



TUGAS AKHIR (DC43340)

**ANALISIS KEKUATAN DAN *FATIGUE LIFE* KONSTRUKSI
PONDASI *AUXILIARY ENGINE* KAPAL FERI DENGAN
METODE ELEMEN HINGGA**

**FARHAN AKHYAT SAIFUDDIN
NRP. 0122040064**

**DOSEN PEMBIMBING
LUQMAN CAHYONO, S.Pd., M.T.
IMAM NUR ROKHIM, S.T., M.T.**

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PERANCANGAN DAN KONSTRUKSI KAPAL
JURUSAN TEKNIK BANGUNAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2026**



PPNS POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

TUGAS AKHIR (DC43340)

ANALISIS KEKUATAN DAN *FATIGUE LIFE* KONSTRUKSI PONDASI *AUXILIARY ENGINE* KAPAL FERI DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

FARHAN AKHYAT SAIFUDDIN
NRP. 0122040064

DOSEN PEMBIMBING
LUQMAN CAHYONO, S.Pd.,M.T.
IMAM NUR ROKHIM, S.T., M.T.

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PERANCANGAN DAN KONSTRUKSI KAPAL
JURUSAN TEKNIK BANGUNAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA

2026

(halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

ANALISIS KEKUATAN DAN *FATIGUE LIFE* KONSTRUKSI PONDASI AUXILIARY ENGINE KAPAL FERI DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Disusun Oleh:

Farhan Akhyat Saifuddin

0122040064

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan
Program Studi D4 Teknik Perancangan Dan Konstruksi Kapal
Jurusan Teknik Bangunan Kapal
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA

Disetujui oleh Tim penguji Tugas Akhir Tanggal Ujian : 10 Juli 2026
Periode Wisuda : Oktober 2026

Menyetujui,

Dosen Penguji

NIDN

Tanda Tangan

1. Luqman Cahyono, S.Pd., M.T.

(0024089002)

(.....)

2. Prof. Dr. Eng I Putu Sindhu Asmara,
S.T., M.T., MRINA

(0009047006)

(.....)

3. Budianto, S.T., M.T.

(0002098203)

(.....)

4. Kiki Dwi Wulandari, S.T., M.T.

(0003069103)

(.....)

Dosen Pembimbing

NIDN

Tanda Tangan

1. Luqman Cahyono, S.Pd., M.T.

(0024089002)

(.....)

2. Imam Nur Rokhim, S.T., M.T.

(0713109304)

(.....)

Menyetujui
Ketua Jurusan,

Mengetahui

Koordinator Program Studi,

Ir. Prambodo Nur Ardi N., S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 198103242014041001

Ir. Agung Prasetyo Utomo, S.Pd., M.T.

NIP. 198810142019031006

(halaman ini sengaja dikosongkan)



PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

No. : F.WD I.

Date : 10 Juli 2026

Rev : 01

Page : 1 dari 1

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Farhan Akhyat Saifuddin

NRP : 0122040064

Jurusan/Prodi : Teknik Bangunan Kapal / D4 – Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

Tugas Akhir yang akan saya kerjakan dengan judul :

**ANALISIS KEKUATAN DAN FATIGUE LIFE KONSTRUKSI PONDASI
AUXILIARY ENGINE KAPAL FERI DENGAN METODE ELEMEN
HINGGA**

Adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain.

Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ilmiah tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh tanggung jawab.

Surabaya,.....

Yang membuat pernyataan,

Farhan Akhyat Saifuddin
NRP. 0122040064

(halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul "**Analisis Kekutan Dan *Fatigue Life* Konstruksi Pondasi *Auxiliary Engine* Kapal Feri Dengan Metode Elemen Hingga**". Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi (D4) Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

Penyusunan tugas akhir ini tentu tidak lepas dari dukungan, bantuan, serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT, atas segala karunia, kekuatan, dan petunjuk yang diberikan sepanjang proses penyusunan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis, Achmad Sadikin dan Siti Ainah atas doa, cinta, dukungan, dan semangat yang tidak pernah henti diberikan selama ini.
3. Bapak Rachmad Tri Soelistijono, S.T., M.T. selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang telah memberikan fasilitas dan kesempatan kepada penulis untuk menempuh pendidikan dengan baik.
4. Bapak Ir. Priyambodo Nur Ardi Nugroho, S.T., M.T., PhD. selaku Ketua Jurusan Teknik Bangunan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Yang telah memberikan arahnya selama masa studi penulis.
5. Bapak Ir. Agung Prasetyo Utomo, S.Pd., M.T. selaku Koordinator Program Studi (D4) Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, yang telah membimbing dan memberikan kebijakan akademik yang mendukung proses penyelesaian tugas akhir.
6. Bapak Izzul Fikry, S.T., M.T. selaku Koordinator Tugas Akhir, yang telah mengatur dan mengelola pelaksanaan tugas akhir dengan baik.
7. Luqman Cahyono, S.Pd., M.T. selaku Dosen Pembimbing 1, atas bimbingan, arahan, dan motivasi yang diberikan selama proses penulisan.

8. Imam Nur Rokhim, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 2, atas saran, kritik, dan ilmu yang sangat membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Pembimbing OJT (On the Job Training) PT. PAL khususnya bapak Benny , bapak Ade, mas Adip dan mas Farhan yang telah memberikan pengalaman serta wawasan praktis yang mendukung pemahaman penulis.
10. Alumni Program Studi Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, yang telah banyak berbagi pengalaman dan pengetahuan dalam penyusunan tugas akhir ini.
11. Teman teman seperjuangan Dinni, Topan, Dio, Radhit, Danang, dan Riyan. Terimakasih atas kebersamaan, diskusi, bantuan, serta telah menjadi pendukung terbaik serta memberikan semangat semasa penyusunan tugas akhir ini. Serta teman teman DC-22 C yang senantiasa memberikan warna, tawa, dan bantuan teknis maupun non teknis selama penyusunan tugas akhir ini.
12. Pihak-pihak lain yang tidak bisa disebutkan oleh penulis satu persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis membuka diri terhadap kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa mendatang. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat dan menjadi referensi yang berguna bagi pembaca serta pihak-pihak yang berkepentingan.

Surabaya, 10 juli 2026

Penulis

ANALISIS KEKUATAN DAN *FATIGUE LIFE* KONSTRUKSI PONDASI *AUXILIARY ENGINE* KAPAL FERI DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Farhan Akhyat Saifuddin

ABSTRAK

Indonesia, sebagai negara kepulauan dengan wilayah laut yang mendominasi, memiliki kebutuhan tinggi terhadap armada kapal yang andal termasuk kapal feri untuk menghubungkan antar kepulauan. Dalam oprasionalnya, mesin bantu (*Auxiliary Engine*) memiliki peran vital dalam mensuplai kebutuhan listrik di atas kapal. Penelitian ini bertujuan menganalisis kekuatan struktur dan umur kelelahan (*fatigue life*) pondasi *Auxiliary engine* menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method/FEM*). Pondasi ini harus mampu menahan beban statis dan juga dinamis yang dapat mempengaruhi kekuatannya. Pada penelitian ini dilakukan dengan membandingkan 2 desain, yaitu desain eksisting dan desain modifikasi. Hasil menunjukan bahwa desain pondasi memenuhi faktor keamanan, tegangan, dan deformasi sesuai dengan aturan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) dengan nilai tegangan 77,674 MPa dan deformasi 0,325 mm untuk pondasi eksisting ; serta tegangan 56,371 MPa dan deformasi 0,459 mm untuk pondasi modifikasi. Seluruh hasil berada dibawah batas izin BKI (319,4 MPa dan 1,2 mm). Estimasi umur kelelahan menunjukan 68 tahun pada pondasi eksisting dan 91 tahun untuk pondasi modifikasi.

