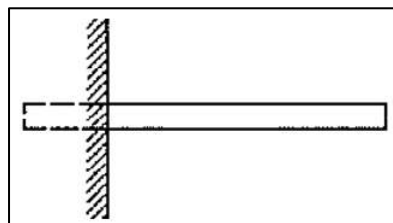
penghubung, tumpuan *pin* atau pasak dan yang terakhir adalah *fixed support* atau tumpuan jepit (Popov, 1984), dimana masing-masing ilustrasi dari tumpuan dapat dilihat pada gambar 2.8 untuk tumpuan rol, gambar 2.9 untuk tumpuan *pin*, dan gambar 2.10 untuk tumpuan jepit, sedangkan perbedaan ketiga jenis tumpuan dan reaksi yang terjadi pada masing-masing jenis tersebut dapat dilihat pada gambar 2.11 (Popov, 1984).



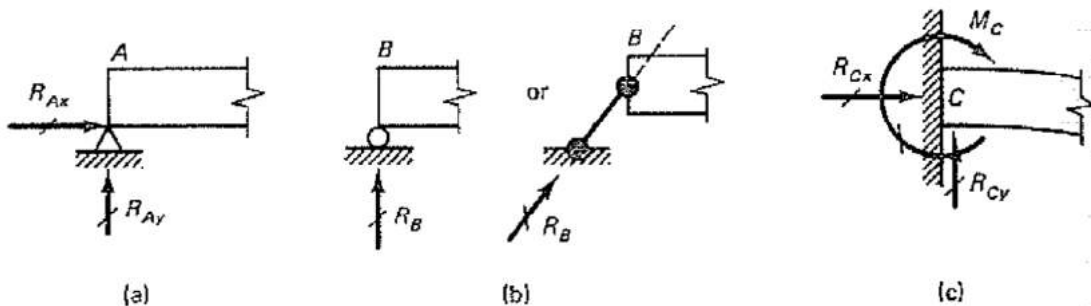
Gambar 2. 8 Macam-macam kondisi tumpuan rol (Popov, 1984)



Gambar 2. 9 Tumpuan pin pada kondisi aktual (a) dan bentuk diagram (b) (Popov, 1984)



Gambar 2. 10 Ilustrasi tumpuan jepit (Popov, 1984)



Gambar 2. 11 Perbedaan ketiga jenis tumpuan pin (a), rol (b) dan jepit (c) serta reaksi yang terjadi pada masing-masing tumpuan (Popov, 1984)

### **II.1.7. Computational Fluid Dynamic (CFD)**

CFD merupakan suatu studi yang dikhususkan untuk solusi persamaan aliran fluida melalui penggunaan komputer, dimana keluaran CFD ini dapat digunakan sebagai pembandingan hasil eksperimen (Cengel & Cimbala, 2006). Setiap orang cerdas yang paham komputer dapat menjalankan CFD, namun hasil yang diperolehnya mungkin tidak selalu benar, bahkan jika *grid* yang dihasilkan tidak benar atau kondisi batas dari aliran tidak diterapkan dengan benar maka hasil dari CFD ini akan sepenuhnya salah (Cengel & Cimbala, 2006).. Langkah-langkah pada analisis CFD ini adalah (Cengel & Cimbala, 2006).

#### a. *Preprocessing*

Merupakan tahapan yang melibatkan pembuatan model atau *model importing* dari hasil CAD dan diaplikasikan ke *finite-volume-based mesh* dan dilanjutkan dengan proses memasukkan data.

#### b. *Postprocessing*

Merupakan tahapan mengenai *organization* dan interpretasi data dan gambar.

### **II.1.8. Finite Element Method (FEM)**

Metode elemen hingga adalah metode numerik untuk memecahkan masalah dari *engineering and mathematical physics*. FEM dapat digunakan untuk melakukan analisis struktural dan non struktural, dimana tipe analisis struktural adalah analisis tegangan, *buckling*, dan analisis getaran, sedangkan tipe analisis non struktural adalah analisis perpindahan panas, aliran fluida dan potensi elektromagnetik. Analisis ini didapatkan dengan menghasilkan nilai perkiraan dari sejumlah *node-node* tertentu (Logan, 2007). Langkah-langkah pada analisis FEM adalah (Logan, 2007).

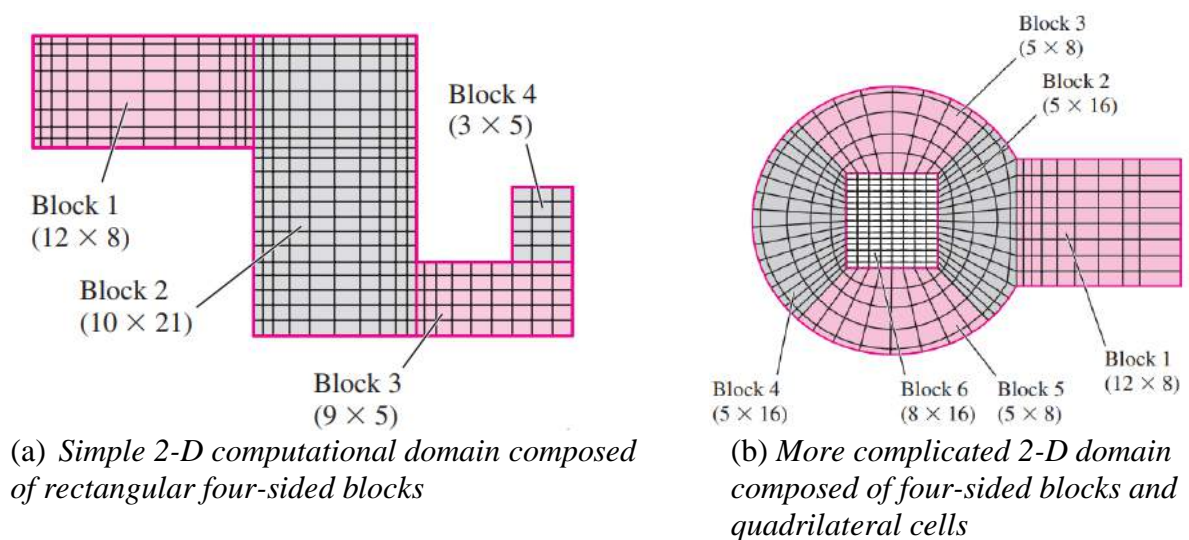
- a. Diskritisasi dan pemilihan tipe elemen
- b. Memilih *displacement function*
- c. Mendefinisikan regangan/*displacement* dan tegangan/hubungan regangan
- d. Menentukan matriks kekakuan elemen dan persamaan
- e. Menggabungkan persamaan elemen untuk mendapatkan global atau persamaan total, serta menentukan kondisi batas
- f. Menyelesaikan untuk derajat kebebasan yang tidak diketahui
- g. Menyelesaikan regangan dan tegangan pada elemen
- h. Menginterpretasi hasil

### II.1.9. Meshing

Dalam penelitiannya (Hoque, 2016) menyebutkan *meshing* atau *mesh generation* merupakan pembuatan elemen berbentuk poligonal atau polihedral yang mendekati domain geometris model. Dalam proses ini model dibagi menjadi beberapa elemen dengan ukuran yang lebih kecil. Pada metode elemen hingga, *meshing* merupakan salah satu tahapan dalam perhitungan numerik. Berdasarkan bentuk pertemuan antar elemen, *meshing* dibedakan menjadi dua tipe yaitu *structured mesh* dan *unstructured mesh*. Berikut ini akan dijelaskan lebih lanjut mengenai kedua tipe ini.

#### II.1.9.1. Structured Mesh

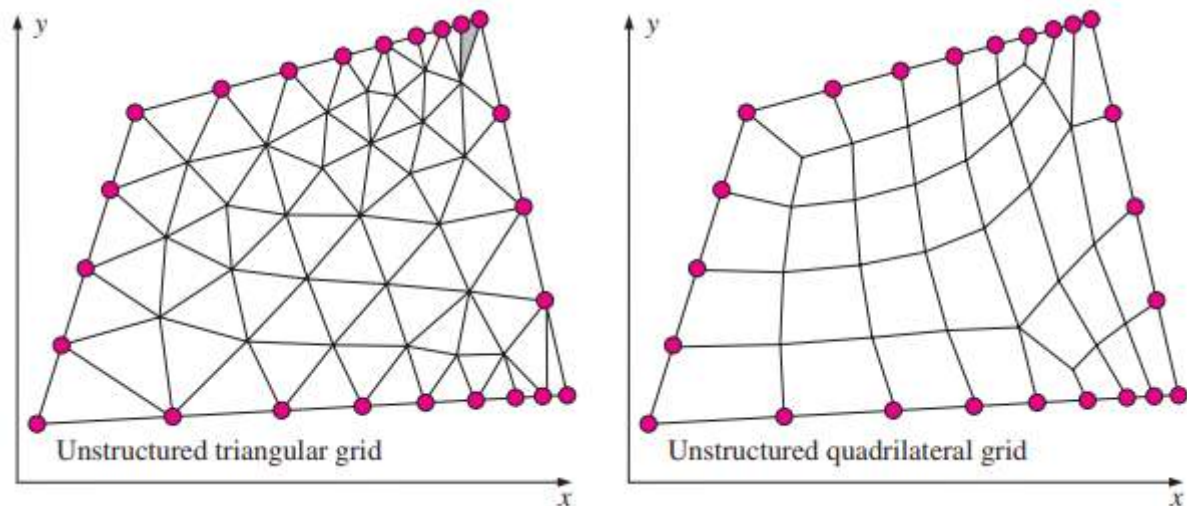
*Structured mesh* merupakan tipe *meshing* yang apabila dilihat dari *node meshing* yang dihasilkan memiliki jumlah elemen yang sama pada titik pertemuan antar elemennya. Elemen pada tipe *meshing* ini biasanya berbentuk quad atau hexagonal seperti yang ada di gambar 2.12 berikut ini.



Gambar 2. 12 Structured mesh  
(Cengel & Cimbala, 2006)

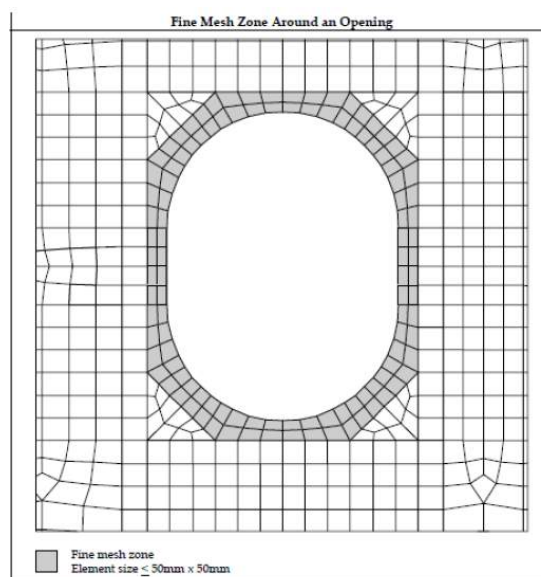
#### II.1.9.2. Unstructured Mesh

*Unstructured mesh* menghasilkan bentuk elemen maupun pertemuan antar elemen yang tidak beraturan. Elemen pada tipe *meshing* ini biasanya berbentuk tetrahedral atau triangul seperti yang ada di gambar 2.13.



**Gambar 2. 13 Unstructured mesh**  
(Cengel & Cimbala, 2006)

Ketika melakukan *meshing*, penentuan ukuran *meshing* ditentukan berdasarkan lokasinya. Pada area bertegangan tinggi harus menggunakan *fine mesh zone* (IACS, 2014). Ukuran elemen yang ada pada area tersebut tidak boleh lebih dari 50mm agar solusi yang dihasilkan mendekati penyelesaian yang sesungguhnya. Berikut ini pada gambar 2.7 diberikan contoh *fine mesh*.



**Gambar 2. 14 Fine mesh zone**  
(IACS, 2014)

### II.1.10. Grid Independence

Resolusi *grid* dan *time step* memiliki efek yang sangat besar pada hasil simulasi numerik yang tidak stabil dalam rentang tertentu (X. L., 2001). Pada prinsipnya *grid* yang sangat rapat dapat mengurangi nilai *error*, tetapi membutuhkan sumber daya yang besar,

sehingga untuk meningkatkan resolusi *grid* digunakan rasio 1/3 kemudian membandingkan kedua hasil simulasi. Jika hasil simulasi cenderung identik, maka *grid* tersebut dapat dianggap sebagai *grid independence* (Wei, et al., 2006). Sedangkan dalam penelitian (Dhana, 2018) penambahan jumlah *grid* dilakukan secara signifikan (misalnya dua kali lipat) dari satu percobaan ke percobaan selanjutnya agar perbedaan keluaran untuk masing-masing percobaan bersifat mutlak dan mencerminkan kondisi sesungguhnya.

#### **II.1.11. Grid Convergence**

Studi konvergensi merupakan acuan dalam pemilihan ukuran elemen *meshing* (Bijil, et al., 2010). Pada sebuah struktur, (Petit & Beran, 2006) menunjukkan bahwa dalam perhitungan *higher statistical moments*, diperlukan jumlah elemen yang optimum untuk mencapai elemen yang konvergen, dimana sangat penting agar jumlah elemen optimum pada masing-masing kasus struktur sehingga dapat dipastikan bahwa adanya perubahan *meshing* tidak mempengaruhi interpretasi hasil. Menurut (Anggara, 2013) jumlah elemen model telah optimum jika selisih *output* antara 2 percobaan yang berurutan dengan penambahan elemen adalah sebesar 2%.

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

Beberapa referensi maupun penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya terkait dengan penelitian yang sedang dikerjakan saat ini adalah.

- (Kim, et al., 2014) melakukan penelitian mengenai optimisasi hidrodinamika pada kapal LNG yang dilengkapi dengan *twin-skeg* menggunakan *CFD* dan pengujian model. Proses optimasi dan evaluasi menggunakan *Shipflow Friendship* dengan melakukan variasi berupa modifikasi bentuk dan posisi *skeg*. Penelitian ini menunjukkan bahwa *twin-skeg* dapat menjadi solusi untuk pengurangan bahan bakar hingga 13%.
- (Dwitara, et al., 2013) melakukan penelitian mengenai analisis aliran dan tekanan pada perubahan bentuk *skeg* kapal tongkang dengan pendekatan *CFD*. Kesimpulan pada penelitian ini adalah aliran fluida yang terjadi pada semua hasil simulasi kapal tongkang 160 ft dengan variasi bentuk *skeg* dan kecepatan fluida cenderung turbulen dengan nilai Reynolds Number tertinggi pada bentuk *skeg* konvensional sebesar 11652.45082 serta Semakin besar kecepatan dan sudut yang dibentuk oleh *skeg*, maka nilai *wall shear* (Pa) dan gaya hambat yang diterima akan semakin besar.
- (Widodo, et al., 2018) melakukan penelitian terkait studi variasi model *skeg* berdasarkan tahanan dan pola aliran yang melewati lambung *self propeller barge* dengan pendekatan

*CFD*. Desain *skeg* paling optimum ketika menggunakan *skeg* dengan luas permukaan *skeg* sebesar 30.59 m<sup>2</sup>, dimana menghasilkan hambatan sebesar 93.42kN dengan kecepatan aliran fluida 1.82m/s.

- (Maimun, et al., 2015) melakukan penelitian mengenai analisis peningkatan propulsi pada kapal *container* yang dilengkapi dengan *twin-skeg* dengan mengamati distribusi *wake* dan pola *streamline* aliran. Hasil penelitian ini menunjukkan kapal *container* yang dilengkapi dengan *twin-skeg* menghasilkan nilai *wake* yang lebih kecil yaitu sebesar 0.209. daripada ketika menggunakan *single skeg*.
- (Putra, et al., 2017) melakukan penelitian mengenai analisis pemasangan *skeg* pada linggi haluan terhadap pengurangan tahanan. Pemasangan *skeg* dengan ketebalan 1%, 3% dan 5% semakin meningkatkan tahanan kapal pada kecepatan 10knot, kecuali Tongkang Lct 188 dengan ketebalan *skeg* 1% dapat mengurangi resistance namun hanya sedikit.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB III METODOLOGI**

### **III.1. Metode**

Metode yang digunakan untuk mendapatkan beban fluida akibat putaran *propeller* terhadap *skeg* kapal dilakukan pendekatan *computational fluids dynamics* yang selanjutnya menjadi pembebanan pada konstruksi *skeg* kapal. Proses perhitungan ini nantinya dibantu dengan *software finite element method*. Beberapa variasi yang dilakukan pada penelitian ini untuk proses analisis tegangan yang diterima *skeg* kapal adalah variasi kecepatan putaran *propeller* (variasi RPM) dan variasi arah putaran *propeller*.

### **III.2. Studi Literatur**

Studi literatur terdiri dari dua bagian yaitu dasar teori dan tinjauan pustaka. Dasar teori merupakan uraian mengenai teori-teori yang memiliki keterkaitan langsung dalam penyelesaian penelitian. Sedangkan tinjauan pustaka berisi mengenai referensi maupun hasil penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya dan digunakan untuk menguraikan teori maupun sebagai bahan penelitian dalam menyusun kerangka pemikiran yang berkaitan dengan penelitian yang sedang dikerjakan.

### **III.3. Pengumpulan Data**

Sebelum melakukan pengerjaan penelitian, langkah yang harus dilakukan adalah pengumpulan data. Kegiatan ini dilakukan untuk mendapatkan data-data pendukung yang berkaitan dengan kondisi yang akan dianalisis dalam penelitian. Dalam pengerjaan penelitian ini data yang digunakan berupa data sekunder yang diperoleh dari salah satu galangan kapal yang ada di Indonesia. Data-data sekunder meliputi ukuran utama kapal, *lines plan*, *propeller arrangement*, *skeg construction* dan *engine room layout*.

Kapal yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini adalah Kapal Patroli 73m, dengan detail ukuran seperti pada tabel 3.1 berikut ini.

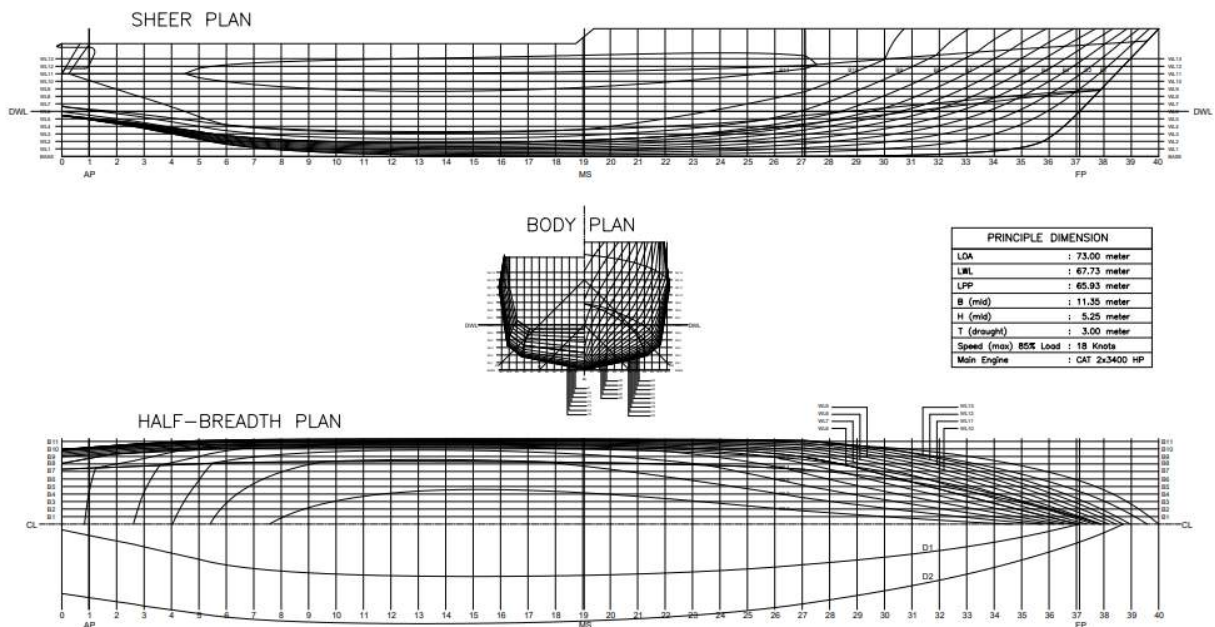
**Tabel 3. 1 Ukuran Utama Kapal**

PRINCIPLE DIMENSION	
LOA	: 73.00 meter
LWL	: 67.73 meter
LPP	: 65.93 meter
B (mld)	: 11.35 meter
H (mld)	: 5.25 meter
T (draught)	: 3.00 meter
Speed (max) 85% Load	: 18 Knots
Main Engine	: CAT 2x3400 HP

Sumber : PT.XX, 2018

### III.3.1. Lines Plan

Selain ukuran utama kapal, data sekunder yang berhasil didapatkan adalah *lines plan* kapal seperti yang terlihat pada gambar 3.1. *Lines plan* atau rencana garis digunakan sebagai acuan dalam proses permodelan lambung kapal. Permodelan ini dilakukan melalui proses *redraw* pada *software* permodelan lambung kapal.



**Gambar 3. 1 Lines Plan Kapal Patroli 73m  
(PT.XX, 2018)**

Data *lines plan* yang telah didapatkan juga dilengkapi dengan beberapa data hidrostatik kapal yang nantinya digunakan sebagai acuan dalam validasi lambung kapal, dimana data tersebut dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut ini.

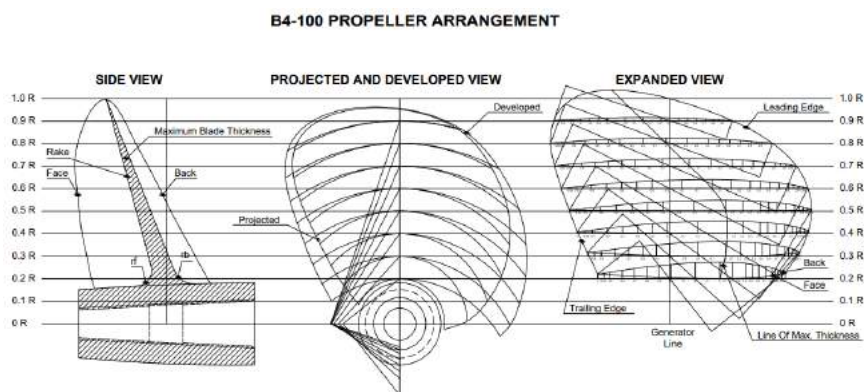
**Tabel 3. 2 Data hidrostatik kapal**

<i>Displacement</i>	: 1049.324 ton
<i>LCB (from AP)</i>	: 30.014 m
<i>CB</i>	: 0.455

Sumber : PT.XX, 2018

### III.3.2. Propeller Arrangement

*Propeller arrangement* dan *propeller particullar* dapat dilihat pada gambar 3.2 dan gambar 3.3. Data ini nantinya digunakan sebagai acuan dalam permodelan *propeller*. Hasil permodelan 3D *propeller* akan disatukan dengan model lambung dan digunakan sebagai penghasil beban yang akan mengenai *skeg* kapal dalam penelitian ini.



**Gambar 3. 2 Propeller Arrangement**

Sumber : PT.XX, 2018

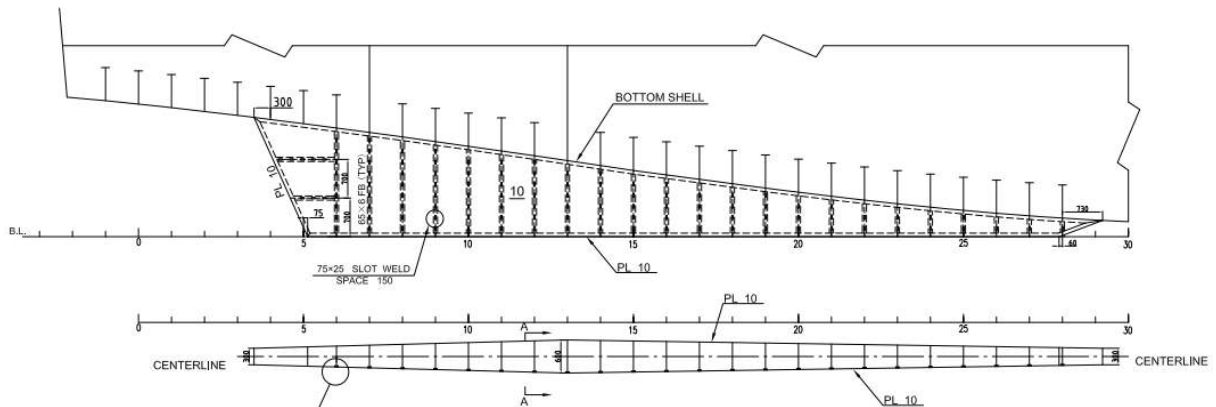
PROPELLER PARTICULLAR	: 1656 MM
PITCH ( CONSTANT ) IN MM	: 1542 MM
PITC RATIO	: 0.93
NO OF BLADES	: 4
TYPE	: B SERIES
DIRECTION	: LH & RH
MATERIAL	: MN BZ
DAR	: 0.45
<b>MAIN ENGINE</b>	
CONTINUOUS RATING	: 639.23
ENGINE RPM	: 1000
GEAR BOX RATIO	: 2.5 : 1
PROPELLER RPM	: 400
ENGINE MODEL	: CATERPILLAR C280

**Gambar 3. 3 Propeller Particullar**

Sumber : PT.XX, 2018

### III.3.3. Skeg Construction

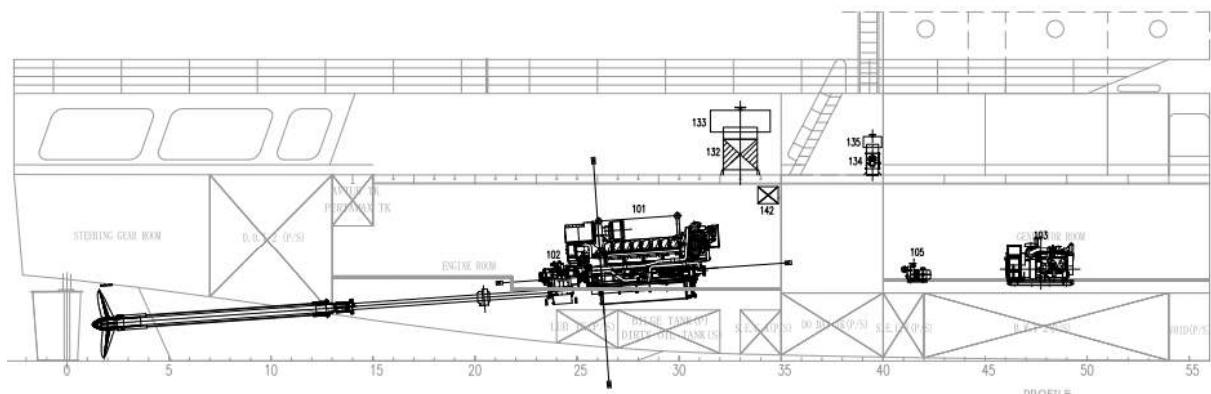
*Skeg construction* dapat dilihat pada gambar 3.4, sedangkan material yang digunakan pada *skeg* adalah baja AH36. Data ini nantinya digunakan sebagai acuan dalam permodelan *skeg*. Dalam penelitian ini, hasil permodelan 3D *skeg* akan dianalisis besarnya beban yang diterima dan kekuatan struktur *skeg*.