Kata Kunci : Pondasi *Auxiliary Engine*, Umur kelelahan, Metode elemen hingga, Kapal feri, *safety factor*

(halaman ini sengaja di kosongkan)

STRENGTH AND FATIGUE LIFE ANALYSIS OF THE AUXILIARY ENGINE FOUNDATION STRUCTURE ON A FERRY USING THE FINITE ELEMENT METHOD

Farhan Akhyat Saifuddin

ABSTRACT

Indonesia, as an archipelagic nation with predominantly maritime territory, has a strong need for a reliable fleet of vessels, including ferries to connect its islands. In their operations, Auxiliary engines play a vital role in supplying electricity on board. This study aims to analyze the structural strength and fatigue life of Auxiliary engine foundations using the finite element method (FEM). These foundations must be capable of withstanding both static and dynamic loads that can affect their strength. This study compared two designs: the existing and a modified design. The results indicate that the foundation designs meet the safety factor, stress, and deformation requirements in accordance with the regulations of the Indonesian Classification Bureau (BKI), with a stress value of 77.674 MPa and deformation of 0.325 mm for the existing foundation; and a stress value of 56.371 MPa and deformation of 0.459 mm for the modified foundation. All results are below the BKI allowable limits (319.4 MPa and 1.2 mm). Estimated fatigue life is 68 years for the existing foundation and 91 years for the modified foundation.

Keywords : *Auxiliary Engine Foundation, Fatigue Life, Finite Element Method, Ferry, Safety Factor*

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	ix
<i>ABSTRACT</i>	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR GAMBAR	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Kapal Feri.....	7
2.2 <i>Auxiliary Engine</i>	7
2.3 Konstruksi Pondasi Mesin <i>Auxiliary Engine</i>	9
2.4 Resonansi	9
2.4.1 Frekuensi Alami	10

2.4.2 Frekuensi Eksitasi.....	10
2.5 Pembebanan.....	11
2.5.1 Beban Statis	11
2.5.2 Beban Dinamis	12
2.6 Tumpuan	13
2.6.1 Tumpuan Sendi	13
2.6.2 Tumpuan Roll	14
2.6.3 Tumpuan Jepit	15
2.7 Tegangan.....	15
2.7.1 Tegangan Normal.....	15
2.7.2 Tegangan Ijin	16
2.7.3 Tegangan Equivalent (σ_v)	17
2.8 Deformasi	18
2.9 Faktor Keamanan.....	19
2.10 <i>Fatigue Life</i>	20
2.10.1 <i>Cummulative Damage</i>	21
2.10.2 Kurva S-N.....	21
2.11 <i>Finite Elemen Method (FEM)</i>	22
2.11.1 Meshing	22
2.11.2 Kondisi Batas (<i>Boundry condition</i>)	22
2.12 Penelitian Terdahulu	23
BAB III METEDOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Diagram Alir	25
3.2 Prosedur Penelitian	26

3.2.1 Identifikasi Masalah	26
3.2.2 Studi Literatur	26
3.2.3 Pengumpulan Data	26
3.2.4 Pemodelan Konstruksi Eksisting	27
3.2.5 Analisis Kekuatan Pondasi	27
3.2.6 Validasi Hasil	28
3.2.7 Validasi Tegangan dan Defleksi	28
3.2.8 Analisis Umur Pondasi Aux Engine (<i>fatigue life</i>)	28
3.2.9 Kesimpulan dan Saran	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 Data Peneliti	31
4.1.1 Data Utama Kapal	31
4.1.2 Data <i>Auxiliary Engine</i>	32
4.1.3 Data Material Pondasi	32
4.2 Perhitungan Konstruksi Pondasi Mesin	33
4.3 Perhitungan Beban	34
4.3.1 Beban <i>auxiliary Engine</i>	34
4.3.2 Beban Pondasi	35
4.4 Pemodelan Pondasi auxiliary Engine	35
4.4.1 Desain Model Eksisting	36
4.4.2 Desain Model Modifikasi	37
4.4.3 Validasi Model	38
4.5 Perhitungan Tegangan Izin	40
4.6 Perhitungan Deformasi	41

4.7 Perhitungan Momen	41
4.7.1 Momen Pondasi Eksisting	44
4.7.2 Momen Pondasi Modifikasi	49
4.8 Perhitungan Tegangan Manual	54
4.8.1 Tegangan Manual Pondasi Eksisting	54
4.8.2 Tegangan Manual Pondasi Modifikasi	56
4.9 Analisis Tegangan dan Deformasi Dengan Software	57
4.9.1 Impor Model	57
4.9.2 Engineering Data	58
4.9.3 Boundary Condition	59
4.9.4 Meshing	59
4.9.5 Hasil Analisis	60
4.9.6 Presentase Error Perhitungan Manual dan <i>Software</i>	65
4.9.7 <i>Safety Factor</i>	66
4.10 Analisis Frekuensi Natural	66
4.10.1 Input Modal Analysis	67
4.10.2 Hasil Analisis	68
4.11 Analisis Potensi Resonansi	73
4.12 Analisis <i>Fatigue Life</i>	74
4.12.1 Penentuan Kurva S-N	74
4.12.2 Analisis <i>Fatigue Life</i> Pada <i>Software</i>	78
4.12.3 Hasil Analisis <i>Fatigue Life</i> Pada <i>Software</i>	79
4.12.4 Perhitungan <i>Fatigue Life</i>	79
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	85

5.1 Kesimpulan	85
5.2 Saran.....	85
DAFTAR PUSTAKA.....	87
LAMPIRAN.....	91
BIODATA PENULIS.....	149

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Peneltian Terdahulu	23
Tabel 4. 1 Data Utama Kapal	31
Tabel 4. 2 Data Auxiliary Engine	32
Tabel 4. 3 Data Material Pondasi	32
Tabel 4. 4 Data Auxiliary Engine	34
Tabel 4. 5 Berat Pondasi Eksisting.....	35
Tabel 4. 6 Berat Pondasi Modifikasi	35
Tabel 4. 7 Berat Pondasi Eksisting Software	38
Tabel 4. 8 Berat Pondasi Modifikasi Software.....	38
Tabel 4. 9 Validasi Model Eksisting.....	39
Tabel 4. 10 Validasi Model Modifikasi	39
Tabel 4. 11 Pembagian Beban Free Body Diagram	44
Tabel 4. 12 Perhitungan Momen	45
Tabel 4. 13 Total Perhitungan end Momen	45
Tabel 4. 14 Perhitungan Reaksi dan Momen	47
Tabel 4. 15 Resume Reaksi dan Momen	48
Tabel 4. 16 Pembagian Beban Free Body Diagram	49
Tabel 4. 17 Perhitungan Fix and Momen (Modifikasi).....	50
Tabel 4. 18 Resume Fix and Momen (Modifikasi)	51
Tabel 4. 19 Perhitungan Rekasi dan Momen (Modifikasi)	53
Tabel 4. 20 Resume Reaksi dan Momen (Modifikasi).....	53
Tabel 4. 21 Perhitungan Momen Inersia (Eksisting).....	54
Tabel 4. 22 Perhitungan Momen Inersia (Modifikasi)	56
Tabel 4. 23 Konvergensi Mesh (Model Eksisting).....	60
Tabel 4. 24 Konvergensi Meshing (Model Modifikasi)	63
Tabel 4. 25 Presentase Error.....	65
Tabel 4. 26 Resume Analisis Safety Factor.....	66

Tabel 4. 27 Resume Analisis Deformasi.....	66
Tabel 4. 28 Perbandingan Frekuensi Natural dan Eksitasi (Pondasi Eksisting).....	73
Tabel 4. 29 Perbandingan Frekuensi Natural dan Eksitasi (Pondasi Modifikasi)	73
Tabel 4. 30 Perhitungan Kurva S-N.....	77
Tabel 4. 31 Opreasional Kapal	81
Tabel 4. 32 Resume Umur Kelelahan.....	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kapal Feri.....	7
Gambar 2.2 Auxiliary Engine	8
Gambar 2.3 Pondasi Auxiliary Engine.....	9
Gambar 2.4 Beban Statis.....	12
Gambar 2.5 Beban Dinamis	13
Gambar 2.6 Tumpuan Sendi.....	14
Gambar 2.7 Tumpuan Rol.....	14
Gambar 2.8 Tumpuan Jepit	15
Gambar 2.9 Tegangan Normal	16
Gambar 2.10 Tegangan Ijin.....	17
Gambar 3.1 Diagram Alir.....	25
Gambar 3. 2 General Arrangement	27
Gambar 4. 1 Model 2D Pondasi Eksisting.....	36
Gambar 4. 2 Model 3D Pondasi Eksisting	36
Gambar 4. 3 Model 2D Pondasi Modifikasi	37
Gambar 4. 4 Model 3D Pondasi Modifikasi	37
Gambar 4. 5 2D Free Body Diagram	42
Gambar 4. 6 3D Free Body Diagram (FBD).....	42
Gambar 4. 7 Katalog Fixed end Moments	43
Gambar 4. 8 Diagram Bending Momen.....	49
Gambar 4. 9 Bending Momen Diagram.....	54
Gambar 4. 10 Import Model (Software Ansys).....	58
Gambar 4. 11 Engineering Data (Software Ansys).....	58
Gambar 4. 12 Boundry Condition.....	59
Gambar 4. 13 Meshing.....	60
Gambar 4. 14 Grafik Konvergensi Mesh (Model Eksisting)	61
Gambar 4. 15 Grafik Konvergensi Mesh Deformasi (Model Eksisting)	61
Gambar 4. 16 Tegangan Ekuivalent (Model Eksisting)	62

Gambar 4. 17 Deformasi (Model Eksisting)	62
Gambar 4. 18 Grafik Konvergensi Mesh (Model Modifikasi)	63
Gambar 4. 19 Grafik Konvergensi Mesh Deformasi (Model Modifikasi)	64
Gambar 4. 20 Tegangan Ekuivalent (Model Modifikasi)	64
Gambar 4. 21 Deformasi (model modifikasi).....	65
Gambar 4. 22 Input Modal Analisis.....	67
Gambar 4. 23 Analisis Setting Modal.....	67
Gambar 4. 24 Contoh Participation Factor Calculation	68
Gambar 4. 25 Hasil Nilai Frekuensi Natural (Pondasi Eksisting).....	69
Gambar 4. 26 Mode Shape Ke-6 (Pondasi Eksisting)	70
Gambar 4. 27 Mode Shape Ke-67 (Pondasi Eksisting)	70
Gambar 4. 28 Hasil Nilai Frekuensi Natural Pondasi Modifikasi	71
Gambar 4. 29 Mode Shape Ke-50 (Pondasi Modifikasi)	72
Gambar 4. 30 Mode Shape Ke-76 (Pondasi Modifikasi)	72
Gambar 4. 31 Klasifikasi Penentuan Klas Berdasarkan Sambungan Pengelasan	75
Gambar 4. 32 Kurva S-N	76
Gambar 4. 33 Gambar Input Nilai Kurva S-N	78
Gambar 4. 34 Gambar Setup Fatigue Tool	78
Gambar 4. 35 Hasil Analisis Life Pondasi Eksisting.....	79
Gambar 4. 36 Hasil Analisis Life Pondasi Modifikasi	79

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transportasi laut memegang peranan yang sangat penting dalam konektivitas wilayah Indonesia sebagai negara kepulauan. Kapal feri menjadi moda transportasi vital yang menghubungkan antar pulau, terutama untuk mobilitas penumpang, kendaraan, distribusi logistik, serta penyeimbang sistem transportasi nasional di luar jalur penerbangan dan darat. Menurut ASDP (2023), mobilitas masyarakat terus meningkat: 45,6 juta penumpang kapal feri sepanjang tahun 2023 di 37 pelabuhan yang dikelola ASDP, dari Sabang sampai Merauke . Kapal feri di Indonesia terus meningkat seiring pertumbuhan ekonomi, pariwisata, dan pemerataan pembangunan wilayah, sehingga menuntut ketersediaan armada yang andal, aman, dan beroperasi secara efisien dalam berbagai kondisi perairan.

Kapal feri tidak hanya membutuhkan sistem penggerak utama, tetapi juga sangat bergantung pada sistem kelistrikan kapal untuk operasional seperti navigasi, penerangan, sistem komunikasi, kenyamanan penumpang, hingga sistem keselamatan. Oleh karena itu, diperlukan *Auxiliary Engine* sebagai sumber daya listrik utama selain generator cadangan. Keandalan *Auxiliary Engine* sangat ditentukan oleh konstruksi pondasi yang berfungsi meredam getaran, menopang beban statis dan dinamis, serta menjaga keselarasan mesin. Kerusakan pada pondasi dapat menimbulkan getaran berlebih, kegagalan baut, misalignment poros, shutdown sistem kelistrikan, hingga mengganggu keselamatan pelayaran.

Saat ini terdapat proyek perbaikan kapal feri di galangan Jawa Timur. Salah satu perbaikan yang dilakukan yaitu penggantian *Auxiliary Engine* beserta modifikasi pondasi karena adanya perbedaan dimensi antara yang lama dan yang baru, yang dilakukan untuk meningkatkan unjuk kerja dan keandalan sistem pembangkit listrik

kapal. Proses penggantian tersebut harus mengikuti standar keselamatan dan konstruksi yang ditetapkan oleh badan klasifikasi (Class), sehingga desain pondasi wajib memenuhi persyaratan kekuatan struktur, kelelahan (fatigue), serta getaran. Dengan demikian diperlukan proses evaluasi dan analisis teknis secara komprehensif untuk memastikan pondasi *Auxiliary Engine* mampu menahan beban operasi sesuai standar yang berlaku.

Perancangan pondasi *Auxiliary Engine* yang baik memiliki peranan krusial dalam menunjang keselamatan operasional kapal dan umur pakai komponen mesin. Konstruksi pondasi harus mampu menahan beban dinamis akibat putaran mesin serta vibrasi jangka panjang yang berpotensi menyebabkan keretakan struktur. Oleh karena itu diperlukan analisis kekuatan serta estimasi umur fatigue life untuk mencegah kegagalan struktur selama masa operasi kapal.

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kekuatan dan *fatigue life* pada konstruksi pondasi *Auxiliary Engine* kapal feri melalui simulasi dan evaluasi berdasarkan kondisi beban aktual di lapangan. Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method/FEM*) dipilih karena mampu memberikan hasil simulasi yang akurat dan detail, serta dapat menggambarkan distribusi tegangan, deformasi, dan prediksi umur kelelahan pada struktur secara numerik.

Penelitian ini mengacu pada aturan konstruksi dan perhitungan struktur yang ditetapkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) sebagai standar regulasi nasional untuk memahami batasan desain, parameter pembebanan, serta kriteria penerimaan struktur. Dengan merujuk pada aturan Class BKI, hasil analisis diharapkan dapat mendukung pengambilan keputusan teknis dan memastikan pondasi *Auxiliary Engine* yang dipasang aman, kuat, dan andal selama umur operasional kapal.