Gambar 3. 4 *Skeg Construction*  
Sumber : PT.XX, 2018

### III.3.4. Engine Room Layout

*Engine room layout* dapat dilihat pada gambar 3.5. Data ini nantinya digunakan sebagai acuan dalam penempatan posisi *skeg* dan *propeller* yang akan disatukan dengan lambung kapal.



Gambar 3. 5 Tampak samping *engine room layout*  
Sumber : PT.XX, 2018

### III.4. Validasi Model

#### III.4.1. Permodelan dan Validasi Model *Propeller*

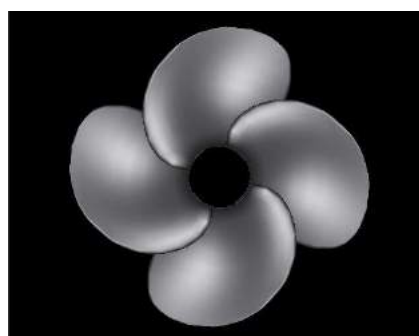
Permodelan *propeller* mengacu pada data *propeller arrangement*, dimana data-data yang diperlukan dalam permodelan ini adalah,

- Tipe *propeller*
- Rotasi
- Jumlah *blades*
- Diameter
- *Nominal pitch*
- *Expanded bar*
- *Skew angle*

Pembuatan model dilakukan menggunakan *software* CAD dengan tahapan proses seperti pengisian data *propeller* pada gambar 3.6 kemudian gambar hasil permodelan *propeller* dapat dilihat pada gambar 3.7 berikut ini.

Principal Data		
Prop Summary		
Type	FPP	
Rotation	Right	
Blades	4	
Diameter	1.656	m
Nominal pitch	1.542	m
Rake of GL aft	0.000	deg
Expanded BAR	1.000	
Skew angle	27.7	deg

Gambar 3. 6 Pengisian data *propeller*

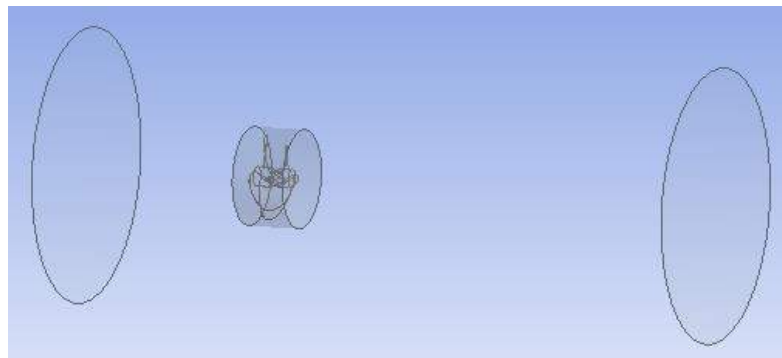


Gambar 3. 7 Model 3D *propeller*

Sebelum model 3D yang sudah terbentuk disatukan dengan lambung kapal, diperlukan validasi model *propeller* untuk memastikan bahwa model *propeller* yang telah dimodelkan sesuai dengan *propeller* yang sesungguhnya. Validasi ini dilakukan dengan membandingkan

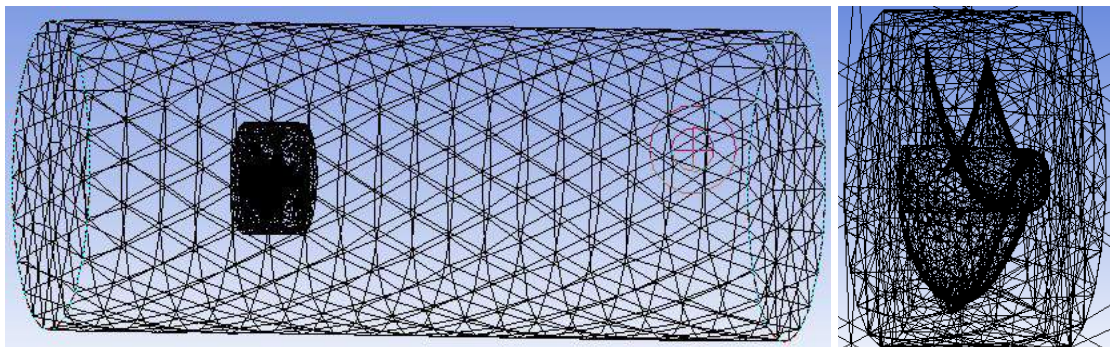
karakteristik *propeller* yaitu *thrust coefficient* (KT) model dengan diagram KT KQ. Nilai KT model diperoleh dengan mendapatkan nilai *thrust* atau gaya dorong yang dihasilkan model melalui *software finite element method*. Kemudian nilai *thrust* tersebut dimasukkan ke dalam persamaan II.1.

Model 3D *propeller* yang sudah dimodelkan pada *software CAD* selanjutnya *diexport* menjadi *file* yang berekstensi *.iges*. Setelah itu dilakukan *import file* tersebut pada *software FEM* dan dilakukan pembuatan area *inlet outlet* aliran fluida yang melewati *propeller* serta dilakukan pendefinisian bagian-bagian yang terdapat pada model. Ukuran panjang area *inlet outlet* mengacu pada (ITTC, 2014) dengan ukuran *inlet* minimum sebesar 2D dan *outlet* minimum sebesar 4D, dimana hasil permodelan tersebut dapat dilihat pada gambar 3.8 berikut ini.

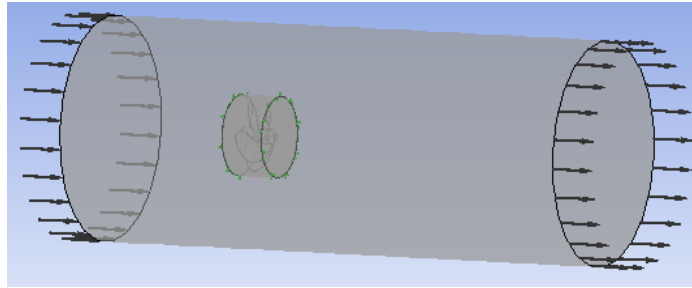


**Gambar 3. 8 Model *propeller* beserta *interface, inlet* dan *outlet area***

Setelah permodelan dan pendefinisian selesai, maka dapat dilanjutkan ke tahap *meshing* dan pengaturan *pre-solutions* dengan hasil seperti yang terlihat pada gambar 3.9 dan 3.10. Untuk mendapatkan konvergensi nilai KT pada model dilakukan perubahan variabel *growth rate* pada tahap *meshing* dan perhitungan nilai KT berdasarkan persamaan II.1



**Gambar 3. 9 *Propeller meshing***

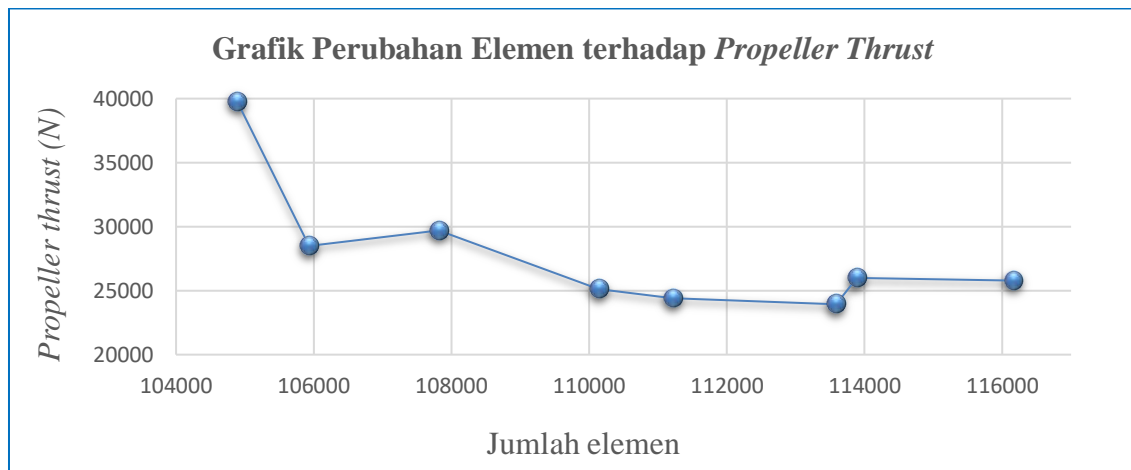


Gambar 3. 10 Hasil pengaturan pada tahap pra penyelesaian

Setelah serangkaian proses pengaturan *pre-solutions* seperti pengaturan kecepatan putaran *propeller*, kecepatan aliran fluida yang masuk ke *propeller*, arah putar *propeller* dan yang lainnya, maka dapat dilanjutkan dengan tahapan selanjutnya yaitu simulasi untuk mendapatkan nilai *thrust* yang dihasilkan oleh *propeller*, dimana nantinya nilai *thrust* ini akan digunakan untuk mendapatkan nilai KT atau *thrust coefficient* dari *propeller*. Rekapitulasi hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 3.4, namun untuk lebih memperjelas gambaran secara keseluruhan maka dibuat grafik perubahan jumlah elemen terhadap nilai *propeller thrust* seperti pada gambar 3.11.

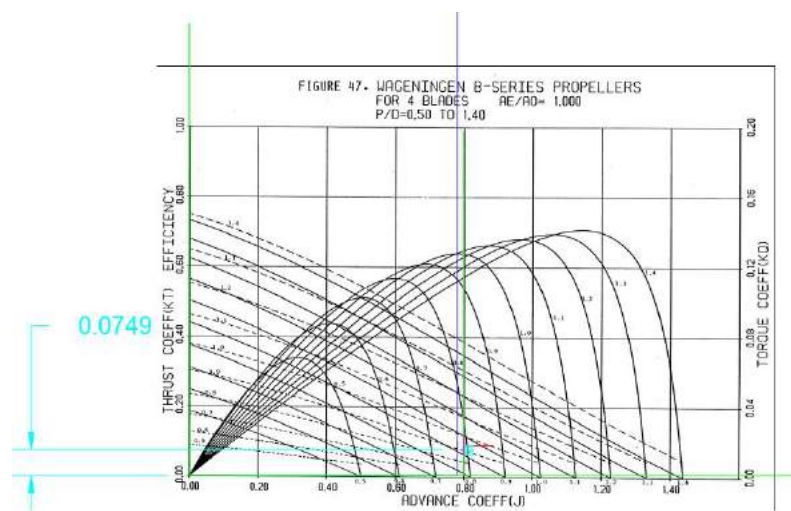
Tabel 3. 3 Rekapitulasi hasil simulasi model *propeller*

<i>Growth rates</i>	Elemen	T (N)	KT	<i>Relative Error</i>
1.7	104887	39782.9	0.116122	40%
1.69	105929	28487.2	0.083151	4%
1.68	107813	29722.3	0.086756	18%
1.67	110136	25117.1	0.073314	3%
1.66	111205	24408	0.071244	2%
1.65	113584	23934.3	0.069862	8%
1.64	113886	26010.5	0.075922	1%
1.63	116160	25794.4	0.075291	



Gambar 3. 11 Grafik perubahan elemen terhadap *propeller thrust*

Berdasarkan rekapitulasi hasil simulasi pada tabel 3.4 dan grafik perubahan elemen terhadap *propeller thrust* sebelumnya, maka dapat dilihat bahwa nilai *relative error* terkecil terdapat pada nilai *growth rate* 1.64 ke 1.63. Pada *growth rate* 1.64 didapatkan nilai KT sebesar 0.075922, dimana nilai KT ini akan dibandingkan dengan nilai KT pada gambar 3.12. Menurut gambar 3.12 nilai KT untuk *propeller* Wageningen B-Series dengan 4 daun,  $AE/A0$  bernilai 1,  $P/D$  sebesar 0.93 serta dengan *advance coefficient* bernilai 0.7966 maka didapatkan nilai KT sebesar 0.0749. Dari kedua nilai KT yang telah didapatkan ternyata terdapat perbedaan nilai KT model dengan nilai KT dari diagram KT KQ sebesar 1.36%. Penentuan nilai KT pada diagram KT KQ dapat dilihat pada gambar 3.12 berikut ini.

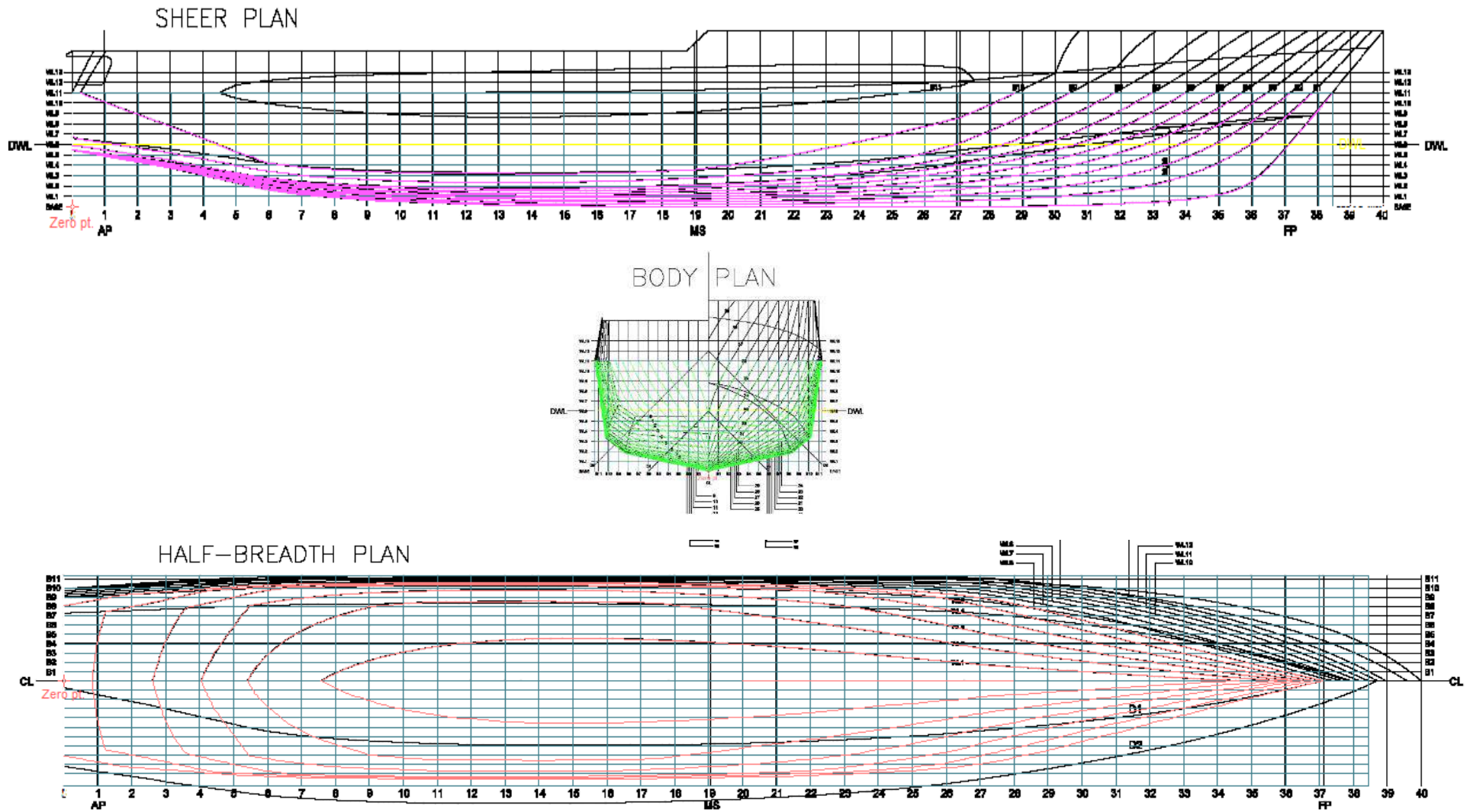


Gambar 3. 12 Penentuan nilai KT

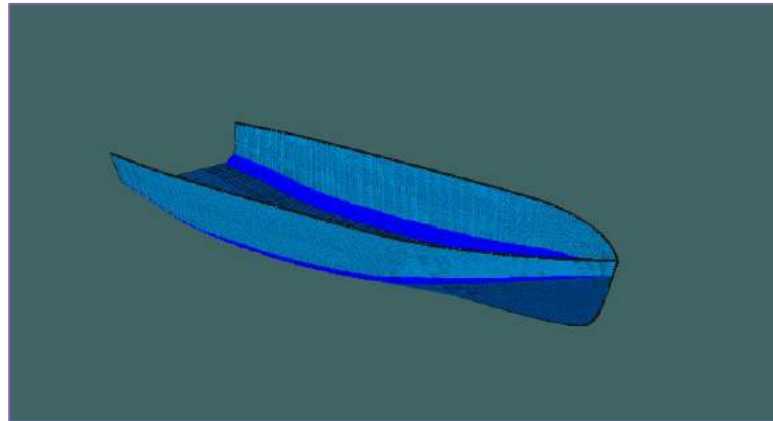
Karena perbedaan nilai KT model dengan KT pada diagram kecil, maka model *propeller* dapat dikatakan valid sehingga untuk tahap selanjutnya nilai *growth rate* yang digunakan pada *propeller* adalah 1.64 agar waktu simulasi yang akan dilakukan lebih singkat namun dalam kondisi *meshing propeller* yang sudah representatif.

### III.4.2. Permodelan dan Validasi Model Lambung

Permodelan lambung kapal dilakukan dengan melakukan *redraw* data *lines plan* serta mengacu pada data nilai *displacement*,  $CB$  dan  $LCB$  kapal. Proses *redraw* dilakukan pada 3 proyeksi tampilan kapal yaitu *body plan*, *half-bradth plan* dan *sheer plan*. Hasil dari proses *redraw* dapat dilihat pada gambar 3.13, sedangkan lambung hasil permodelan dapat dilihat pada gambar 3.14.



Gambar 3. 13 Hasil redraw dari lines plan kapal



Gambar 3. 14 Tampilan 3D lambung kapal

Berdasarkan model lambung kapal yang sudah terbentuk, maka tahap selanjutnya adalah melihat beberapa nilai hidrostatik kapal hingga setinggi sarat untuk dibandingkan dengan beberapa nilai hidrostatik kapal sesungguhnya, dimana rekapitulasi nilai hidrostatik model kapal dapat dilihat pada gambar 3.15.

Measurement	Value	Units
1 Displacement	1098	t
2 Volume (displaced)	1070.891	m <sup>3</sup>
3 Draft Amidships	3.000	m
4 Immersed depth	3.000	m
5 WL Length	67.737	m
6 Beam max extents on	10.645	m
7 Wetted Area	744.084	m <sup>2</sup>
8 Max sect. area	24.563	m <sup>2</sup>
9 Waterpl. Area	584.359	m <sup>2</sup>
10 Prismatic coeff. (Cp)	0.644	
11 Block coeff. (Cb)	0.495	
12 Max Sect. area coeff.	0.783	
13 Waterpl. area coeff. (C)	0.810	
14 LCB length	30.313	from zero pt. (+ve fwd) m
15 LCF length	29.229	from zero pt. (+ve fwd) m
16 LCB %	44.751	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
17 LCF %	43.151	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
18 KB	1.921	m
19 KG fluid	0.000	m
20 Bmt	4.324	m
21 BML	154.541	m
22 GMt corrected	6.244	m
23 GML	156.461	m
24 KMt	6.244	m
25 KML	156.461	m
26 Immersion (TPc)	5.990	tonne/cm
27 MTc	0.000	tonne.m
28 RM at 1deg = GMt.Dis	119.620	tonne.m

Density (water)

Std. densities

VCG

Gambar 3. 15 Data hidrostatikk kapal pada sarat 9.6m

Data hidrostatis model kapal yang telah didapatkan ini selanjutnya akan dibandingkan dengan beberapa data hidrostatis kapal sesungguhnya. Sehingga diperoleh validasi lambung kapal seperti pada tabel 3.4 berikut ini.

**Tabel 3. 4 Validasi lambung kapal hasil *redraw***

Item	Kapal	Model	Margin Error %
<i>Displacement (ton)</i>	1049.324	1098	4.639%
LCB (m)	30.014	30.313	0.996%

### III.5. Perhitungan Beban Pada *Skeg*

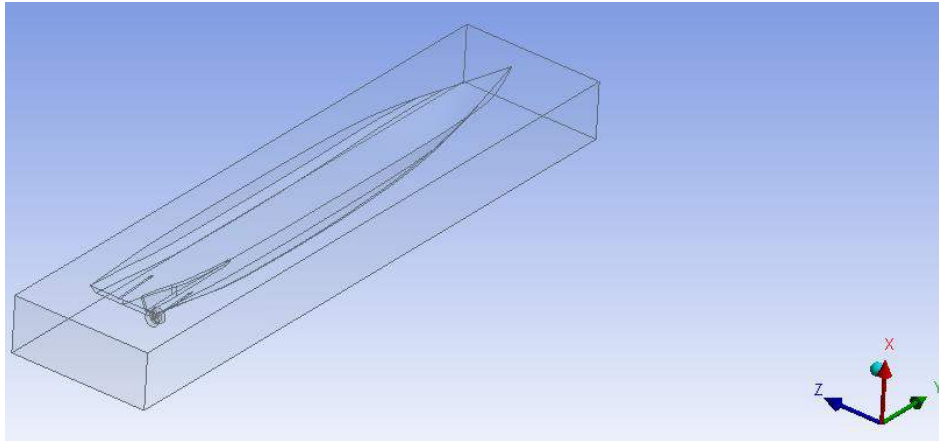
#### III.5.1. Permodelan Lambung, *Skeg* dan *Propeller*

Setelah dilakukan validasi terhadap lambung dan *propeller*, maka langkah selanjutnya adalah memasang *propeller* pada lambung kapal dan memodelkan kulit luar dari *skeg* yang kemudian juga dipasangkan pada lambung kapal. Lambung kapal yang digunakan hanya sampai pada ketinggian sarat yaitu sebesar 3m karena analisis yang akan dilakukan hanya pada area yang berada di dalam air. Agar model dapat disimulasikan maka ketiga model ini harus menjadi objek yang *solid* namun tidak menjadi satu kesatuan objek agar nantinya lebih mudah dalam mengatur ukuran elemen dari masing-masing objek, dimana hasil pembuatan ketiga model dapat dilihat pada gambar 3.16 berikut ini.



**Gambar 3. 16 Model lambung kapal beserta *propeller* dan *skeg***

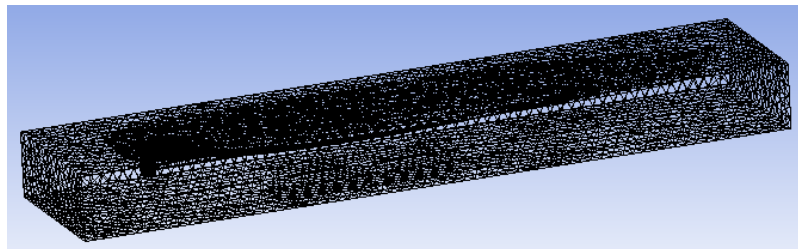
Langkah selanjutnya membuat *enclosure* untuk area fluida di sekitar kapal yang mengacu pada perbandingan panjang *inlet*, *outlet*, *side wall* dan *bottom wall* pada peraturan (ITTC, 2014). Pada simulasi ini, karena analisis yang dilakukan hanya berada di dalam air sehingga hanya terdapat satu fluida di sekeliling kapal, maka tidak akan timbul gelombang termasuk gelombang balik dari efek hantaman air dengan dinding di sekeliling lambung kapal. Selain itu untuk memperkuat tidak adanya gelombang balik dari efek hantaman air dengan dinding di sekeliling lambung maka *boundary* yang dipilih untuk pengaturan dinding adalah *no slip wall*. Dimana dengan memilih *boundary* ini maka kecepatan air pada dinding di sekeliling lambung kapal bernilai nol. Jarak *outlet* yang digunakan terhadap ujung terluar kapal adalah 1/9 LPP kapal, lalu jarak *inlet*, *bottom wall*, dan *side wall* sebesar 1/18 LPP kapal sedangkan bagian *top wall* dibuat sebesar 0.1m (kapal dianggap terendam di dalam air karena analisis yang dilakukan hanya berada di dalam air), dimana hasil pembuatan *enclosure* pada kapal dapat dilihat pada gambar 3.17 berikut ini.



Gambar 3. 17 Hasil pembuatan *enclosure* pada kapal dan *propeller*

### III.5.2. Pembuatan *Meshing*

Berdasarkan model yang telah dibuat sebelumnya dan validasi *propeller* yang telah dilaksanakan, maka pada *meshing* ini akan digunakan *growth rate* yang sama pada *propeller* ketika proses validasi sebelumnya yaitu pada *growth rate* 1.64 serta dengan pemilihan *unstructured mesh* karena bentuk lambung dan *propeller* yang rumit, dimana hasil *meshing* dapat dilihat pada gambar 3.18 berikut ini.



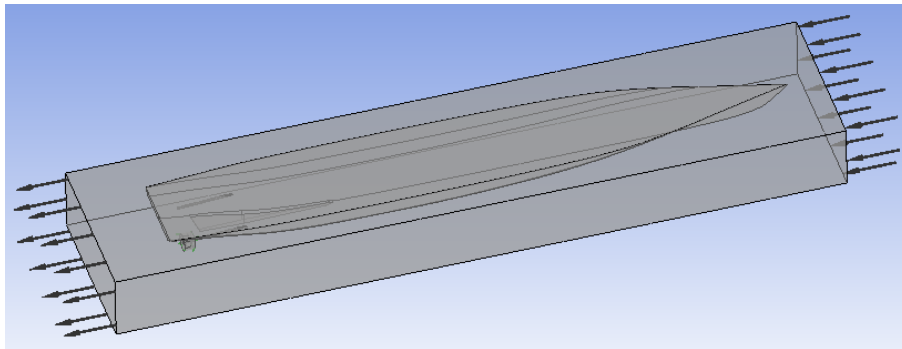
Gambar 3. 18 Hasil *meshing* pada model

### III.5.3. *Computational Fluid Dynamic Preparation*

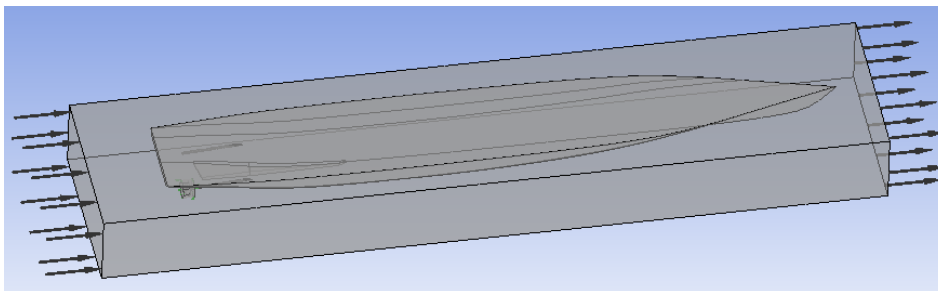
Setelah *meshing* selesai dilaksanakan, tahap selanjutnya adalah pengaturan pada model sebelum proses simulasi. Pada tahap ini beberapa pengaturan yang dilaksanakan adalah

- Penentuan arah dan kecepatan angular *propeller*
- Penentuan sumbu putar *propeller*
- Penentuan kecepatan kapal
- Penentuan letak *inlet*, *outlet* dan *wall*
- Pengaturan *solver control*

Pada penelitian ini, simulasi akan dilakukan dengan beberapa variasi diantaranya yaitu ketika *propeller* berputar searah jarum jam dan ketika *propeller* berputar berlawanan jarum jam dengan masing-masing kecepatan angular *propeller* sebesar 40% rpm atau 160 rpm, 60% rpm atau 240 rpm, 80%rpm atau 320 rpm dan 100%rpm atau 400 rpm. Simulasi pertama, model disimulasikan berlawanan jarum jam dengan kecepatan 100% rpm *propeller* yaitu sebesar 400rpm. Berdasarkan gambar 3.18 maka penentuan sumbu putar *propeller* yang digunakan adalah sumbu y. Sedangkan kecepatan yang digunakan adalah 18 knot. Penentuan *inlet*, *outlet* dan dinding di sekeliling kapal. Setelah penentuan tersebut telah dilaksanakan, maka kegiatan selanjutnya adalah penentuan *slower control*. Kegiatan ini dilakukan dengan menentukan batas kriteria konvergensi. Dimana proses iterasi akan berhenti ketika mencapai batas konvergensi yang telah ditentukan. Namun Iterasi dapat berhenti sebelum mencapai batas konvergensi jika telah mencapai jumlah maksimum iterasi yang ditentukan. Oleh karena itu jumlah iterasi dapat diisi sebanyak-banyaknya karena nantinya meskipun batas konvergensi telah tercapai namun iterasi belum mencapai nilai maksimalnya maka proses iterasi akan berhenti. Pada penelitian ini batas konvergensi yang digunakan sebesar  $10^{-4}$  sedangkan jumlah iterasi maksimum adalah sebesar 1000. Setelah pengaturan tersebut selesai, maka hasil dari pengaturan tersebut baik ketika kapal bergerak maju atau mundur dapat dilihat pada gambar 3.19 dan 3.20.