1.2 Rumusan Masalah

Dari penjelasan latar belakang diatas, dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapakah nilai tegangan dan defleksi maksimum yang terjadi akibat pembebanan pada konstruksi pondasi *Auxiliary Engine* pada kapal Feri?
2. Apakah struktur pondasi mengalami resonansi akibat getaran yang dihasilkan oleh *Auxiliary Engine*?
3. Apakah kekuatan Konstruksi pondasi *Auxiliary Engine* dalam kondisi aman sesuai dengan rules BKI ?
4. Bagaimana perkiraan umur kelelahan (*fatigue life*) dari konstruksi pondasi *Auxiliary Engine* tersebut ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas maka maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk Mengetahui nilai tegangan dan defleksi maksimal akibat pembebanan pada konstruksi pondasi *Auxiliary Engine* pada kapal Feri.
2. Untuk mengetahui potensi resonansi pada konstruksi pondasi *Auxiliary Engine*.
3. Untuk Menganalisa kekuatan konstruksi pondasi pada saat menerima beban karena berat *Auxiliary Engine*.
4. Untuk memperkirakan umur kelelahan (*fatigue life*) pada konstruksi pondasi *Auxiliary Engine*.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Manfaat bagi peneliti :
Menambahkan wawasan dan pengetahuan mengenai kekuatan konstruksi terutama pada konstruksi pondasi *Auxiliary Engine* dengan menggunakan metode elemen hingga.
2. Manfaat bagi perusahaan :
Membantu galangan memastikan bahwa desain pondasi mesin yang dibuat telah memenuhi standart Biro Klasifikasi Indonesia (BKI), Khususnya aspek faktor keamanan, sehingga dapat meningkatkan keadaan dan keselamatan konstruksi kapal.
3. Manfaat bagi pembaca :
Membantu memberikan gambaran mengenai pengaruh pembebanan statis dan dinamis pada konstruksi pondasi *Auxiliary Engine* serta dampaknya yang terhadap tegangan dan *fatigue life*, yang dapat digunakan sebagai refrensi dalam pengembangan desain pondasi *Auxiliary Engine* yang aman dan sesuai dengan standart.

1.5 Batasan Masalah

Dalam penyusunan laporan Tugas akhir ini permasalahan akan dibatasi sebagai berikut :

1. Analisis dilakukan pada kapal Feri di salah satu galangan di Jawa Timur.
2. Data yang dianalisis, seperti data kapal dan spesifikasi *Auxiliary Engine* didapatkan dari perusahaan.
3. Dilakukan pada 2 unit *Auxiliary Engine* pada kamar mesin.
4. Hanya menganalisis konstruksi pondasi *Auxiliary Engine*.
5. Tidak memperhitungkan kekuatan pengelasan dan Pengelasan yang digunakan merupakan fillet Welds.

6. Analisis ini dilakukan dengan Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method/FEM*) dengan menggunakan *software* Ansys.
7. Tidak menghitung Cost/biaya dalam pembuatan.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal Feri

Kapal feri merupakan jenis kapal penumpang yang sering digunakan terutama jika kita tinggal di daerah pesisir atau sering berpergian antar pulau. Kapal feri merupakan moda transportasi laut yang dirancang untuk melayani angkutan penumpang dan kendaraan pada lintasan penyeberangan dengan jarak pendek hingga menengah, serta dioperasikan dengan jadwal tetap dan frekuensi tinggi untuk menjamin kelancaran mobilitas antarpulau (Putra dan Wahyudi, 2019).



Gambar 2.1 Kapal Feri
(Sumber: www.pelni.co.id)

Kapal feri berfungsi sebagai moda transportasi penghubung antar pulau yang memiliki frekuensi operasi tinggi serta sistem bongkar muat yang cepat untuk mendukung mobilitas masyarakat dan distribusi logistik (Prasetyo dan Nugroho, 2018).

2.2 Auxiliary Engine

Auxiliary Engine merupakan mesin penggerak tambahan pada kapal yang berfungsi untuk menyuplai energi bagi sistem kelistrikan dan peralatan bantu kapal selama kondisi berlayar maupun saat kapal berada di pelabuhan. Mesin ini tidak

digunakan secara langsung untuk penggerak utama baling-baling, namun memiliki peran vital dalam menunjang operasional kapal, seperti penyediaan daya listrik untuk penerangan, sistem navigasi, pompa, sistem pendingin, serta peralatan akomodasi penumpang.



Gambar 2.2 Auxiliary Engine
(Sumber: www.d-infi.com)

Menurut Biro Klasifikasi Indonesia (BKI, 2022) dalam *Rules for Machinery Installations*, *Auxiliary Engine* pada umumnya berupa mesin diesel yang digabungkan dengan generator (*diesel generator*) dan dirancang untuk beroperasi secara kontinu dengan variasi beban tertentu sesuai kebutuhan sistem kapal. BKI menentukan syarat bahwa *auxiliary engine* harus memenuhi ketentuan terkait keandalan, keselamatan, serta kekuatan struktur pendukungnya, termasuk pondasi mesin, sistem peredam getaran, dan penyaluran beban ke struktur kapal.

2.3 Konstruksi Pondasi Mesin *Auxiliary Engine*



Gambar 2.3 Pondasi Auxiliary Engine
(peneliti,2025)

Struktur konstruksi pondasi permesinan kapal ialah struktural penompang yang sekaligus mengamankan mesin, maupun setiap equipment pada kapal (Qin et al., 2023). Pondasi equipment berfungsi sebagai saluran utama untuk energi getaran yang merambat dari peralatan ke bagian luar kapal karena merupakan struktur utama yang menghubungkan peralatan dengan struktur kapal, sehingga dapat difungsikan untuk mencegah terjadinya defleksi dan secara efektif harus menjamin keamanan struktur deck di bawahnya untuk menahan berbagai macam gaya yang terjadi.

2.4 Resonansi

Menurut Principles of Naval Architecture (1988), resonansi adalah kondisi yang terjadi pada getaran paksa dalam keadaan tunak ketika frekuensi eksitasi bertepatan dengan salah satu frekuensi alami sistem. Frekuensi umum tersebut kemudian juga disebut frekuensi resonansi. Pada resonansi, amplitudo getaran hanya dibatasi oleh redaman sistem, mengabaikan kondisi di mana hubungan antara input dan output tidak proporsional atau tidak membentuk garis lurus (non-linearitas). Redaman pada struktur teknik, termasuk kapal, umumnya sangat ringan, sehingga amplitudo getaran resonansi sering kali secara tidak proporsional besar relatif terhadap tingkat

non-resonansi. Dengan pembesaran yang tidak proporsional dari satu mode sistem pada resonansi, distribusi getaran resonansi sistem akan sering kali sesuai dengan bentuk mode dari mode resonansi tersebut.

2.4.1 Frekuensi Alami

Menurut Principles of Naval Architecture (1988) Frekuensi alami biasa juga disebut frekuensi natural adalah frekuensi di mana suatu sistem bergetar ketika dirangsang secara impulsif dari posisi diam. Persyaratan untuk getaran alami adalah bahwa sistem tersebut memiliki massa dan kekakuan. Untuk distribusi massa dan kekakuan yang kontinu, sistem tersebut memiliki jumlah frekuensi alami yang tak terbatas, meskipun hanya sejumlah kecil yang biasanya memiliki signifikansi praktis. Pada rangsangan impulsif dari posisi diam, sistem kontinu akan bergetar pada semua frekuensi alaminya, secara superposisi; tingkat getaran pada frekuensi alami tertentu akan bergantung pada karakteristik rangsangan impulsif.

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.1)$$

Atau

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.2)$$

Dimana :

F = frekuensi getaran (Hz)

k = kekakuan (N/m)

m = massa (kg)

2.4.2 Frekuensi Eksitasi

Menurut Principles of Naval Architecture (1988) Eksitasi getaran adalah rangsangan (gaya atau perpindahan) yang diterapkan dan bergantung pada waktu yang

menghasilkan getaran. Eksitasi dapat bersifat sementara (misalnya impulsif), acak, atau periodik. Eksitasi periodik keadaan tunak, seperti yang dihasilkan oleh baling-baling kapal yang beroperasi secara stabil, menghasilkan getaran paksa periodik keadaan tunak dengan karakteristik. Frekuensi Eksitasi Untuk eksitasi periodik keadaan tunak, frekuensi eksitasi adalah jumlah siklus eksitasi yang diselesaikan per satuan waktu, yang merupakan kebalikan dari periode eksitasi. Dalam kondisi keadaan tunak, frekuensi getaran selalu sama dengan frekuensi eksitasi. Namun, distribusi respons getaran sistem pada frekuensi eksitasi keadaan tunak dapat dilihat sebagai superposisi tertimbang dari bentuk mode semua mode alami. Tingkat partisipasi mode apa pun sensitif terhadap kedekatan frekuensi alami. Frekuensi eksitasi dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$f = \left(\frac{RPM}{60} \right) (Hz) \quad (2.3)$$

Getaran mesin Auxiliary engine dengan tipe diesel generator tersebut dapat menjadi penyebab resonansi dikarenakan mesin disel generator bergetar hampir secara terus menerus dan jika frekuensi eksitasi yang dihasilkan dari getaran mesin tersebut mendekati atau sama dengan frekuensi natural pondasi.

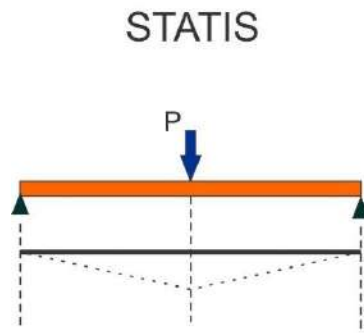
2.5 Pembebanan

Pembebanan dilakukan untuk mengetahui perilaku suatu struktur kapal harus didasarkan pada beban yang terjadi pada pondasi *Auxiliary Engine* kapal misalnya beban dari beban statis dan dinamis.

2.5.1 Beban Statis

Beban statis atau beban mati merupakan beban yang tetap, intensitas, titik kerja, dan garis kerja tetap. Dalam hal ini, ini adalah beban pada berat mesin yang diterima oleh pondasi mesin sebagai penopangnya, yang besarnya tidak berubah pada setiap siklus. Oleh karena itu, jika suatu muatan menunjukkan perubahan intensitas yang

cukup lambat sehingga pengaruh waktu tidak mendominasi, maka muatan tersebut dapat dikelompokkan sebagai muatan statis.

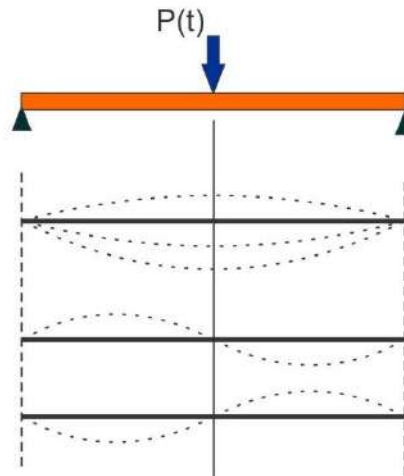


Gambar 2.4 Beban Statis
(Sumber: Blogger.com)

2.5.2 Beban Dinamis

Beban dinamis adalah beban yang besarnya, arah, atau lokasinya berubah seiring waktu. Beban dinamis merupakan beban yang berubah terhadap waktu, sehingga beban dinamis merupakan fungsi waktu. Pembebanan dinamis ini terjadi beberapa kali dalam satu siklus. Contoh beban dinamis pada pondasi mesin yang dapat berupa getaran akibat dari kerja mesin.

DINAMIS



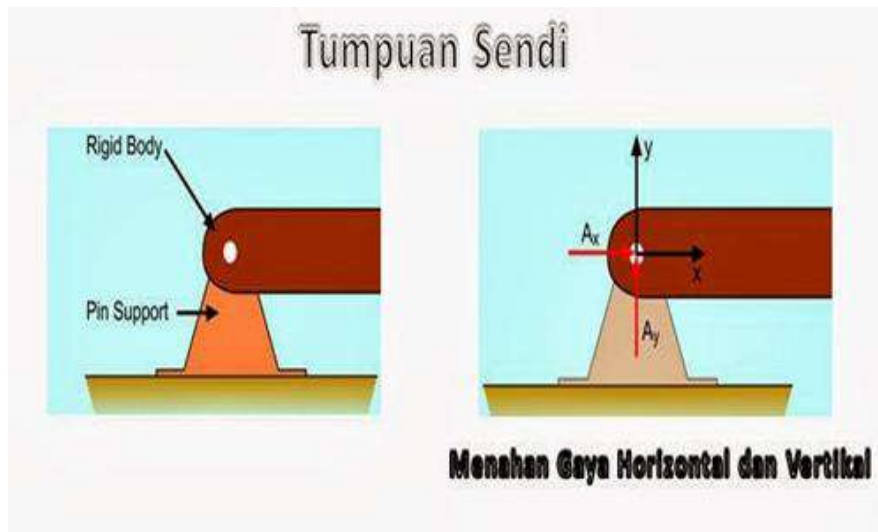
Gambar 2.5 Beban Dinamis
(Sumber: Blogger.com)

2.6 Tumpuan

Ketika gaya yang bekerja pada bidang yang sama membebani sebuah balok, terdapat tiga jenis tumpuan yang dikenali untuk tersebut. Jenis perlawanan yang diberikan balok terhadap gaya berfungsi sebagai indikator.

2.6.1 Tumpuan Sendi

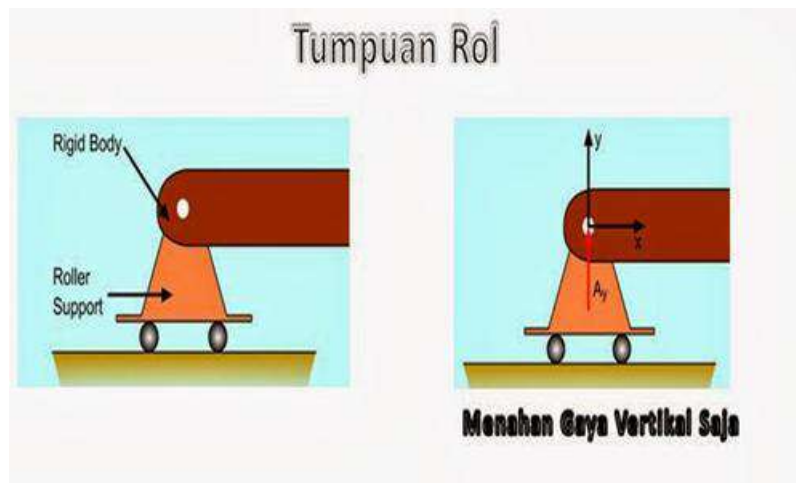
Tumpuan bersama menerima gaya tumpuan sembarang dan menentukan titik tumpu dalam sistem statis, dari sistem statis. Reaksi horizontal (R_h) dan reaksi vertikal (R) adalah dua kategori utama dimana reaksi atau gaya tumpuan yang berubah-ubah, jatuh. Biasanya dipisahkan menjadi dua kategori : reaksi horizontal (R_h) dan reaksi vertikal (R). Dua nilai yang tidak diketahui perlu ditentukan untuk perhitungan (Frick, 1978).



Gambar 2.6 Tumpuan Sendi
(Sumber: sipil017.blogspot.com)

2.6.2 Tumpuan Roll

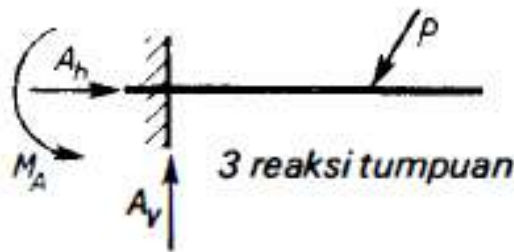
Tumpuan roll tidak dapat menahan momen atau gaya yang horizontal. Hanya gaya penyangga vertikal (R_v) yang diterapkan pada penyangga roll. Balok hanya mampu menahan beban vertikal. Sebaliknya, resistensi rol terbatas pada tegak lurus terhadap bidang (Frick, 1978).