**Gambar 3. 19** Penentuan *inlet*, *outlet* dan dinding di sekeliling kapal ketika putaran *propeller* berlawanan jarum jam (kapal maju)



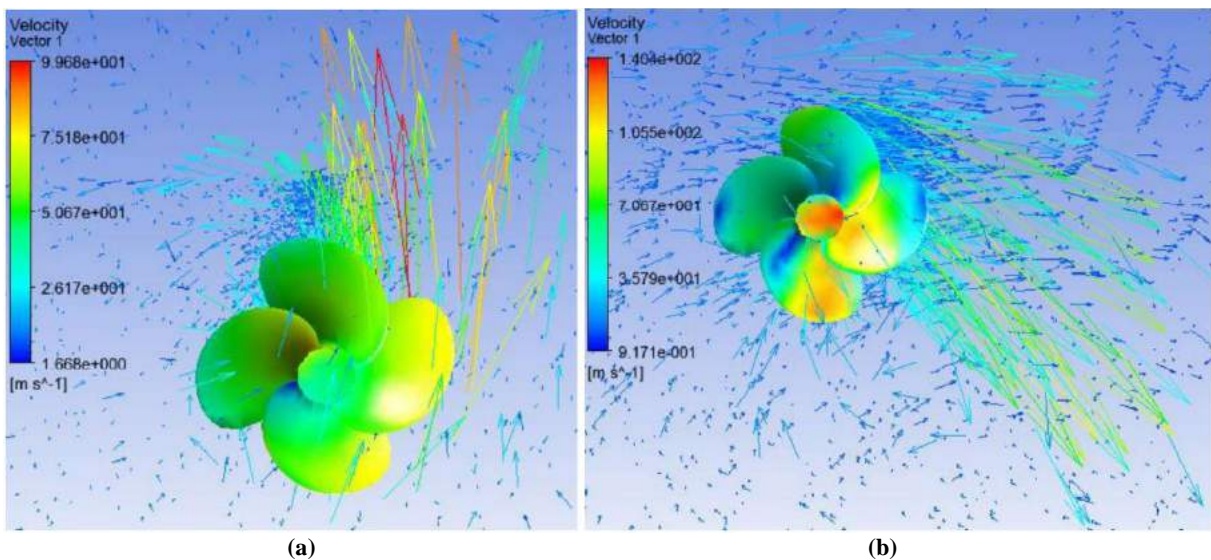
**Gambar 3. 20** Penentuan *inlet*, *outlet* dan dinding di sekeliling kapal ketika putaran *propeller* searah jarum jam (kapal mundur)

### III.5.4. Computational Fluid Dynamic Simulation

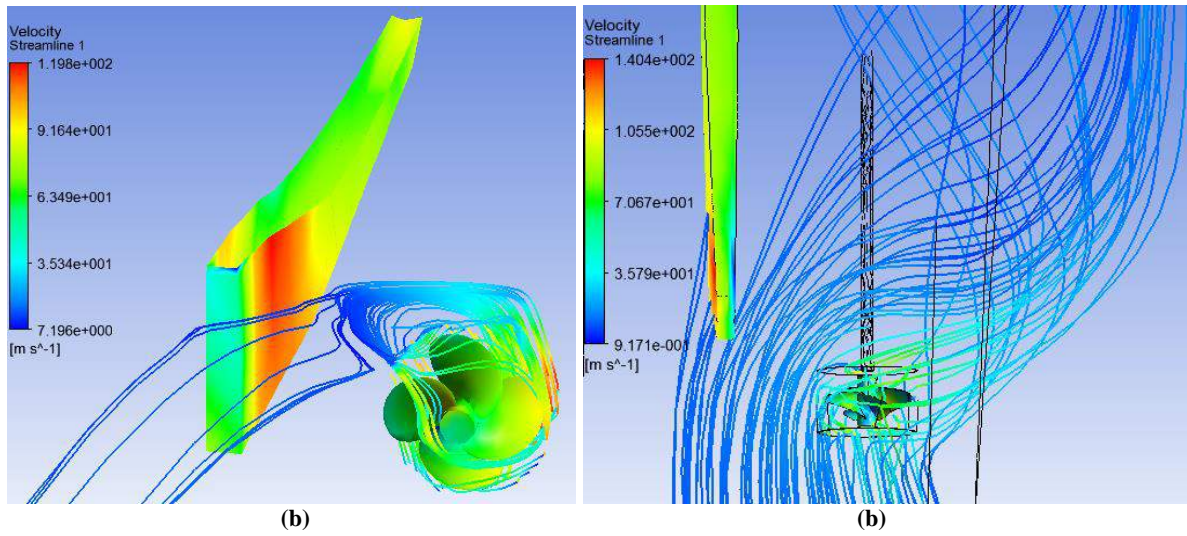
Apabila tahap *preparation* selesai dilaksanakan maka kegiatan dapat dilanjutkan ke tahap simulasi penyelesaian. Pada simulasi penyelesaian ini, karena *propeller* merupakan *fixed pitch propeller* (FPP) maka ketika kapal bergerak maju atau mundur, perubahan arah putaran *propeller* diakibatkan oleh adanya *reverse rotation* pada *main engine*. Pada simulasi ini, nilai yang akan diambil untuk analisis struktur selanjutnya adalah resultan gaya yang terjadi pada *skeg*, dimana rekapitulasi nilai resultan gaya yang terjadi pada *skeg* dapat dilihat pada tabel 3.5, sedangkan ilustrasi aliran fluida yang menabrak *skeg* akibat putaran *propeller* ketika kapal bergerak maju maupun mundur dapat dilihat pada gambar 3.21 dan 3.22, dimana aliran fluida ini akan menimbulkan beban pada *skeg* kapal yang pada penelitian ini diterjemahkan sebagai gaya resultan dengan persebaran seperti yang terlihat pada gambar 3.23 dan 3.24.

Tabel 3. 5 Rekapitulasi resultan gaya yang terjadi pada *skeg*

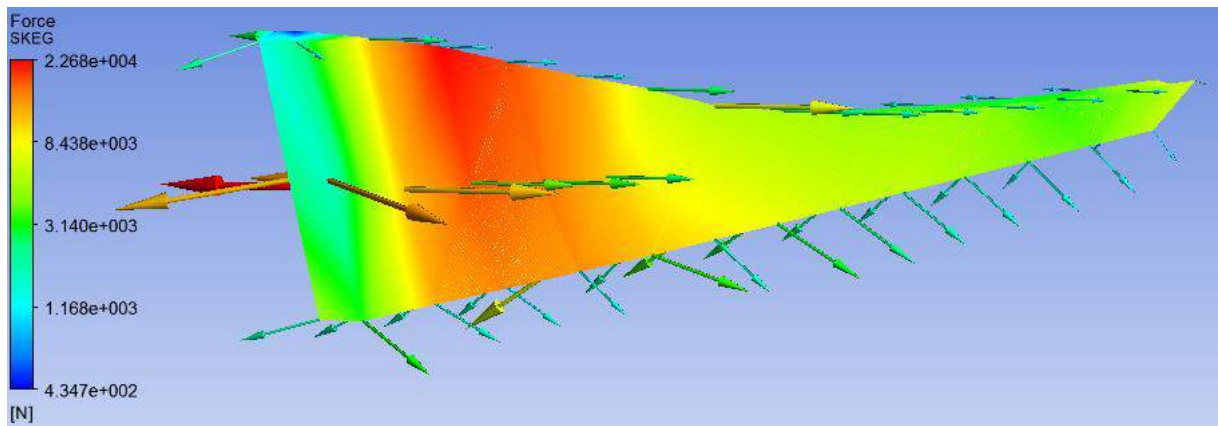
Putaran Propeller (rpm)	Resultan Gaya (N)			Resultan Gaya Total (N)
	x	y	z	
100% Ketika kapal maju	56078.3	-32632.1	142531	156600
Ketika kapal mundur	-377365	-32632.2	95435.8	389270
80% Ketika kapal maju	49116.3	-32632.3	133483	144540
Ketika kapal mundur	-295121	-32632.4	94093.8	309770
60% Ketika kapal maju	44422.6	-32632.5	125221	134260
Ketika kapal mundur	-188069	-32632.6	99079.2	212570
40% Ketika kapal maju	38098.4	-32632.7	117890	124630
Ketika kapal mundur	-100807	-32632.8	109389	148750



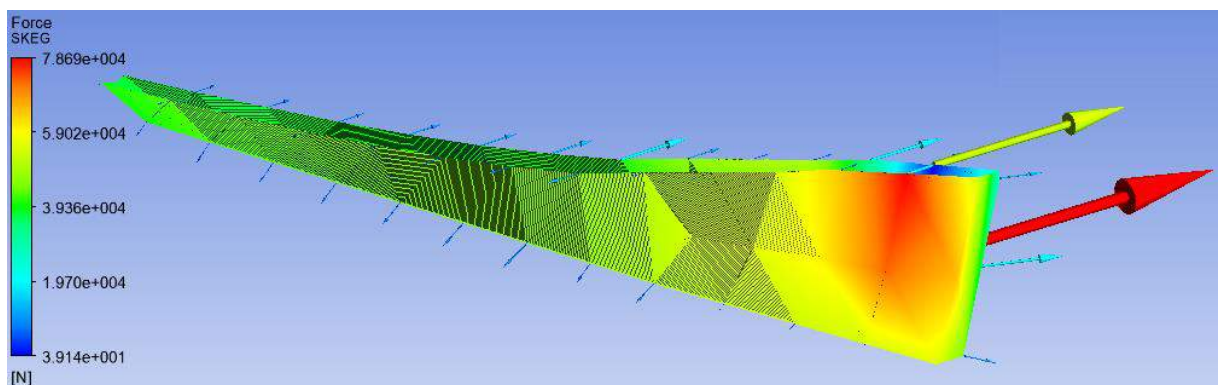
Gambar 3. 21 Ilustrasi aliran fluida di sekitar *propeller* ketika kapal bergerak maju (a) dan mundur (b)



Gambar 3. 22 Ilustrasi aliran fluida akibat *propeller* ketika kapal bergerak maju(a) dan mundur (b)



Gambar 3. 23 Persebaran gaya pada *skeg* ketika kapal bergerak maju



Gambar 3. 24 Persebaran tekanan pada *skeg* ketika kapal bergerak maundur

### III.6. Analisis Struktur *Skeg*

Analisis yang akan dilakukan pada struktur *skeg* menggunakan bantuan *software* yang menerapkan metode elemen hingga. *Output* yang akan dihasilkan dari analisis *software* ini adalah tegangan dan regangan maksimum yang terjadi pada struktur *skeg*.

### III.6.1. Engineering Data

Sebelum melakukan simulasi untuk mendapatkan nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada *skeg* maka perlu dilakukan pendefinisian jenis material yang digunakan pada struktur *skeg*. Berdasarkan data primer yang ada pada tabel 3.2 maka diketahui bahwa jenis material *skeg* adalah baja AH36. Menurut (ASTM, 1990) dan (Philip, 1982) pada tabel 3.6 berikut ini diberikan detail *physical properties* dan *mechanical properties* dari baja AH 36.

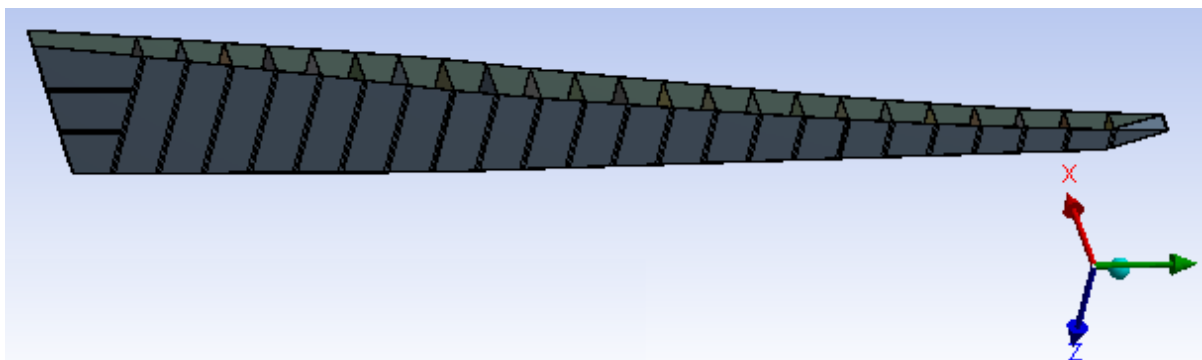
Tabel 3. 6 *Physical properties* dan *mechanical properties* baja AH 36

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.80 g/cc	0.282 lb/in <sup>3</sup>	Typical of ASTM Steel
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Tensile Strength, Ultimate	490 - 620 MPa	71100 - 89900 psi	
Tensile Strength, Yield	350 MPa	50800 psi	
Elongation at Break	19 %	19 %	in 200 mm
	22 %	22 %	in 50 mm
Modulus of Elasticity	200 GPa	29000 ksi	Typical Carbon Steel
Bulk Modulus	160 GPa	23200 ksi	Typical for Steel
Poissons Ratio	0.29	0.29	Typical Carbon Steel
Shear Modulus	80.0 GPa	11600 ksi	Typical for Steel

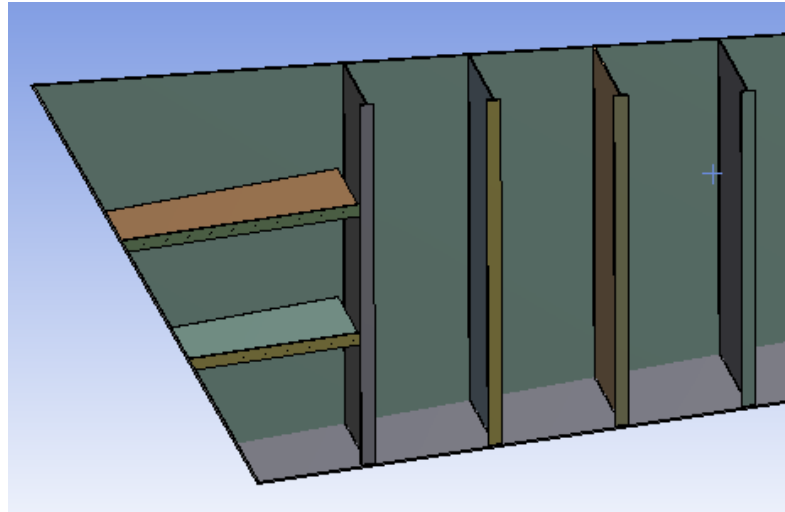
Setelah data *physical properties* dan *mechanical properties* dari baja AH 36 diketahui maka kita dapat mengatur *engineering data* dari material *skeg* yang akan digunakan pada *software* elemen hingga sesuai tabel 3.6 sebelumnya.

### III.6.2. Permodelan Skeg

Permodelan *skeg* mengacu pada gambar konstruksi *skeg* yang ada pada gambar 3.4. Model dibuat menggunakan *software CAD* dalam bentuk 3D *solid*. Hasil permodelan *skeg* dapat dilihat pada gambar 3.25 dan 3.26 berikut ini.



Gambar 3. 25 Model struktur *skeg*



**Gambar 3. 26 Model struktur penegar skeg**

Pada gambar 3.25 terdapat penegar melintang *skek* dengan tebal 8mm yang berjumlah 23 penegar sesuai pada data gambar konstruksi *skek* di gambar 3.4 sebelumnya. Dimana setiap penegar melintang berjarak 600mm serta pada masing-masing penegar melintang tersebut dihubungkan dengan *flat bar* berukuran 65x6mm pada sisi kanan *skek*. Sedangkan pada sisi kiri *skek* tidak terdapat *flat bar* namun langsung terhubung dengan plat sisi luar *skek* yang memiliki tebal 10mm. Selain penegar melintang, pada bagian belakang penegar melintang terakhir terdapat penegar memanjang hingga plat luar terbelakang *skek* dengan tebal 8mm yang masing-masing berjarak 700mm dan 1400mm dari *baseline* serta dihubungkan dengan *flat bar* berukuran 65x6mm pada bagian kanan *skek*.

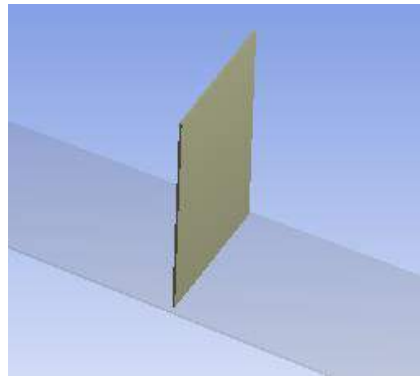
### **III.6.3. Pengecekan Sambungan**

Dalam analisis struktur, sebelum pembuatan *meshing* pada model maka diperlukan pengecekan sambungan pada struktur *skek*. Jenis sambungan yang digunakan adalah *bonded* yang berarti pada dua permukaan struktur yang disambung tidak akan terjadi pergeseran, tidak terdapat celah serta tidak akan terjadi perubahan panjang maupun luas. Meskipun sambungan pada model menggunakan tipe *bonded* yang memiliki karakteristik seperti sambungan las namun pada penelitian ini lajur las pada sambungan struktur diabaikan. Sambungan ini diantaranya terdapat pada,

1. Sambungan penegar melintang dengan plat alas *skek* dan sisi *skek*
2. Sambungan penegar memanjang dengan plat depan *skek*
3. Sambungan penegar memanjang dengan plat sisi *skek*
4. Sambungan antara plat alas *skek* dengan plat sisi, depan dan belakang *skek*
5. Sambungan antara penegar melintang dengan penegar memanjang

6. Sambungan antara penegar dengan *flat bar*
7. Sambungan antara *flat bar* dengan plat sisi kanan *skeg*
8. Sambungan antara *flat bar* dengan plat alas *skeg*

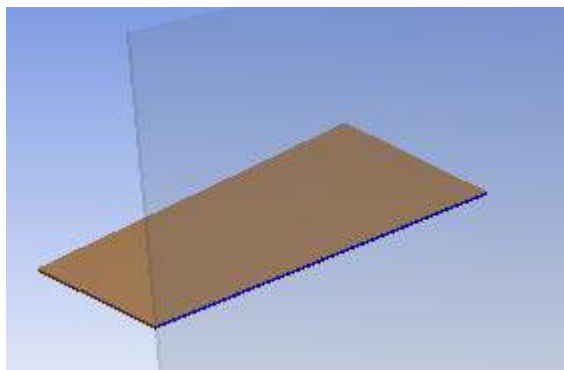
Berikut ini diberikan beberapa contoh sambungan pada struktur *skeg*, diantaranya adalah contoh sambungan penegar melintang dengan plat alas *skeg* pada gambar 3.27, penegar melintang dengan plat sisi *skeg* pada gambar 3.28, penegar memanjang dengan plat sisi *skeg* pada gambar 3.29, plat alas *skeg* dengan plat sisi *skeg* pada gambar 3.30, plat alas *skeg* dengan plat belakang *skeg* pada gambar 3.31, penegar dengan *flat bar* dan sambungan *flat bar* dengan plat sisi kanan *skeg* pada gambar 3.32 dan 3.33.



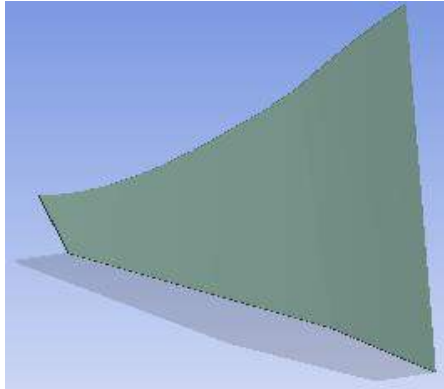
**Gambar 3. 27** Contoh sambungan antara penegar melintang dengan plat alas *skeg*



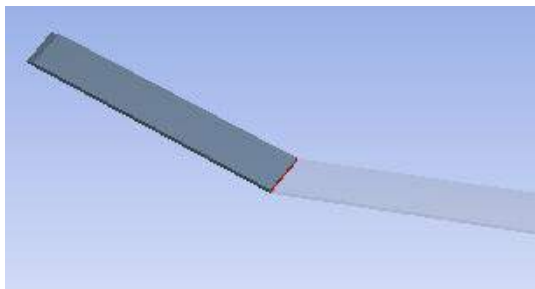
**Gambar 3. 28** Contoh sambungan antara penegar melintang dengan plat sisi *skeg*



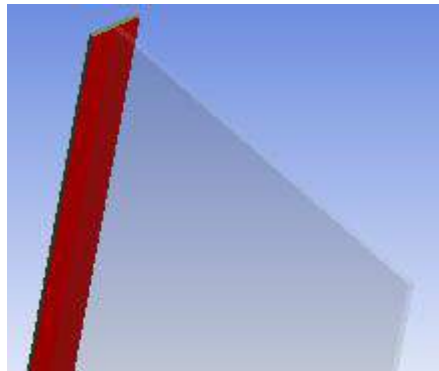
**Gambar 3. 29** Contoh sambungan antara penegar memanjang dengan plat sisi *skeg*



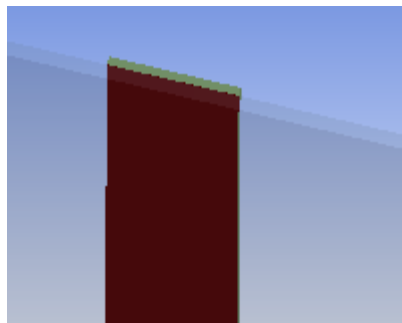
Gambar 3. 30 Contoh sambungan antara sambungan plat alas *skeg* dengan plat sisi *skeg*



Gambar 3. 31 Contoh sambungan antara sambungan plat alas *skeg* dengan plat belakang *skeg*



Gambar 3. 32 Contoh sambungan antara penegar dengan *flat bar*

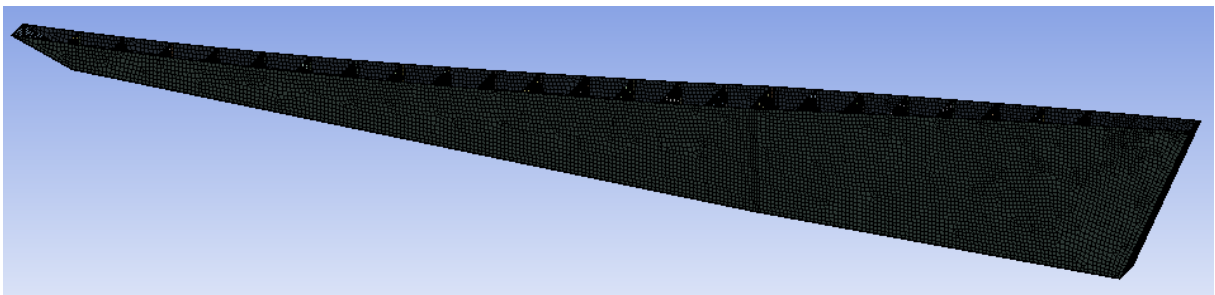


Gambar 3. 33 Contoh sambungan antara *flat bar* dengan plat sisi kanan *skeg*

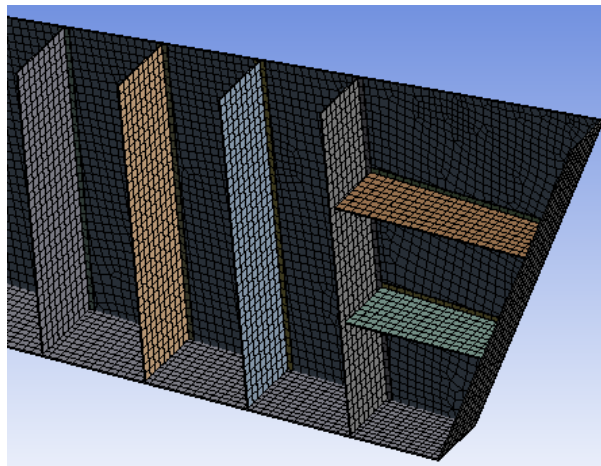
#### III.6.4. Pembuatan *Meshing*

Setelah semua sambungan struktur pada *skeg* sesuai. Kegiatan selanjutnya adalah mendeskripsikan *skeg* menjadi elemen-elemen kecil berhingga. Jenis *meshing* yang digunakan

pada model ini adalah *structured mesh* dengan bentuk elemen yang digunakan adalah tipe *hexahedron* karena struktur berbentuk 3D yang cenderung beraturan. Beberapa ukuran elemen dicoba pada kegiatan ini hingga didapatkan nilai tegangan dan regangan pada masing-masing ukuran elemen. Nilai tegangan dan regangan dari masing-masing ukuran elemen dapat dilihat pada sub bab III.6.6. Penentuan awal ukuran elemen adalah 600mm yang merupakan jarak antar penegar pada *skeg*. Sedangkan untuk ukuran elemen yang dipilih agar mendapatkan *output* yang sesuai dengan kondisi sesungguhnya, dimana *output* yang dihasilkan tidak terpengaruh dengan adanya perubahan *meshing* akan dibahas pada sub bab berikutnya yaitu pada sub bab *grid independence* dan *grid convergence*. Hasil *meshing* model *skeg* dapat dilihat pada gambar 3.34 dan gambar 3.35 berikut ini.