Gambar 2.7 Tumpuan Rol
(Sumber: sipil017.blogspot.com)

2.6.3 Tumpuan Jepit

Tumpuan jepit adalah kondisi batas struktur di mana displacement dan Kemiringan bernilai nol, sehingga momen lentur dapat ditranfer sepenuhnya ke tumpuan (Gere & Timoshenko, 1997). Momen dan gaya tumpuan diterapkan secara sewenang-wenang pada jepitan. Momen jepit (M) dan reaksi horizontal (R_h) dan vertikal (R_y) adalah dua kategori utama reaksi pada penyangga dan momen jepit (M). Tiga nilai yang tidak diketahui perlu ditentukan untuk perhitungan. Jepitan bisa dikonstruksikan sebagai balok yang dijadikan tumpuan atau ditanam (Frick, 1978).



Gambar 2.8 Tumpuan Jepit
(Sumber: Frick, 1978)

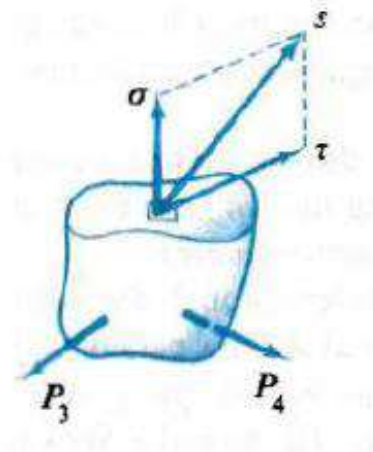
2.7 Tegangan

Tegangan adalah gaya yang bekerja pada suatu material/struktur/luasan, yang dapat memiliki besaran dan arah yang berbedah. Beban, deformasi dan gaya yang bekerja pada suatu material merupakan suatu yang berkaitan dengan bidang kekuatan material. Menurut Popov (1978), Tegangan (stress) merupakan beban yang bekerja pada suatu benda sehingga menimbulkan kekuatan internal. Tekanan yang bekerja pada benda menyebabkan deformasi pada benda tersebut.

2.7.1 Tegangan Normal

Menurut Popov (1978), Gaya yang berkerja tegak lurus terhadap potongan/irisan yang mengalami tegangan disebut juga dengan tegangan normal dan dilambangkan dengan notasi σ (sigma). Tegangan normal terjadi akibat adanya luar

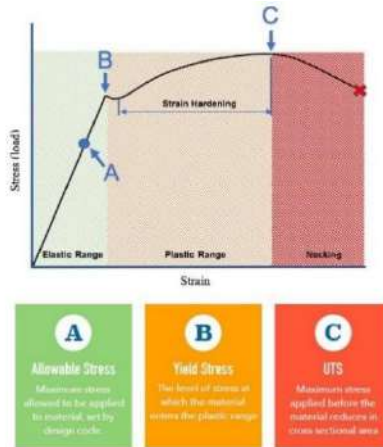
yang bekerja dengan konstan pada suatu batang yang mana gaya tersebut sejajar terhadap sumbu utama dan potongan penampang batang tersebut.



Gambar 2.9 Tegangan Normal
(Sumber: Popov,1978)

2.7.2 Tegangan Ijin

Tegangan ijin (*allowable stress*) adalah nilai batas maksimum tegangan yang diizinkan bekerja pada suatu elemen struktur kapal agar struktur tersebut tetap berada dalam kondisi aman selama masa operasinya. Tegangan ini ditetapkan dengan mempertimbangkan sifat mekanik material, kondisi pembebanan, faktor keselamatan, serta kemungkinan terjadinya kegagalan struktur maupun retak akibat beban berulang. Pada tegangan ijin dibuat lebih rendah daripada kekuatan ultimate yang diperoleh dalam pengujian statis (Popov,1978).



Gambar 2.10 Tegangan Ijin
(Sumber: wilkinsoncoutts)

Penerapan konsep tegangan ijin bertujuan untuk memastikan bahwa struktur kapal memiliki tingkat keandalan dan keselamatan yang memadai sesuai dengan standar klasifikasi.

Menurut Biro Klasifikasi (BKI),(2022) Vol II Rules for Hull Section 8 – Bottom Structur part B 8.2.2 allowable stress dirumuskan dengan rumus sebagai berikut :

$$\sigma_v = \frac{230}{k} \quad (2.4)$$

Dengan :

- σ_v = tegangan izin (N/mm²)
- k = faktor material k

2.7.3 Tegangan Equivalent (σ_v)

Tegangan ekuivalen (*equivalent stress*) merupakan besaran tegangan tunggal yang digunakan untuk mewakili kondisi tegangan multiaxial yang bekerja pada suatu elemen struktur kapal. Konsep tegangan ekuivalen bertujuan untuk memudahkan evaluasi kekuatan struktur dengan membandingkan kondisi tegangan aktual akibat kombinasi berbagai komponen tegangan terhadap batas tegangan ijin material.

Tegangan ekuivalen umumnya digunakan sebagai dasar penilaian kegagalan berdasarkan kriteria luluh material, khususnya untuk material baja yang bersifat daktail.

Menurut Biro Klasifikasi (2022) Vol II Rules for Hull Section 8 – Bottom Struktur part B 8.2.2 equivalent stress dirumuskan dengan rumus sebagai berikut :

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \times \sigma_y + 3\tau^2} \quad (2.5)$$

Nilai tegangan ekuivalen ini kemudian dibandingkan dengan tegangan ijin yang telah ditetapkan oleh BKI. Struktur dinyatakan aman apabila nilai tegangan ekuivalen hasil analisis, baik secara Perhitungan manual maupun menggunakan metode elemen hingga, lebih kecil dari nilai tegangan ijin yang dipersyaratkan (BKI,2022). Oleh karena itu, tegangan ekuivalen menjadi parameter penting dalam evaluasi kekuatan struktur dasar kapal, termasuk pada komponen yang mengalami pembebanan kompleks dan berulang selama operasi.

2.8 Deformasi

Deformasi adalah hasil dari gaya yang bekerja pada material, mengubah bentuk, lokasi, dan dimensinya serta posisinya (pergerakan) baik secara absolut maupun relatif dalam kerangka referensi tertentu.

Menurut Biro Klasifikasi,(2022) Vol II : Rules for Hull Section 8. Struktur Alas, Bagian C menentukan nilai deformasi pada kedudukan mesin yang diijinkan dari perhitungan deformasi total $\Delta f = f_u + f_o$ tidak boleh lebih besar dari :

$$\Delta f = 0,2 \times l_m \quad (2.6)$$

Dengan :

σ = Deformasi (mm)

l_m = Panjang motor (m)

f_u = maksimum deformasi vertikal dari dudukan ke bawah dalam panjang l_m (mm)

f_o = maksimum deformasi vertikal dari dudukan ke atas dalam panjang l_m (mm)

2.9 Faktor Keamanan

Menurut Biro Klasifikasi (2022) Vol II : Rules for Hull Bab. Prinsip desain, bagian F, faktor keamanan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Factor of Safety(SF)} = \frac{\text{ultimate stress } (\sigma_y)}{\text{actual stress } (\sigma)} \quad (2.7)$$

Pada persamaan di atas Sigma Ultimate adalah tegangan batas yang diakibatkan oleh gaya yang bekerja pada suatu benda dan sigma aktual menunjukkan tegangan yang benar benar terjadi. Hasil perbandingan di atas harus lebih besar dari satu. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah konstruksi pondasi memiliki tingkat keamanan dan keselamatan yang memadai atau tidak. Jika faktor keamanan rendah maka akan meningkatkan kemungkinan kegagalan. Jika faktor terlalu besar, konstruksi mungkin menjadi lebih berat karena menggunakan material lebih banyak sehingga tidak sesuai untuk fungsinya.

Berdasarkan ketentuan Biro Klasifikasi Indonesia (2022) Vol II sec 3 F faktor keamanan pembuktian buckling pada kapal dibagi menjadi 3 kategori yaitu :

1. 1,1 untuk struktur konstruksi secara umum.
2. 1,2 untuk struktur konstruksi yang secara eksklusif terkena beban lokal.
3. 1,05 untuk kombinasi pada beban-beban independen secara statistik.