Gambar 3. 34 Hasil *meshing* model



Gambar 3. 35 Hasil *meshing* penegar *skeg*

### III.6.5. Kondisi Batas

Kondisi batas yang digunakan pada struktur *skeg* ini adalah *fixed support* atau tumpuan jepit pada seluruh sisi struktur-struktur yang menempel pada lambung kapal. Struktur-struktur ini diantaranya adalah bagian pangkal atas dari plat sisi, depan dan belakang *skeg*, pangkal atas dari penegar melintang *skeg*, dan pangkal atas dari *flat bar*. Pada kondisi sesungguhnya struktur-struktur ini dilas pada lambung kapal sehingga struktur-struktur ini tidak dapat

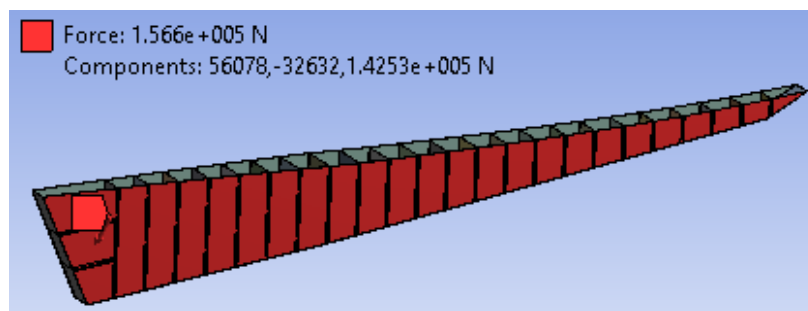
mengalami rotasi maupun translasi. Oleh karena itu *fix support* atau tumpuan jepit merupakan tumpuan yang sesuai dengan kondisi sesungguhnya.

### III.6.6. Pembebanan

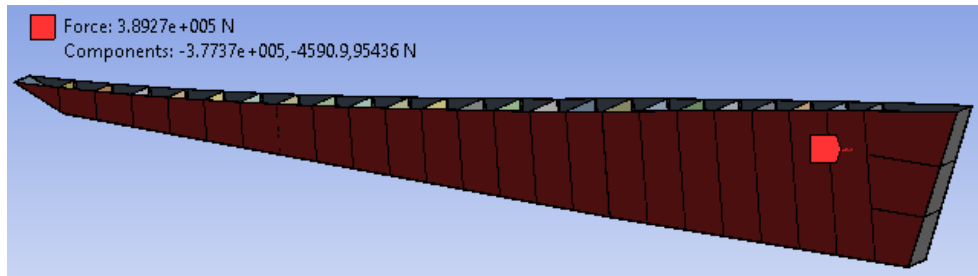
Pembebanan yang dilakukan pada struktur merupakan beban gaya yang didapatkan dari perhitungan beban gaya putaran *propeller* yang mengenai *skeg*. Besarnya gaya yang mengenai *skeg* sesuai dengan variasi kecepatan putar *propeller* seperti pada tabel 3.5 rekapitulasi gaya yang terjadi pada *skeg*. Lokasi pemberian beban gaya disesuaikan dengan arah gaya resultan yang terjadi pada plat terluar *skeg* baik ketika kapal bergerak maju maupun mundur seperti yang ada pada gambar 3.23 dan 3.24. Karena pada permodelan sumbu koordinat model (*skeg*) berbeda dengan sumbu koordinat *skeg* ketika simulasi perhitungan beban akibat putaran *propeller* maka vektor gaya sebelumnya yang mengenai *skeg* disesuaikan kembali dengan sumbu koordinat model saat ini, sehingga didapatkan gaya seperti tabel 3.7. Sedangkan gambar pembebanan pada struktur *skeg* dapat dilihat pada gambar 3.36 dan gambar 3.37 di bawah ini.

Tabel 3. 7 Rekapitulasi gaya yang terjadi pada struktur *skeg*

Putaran Propeller (rpm)		Resultan Gaya (N)			Resultan Gaya (N)
		x	y	z	
400	Ketika kapal maju	56078.3	-32632.1	142531	156600
	Ketika kapal mundur	-377365	-32632.2	95435.8	389270
320	Ketika kapal maju	49116.3	-32632.3	133483	144540
	Ketika kapal mundur	-295121	-32632.4	94093.8	309770
240	Ketika kapal maju	44422.6	-32632.5	125221	134260
	Ketika kapal mundur	-188069	-32632.6	99079.2	212570
160	Ketika kapal maju	38098.4	-32632.7	117890	124630
	Ketika kapal mundur	-100807	-32632.8	109389	148750



Gambar 3. 36 Pemberian beban gaya pada *skeg* ketika kapal maju



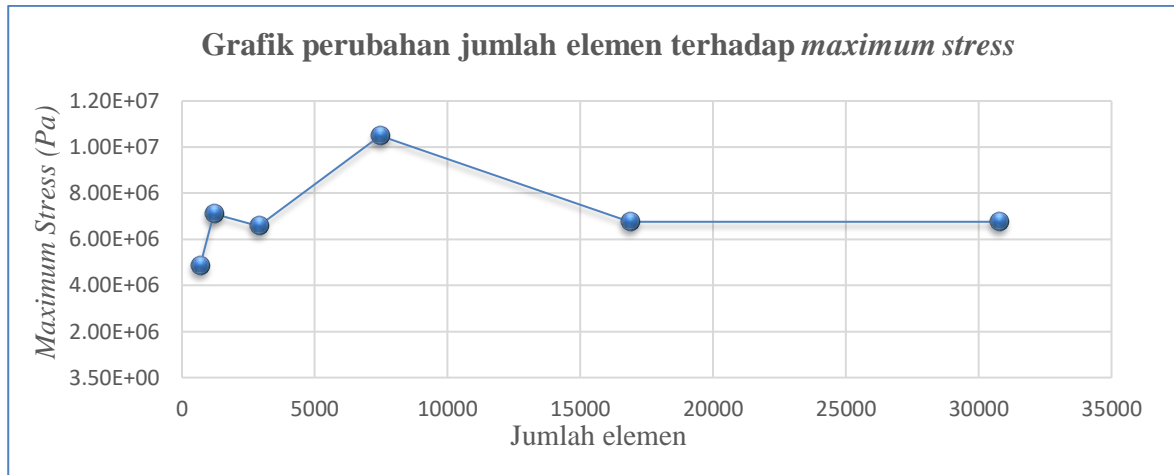
Gambar 3. 37 Pemberian beban gaya pada *skek* ketika kapal mundur

### III.6.7. *Grid Independence dan Grid Convergence*

Setelah pemberian beban pada struktur, maka dapat dilakukan ke tahap selanjutnya yaitu penyelesaian untuk mendapatkan nilai regangan dan tegangan von mises atau resultan dari semua tegangan yang terjadi pada struktur yang selanjutnya dalam penulisan disebut dengan tegangan. Simulasi penyelesaian ini dilakukan beberapa kali dengan menggunakan ukuran elemen *meshing* yang semakin mengecil hingga didapatkan hasil (tegangan dan regangan) yang sama dengan nilai *relative error* sebesar 2% meskipun dilakukan perubahan *meshing* dengan ukuran elemen yang semakin kecil dan perubahan jumlah elemen yang signifikan. Berikut ini pada tabel 3.8 diberikan hasil pengamatan *grid independence* dan *grid convergence* dari tegangan dan regangan pada struktur *skek*, serta untuk memudahkan dalam memahami perubahan jumlah elemen terhadap tegangan maksimum maka grafik perubahan jumlah elemen terhadap tegangan maksimum dapat dilihat pada gambar 3.38 berikut.

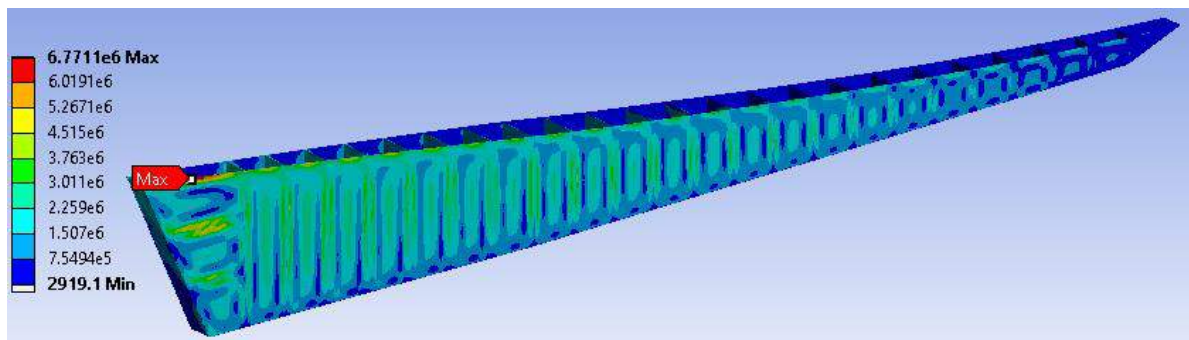
Tabel 3. 8 *Grid independence dan grid convergence* struktur *skek*

Elemen		Stress (Pa)	Deformation (mm)	Stress error relative (%)	Deformation error relative(%)
Ukuran (mm)	Jumlah				
600	681	4.84E+06	0.000141		
300	1193	7.11E+06	8.13E-05	47%	42%
150	2892	6.58E+06	1.09E-04	7%	34%
90	7458	1.05E+07	1.21E-04	59%	11%
60	16857	6.77E+06	1.09E-04	35%	10%
50	30760	6.77E+06	1.11E-04	0%	1.8%

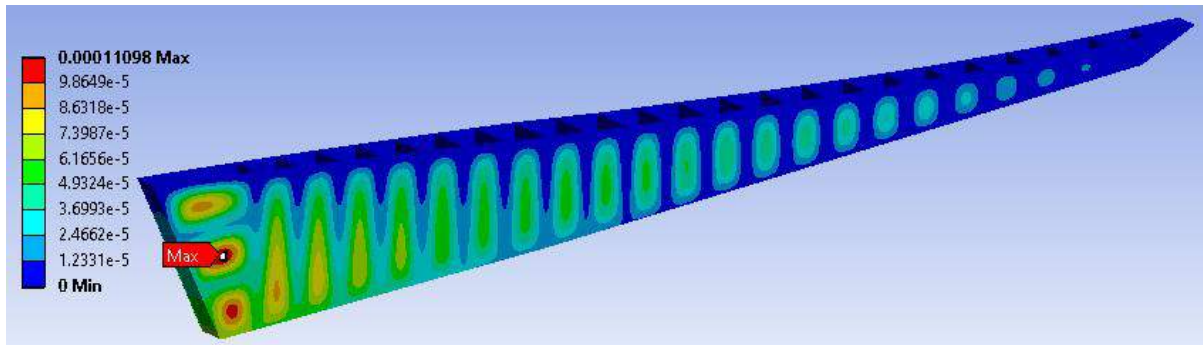


**Gambar 3. 38 Grafik perubahan jumlah elemen terhadap *maximum stress***

Pada tabel 3.8 dan grafik pada gambar 3.38 terlihat bahwa perubahan *stress* dan *deformation* yang terjadi ketika elemen berukuran 60mm dan ketika elemen berukuran 50mm dengan jumlah elemen 16857 dan 30760 buah memiliki nilai *error relative* paling kecil yaitu sebesar 0% untuk *stress error relative* dan 1.8% untuk *deformation error relative*. Berdasarkan hal tersebut, maka untuk analisis berikutnya dengan variasi kecepatan putar *propeller* yang lainnya akan digunakan ukuran elemen sebesar 50mm. Pengamatan *grid independence* dan *grid convergence* hanya dilakukan satu kali karena model struktur yang digunakan untuk variasi kecepatan angular *propeller* adalah sama, sedangkan ilustrasi persebaran tegangan dan deformasi dari hasil simulasi tegangan dan regangan pada *skeg* dapat dilihat pada gambar 3.39 dan gambar 3.40 berikut ini.



**Gambar 3. 39 Persebaran tegangan dan lokasi tegangan maksimum pada *skeg***



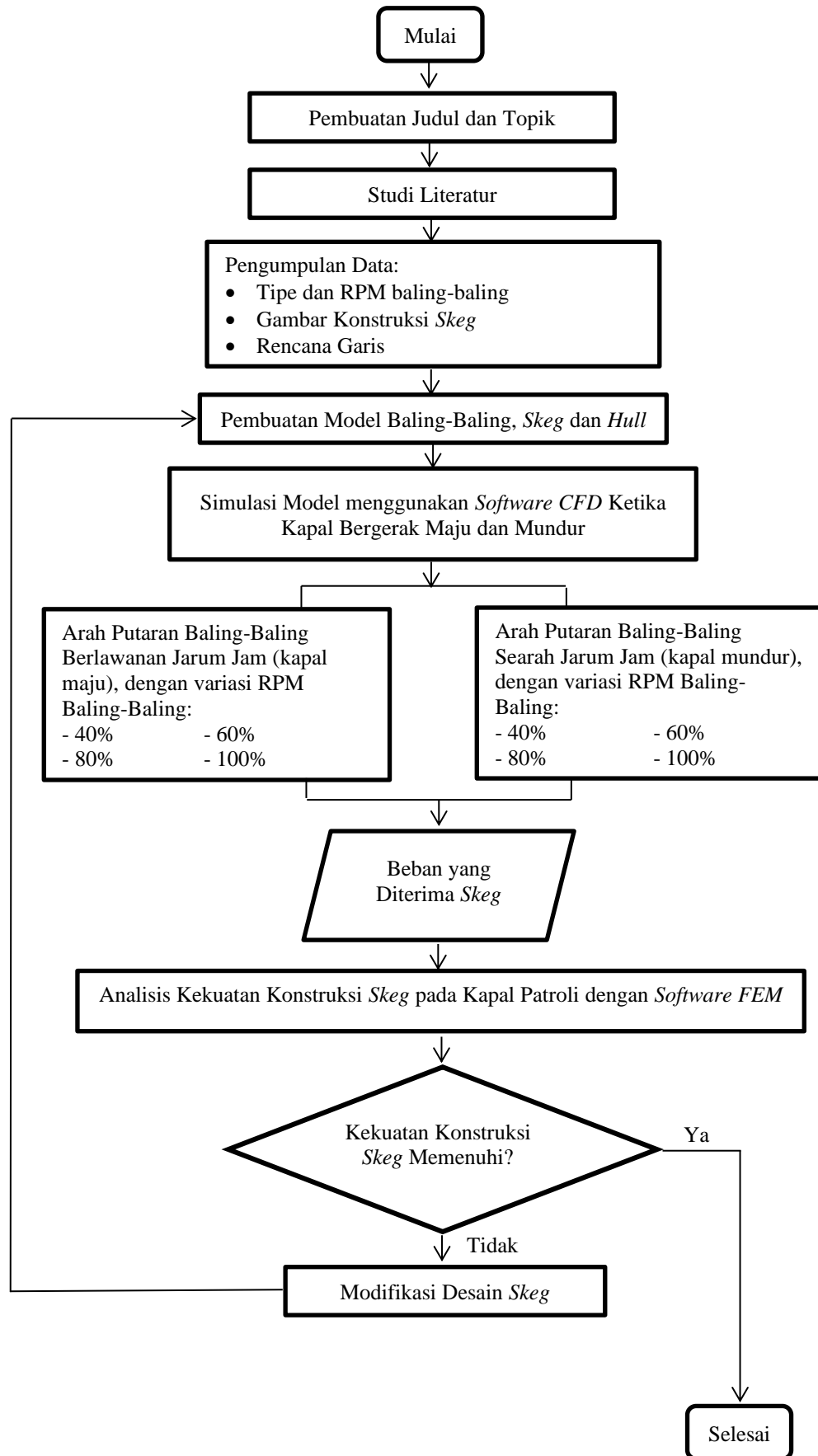
Gambar 3. 40 Persebaran regangan dan lokasi regangan maksimum pada *skeg*

### III.6.8. Analisis

Analisis dilakukan terhadap respon model *skeg* yang terjadi akibat beban putaran *propeller*. Variabel yang akan diamati dalam penelitian ini adalah tegangan dan deformasi yang terjadi pada model. Tegangan yang dimaksud adalah tegangan von mises. Sesuai dengan teori yang dijelaskan pada BAB II, tegangan von mises ini merupakan resultan dari semua tegangan normal dalam tiga arah dan tegangan geser yang terjadi. Nilai tegangan dan deformasi yang dihasilkan pada model dapat dilihat di bab selanjutnya.

### III.6.9. Diagram alir

Berikut ini diberikan diagram alir dari langkah-langkah pengerjaan dalam penelitian ini.



Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB IV**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **IV.1. Hasil dan Pembahasan Analisis**

Setelah melakukan tahapan-tahapan pada BAB III yaitu metodologi maka akan diperoleh luaran berupa tegangan dan deformasi yang terjadi pada model *skeg* untuk masing-masing variasi putaran *propeller*. Tegangan yang dihasilkan dalam analisis ini adalah tegangan von mises. Dari luaran tegangan yang terjadi pada model akan dibandingkan dengan tegangan izin material baja AH36. Struktur *skeg* dianggap memiliki kekuatan yang memadai jika tegangan yang terjadi pada *skeg* tidak melebihi nilai *minimum nominal upper yield* ( $R_{EH}$ ) material yang sebesar 350 MPa. Hasil tegangan von mises dan deformasi pada model *skeg* dapat dilihat seperti berikut ini.

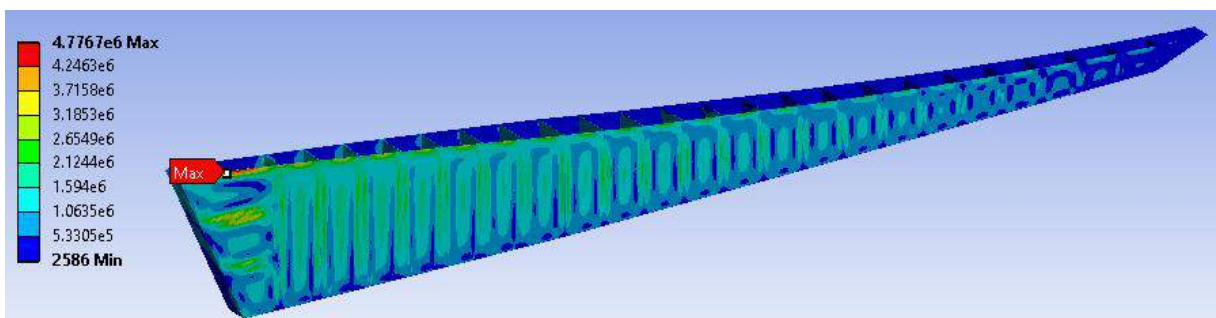
##### **IV.1.1. Gaya yang Terjadi pada Model *Skeg***

Setelah melakukan serangkaian tahapan analisis pada bab sebelumnya, diperoleh hasil analisis berupa gaya yang terjadi pada model *skeg*. Hasil analisis diperoleh dengan menggunakan *computational fluid dynamics* yang bervariasi menurut arah putaran *propeller* dan kecepatan *propeller*, dimana analisis tersebut menghasilkan rekapitulasi gaya pada bab sebelumnya, dimana nilai resultan gaya mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan kecepatan putar *propeller*. Hal ini sesuai dengan formula nilai KT pada persamaan II.1, dimana semakin besar nilai  $n$  atau kecepatan putar *propeller*, maka nilai  $T$  atau *thrust* yang dihasilkan *propeller* juga semakin meningkat. Ketika *thrust* yang dihasilkan *propeller* meningkat, maka resultan gaya dari *propeller thrust* tersebut yang mengenai *skeg* juga akan semakin meningkat. Kemudian, nilai resultan gaya yang diterima *skeg* ketika kapal bergerak mundur lebih besar daripada ketika kapal bergerak maju, hal ini dikarenakan posisi *skeg* yang berada di depan *propeller* sehingga ketika kapal bergerak mundur maka *thrust* yang dihasilkan akan langsung mengenai *skeg*. Rekapitulasi resultan gaya yang diterima *skeg* dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut.

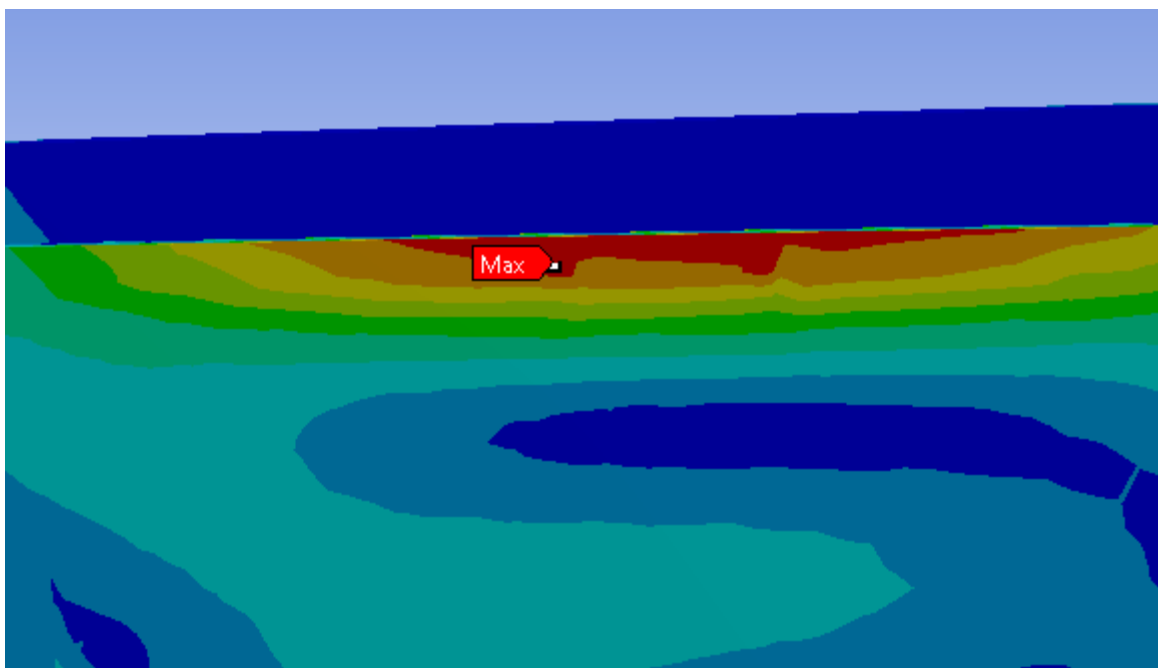
**Tabel 4. 1 Rekapitulasi gaya yang diterima *skeg* kapal**

Putaran Propeller (rpm)	Resultan Gaya (N)			Resultan Gaya Total (N)	Gaya Maksimum (N)	Gaya Rata-Rata (N)	Gaya Minimum (N)
	x	y	z				
100% Ketika kapal maju	56078.3	-32632.1	142531	156600	22676.90	11555.792	434.683
Ketika kapal mundur	-377365	-32632.2	95435.8	389270	73462.70	36736.117	9.53343
80% Ketika kapal maju	49116.3	-32632.3	133483	144540	20431.00	10394.896	358.792
Ketika kapal mundur	-295121	-32632.4	94093.8	309770	61911.20	30959.233	7.26589
60% Ketika kapal maju	44422.6	-32632.5	125221	134260	19437.70	9855.745	273.79
Ketika kapal mundur	-188069	-32632.6	99079.2	212570	46436.10	23220.272	4.44428
40% Ketika kapal maju	38098.4	-32632.7	117890	124630	18461.20	9304.222	147.243
Ketika kapal mundur	-100807	-32632.8	109389	148750	32794.40	16399.789	5.17753

#### IV.1.2. Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Maju dengan Kecepatan Putar *Propeller* 160RPM



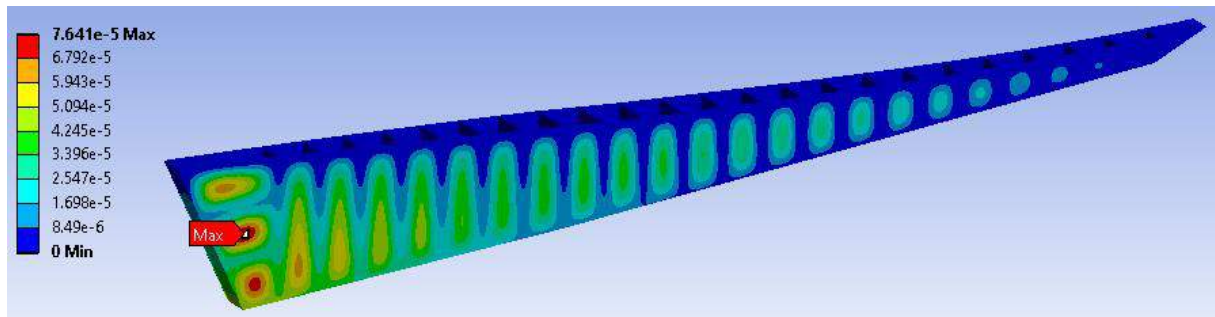
**Gambar 4. 1 Tegangan von mises pada *skeg* ketika kapal maju dengan kecepatan putar *propeller* 160RPM**



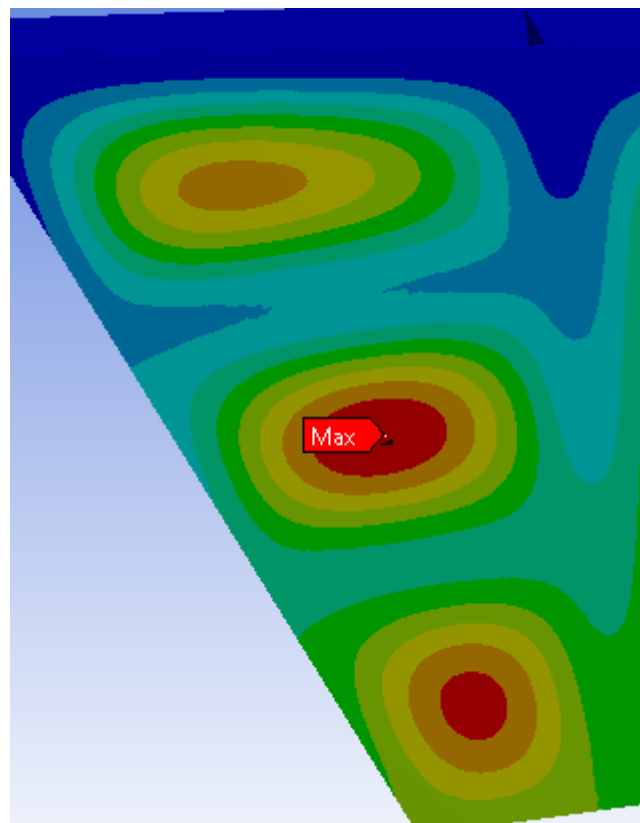
**Gambar 4. 2 Detail lokasi tegangan von mises maksimum yang terjadi pada *skeg***

Gambar 4.1 menunjukkan nilai tegangan von mises terbesar yang terjadi pada model *skeg* bernilai 4.7767 MPa, sedangkan tegangan terbesar berada di area berwarna merah pada plat sisi kanan *skeg* bagian atas yaitu pada sambungan plat sisi *skeg* dengan plat alas kapal

seperti yang terlihat pada gambar 4.2 di atas. Kondisi ini sesuai dengan konsep tegangan terbesar yang terjadi pada balok kantilever, dimana nilai tegangan terbesar terjadi pada area di pangkal jepit atau di sekitar ujung balok yang mendapat tumpuan jepit, sama seperti kasus pada *skeg* ini dimana pangkal bagian atas *skeg* disambun dengan lambung kapal sehingga pada area tersebut merupakan tumpuan jepit atau *fix support*. Sedangkan nilai tegangan von mises terkecil bernilai 0.002586 MPa yang terletak pada area berwarna biru tua.



Gambar 4. 3 Deformasi pada *skeg* ketika kapal maju dengan kecepatan putar *propeller* 160RPM

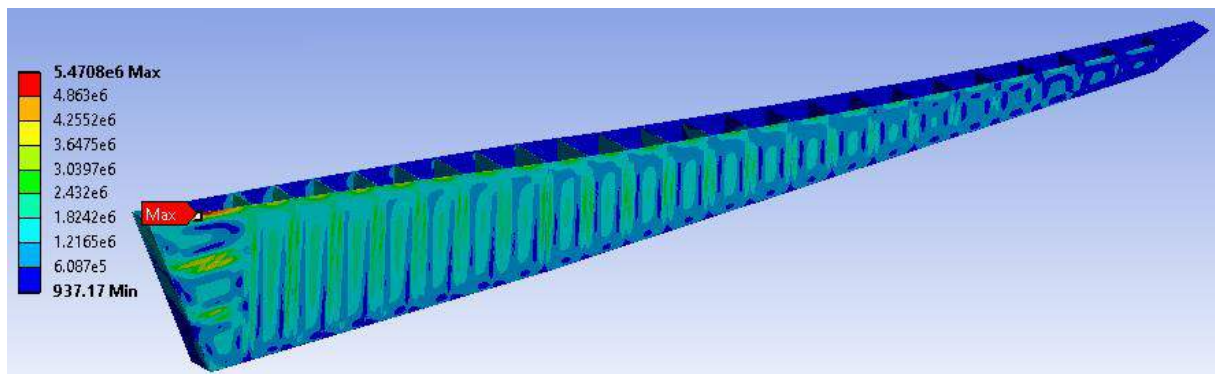


Gambar 4. 4 Detail lokasi terjadinya deformasi maksimum

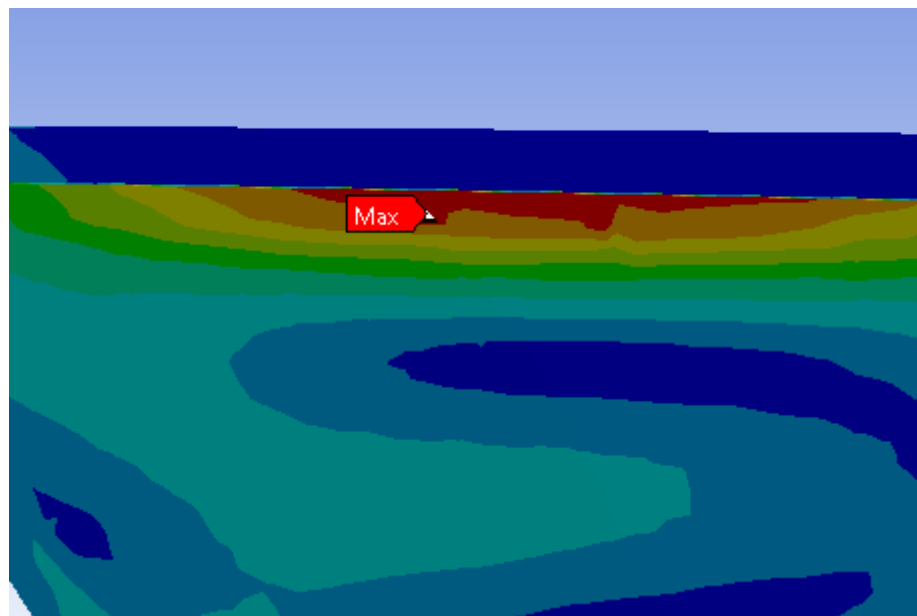
Selain tegangan von mises, variabel lain yang diamati dalam penelitian ini adalah deformasi yang terjadi pada model *skeg*. Besarnya deformasi pada model *skeg* dapat dilihat pada gambar 4.3 dengan nilai deformasi terbesar bernilai  $7.641 \times 10^{-5}$  mm, sedangkan detail lokasi terjadinya deformasi maksimum dapat dilihat pada gambar 4.4 di atas. Deformasi

terbesar berada di area berwarna merah pada plat sisi kanan *skeg* yang tepatnya berada di bagian tengah plat antara dua penegar memanjang *skeg*. Hal ini dikarenakan area tersebut merupakan plat dengan *unsupported span* terbesar dengan jarak vertikal antar penegar memanjang pada plat di *skeg* tersebut sebesar 700mm dan jarak horizontal antara penegar melintang terbelakang dengan plat *skeg* bagian belakang yang kedua terbesar setelah plat sisi *skeg* yang berada di atasnya. Kemudian ketika *skeg* mendapat beban dari samping maka plat sisi *skeg* menerima beban secara langsung dan momen inersia penampang plat lebih kecil daripada momen inersia penampang penegar di dalamnya.

#### IV.1.3. Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Maju dengan Kecepatan Putar *Propeller* 240RPM



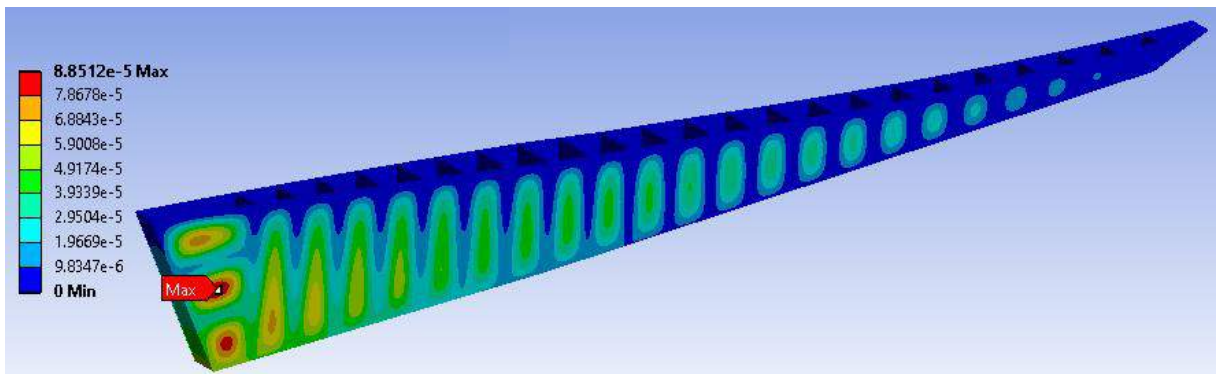
Gambar 4. 5 Tegangan von mises pada *skeg* ketika kapal maju dengan kecepatan putar *propeller* 240RPM



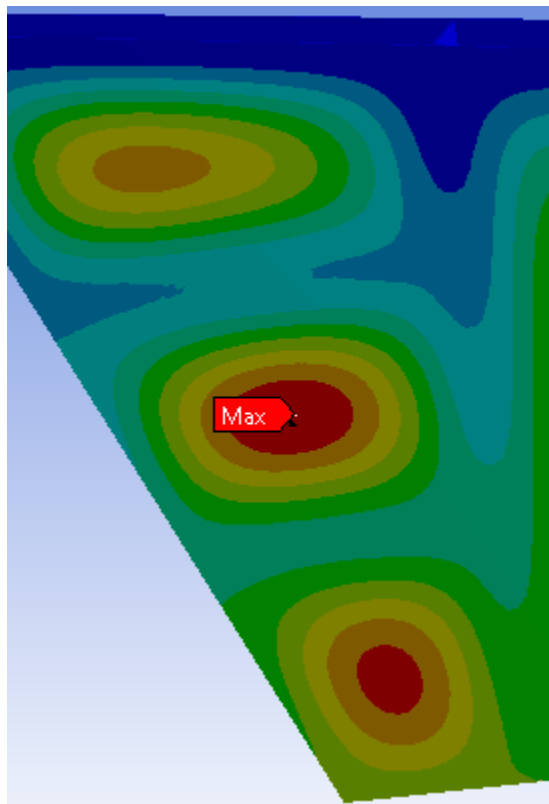
Gambar 4. 6 Detail lokasi terjadinya tegangan von mises maksimum

Pada gambar 4.5 terlihat bahwa nilai tegangan von mises terbesar yang terjadi pada model *skeg* bernilai 4.4708 MPa. Tegangan maksimum berada di area berwarna merah pada

plat sisi kanan *skeg* bagian atas yaitu pada sambungan plat sisi *skeg* dengan plat alas kapal seperti yang terlihat pada gambar 4.6. Hal ini karena *skeg* seperti balok kantilever yang ujung bagian atasnya disambung dengan lambung kapal yang berupa sambungan jepit, sehingga sesuai dengan konsep tegangan terbesar yang terjadi pada balok kantilever yaitu nilai tegangan terbesar terjadi pada area di pangkal jepit atau di sekitar ujung balok yang mendapat tumpuan jepit. Sedangkan nilai tegangan von mises terkecil bernilai 0.00093717 MPa yang terletak pada area berwarna biru tua.



Gambar 4. 7 Deformasi pada *skeg* ketika kapal maju dengan kecepatan putar *propeller* 240RPM

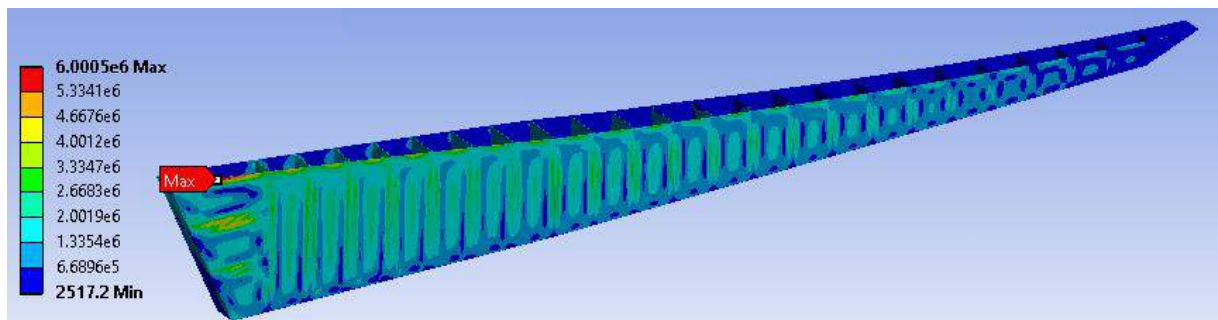


Gambar 4. 8 Detail lokasi terjadinya deformasi maksimum

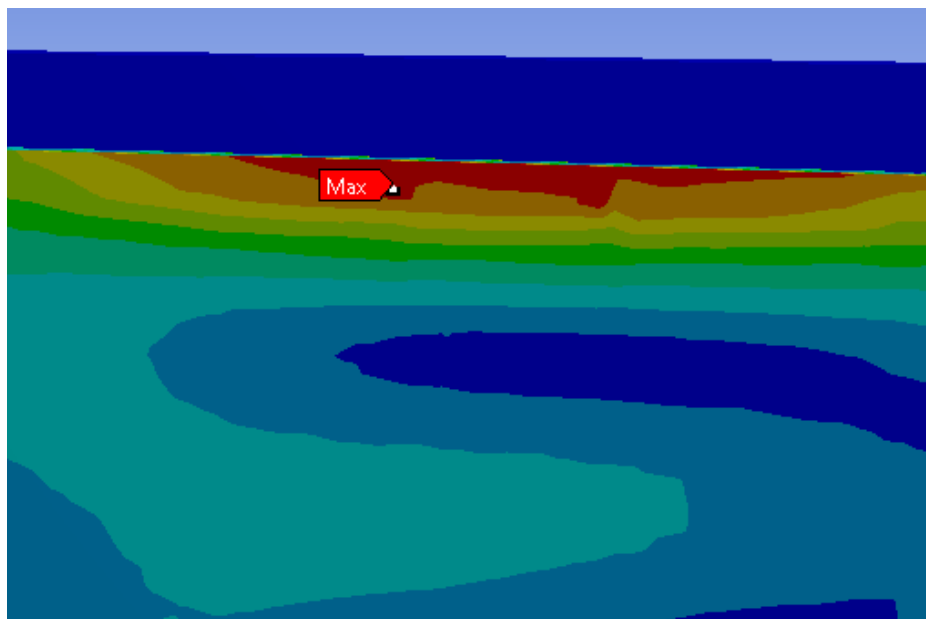
Besarnya deformasi pada model *skeg* dapat dilihat pada gambar 4.4 dengan nilai deformasi terbesar bernilai  $8.8512 \times 10^{-5}$  mm, sedangkan detail lokasi terjadinya deformasi

maksimum dapat dilihat pada gambar 4.8. Deformasi terbesar berada di area berwarna merah pada plat sisi kanan *skeg* yang tepatnya berada di bagian tengah plat antara dua penegar memanjang *skeg*. Lokasi deformasi maksimum terjadi pada area tersebut karena area tersebut merupakan plat dengan *unsupported span* terbesar dengan jarak vertikal antar penegar memanjang pada plat di *skeg* tersebut sebesar 700mm dan jarak horizontal antara penegar melintang terbelakang dengan plat *skeg* bagian belakang yang kedua terbesar setelah plat sisi *skeg* yang berada di atasnya. Selain itu karena ketika *skeg* mendapat beban dari samping maka plat sisi *skeg* menerima beban secara langsung dan momen inersia penampang plat lebih kecil daripada momen inersia penampang penegar di dalamnya.

#### IV.1.4. Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Maju dengan Kecepatan Putar *Propeller* 320RPM



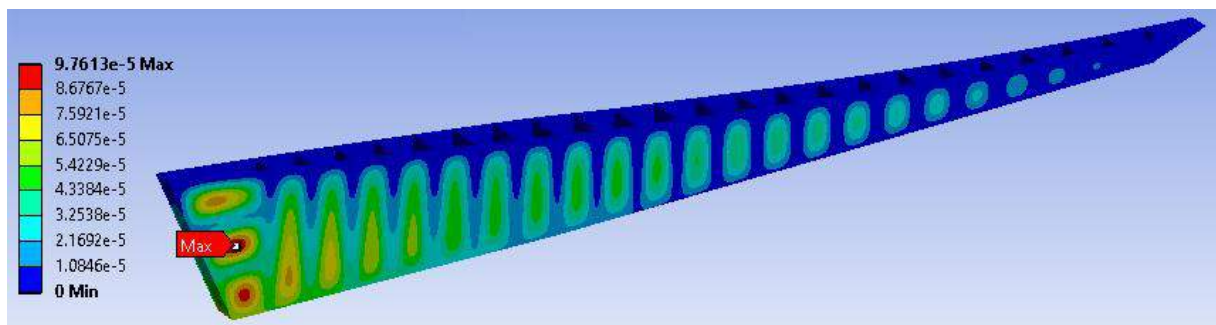
Gambar 4. 9 Tegangan von mises pada *skeg* ketika kapal maju dengan kecepatan putar *propeller* 320RPM



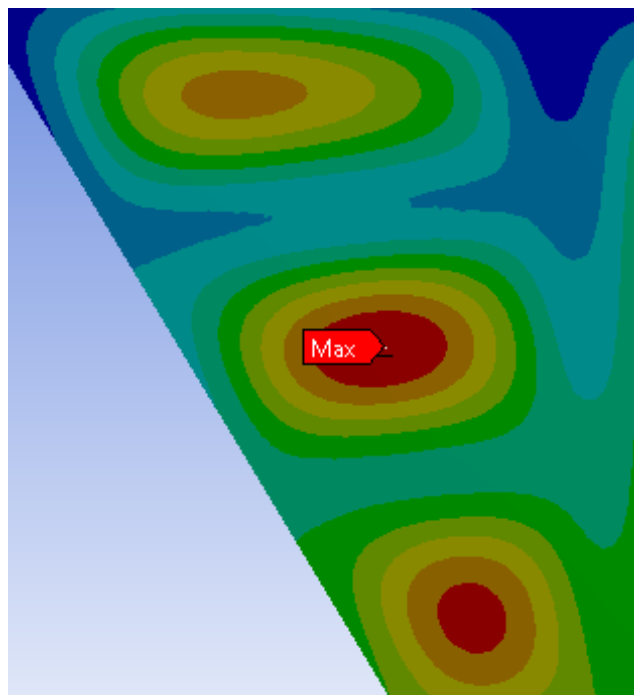
Gambar 4. 10 Detail lokasi terjadinya tegangan von mises maksimum

Gambar 4.9 menunjukkan nilai tegangan von mises terbesar yang terjadi pada model *skeg* bernilai 6.0005 MPa. Tegangan terbesar berada di area berwarna merah pada plat sisi

kanan *skeg* bagian atas yaitu pada sambungan plat sisi *skeg* dengan plat alas kapal seperti yang terlihat pada gambar 4.10. Tegangan von mises maksimum terjadi di area ini karena secara sederhana kondisi *skeg* sama seperti balok kantilever, dimana tegangan terbesar terjadi pada area di pangkal jepit atau di sekitar ujung balok yang mendapat tumpuan jepit, sama seperti kasus pada *skeg* ini dimana pangkal bagian atas *skeg* disambung dengan lambung kapal sehingga pada area tersebut merupakan tumpuan jepit. Sedangkan nilai tegangan von mises terkecil bernilai 0.0025172 MPa yang terletak pada area berwarna biru tua.



**Gambar 4. 11** Deformasi pada *skeg* ketika kapal maju dengan kecepatan putar *propeller* 320RPM

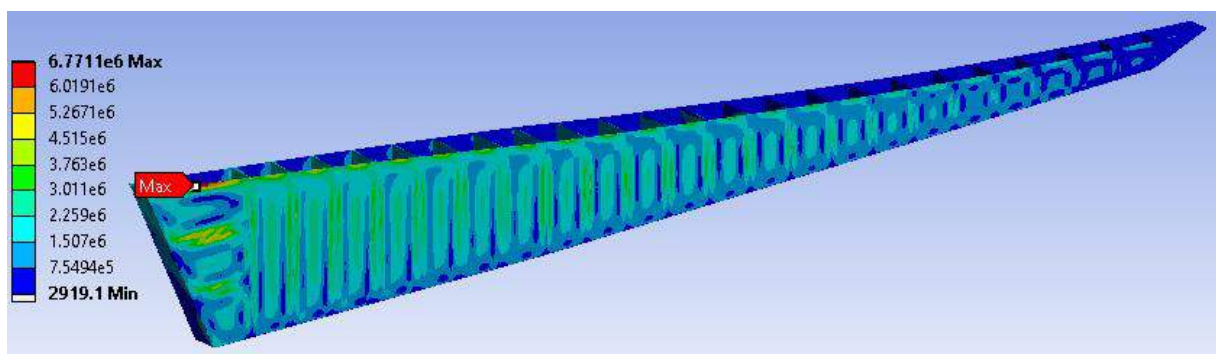


**Gambar 4. 12** Detail lokasi terjadinya deformasi maksimum

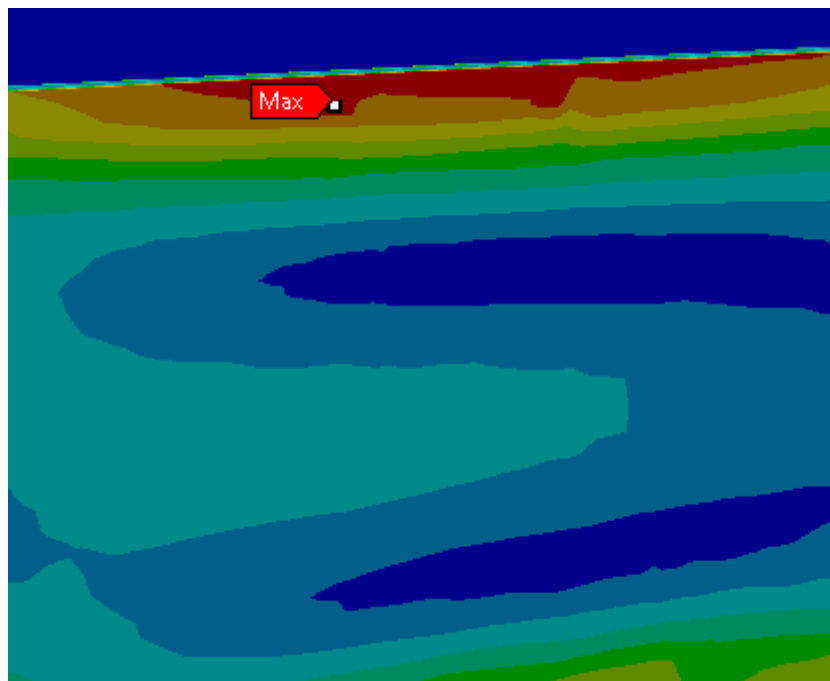
Variabel lain yang diamati dalam penelitian ini adalah deformasi yang terjadi pada model *skeg*. Besarnya deformasi pada model *skeg* dapat dilihat pada gambar 4.11 dengan nilai deformasi terbesar bernilai  $9.7613 \times 10^{-5}$  mm, seperti yang terlihat pada gambar 4.12 deformasi terbesar berada di area berwarna merah pada plat sisi kanan *skeg* yang tepatnya berada di bagian tengah plat antara dua penegar memanjang *skeg*. Kondisi ini terjadi karena area tersebut

merupakan plat dengan *unsupported span* terbesar dengan jarak vertikal antar penegar memanjang pada plat di *skeg* tersebut sebesar 700mm dan jarak horizontal antara penegar melintang terbelakang dengan plat *skeg* bagian belakang yang kedua terbesar setelah plat sisi *skeg* yang berada di atasnya. Kemudian ketika *skeg* mendapat beban dari samping maka plat sisi *skeg* menerima beban secara langsung dan momen inersia penampang plat lebih kecil daripada momen inersia penampang penegar di dalamnya.

#### IV.1.5. Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Maju dengan Kecepatan Putar *Propeller* 400RPM



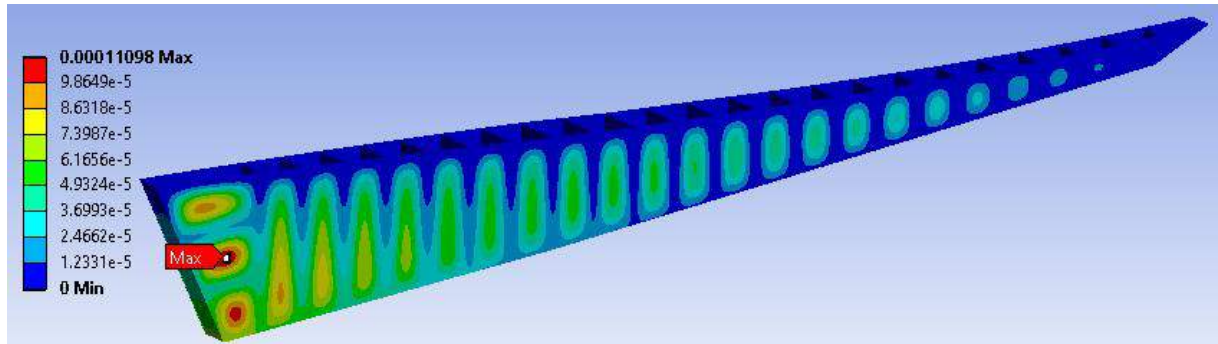
Gambar 4. 13 Tegangan von mises pada *skeg* ketika kapal maju dengan kecepatan putar *propeller* 400RPM



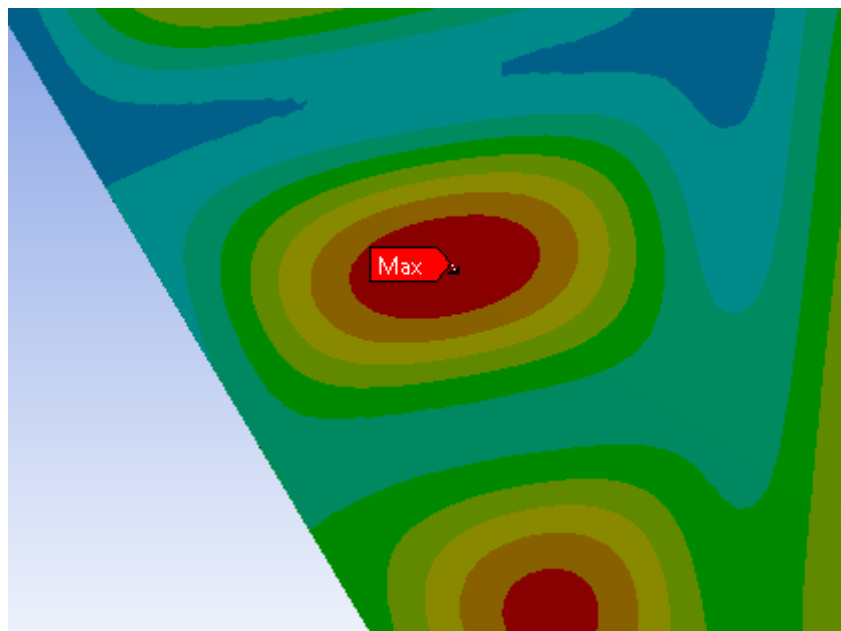
Gambar 4. 14 Detail lokasi terjadinya tegangan von mises maksimum

Nilai tegangan von mises terbesar yang terjadi pada model *skeg* bernilai 6.7711 MPa seperti yang terlihat pada gambar 4.13. Tegangan terbesar berada di area berwarna merah pada

plat sisi kanan *skeg* bagian atas yaitu pada sambungan plat sisi *skeg* dengan plat alas kapal sesuai dengan gambar 4.14. Kondisi yang demikian terjadi karena pangkal bagian atas *skeg* dilas dengan lambung kapal sehingga pada area tersebut merupakan tumpuan jepit atau *fix support*, dan seperti yang diketahui bahwa pada balok kantilever nilai tegangan terbesar terjadi pada area di pangkal jepit atau di sekitar ujung balok yang mendapat tumpuan jepit. Sedangkan nilai tegangan von mises terkecil bernilai 0.0029191 MPa yang terletak pada area berwarna biru tua.



Gambar 4. 15 Deformasi pada *skeg* ketika kapal maju dengan kecepatan putar *propeller* 400RPM



Gambar 4. 16 Detail lokasi terjadinya deformasi maksimum

Selain tegangan von mises, variabel lain yang diamati dalam penelitian ini adalah deformasi yang terjadi pada model *skeg*. Sesuai dengan gambar 4.15 B nilai deformasi terbesar bernilai  $1.1098 \times 10^{-5}$  mm, sedangkan detail lokasi terjadinya deformasi maksimum dapat dilihat pada gambar 4.16. Deformasi terbesar berada di area berwarna merah pada plat sisi kanan *skeg* yang tepatnya berada di bagian tengah plat antara dua penegar memanjang *skeg*. Hal ini terjadi karena area tersebut merupakan plat dengan *unsupported span* terbesar dengan jarak vertikal

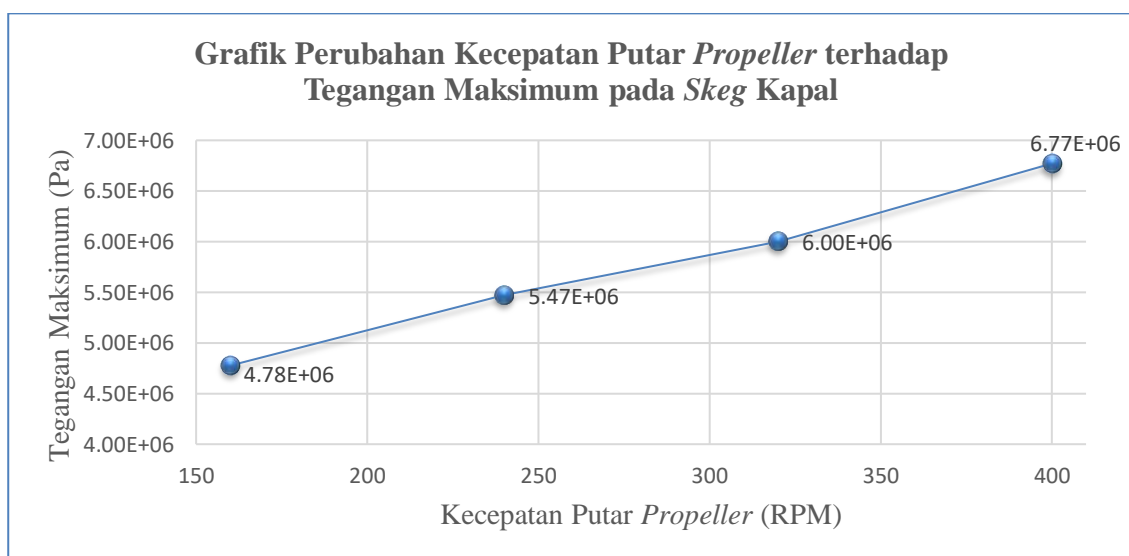
antar penegar memanjang pada plat di *skeg* tersebut sebesar 700mm dan jarak horizontal antara penegar melintang terbelakang dengan plat *skeg* bagian belakang yang kedua terbesar setelah plat sisi *skeg* yang berada di atasnya. Kemudian ketika *skeg* mendapat beban dari samping maka plat sisi *skeg* menerima beban secara langsung dan momen inersia penampang plat lebih kecil daripada momen inersia penampang penegar di dalamnya.