(untuk konstruksi dari paduan aluminium, faktor keamanan harus dinaikan pada setiap kasus sebesar 0,1)

2.10 Fatigue Life

Pada BKI kekuatan lelah merupakan media dalam menentukan umur kelelahan pada sebuah struktur pembuktianya, yaitu kekuatan terhadap permulaan retak akibat pembebanan dinamis selama beroperasi, berguna untuk menilai dan mengurangi kemungkinan permulaan retak dari bagian-bagian struktur pada tahap desain. Analisa kekuatan lelah harus dilakukan untuk struktur yang utamanya menerima beban berulang-ulang (siklis).

Menurut Ardiansyah, (2020) kelelahan terjadi penumpukan kerusakan material yang diakibatkan oleh beban yang berulang. Dalam banyak kasus, amplitudo beban dari satu siklus tidak cukup untuk menyebabkan keruntuhan struktur dengan sendirinya. Setiap komponen struktur harus tahan terhadap tekanan yang diberikan padanya selama masa oprasional. Kerusakan yang permanen dapat terjadi apabila akumulasi atau penumpukan bebabn mencapai level kritis sehingga material tidak mampu menahan beban kembali. Sedangkan, banyaknya siklus yang dialami oleh material atau struktur sebelum struktur tersebut mengalami kegagalan dapat disebut sebagai *fatigue life* (Pitaloka & Misbah,2020). Berdasarkan siklusnya, fatigue dibedakan menjadi 2 :

a. High-cycle (low stress)

Dapat disebutkan sebagai *High-cycle (low stress)* jika banyaknya jumlah siklus yang terjadi untuk menuju ke kegagalan struktur adalah kurang dari 10^4 .

b. *Low-cycle (high stress)*

Dapat disebutkan sebagai jika banyaknya jumlah siklus yang terjadi untuk menuju ke kegagalan struktur biasanya mencapai jutaan kali (10^6 - 10^7) kejadian, bahkan lebih.

2.10.1 Cumulative Damage

Metode Palmgren–Miner adalah pendekatan berbasis kerusakan kumulatif (*cumulative damage theory*) yang paling umum digunakan untuk memprediksi umur lelah (*fatigue life*) suatu struktur atau komponen yang mengalami pembebanan berulang dengan amplitudo bervariasi, seperti pada struktur kapal, pondasi mesin, dan konstruksi lepas pantai. Cumulative fatigue damage adalah besaran kerusakan total yang terakumulasi pada material akibat pembebanan siklik berulang, di mana setiap siklus beban memberikan kontribusi sebagian terhadap terjadinya kegagalan lelah, dan kegagalan diprediksi terjadi ketika nilai kerusakan kumulatif mencapai batas kritis.

2.10.2 Kurva S-N

Desain Kurva S-N untuk perhitungan rasio kerusakan kumulatif sesuai dengan Jika analisa kekuatan lelah didasarkan pada perhitungan rasio kerusakan kumulatif, maka spektrum rentang tegangan yang diharapkan selama umur pakai di masa depan yang diperhitungkan. Kurva S-N mewakili batas bawah sebaran pita 95% dari semua hasil uji yang tersedia (setara dengan 97,5% dari *survival probability*) dengan mempertimbangkan pengaruh merusak lebih lanjut pada struktur yang besar.

$$D = \sum_{i=1}^i \left(\frac{n_i}{N_i} \right) \quad (2.8)$$

I = jumlah total blok spektrum rentang tegangan yang digunakan dalam penjumlahan (umumnya $I \geq 20$)

n_i = jumlah siklus tegangan dalam blok i

N_i = jumlah siklus tegangan yang dialami dan dihitung dari desain kurva S-N yang dikoreksi

2.11 Finite Elemen Method (FEM)

Finite element Method (FEM) atau biasa disebut dengan metode elemen hingga, adalah salah satu metode untuk menganalisis keadaan struktur dengan cara menggunakan beberapa elemen untuk mengkalkulasi bagian-bagian setiap elemen tersebut sesuai dengan sifat bahan dan bentuk dari struktur tersebut. Dalam menganalisis sebuah struktur menggunakan metode elemen hingga, harus diperhatikan beberapa aspek yaitu sebagai berikut :

2.11.1 Meshing

Meshing merupakan proses pemecahan bagian bagian menjadi bentuk bentuk elemen yang disesuaikan dengan skenario analisis. Hal ini dilakukan untuk mewakili bentuk-bentuk struktur pondasi yang sebenarnya. Selain itu, ukuran *meshing* juga sangat menentukan keakuratan dari proses analisis yang dilakukan. Semakin kecil ukuran elemen yang digunakan, hasil dari analisis akan semakin akurat dan maksimal. Dalam beberapa kasus, tidak ada metode yang pasti untuk menentukan ukuran elemen dalam *meshing* struktur kapal. Namun, menurut I Dewa Gede menyatakan bahwa proses *meshing* harus melewati *grid independence* artinya, pada saat proses *meshing* dengan jumlah elemen tertentu, nilai yang dihasilkan cenderung stabil disuatu rentang tertentu, nilai inilah yang digunakan sebagai dasar penentuan ukuran elemen saat melakukan proses analisis. (I Dewa G. A et al., 2015)

2.11.2 Kondisi Batas (*Boundry condition*)

kondisi batas yaitu merupakan metode penentuan yang dilakukan Ketika menganalisis sebuah struktur yaitu dengan cara menentukan titik-titik analisis yang nantinya akan mengalami perilaku sesuai skenario analisis misalnya pembebanan, puntiran, tarikan dan penentuan bagian profil atau plat mana saja yang akan mengalami perubahan struktur.