#### IV.1.6. Pembahasan Tegangan Von Mises dan Deformasi pada *Skeg* Ketika Kapal Maju

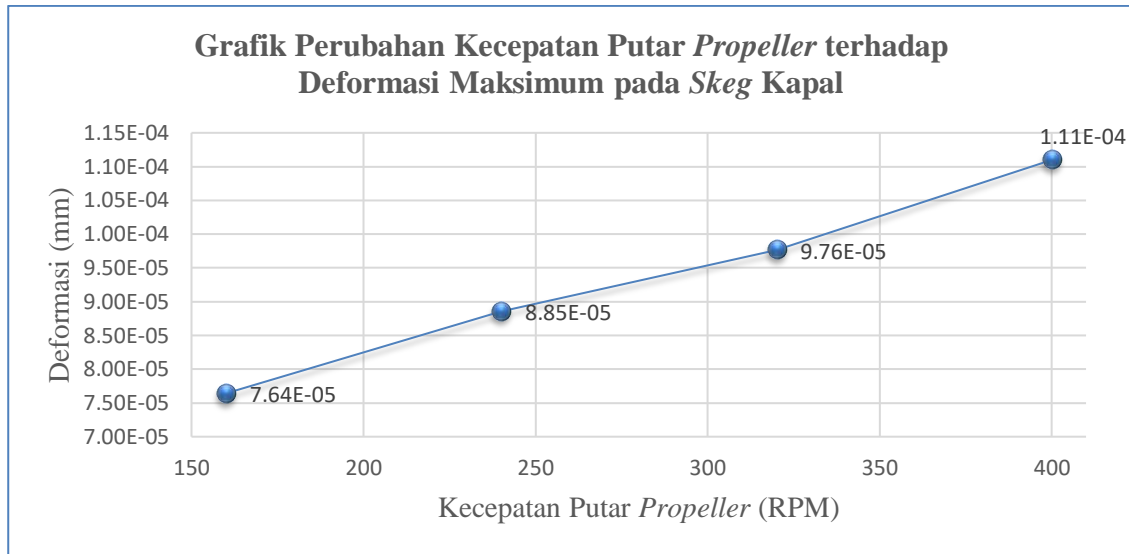
Berdasarkan hasil simulasi tegangan von mises dan deformasi yang telah dijelaskan pada sub-bab IV.1.2 hingga sub-bab IV.1.5 maka hasil tegangan von mises dan deformasi dapat ditampilkan pada tabel 4.2 berikut ini, serta untuk memudahkan dalam memahami hubungan kenaikan kecepatan putar *propeller* terhadap tegangan dan deformasi maka dapat dilihat pada grafik perubahan kecepatan putar *propeller* terhadap tegangan pada gambar 4.17 dan grafik perubahan kecepatan putar *propeller* terhadap deformasi pada gambar 4.18

**Tabel 4. 2 Rekapitulasi Nilai Tegangan Von Mises dan Deformasi ketika Kapal Maju**

Kecepatan Putar <i>Propeller</i> (RPM)	Tegangan Von Mises (MPa)	Deformasi (mm)
160	4.7767	$7.64 \times 10^{-5}$
240	5.4708	$8.85 \times 10^{-5}$
320	6.0005	$9.76 \times 10^{-5}$
400	6.7711	$11.1 \times 10^{-5}$



**Gambar 4. 17 Grafik tegangan maksimum *skeg* ketika kapal maju**



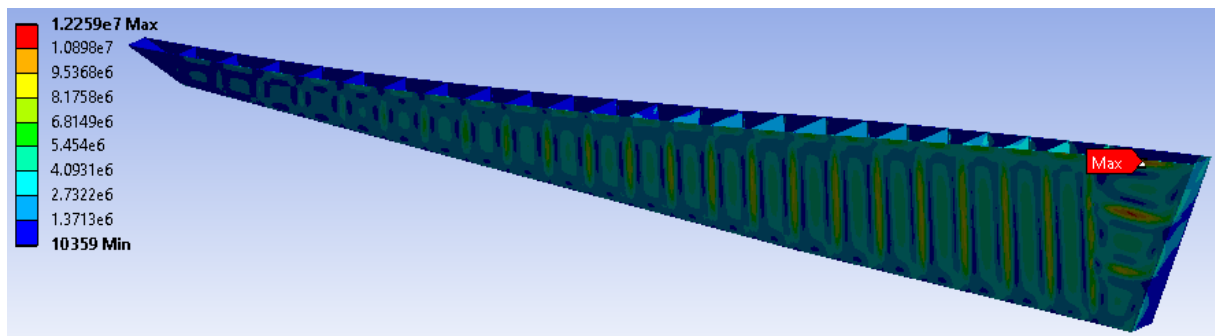
**Gambar 4. 18 Grafik deformasi maksimum skeg ketika kapal maju**

Tabel 4.1 menunjukkan nilai tegangan maksimum dan deformasi maksimum *skeg* setiap variasi kecepatan putar *propeller*. Nilai tegangan maksimum pada setiap variasi mengalami perubahan. Pada saat kapal maju, semakin besar variasi kecepatan putar *propeller*, maka nilai tegangan dan deformasi yang terjadi juga semakin besar. Tegangan von mises dan deformasi terbesar terjadi pada variasi kecepatan putar *propeller* maksimum yaitu ketika 400RPM, dengan nilai tegangan maksimum tertinggi sebesar 4.7767 MPa dan nilai deformasi maksimum tertinggi sebesar  $11.1 \times 10^{-05}$  mm. Sedangkan nilai tegangan von mises dan deformasi minimum terendah terjadi pada variasi putar *propeller* 160RPM dengan bilai tegangan minimum terendah sebesar 4.7767MPa dan nilai deformasi minimum terendah sebesar  $7.64 \times 10^{-05}$  mm.

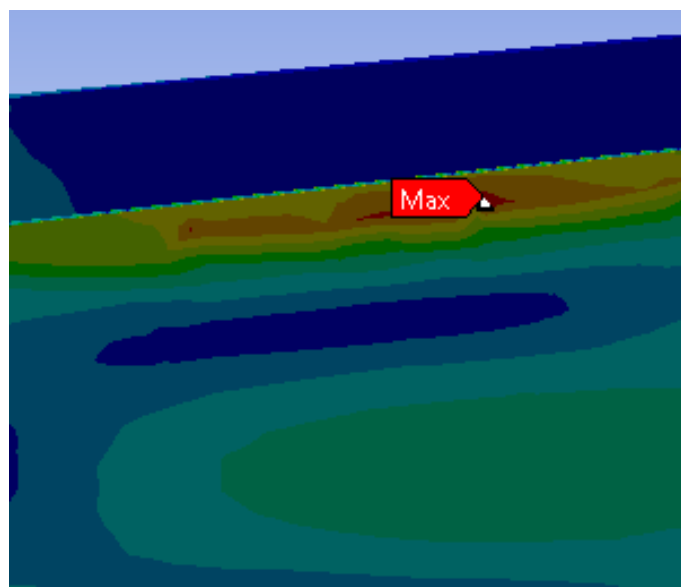
Pengaruh perubahan kecepatan putar *propeller* terhadap tegangan von mises pada *skeg* dapat dilihat pada gambar 4.17. Pada grafik tersebut terlihat bahwa tegangan maksimum tertinggi terjadi ketika kecepatan putar *propeller* sebesar 400RPM dengan nilai 6.77MPa. Tegangan von mises meningkat seiring dengan penambahan kecepatan putar *propeller* yaitu ketika kecepatan putar *propeller* 160RPM nilai tegangan maksimum sebesar 4.78MPa, lalu ketika kecepatan putar *propeller* 240RPM nilai tegangan maksimum sebesar 5.47MPa, kemudian ketika kecepatan putar *propeller* 320RPM nilai tegangan maksimum sebesar 6MPa dan ketika kecepatan putar *propeller* 400RPM nilai tegangan maksimum sebesar 6.77MPa. Berdasarkan grafik pada gambar 4.17 dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar kecepatan putar *propeller* maka besarnya tegangan yang terjadi pada *skeg* juga semakin meningkat.

Selain pada gambar 4.17, pengaruh perubahan kecepatan putar *propeller* terhadap *skeg* juga dapat dilihat pada gambar 4.18. Pada grafik tersebut terlihat bahwa deformasi maksimum tertinggi terjadi ketika kecepatan putar *propeller* sebesar 400RPM dengan nilai  $1.11 \times 10^{-4}$  mm. Deformasi meningkat seiring dengan penambahan kecepatan putar *propeller* yaitu ketika kecepatan putar *propeller* 160RPM nilai defromasi maksimum sebesar  $7.64 \times 10^{-5}$  mm, lalu ketika kecepatan putar *propeller* 240RPM nilai defromasi maksimum sebesar  $8.85 \times 10^{-5}$  mm, kemudian ketika kecepatan putar *propeller* 320RPM nilai defromasi maksimum sebesar  $9.76 \times 10^{-5}$  mm dan ketika kecepatan putar *propeller* 400RPM nilai defromasi maksimum sebesar  $1.11 \times 10^{-4}$  mm. Berdasarkan grafik pada gambar 4.18 dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar kecepatan putar *propeller* maka besarnya defromasi yang terjadi pada *skeg* juga semakin meningkat.

#### IV.1.7. Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Mundur dengan Kecepatan Putar *Propeller* 160RPM

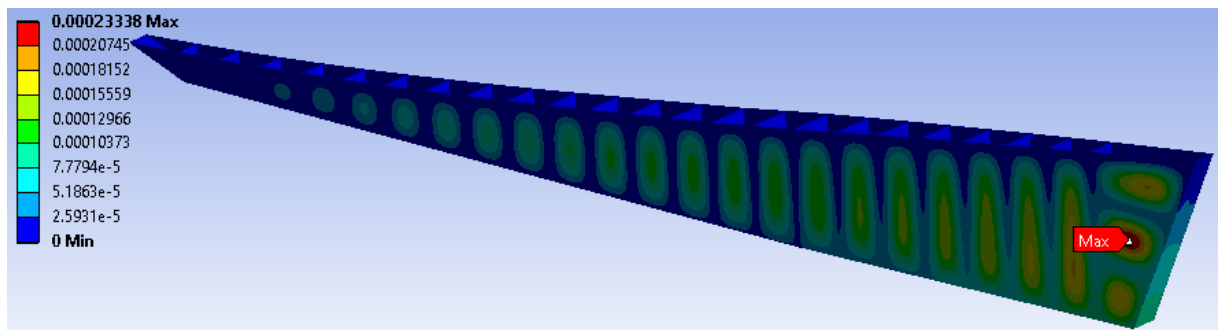


Gambar 4. 19 Tegangan von mises pada *skeg* ketika kapal mundur dengan kecepatan putar *propeller* 160RPM

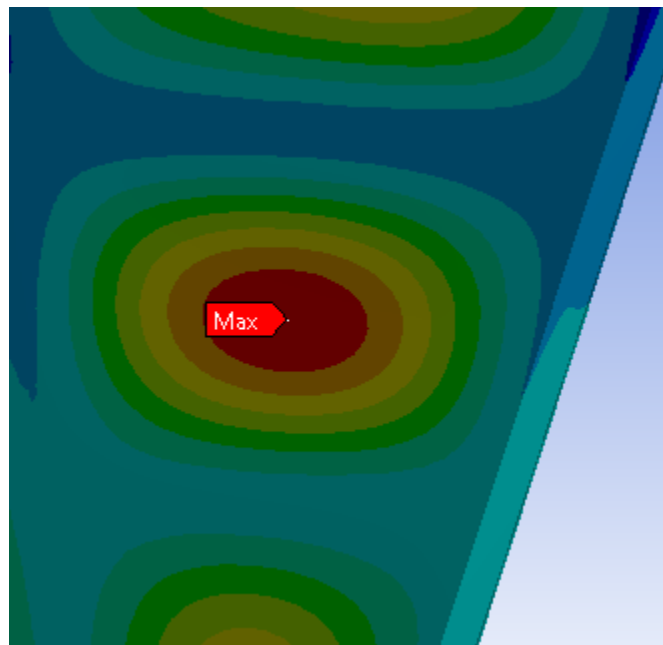


Gambar 4. 20 Detail lokasi tegangan von mises maksimum yang terjadi pada *skeg*

Gambar 4.19 menunjukkan nilai tegangan von mises terbesar yang terjadi pada model *skag* bernilai 12.259 MPa, sedangkan tegangan terbesar berada di area berwarna merah pada plat sisi kiri *skag* bagian atas yaitu pada sambungan plat sisi *skag* dengan plat alas kapal seperti yang terlihat pada gambar 4.20 di atas. Kondisi ini sesuai dengan konsep tegangan terbesar yang terjadi pada balok kantilever, dimana nilai tegangan terbesar terjadi pada area di pangkal jepit atau di sekitar ujung balok yang mendapat tumpuan jepit, sama seperti kasus pada *skag* ini dimana pangkal bagian atas *skag* disambun dengan lambung kapal sehingga pada area tersebut merupakan tumpuan jepit atau *fix support*. Sedangkan nilai tegangan von mises terkecil bernilai 0.010359 MPa yang terletak pada area berwarna biru tua.



Gambar 4. 21 Deformasi pada *skag* ketika kapal mundur dengan kecepatan putar *propeller* 160RPM

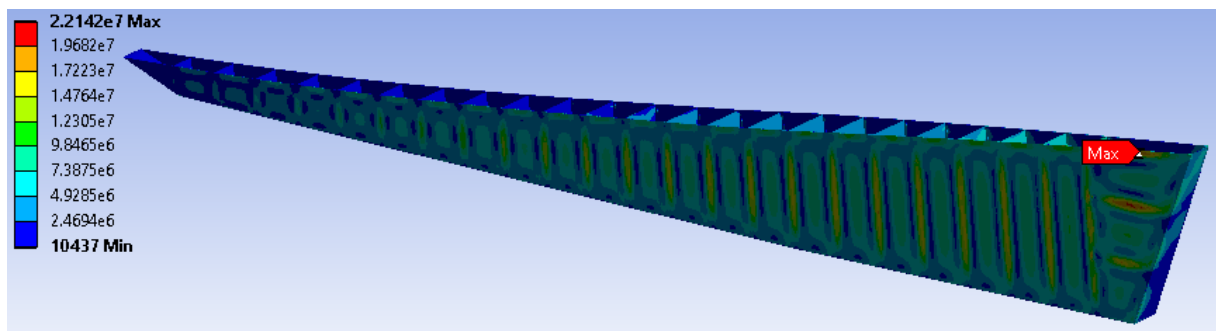


Gambar 4. 22 Detail lokasi deformasi maksimum yang terjadi pada *skag*

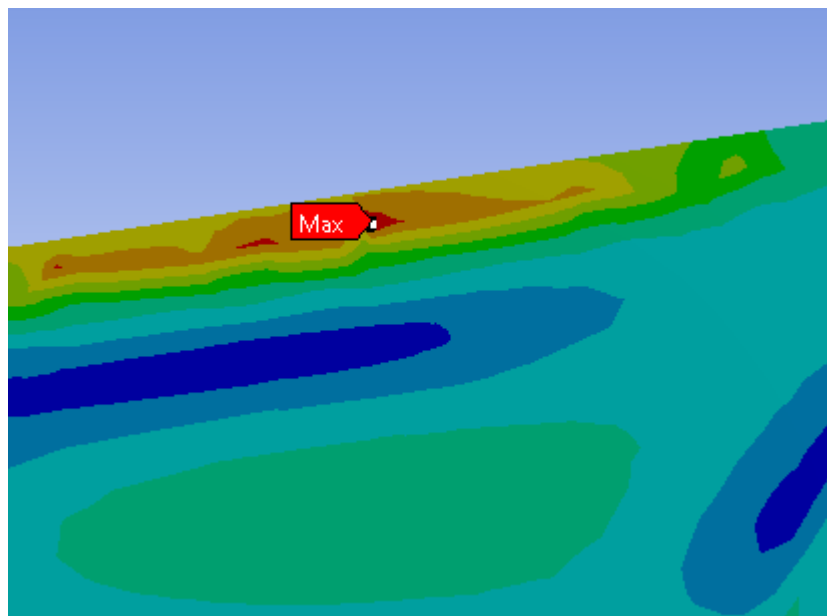
Selain tegangan von mises, variabel lain yang diamati dalam penelitian ini adalah deformasi yang terjadi pada model *skag*. Besarnya deformasi pada model *skag* dapat dilihat pada gambar 4.21 dengan nilai deformasi terbesar bernilai  $2.3338 \times 10^{-4}$  mm, sedangkan detail

lokasi terjadinya deformasi maksimum dapat dilihat pada gambar 4.4 di atas. Deformasi terbesar berada di area berwarna merah pada plat sisi kiri *skeg* yang tepatnya berada di bagian tengah plat antara dua penegar memanjang *skeg*. Hal ini dikarenakan area tersebut merupakan plat dengan *unsupported span* terbesar dengan jarak vertikal antar penegar memanjang pada plat di *skeg* tersebut sebesar 700mm dan jarak horizontal antara penegar melintang terbelakang dengan plat *skeg* bagian belakang yang kedua terbesar setelah plat sisi *skeg* yang berada di atasnya. Kemudian ketika *skeg* mendapat beban dari samping maka plat sisi *skeg* menerima beban secara langsung dan momen inersia penampang plat lebih kecil daripada momen inersia penampang penegar di dalamnya.

#### IV.1.8. Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Mundur dengan Kecepatan Putar *Propeller* 240RPM

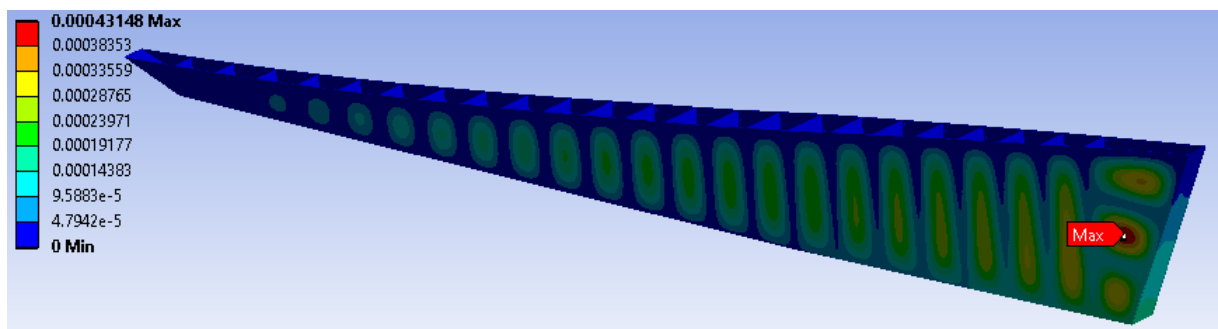


Gambar 4. 23 Tegangan von mises pada *skeg* ketika kapal mundur dengan kecepatan putar *propeller* 240RPM

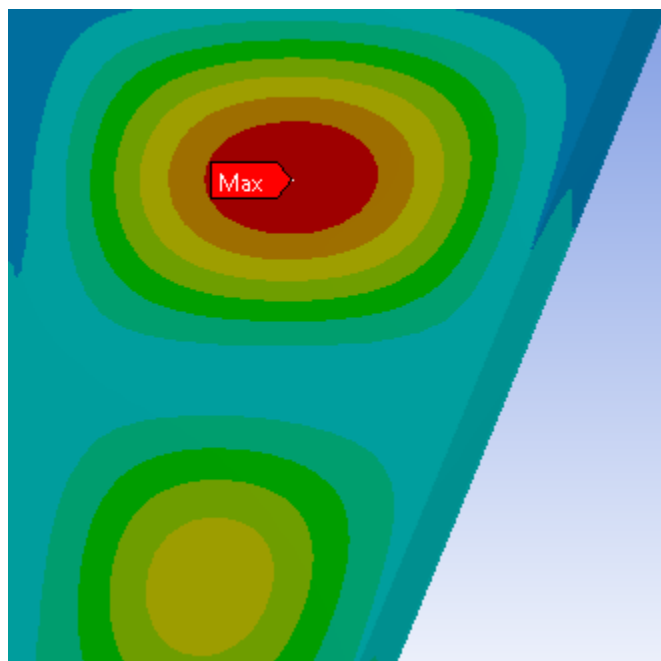


Gambar 4. 24 Detail lokasi tegangan von mises maksimum yang terjadi pada *skeg*

Pada gambar 4.23 terlihat bahwa nilai tegangan von mises terbesar yang terjadi pada model *skeg* bernilai 22.142 MPa. Tegangan maksimum berada di area berwarna merah pada plat sisi kiri *skeg* bagian atas yaitu pada sambungan plat sisi *skeg* dengan plat alas kapal seperti yang terlihat pada gambar 4.24. Hal ini karena *skeg* seperti balok kantilever yang ujung bagian atasnya disambung dengan lambung kapal yang berupa sambungan jepit, sehingga sesuai dengan konsep tegangan terbesar yang terjadi pada balok kantilever yaitu nilai tegangan terbesar terjadi pada area di pangkal jepit atau di sekitar ujung balok yang mendapat tumpuan jepit. Sedangkan nilai tegangan von mises terkecil bernilai 0.010437 MPa yang terletak pada area berwarna biru tua.



Gambar 4. 25 Deformasi pada *skeg* ketika kapal mundur dengan kecepatan putar *propeller* 240RPM

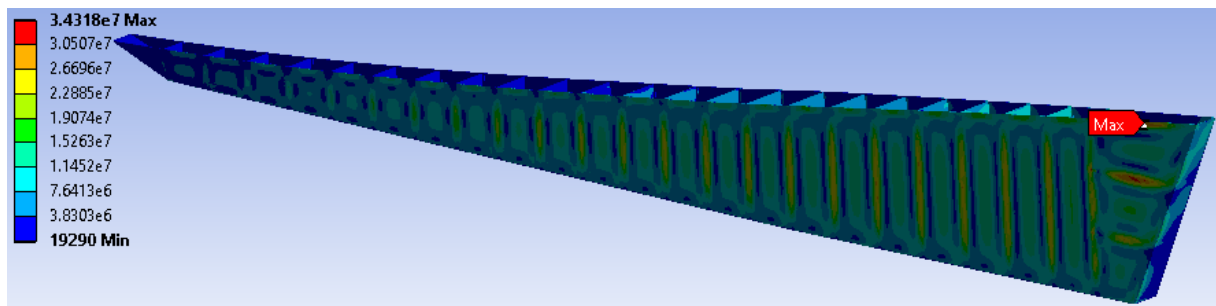


Gambar 4. 26\ Detail lokasi deformasi maksimum yang terjadi pada *skeg*

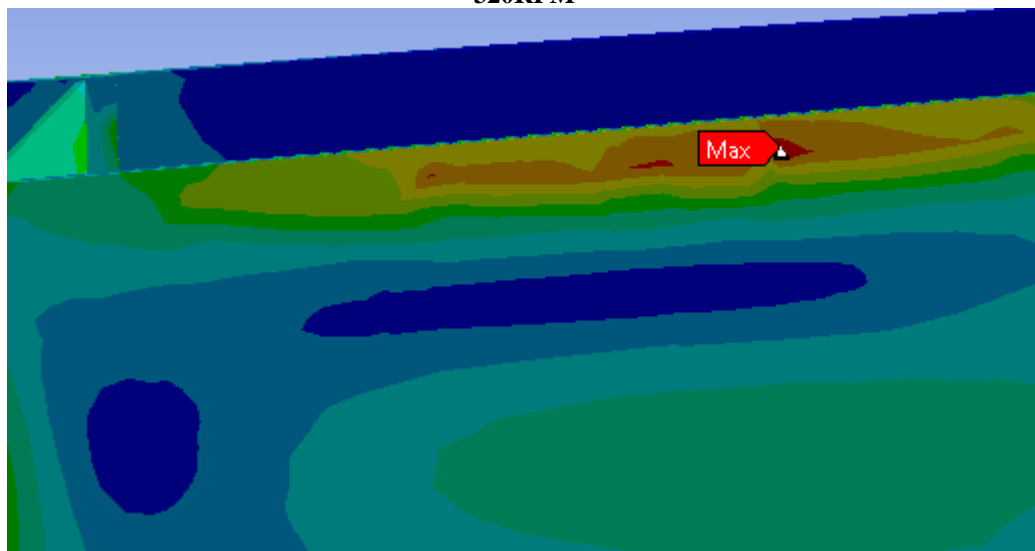
Besarnya deformasi pada model *skeg* dapat dilihat pada gambar 4.25 dengan nilai deformasi terbesar bernilai  $4.3148 \times 10^{-4}$  mm, sedangkan detail lokasi terjadinya deformasi maksimum dapat dilihat pada gambar 4.8. Deformasi terbesar berada di area berwarna merah

pada plat sisi kiri *skeg* yang tepatnya berada di bagian tengah plat antara dua penegar memanjang *skeg*. Lokasi deformasi maksimum terjadi pada area tersebut karena area tersebut merupakan plat dengan *unsupported span* terbesar dengan jarak vertikal antar penegar memanjang pada plat di *skeg* tersebut sebesar 700mm dan jarak horizontal antara penegar melintang terbelakang dengan plat *skeg* bagian belakang yang kedua terbesar setelah plat sisi *skeg* yang berada di atasnya. Selain itu karena ketika *skeg* mendapat beban dari samping maka plat sisi *skeg* menerima beban secara langsung dan momen inersia penampang plat lebih kecil daripada momen inersia penampang penegar di dalamnya.

#### IV.1.9. Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Mundur dengan Kecepatan Putar *Propeller* 320RPM



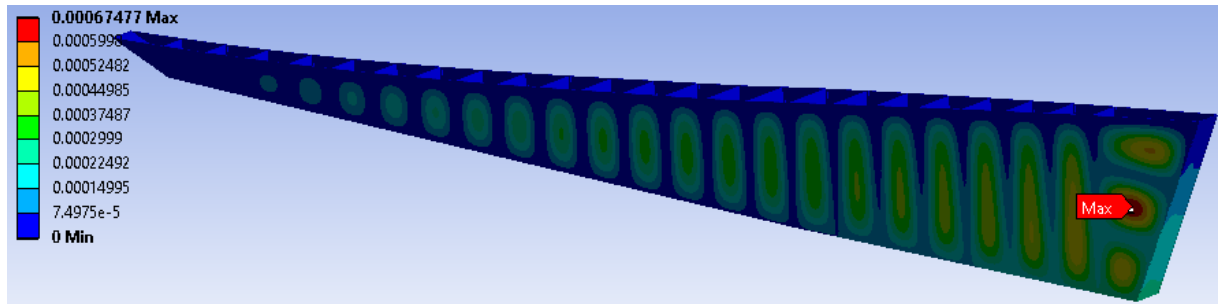
Gambar 4. 27 Tegangan von mises pada *skeg* ketika kapal mundur dengan kecepatan putar *propeller* 320RPM



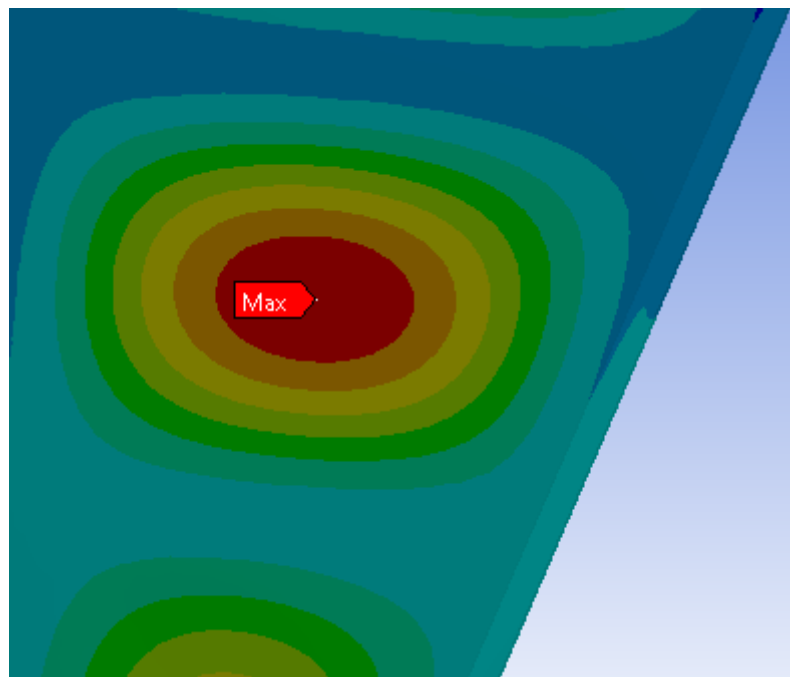
Gambar 4. 28 Detail lokasi tegangan von mises maksimum yang terjadi pada *skeg*

Gambar 4.27 menunjukkan nilai tegangan von mises terbesar yang terjadi pada model *skeg* bernilai 34.318 MPa. Tegangan terbesar berada di area berwarna merah pada plat sisi kiri *skeg* bagian atas yaitu pada sambungan plat sisi *skeg* dengan plat alas kapal seperti yang terlihat pada gambar 4.28. Tegangan von mises maksimum terjadi di area ini karena secara sederhana

kondisi *skeg* sama seperti balok kantilever, dimana tegangan terbesar terjadi pada area di pangkal jepit atau di sekitar ujung balok yang mendapat tumpuan jepit, sama seperti kasus pada *skeg* ini dimana pangkal bagian atas *skeg* disambung dengan lambung kapal sehingga pada area tersebut merupakan tumpuan jepit. Sedangkan nilai tegangan von mises terkecil bernilai 0.019290 MPa yang terletak pada area berwarna biru tua.



Gambar 4. 29 Deformasi pada *skeg* ketika kapal mundur dengan kecepatan putar *propeller* 320RPM

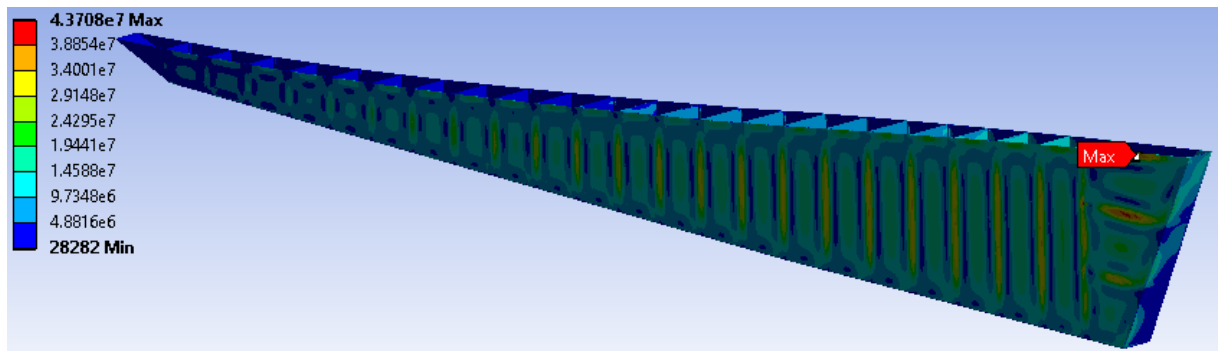


Gambar 4. 30 Detail lokasi deformasi maksimum yang terjadi pada *skeg*

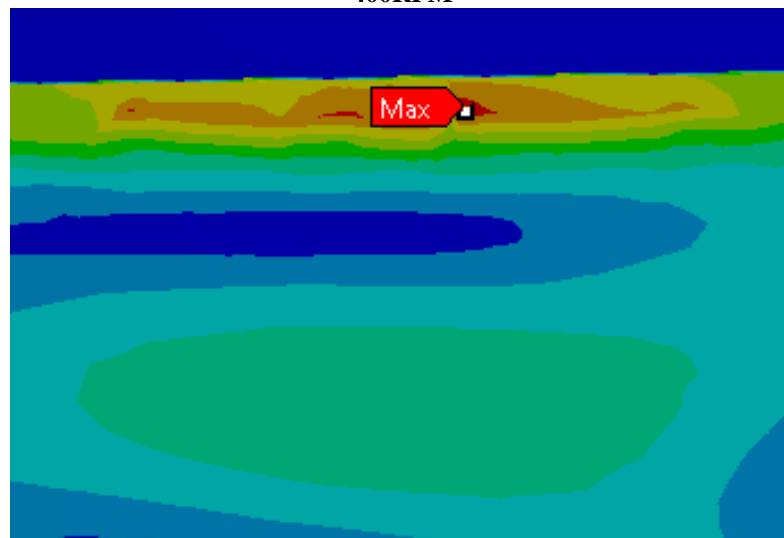
Variabel lain yang diamati dalam penelitian ini adalah deformasi yang terjadi pada model *skeg*. Besarnya deformasi pada model *skeg* dapat dilihat pada gambar 4.29 dengan nilai deformasi terbesar bernilai  $6.7477 \times 10^{-4}$  mm, seperti yang terlihat pada gambar 4.30 deformasi terbesar berada di area berwarna merah pada plat sisi kiri *skeg* yang tepatnya berada di bagian tengah plat antara dua penegar memanjang *skeg*. Kondisi ini terjadi karena area tersebut merupakan plat dengan *unsupported span* terbesar dengan jarak vertikal antar penegar memanjang pada plat di *skeg* tersebut sebesar 700mm dan jarak horizontal antara penegar melintang terbelakang dengan plat *skeg* bagian belakang yang kedua terbesar setelah plat sisi

*skeg* yang berada di atasnya. Kemudian ketika *skeg* mendapat beban dari samping maka plat sisi *skeg* menerima beban secara langsung dan momen inersia penampang plat lebih kecil daripada momen inersia penampang penegar di dalamnya.

#### IV.1.10. Tegangan Von Mises dan Deformasi Ketika Kapal Mundur dengan Kecepatan Putar *Propeller* 400RPM

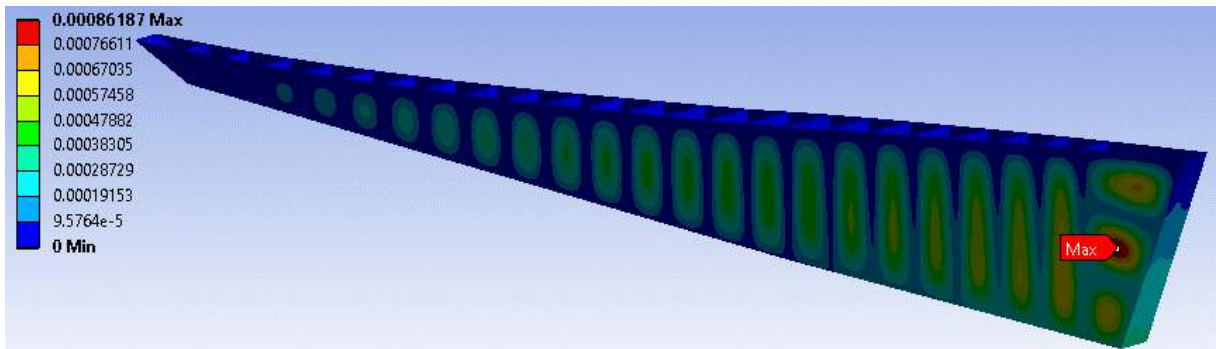


Gambar 4. 31 Tegangan von mises pada *skeg* ketika kapal mundur dengan kecepatan putar *propeller* 400RPM

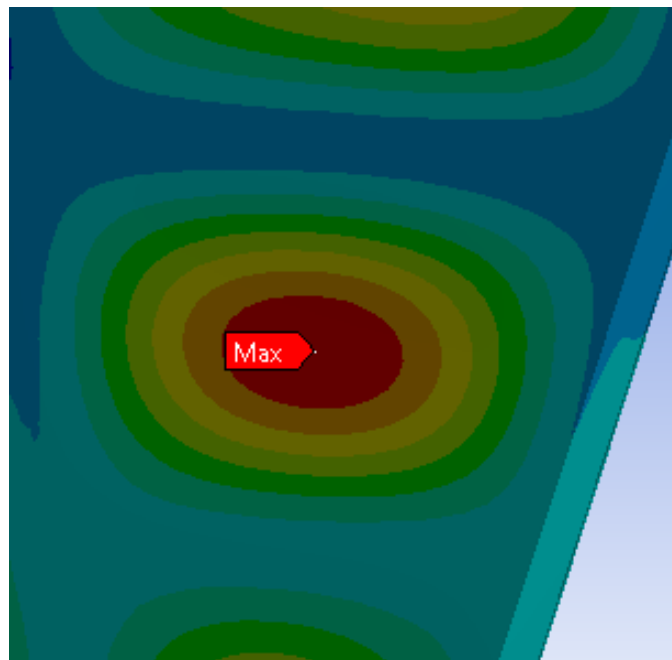


Gambar 4. 32 Detail lokasi tegangan von mises maksimum yang terjadi pada *skeg*

Nilai tegangan von mises terbesar yang terjadi pada model *skeg* bernilai 43.708 MPa seperti yang terlihat pada gambar 4.31. Tegangan terbesar berada di area berwarna merah pada plat sisi kiri *skeg* bagian atas yaitu pada sambungan plat sisi *skeg* dengan plat alas kapal sesuai dengan gambar 4.32. Kondisi yang demikian terjadi karena pangkal bagian atas *skeg* dilas dengan lambung kapal sehingga pada area tersebut merupakan tumpuan jepit atau *fix support*, dan seperti yang diketahui bahwa pada balok kantilever nilai tegangan terbesar terjadi pada area di pangkal jepit atau di sekitar ujung balok yang mendapat tumpuan jepit. Sedangkan nilai tegangan von mises terkecil bernilai 0.028282 MPa yang terletak pada area berwarna biru tua.



**Gambar 4. 33** Deformasi pada *skeg* ketika kapal mundur dengan kecepatan putar *propeller* 400RPM



**Gambar 4. 34** Detail lokasi deformasi maksimum yang terjadi pada *skeg*

Selain tegangan von mises, variabel lain yang diamati dalam penelitian ini adalah deformasi yang terjadi pada model *skeg*. Sesuai dengan gambar 4.33 nilai deformasi terbesar bernilai  $8.6187 \times 10^{-4}$  mm, sedangkan detail lokasi terjadinya deformasi maksimum dapat dilihat pada gambar 4.34. Deformasi terbesar berada di area berwarna merah pada plat sisi kiri *skeg* yang tepatnya berada di bagian tengah plat antara dua penegar memanjang *skeg*. Hal ini terjadi karena area tersebut merupakan plat dengan *unsupported span* terbesar dengan jarak vertikal antar penegar memanjang pada plat di *skeg* tersebut sebesar 700mm dan jarak horizontal antara penegar melintang terbelakang dengan plat *skeg* bagian belakang yang kedua terbesar setelah plat sisi *skeg* yang berada di atasnya. Kemudian ketika *skeg* mendapat beban dari samping maka

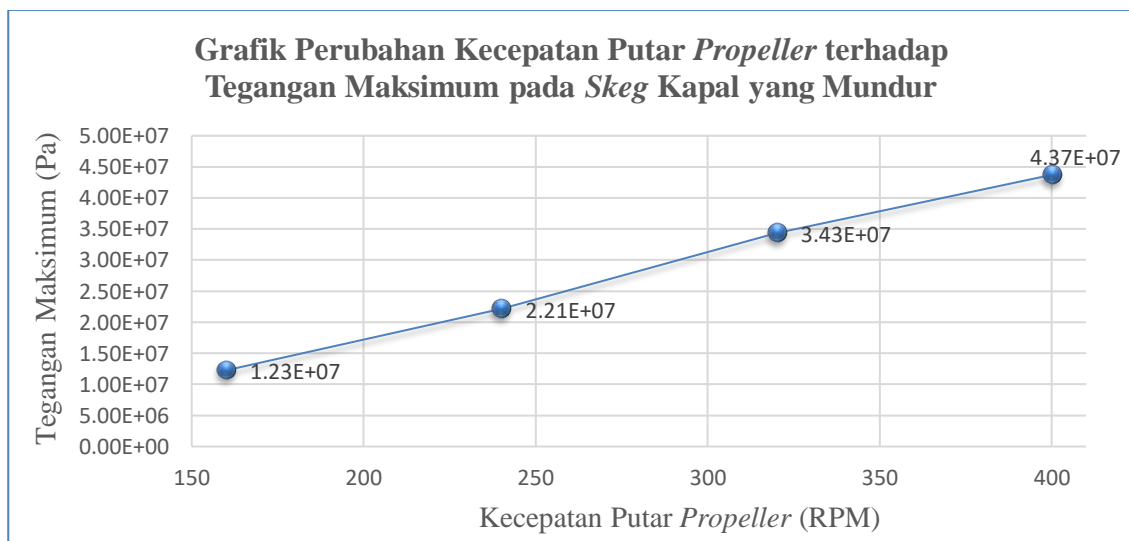
plat sisi *skeg* menerima beban secara langsung dan momen inersia penampang plat lebih kecil daripada momen inersia penampang penegar di dalamnya.

#### IV.1.11. Pembahasan Tegangan Von Mises dan Deformasi pada *Skeg* Ketika Kapal Mundur

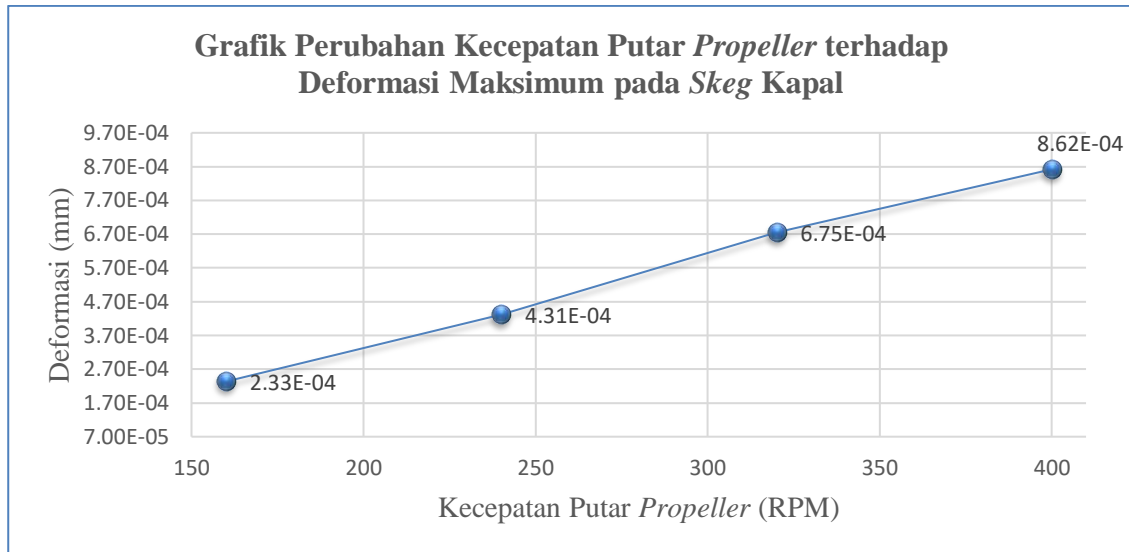
Berdasarkan hasil simulasi tegangan von mises dan deformasi yang telah dijelaskan pada sub-bab IV.1.7 hingga sub-bab IV.1.10 maka hasil tegangan von mises dan deformasi dapat ditampilkan pada tabel 4.3 berikut ini.

**Tabel 4. 3 Rekapitulasi Nilai Tegangan Von Mises dan Deformasi ketika Kapal Mundur**

Kecepatan Putar <i>Propeller</i> (RPM)	Tegangan Von Mises (MPa)	Deformasi (mm)
160	12.259	$2.33 \times 10^{-4}$
240	22.142	$4.31 \times 10^{-4}$
320	34.318	$6.75 \times 10^{-4}$
400	43.708	$8.62 \times 10^{-4}$



**Gambar 4. 35 Grafik tegangan maksimum *skeg* ketika kapal maju**



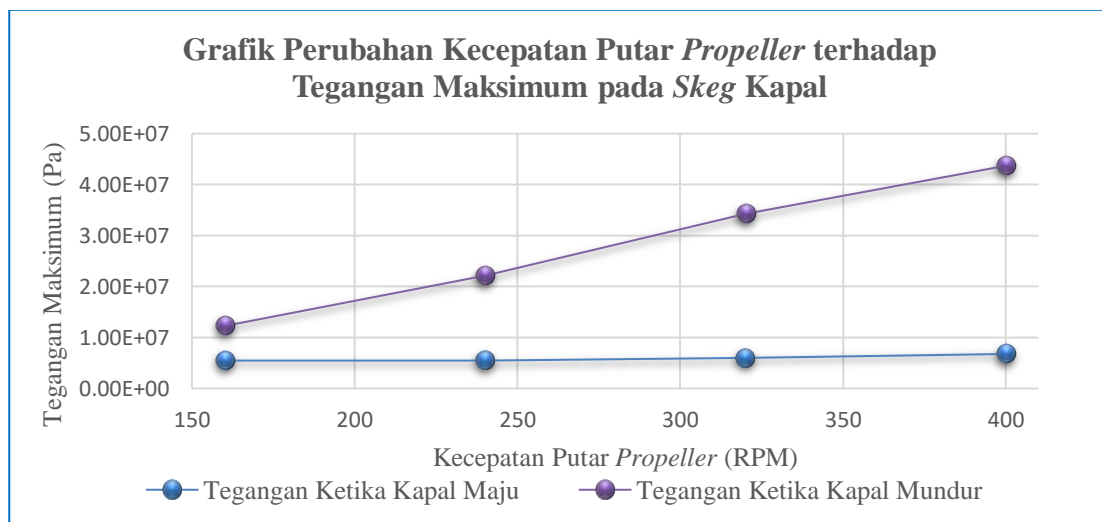
**Gambar 4. 36 Grafik deformasi maksimum skeg ketika kapal maju**

Tabel 4.2 menunjukkan nilai tegangan maksimum dan deformasi maksimum *skeg* setiap variasi kecepatan putar *propeller*. Nilai tegangan maksimum pada setiap variasi mengalami perubahan. Pada saat kapal maju, semakin besar variasi kecepatan putar *propeller*, maka nilai tegangan dan deformasi yang terjadi juga semakin besar. Tegangan von mises dan deformasi terbesar terjadi pada variasi kecepatan putar *propeller* maksimum yaitu ketika 400RPM, dengan nilai tegangan maksimum tertinggi sebesar 43.708MPa dan nilai deformasi maksimum tertinggi sebesar  $8.62 \times 10^{-4}$ mm. Sedangkan nilai tegangan von mises dan deformasi minimum terendah terjadi pada variasi putar *propeller* 160RPM dengan bilai tegangan minimum terendah sebesar 12.259 MPa dan nilai deformasi minimum terendah sebesar  $2.33 \times 10^{-4}$  mm.

Pengaruh perubahan kecepatan putar *propeller* terhadap tegangan von mises pada *skeg* dapat dilihat pada gambar 4.35. Pada grafik tersebut terlihat bahwa tegangan maksimum tertinggi terjadi ketika kecepatan putar *propeller* sebesar 400RPM dengan nilai 43.708 MPa. Tegangan von mises meningkat seiring dengan penambahan kecepatan putar *propeller* yaitu ketika kecepatan putar *propeller* 160RPM nilai tegangan maksimum sebesar 12.259 MPa, lalu ketika kecepatan putar *propeller* 240RPM nilai tegangan maksimum sebesar 22.142Pa, kemudian ketika kecepatan putar *propeller* 320RPM nilai tegangan maksimum sebesar 34.318MPa dan ketika kecepatan putar *propeller* 400RPM nilai tegangan maksimum sebesar 43.708MPa. Berdasarkan grafik pada gambar 4.19 dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar kecepatan putar *propeller* maka besarnya tegangan yang terjadi pada *skeg* juga semakin meningkat.

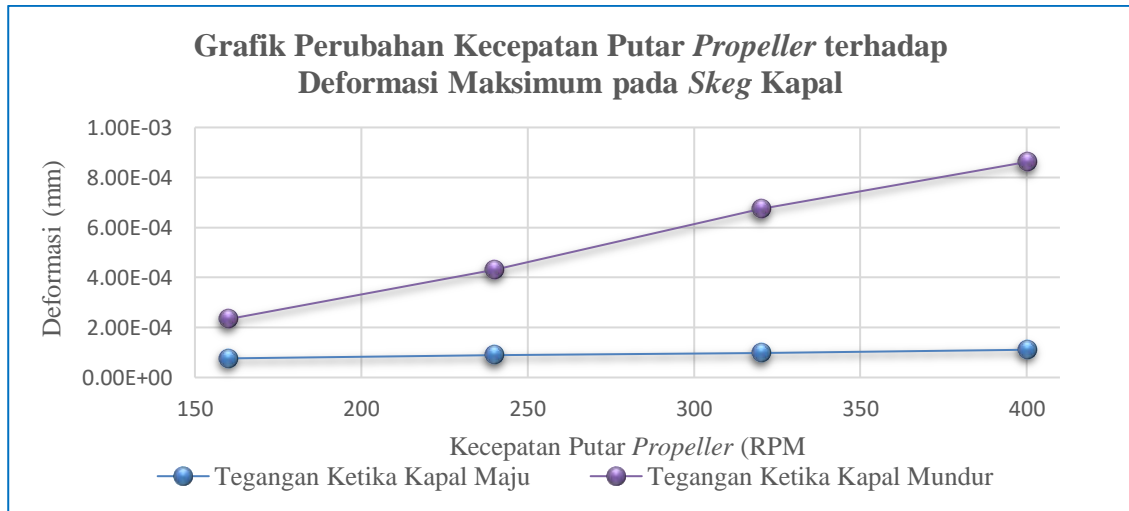
Selain pada gambar 4.35, pengaruh perubahan kecepatan putar *propeller* terhadap *skeg* juga dapat dilihat pada gambar 4.36. Pada grafik tersebut terlihat bahwa deformasi maksimum tertinggi terjadi ketika kecepatan putar *propeller* sebesar 400RPM dengan nilai  $8.62 \times 10^{-4}$  mm. Deformasi meningkat seiring dengan penambahan kecepatan putar *propeller* yaitu ketika kecepatan putar *propeller* 160RPM nilai defromasi maksimum sebesar  $2.33 \times 10^{-5}$  mm, lalu ketika kecepatan putar *propeller* 240RPM nilai defromasi maksimum sebesar  $4.31 \times 10^{-4}$  mm, kemudian ketika kecepatan putar *propeller* 320RPM nilai defromasi maksimum sebesar  $6.75 \times 10^{-4}$  mm dan ketika kecepatan putar *propeller* 400RPM nilai defromasi maksimum sebesar  $8.62 \times 10^{-4}$  mm. Berdasarkan grafik pada gambar 4.20 dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar kecepatan putar *propeller* maka besarnya defromasi yang terjadi pada *skeg* juga semakin meningkat.

#### IV.2. Perbandingan Hasil Analisis Ketika Kapal Maju dan Mundur



Gambar 4. 37 Grafik perbandingan tegangan maksimum ketika kapal maju dan mundur

Berdasarkan grafik pada gambar 4.37 dapat dilihat bahwa tegangan maksimum *skeg* ketika kapal bergerak mundur lebih besar daripada tegangan maksimum pada *skeg* ketika kapal bergerak maju. Ketika kapal maju, *thrust* yang dihasilkan oleh *propeller* menuju kearah buritan kapal sehingga tidak secara langsung mengenai *skeg* yang berada di depan *propeller*. Sedangkan ketika kapal bergerak mundur, *thrust* yang dihasilkan *propeller* menuju kearah haluan kapal, sehingga *thrust* tersebut secara langsung mengenai *skeg* kapal. Sesuai dengan persamaan II.6, semakin besar *thrust* yang bekerja pada suatu struktur dengan luasan yang sama maka tegangan yang terjadi pada struktur tersebut juga semakin besar.



**Gambar 4. 38** Grafik perbandingan deformasi maksimum ketika kapal maju dan mundur

Berdasarkan grafik pada gambar 4.38 dapat dilihat bahwa deformasi maksimum *skeg* ketika kapal bergerak mundur lebih besar daripada deformasi maksimum pada *skeg* ketika kapal bergerak maju. Pada paragraf sebelumnya juga dijelaskan bahwa tegangan maksimum pada *skeg* ketika kapal bergerak mundur lebih besar daripada tegangan maksimum pada *skeg* ketika kapal bergerak maju. Sesuai dengan persamaan II.12, semakin besar tegangan yang terjadi pada suatu struktur maka deformasi yang terjadi juga semakin besar.

Selain adanya perbedaan nilai tegangan maksimum dan deformasi maksimum ketika kapal bergerak maju atau mundur, maka apabila diperhatikan lebih lanjut pada sub-bab IV.1.2 hingga sub-bab IV.1.5 serta pada sub-bab IV.1.7 hingga sub-bab IV.1.10, terlihat bahwa ketika kapal bergerak maju maupun mundur, lokasi tegangan maksimum terletak pada area disekitar sambungan plat sisi *skeg* dengan plat alas kapal. Tegangan maksimum terjadi pada lokasi tersebut karena ketika suatu struktur pada salah satu ujungnya ditumpu dengan jepit (*fixed support*) sedangkan pada sisi yang lain bebas (*free support*) maka momen terbesar terjadi pada ujung pangkal yang ditumpu dengan jepit. Semakin besar momen yang terjadi pada struktur maka tegangan yang terjadi juga semakin besar.

Sesuai dengan hasil resultan gaya dari ketiga sumbu yaitu x, y dan z maka dengan besar gaya yang tetap maka momen yang terjadi sepanjang ujung pangkal sambungan *skeg* dengan alas kapal hanya dipengaruhi oleh besarnya lengan momen yaitu jarak dari sambungan *skeg* dengan alas kapal terhadap ujung bebas *skeg* atau plat alas dari *skeg*. Semakin besar lengan momen maka momen yang terjadi juga semakin besar. Oleh karena itu pada hasil analisis ini yaitu pada sub-bab IV.1.2 hingga sub-bab IV.1.5 serta pada sub-bab IV.1.7 hingga sub-bab

IV.1.10, terlihat bahwa tegangan maksimum terjadi pada sambungan plat sisi *skeg* dengan alas kapal ketika jarak terjauh dari alas *skeg*.

Deformasi maksimum yang terbentuk baik ketika kapal bergerak maju maupun mundur sesuai pada sub-bab IV.1.2 hingga sub-bab IV.1.5 serta pada sub-bab IV.1.7 hingga sub-bab IV.1.10 maka dapat diketahui bahwa nilai maksimumnya terletak pada plat sisi *skeg* diantara dua penegar memanjang *skeg*. Hal ini dikarenakan ketika *skeg* cenderung melengkung ke arah kanan maupun kiri maka momen inersia penampang plat *skeg* lebih kecil daripada momen inersia penampang penegar *skeg*.

Secara keseluruhan tegangan plat disekitar penegar lebih besar daripada tegangan yang jauh dari penegar. Hal ini karena sambungan plat sisi *skeg* dengan penegar *skeg* merupakan las-lasan yang tidak memungkinkan terjadinya rotasi maupun pergeseran sehingga diterjemahkan sebagai *fixed support*. Sedangkan pada struktur yang memiliki sambungan *fixed support* maka nilai momen terbesarnya berada pada pangkal sambungan *fixed support* tersebut. Semakin besarnya nilai momen pada suatu struktur maka tegangan yang terjadi pada struktur tersebut juga semakin meningkat.

Deformasi yang terjadi pada plat sisi *skeg* secara keseluruhan bernilai 0 pada lokasi sambungan plat dengan penegar *skeg*. Hal ini karena sambungan plat sisi *skeg* dengan penegar *skeg* merupakan las-lasan yang tidak memungkinkan terjadinya rotasi maupun pergeseran sehingga diterjemahkan sebagai *fixed support*. Oleh karena itu deformasi pada lokasi sambungan plat dengan penegar bernilai 0.

### IV.3. Pengecekan Hasil Analisis

Menurut rekapitulasi tegangan, baik ketika kapal bergerak maju maupun mundur yang terdapat pada tabel 4.2 dan 4.3 akan dilakukan pengecekan terhadap tegangan izin seperti yang terlihat pada tabel 4.4. Sesuai dengan sub bab III.6.1 nilai tegangan izin yang akan digunakan untuk material *skeg* AH36 sebesar 350MPa.

**Tabel 4. 4 Pengecekan Nilai Tegangan**

Arah Gerakan Kapal	Kecepatan Putar <i>Propeller</i> (RPM)	Tegangan Von Mises (MPa)	Faktor keamanan	Keterangan
Maju	160	4.7767	73.27	Memenuhi
	240	5.4708	63.98	Memenuhi
	320	6.0005	58.33	Memenuhi
	400	6.7711	51.69	Memenuhi
Mundur	160	12.259	28.55	Memenuhi
	240	22.142	15.81	Memenuhi
	320	34.318	10.20	Memenuhi
	400	43.708	8.01	Memenuhi

Berdasarkan tabel 4.3 di atas maka terlihat bahwa nilai tegangan yang terjadi pada *skeg* masih lebih kecil dari nilai tegangan izin material *skeg* dengan nilai faktor keamanan yang lebih dari 1. Semakin besar nilai faktor keamanan maka tingkat keamanan struktur juga semakin kuat. Nilai faktor keamanan terkecil bernilai 8.01, terjadi ketika kapal bergerak mundur dengan kecepatan putar *propeller* sebesar 400RPM. Sedangkan nilai faktor keamanan terbesar bernilai 73.27, terjadi ketika kapal bergerak maju dengan kecepatan putar *propeller* sebesar 160RPM.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1. Kesimpulan**

Setelah dilakukan analisis pada *skeg* ketika kapal bergerak maju maupun mundur dengan beberapa variasi putaran *propeller* maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Besarnya beban yang diterima *skeg* akibat aliran fluida yang dihasilkan oleh putaran baling-baling adalah.
  - Resultan gaya maksimum pada *skeg* bernilai 389.270 kN, terjadi ketika kapal bergerak mundur dengan kecepatan putar *propeller* 400RPM.
  - Resultan gaya minimum pada *skeg* bernilai 124.630 kN, terjadi ketika kapal bergerak maju dengan kecepatan putar *propeller* 160RPM.
2. Konstruksi *skeg* pada kapal patroli masih cukup kuat dalam menerima beban dari fluida yang dihasilkan oleh putaran baling-baling, karena semua tegangan maksimum yang terjadi pada *skeg* kurang dari tegangan izin material *skeg* (baja AH36). Tegangan maksimum yang terjadi pada *skeg* adalah.
  - Tegangan maksimum terbesar pada *skeg* bernilai 43.708MPa dengan *safety factor* sebesar 8.01, terjadi ketika kapal bergerak mundur dengan kecepatan putar *propeller* 400RPM.
  - Tegangan maksimum terkecil pada *skeg* bernilai 4.7767 dengan *safety factor* sebesar 73.27, terjadi ketika kapal bergerak maju dengan kecepatan putar *propeller* 160RPM.

#### **V.2. Saran**

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah:

Hasil perhitungan tegangan menggunakan metode elemen hingga pada penelitian ini hanya terbatas pada beban statis sehingga untuk penelitian lebih lanjut dapat dikembangkan menggunakan beban dinamis serta dapat dilanjutkan dengan analisis *fatigue life*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akira, M. et al., 2011. *Development of Environmentally-Friendly Container Carrier “eFuture 13000C”*. *IHI Engineering Review Vol. 44 No. 1*, p. 2.
- Anggara, S., 2013. *Studi Komperatif Performa Hidrodinamik Kapal Bertipe Shallow Draft Barge pada Kondisi Perairan Dangkal, Sedang dan Dalam*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- ASTM, 1990. *Metals Handbook Vol.1*. s.l.:ASM International 10th Ed.
- Bernitsas, M. M., Ray, D. & Kinley, P., 1981. *KT, KQ and Efficiency Curves for the Wageningen B-Series Propellers*. Michigan: The University of Michigan.
- Bijil, H., Lucor, D. & Mishra, S., 2010. *Uncertainty Quantification in Computational Fluid Dynamics*. London: Springer.
- Cengel, Y. A. & Cimbala, J. M., 2006. *Fluid Mechanics: Fundamental and Applications*. New York: McGraw-Hill.
- Dhana, F. R., 2018. *Analisis Alternatif Hull Form Self-Propelled Barge untuk Meningkatkan Performa Hidrodinamika*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Dwitara, I., Santoso, A. & Amiadji, 2013. *Analisa Aliran dan Tekanan pada Perubahan Bentuk Skeg Kapal Tongkang dengan Pendekatan CFD*. *JURNAL TEKNIK POMITS*, Volume 2, p. 1.
- FReng, C. J. S., 2010. *Marine Propellers and Propulsion*. London: Elsevier Ltd.
- Harvald, S. S., 1983. *Resistance and Propulsion of Ships*. New York: John Wiley and Sons.
- Hoque, K., 2016. *Analysis of Structural Discontinuities in Ship Hull Using Finite Element Method*, Bangladesh: s.n.
- IACS, 2014. *Common Structural Rules for Double Hull Oil Tanker*, s.l.: IACS.
- IMO, 2002. *Maritime Safety Committee, Interim Guidelines for Wing-In-Ground (WIG) Craft*. London: IMO Publishing.
- IMO, 2011. *Technical Background to the Provisional Rules for the Classification of Stern First Ice Class Ships*. London: IMO Publishing.
- ITTC, 2008. *Model Manufacture, Propeller Models Terminology and Nomenclature for Propeller Geometry*. s.l.:ITTC.
- ITTC, 2014. *Practical Guidelines for RANS Calculation of Nominal Wakes*. s.l., ITTC, p. 5.
- ITTC, 2014. *Practical Guidelines for Ship Self-Propulsion CFD*. s.l., ITTC, p. 7.
- Khlstov, N., Lizardo, D., Matsushita, K. & Zheng, J., 2013. *Uniaxial Tension and Compression Testing of Materials*, s.l.: s.n.
- Kim, K., Tilling, F., Bathfield, N. & Liljenberg, H., 2014. *Hydrodynamic optimization of twin-skeg LNG ships by CFD and model testing*. *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.*, Volume 6, p. 392.
- Logan, D. L., 2007. *A First Course in the Finite Element Method*. fourth ed. Canada: Chris Carson.
- Maimun, A. et al., 2015. *Numerical Simulation for Stern Flow Characteristics of Twin Skeg Container Vessel*. *International Journal of Mining, Metallurgy & Mechanical Engineering (IJMMME)*, 3(3), p. 149.
- Mises, R. V., 1913. *Mechanik der festen Körper im plastisch deformablen Zustand*. *Göttin.Nachr.Math.Phys*, Volume 1, pp. 582-592.
- Molland, A. F., Turnock, S. R. & Hudson, D. D., 2011. *Ship Resistance and Propulsion*. United States of America: Cambridge University Press.

- Muscari, R., Dubbioso, G., Ortolani, F. & Mascio, A. D., 2017. *CFD Analysis of the Sensitivity of Propeller Bearing Loads to Stern Appendages and Propulsive Configurations*. Elsevier, p. 206.
- Petit, C. & Beran, P., 2006. *Convergence Studies of Wiener Expansions for Computational Nonlinear Mechanics*. Rhode Island, Proceedings of the 8th AIAA non-deterministic approaches conference,.
- Philip, D. H., 1982. *Engineering Properties of Steels*. s.l.:American Society for Metals.
- Popov, E. P., 1984. *Mechanics of Material*. Berkeley: University of California.
- Putra, P. A., Munazid, A. & Suwasono, B., 2017. *Performance Pemasangan Skeg Di Linggi Haluan Pada Kapal*. Surabaya, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan Universitas Hang Tuah.
- Smith, W. H. & Belcher, E., 1867. *Sailor's Word-Book: An Alphabetical Digest of Nautical Terms*. London: Blackie and Son.
- Tripler, P. A., 1998. *Physics for Scientists and Engineers*. 3 ed. New York: W.H. Freeman & Company .
- Wei, Y., Jian, W. & Guangxuan, L., 2006. *Grid-independent Issue in Numerical Heat Transfer*, Hefei: University of Science and Technology of China.
- Widodo, Yasim, A., Rina & Ghofur, A., 2018. Sudi Variasi Model Skeg Berdasarkan Tahanan dan Pola Aliran yang Melewati Lambung Barge, Kasus pada Desain Wahana Pembongkaran ALPO. *Jurnal Wave*, Volume 12, p. 1.
- X. L., Z. Z., 2001. *Numerical Study of The 3-D unsteady Flow in Turbomachinery Stages*. *Acta Aeronautica Et Astronautica Sinica*, Volume 22, pp. 10-14.
- Yoder, E., 1975. *Principle of Pavement Design*. second ed. New York: A Wiley-Interscience Publication.

# LAMPIRAN

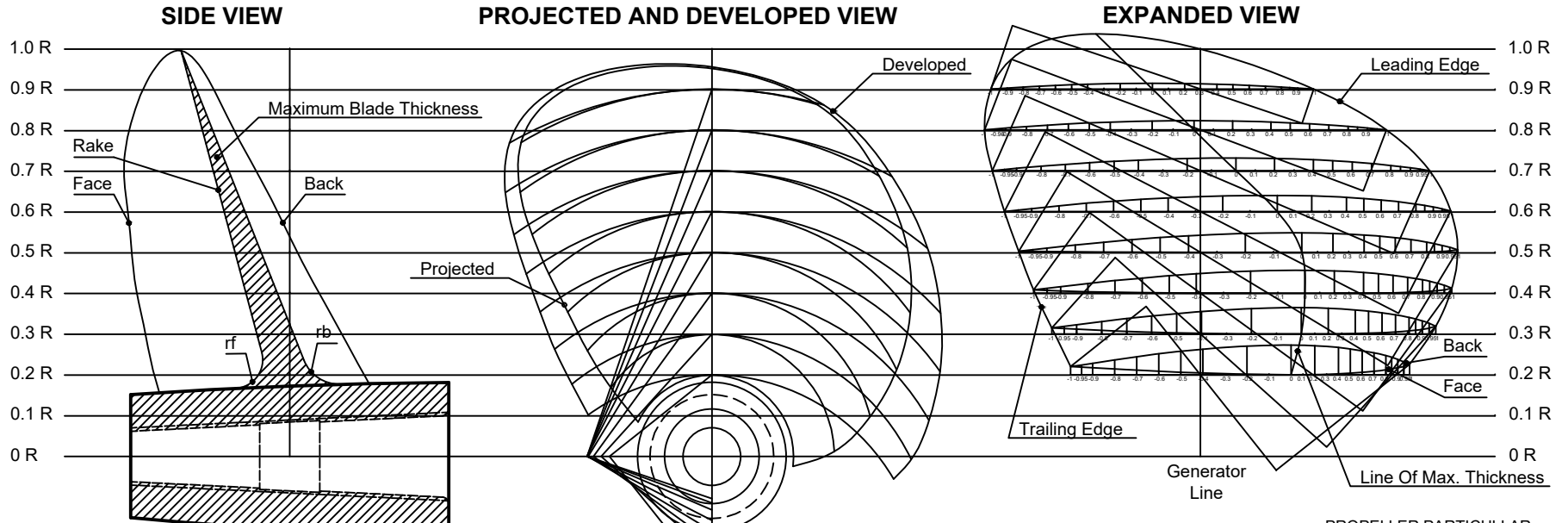
- Lampiran A *Lines Plan Kapal*
- Lampiran B *Propeller Arrangement*
- Lampiran C *Skeg Construction*
- Lampiran D *Engine Room Layout*

**LAMPIRAN A**  
***LINES PLAN KAPAL***



**LAMPIRAN B**  
***PROPELLER ARRANGEMENT***

# B4-100 PROPELLER ARRANGEMENT



## PROPELLER PARTICULAR

PROPELLER PARTICULAR : 1656 MM  
 PITCH ( CONSTANT ) IN MM : 1542 MM  
 PITCH RATIO : 0.93  
 NO OF BLADES : 4  
 TYPE : B SERIES  
 DIRECTION : LH & RH  
 MATERIAL : MN BZ  
 DAR : 0.45

## MAIN ENGINE

CONTINUOUS RATING : 639.23  
 ENGINE RPM : 1000  
 GEAR BOX RATIO : 2.5 : 1  
 PROPELLER RPM : 400  
 ENGINE MODEL : CATERPILLAR C280

Y/face	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
r/h	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
r/b	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
r/c	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
r/d	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
r/e	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
r/f	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
r/g	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
r/h	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
r/i	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
r/j	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
r/k	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
r/l	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Y/back	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
r/h	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
r/b	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
r/c	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
r/d	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
r/e	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
r/f	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
r/g	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
r/h	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
r/i	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
r/j	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
r/k	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
r/l	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

YEAR: 2016	PROJECT NAME: KAPAL PATROLI KELAS A II	PROJECT NO: 388
DRAWN BY: Mh	DRAWING / DOCUMENT NAME: PROPELLER DESIGN	OWNER: POLAR
DESIGNED BY: As		CLASS: BK0
CHECKED BY: Dd		DESIGNER: PT. RSPN Jabang
APPROVED BY: Dd		GROUP: GENERAL
		SCALE: 1:150
		SIZE: A1
		SHEET: 1 SHEET
		DRW / DOCUMENT NO: G.0303
		REV: 1 2 3 4 5

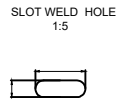
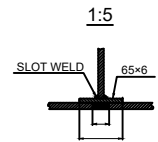
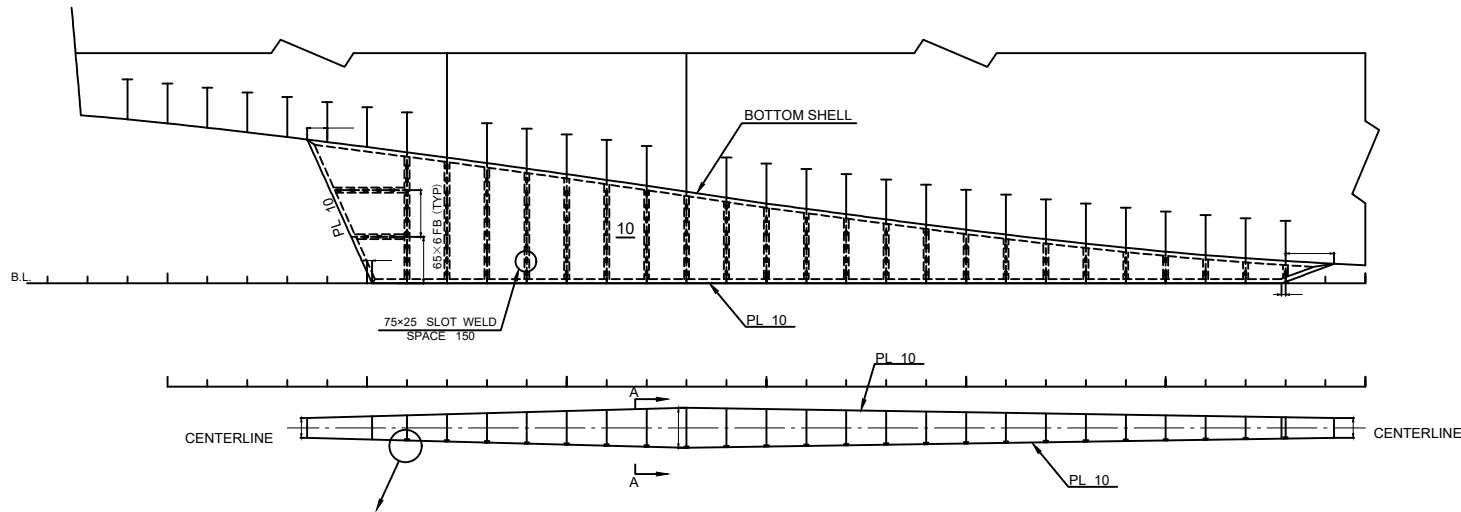
**LAMPIRAN C**  
***SKEG CONSTRUCTION***

SMD1628-110-19

BIBLIOGRAPHY

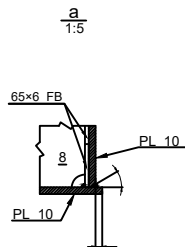
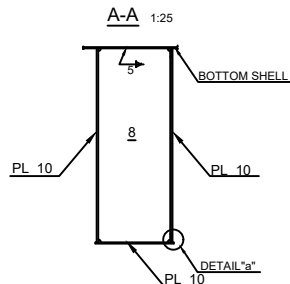
REV. NO.	DATE	DESCRIPTION	DWN	CHKD	APPD
A	2016-09-06	SUBMITTED TO OWNER & CLASS FOR APPROVAL.			

SKEG PROFILE



NOTE:

1. THE ACCURATE SIZE OF ALL PARTS SHOULD BE DETERMINED BY LOFTING.
2. ALL MATERIALS ARE TO BE GRADE "BKI-A" STEEL UNLESS NOTED.
3. CORNER CUT OF ALL DIAPHRAGM PLATE TO BE R20.



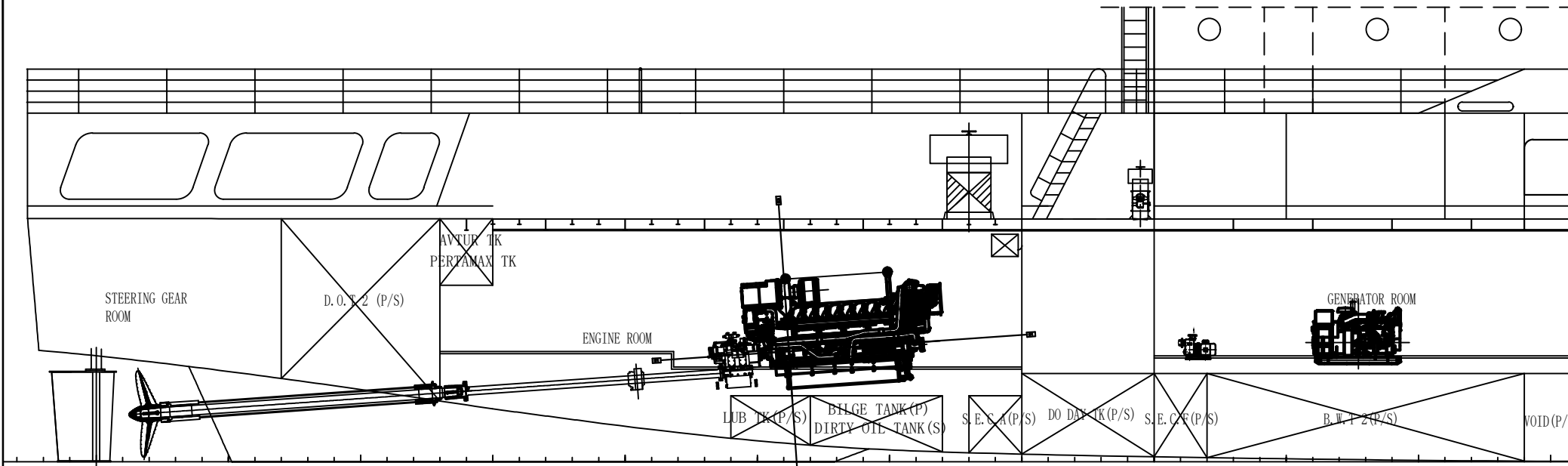
THIS DRAWING OR DOCUMENT IS THE PROPERTY OF THE NANJING SHIPTON MARINE DESIGN CO., LTD AND MUST NOT BE PARTIALLY OR WHOLLY COPIED OR USED FOR ANY OTHER PURPOSE WITHOUT PRIOR WRITE PERMISSION OF NANJING SHIPTON MARINE DESIGN CO., LTD

HULL NO.	PROJECT		
	73M MARITIME PATROL VESSEL		
APPD BY	TITLE		
	SKEG CONSTRUCTION		
CHKD BY			
DWN. BY	CLASS	DATE	SHEET 1 OF 1
STAN. BY	DWG. NO.	SCALE	REV. NO.
	SMD1628-110-19	1:50	A
OWNER			
BUILDER			

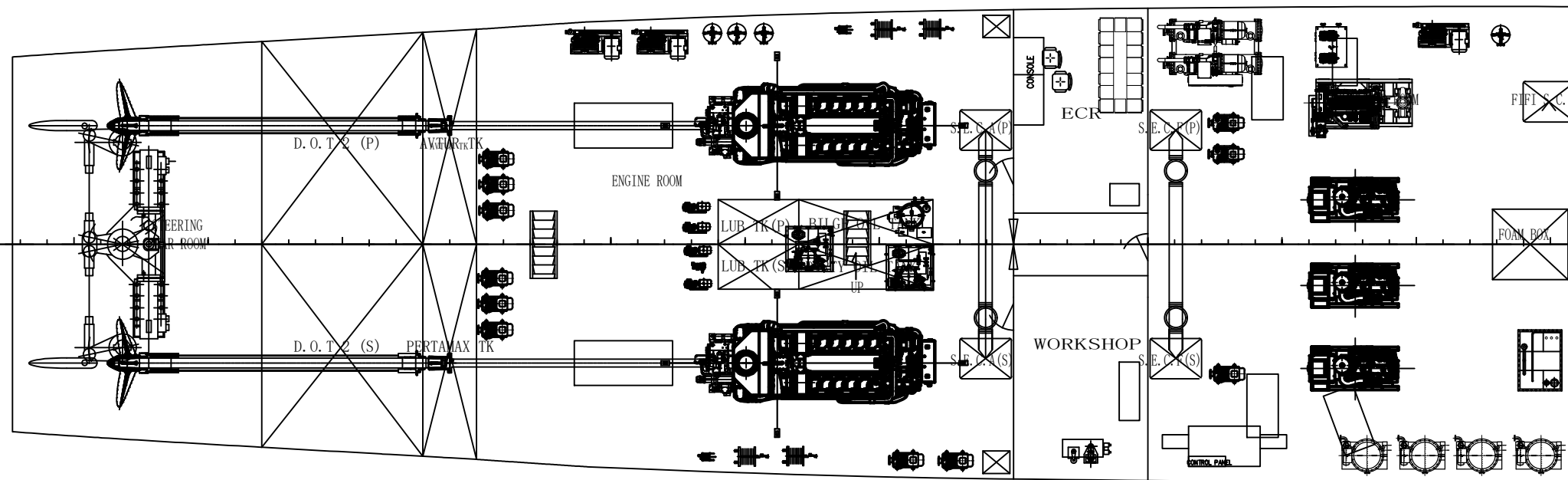
**LAMPIRAN D**  
***ENGINE ROOM LAYOUT***

BIBLIOGRAPHY

REV. NO.	DATE	DESCRIPTION	DWN	CHKD	APPD
A	AUG.24.2016	SUBMITTED TO OWNER & CLASS FOR APPROVAL.			



PROFILE



BOTTOM DECK PLAN

THIS DRAWING OR DOCUMENT IS THE PROPERTY OF THE NANJING SHIPTON MARINE DESIGN CO., LTD AND MUST NOT BE PARTIALLY OR WHOLLY COPIED OR USED FOR ANY OTHER PURPOSE WITHOUT PRIOR WRITE PERMISSION OF NANJING SHIPTON MARINE DESIGN CO., LTD

HULL NO.	PROJECT 73M MARITIME PATROL VESSEL		
APPD BY	TITLE ENGINE ROOM LAY OUT		
CHKD BY			
DWN. BY	CLASS BKI	DATE AUG. 24. 2016	SHEET 1 OF 1
STAN. BY	DWG. NO. SMD1628-410-01	SCALE	REV. NO. A
OWNER			
BUILDER			

## BIODATA PENULIS



Arum Dwi Kurniati, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Lumajang pada 16 Maret 1996 silam. Penulis merupakan anak terakhir dari dua bersaudara dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK NU Muslimat 12, kemudian melanjutkan ke SDN 1 Jogoyudan, SMPN 1 Sukodono dan SMAN 3 Lumajang. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2015 melalui jalur SBMPTN.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal. Selama masa studi di ITS, Penulis pernah menjadi *staff* Departemen Riset dan Teknologi HIMATEKPAL 2016/2017, *staff* Departemen Keputrian As-Safiinah 2016/2017 serta menjadi *Steering Committee* Departemen Kaderisasi HIMATEKPAL 2017/2018. Selain itu, Penulis juga aktif sebagai panitia kegiatan yang diadakan di ITS. Sedangkan dibidang akademis, Penulis pernah menjadi *grader* untuk praktikum *Autocad* dan beberapa mata kuliah seperti Mekanika Teknik I, Mekanika Teknik II dan Desain Konstruksi Kapal.

Email: [dwikurniarum@gmail.com](mailto:dwikurniarum@gmail.com)