2.12 Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 1 Peneltian Terdahulu

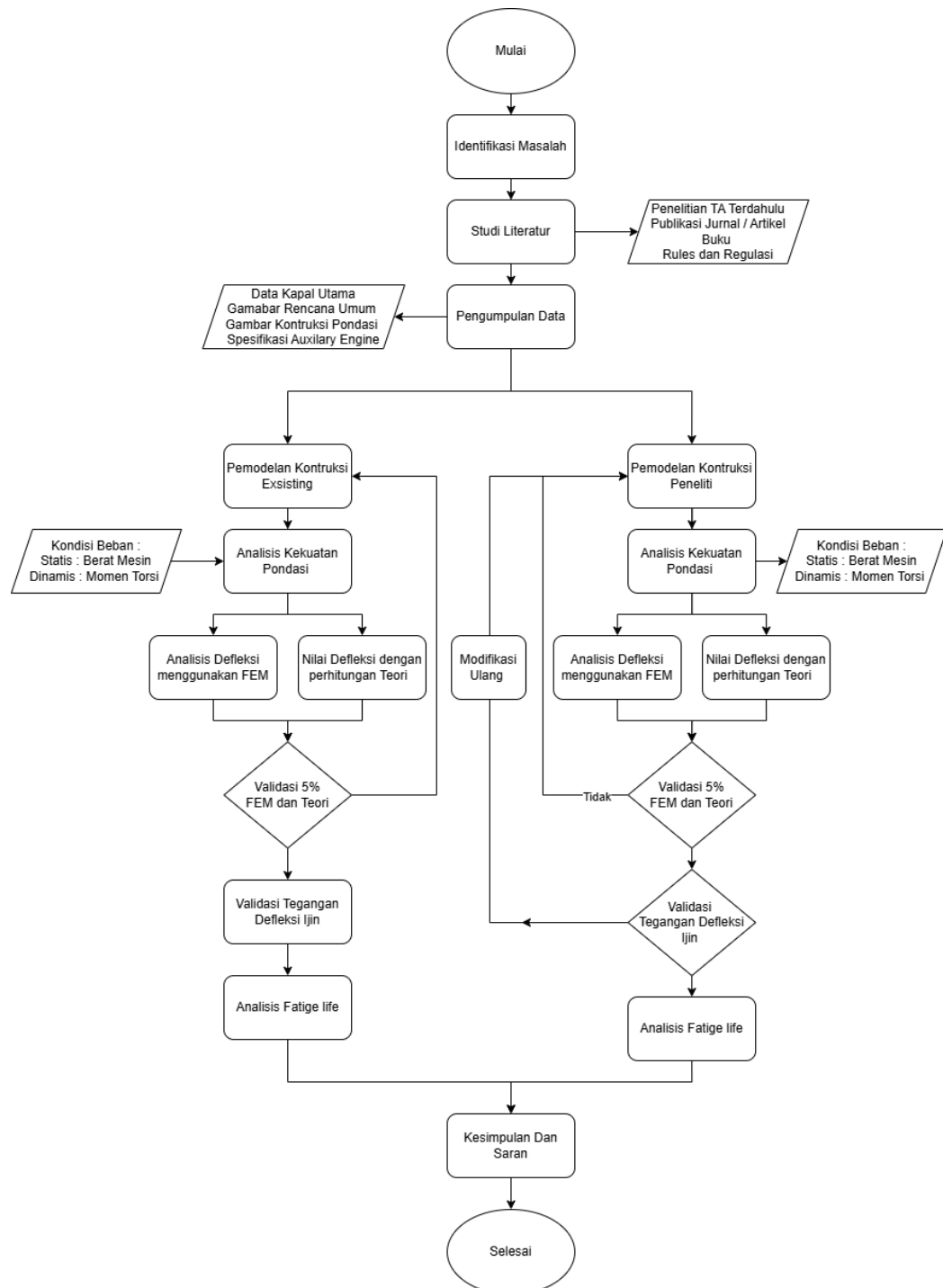
No.	Penulis, Tahun	Judul	Variasi	Hasil
1	Ismi Hidayat Hasan, PPNS (2025)	Analisis Kekuatan Dan <i>Fatigue Life</i> Konstruksi Pondasi Main Engine pada bangunan baru kapal SPOB 15.000 KL dengan Metode Elemen Hingga	• Beban : Mesin induk (2.2 Ton) • Variasi Torsi : RPM 80% RPM 100% • Material :KI-A (yield stress 235 MPa Tensile Stress 400-520 MPa) • Rules BKI	• Nilai Tegangan Von misses : Rpm 80% (9.8564MPa), 100% (15.129 MPa) • Nilai Deformasi : Rpm 80% (0.03743 mm), 100% (0.37915 mm) • Nilai Tegangan sesuai dengan standart ijin dari BKI • Estimasi Umur Konstruksi 79.36 tahun
2	Nina Bonita, PPNS (2023)	Analisis Kekuatan dan Kelelahan Kontruksi Pondasi Mesin Kapal General Cargo 6088 GT	• Beban : Mesin Induk (4.3 Ton) • Variasi Torsi : Kecepatan Dinas dan 100% • Material : A36 (Yield Stress 290 MPa, Tensile Stress 455 MPa) • Rules BKI	• Nilai Tegangan Von misses : Rpm 80% (39,845 MPa), 100% (39,953 MPa) • Nilai Defleksi : Rpm 80% (0,0097 mm), 100% (0,0097mm) • Nilai Tegangan sesuai dengan standart ijin dari BKI • Estimasi Umur Konstruksi 25,657 tahun
3	Ajeng Ramadina Sari,PPNS (2022)	Analisis Kekuatan dan <i>Fatigue life</i> Konstruksi pondasi mesin induk OSV 907 GT	• Beban : Mesin Induk (3,3 Ton),Gearbox (3,2), Torsi • Variasi Torsi : RPM 91% RPM100% • Material : A36 (Yield Stress 290	• Nilai Tegangan Von misses : Rpm 91% (29.448 MPa), 100% (29.556 MPa) • Nilai Defleksi : Rpm 91% (0.18767 mm), 100% (0.18798) • Nilai Tegangan sesuai dengan standart ijin dari BKI

No.	Penulis, Tahun	Judul	Variasi	Hasil
			MPa, Tensile Stress 455 MPa) • Rules BKI	• Estimasi Umur Konstruksi 34,524 tahun
4	Qoniah Ardelia, PPNS (2024)	Analisis Kekuatan dan Potensi Resonansi pada Pondasi Diesel Generator Menggunakan Metode Elemen Hingga	• Beban : Diesel Generator (4.7 Ton) • Variasi : Desain aktual, desain regulasi BKI dan desain regulasi LR • Material : AH36 (Yield Stress 290 MPa, Tensile Stress 455 MPa) • Rules : BKI & LR	• Nilai Tegangan Von misses : LR (164.01 MPa) • Nilai Deformasi : LR (0.99981 mm) • Nilai Tegangan sesuai dengan standart ijin dari BKI • Estimasi Umur Konstruksi 28 tahun
5	Farhan Akhyat Saifuddin, PPNS (2026)	Analisis Kekutan Dan Fatigue Life Konstruksi Pondasi Auxiliary Engine Kapal Feri Dengan Metode Elemen Hingga	• Beban : Auxiliry Engine (25 Ton) • Variasi : Desain Eksisiting & Desain Modifikasi • Material : AH36	• Nilai Tegangan Von misses : Eksisting (77,67 MPa) Modifikasi (56,37 MPa) • Nilai Deformasi : Eksisting (0,326 mm) Modifikasi (0,459 mm) • Nilai Tegangan sesuai dengan standart ijin dari BKI • Estimasi Umur Konstruksi 91 Tahun

BAB III

METEDOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Identifikasi Masalah

Proses identifikasi dan perumusan masalah dilakukan selama pengamatan pada kegiatan *On The Job Training*. Setelah melakukan pengamatan terhadap kondisi lapangan yang ada, ditentukan suatu permasalahan yang akan diangkat sebagai bahan utama dalam penyusunan tugas akhir ini. Permasalahan yang dipilih berfokus pada analisis kekuatan pondasi *Auxiliary Engine* pada reparasi kapal feri. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan dan defleksi sesuai dengan ketentuan standar regulasi yang berlaku dan memperhitungkan umur kelelahan pondasi *Auxiliary Engine* tersebut.

3.2.2 Studi Literatur

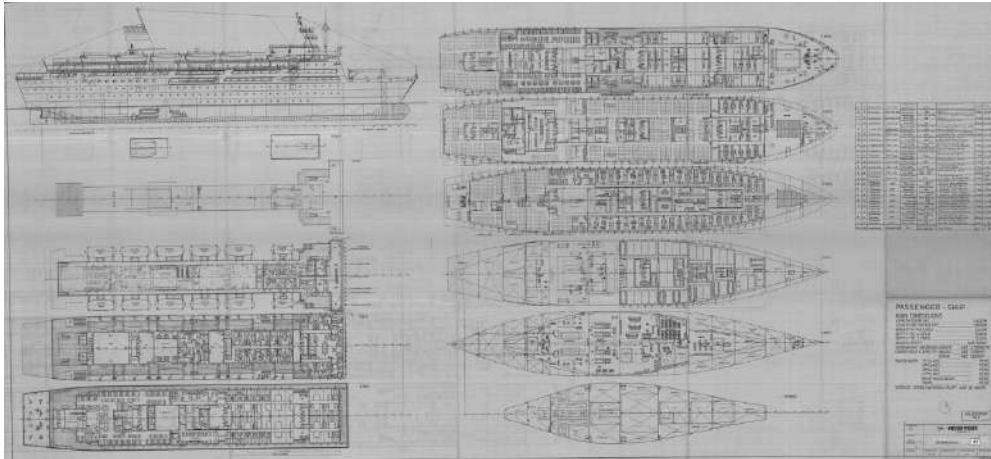
Setelah mendapatkan topik dan permasalahan dari kapal eksisting, langkah selanjutnya dilakukan studi literatur sebagai referensi pengerjaan penelitian agar lebih terstruktur. Literatur didapatkan dari beberapa sumber sebagai berikut :

1. Buku atau e-book tentang materi tugas akhir
2. Jurnal atau artikel penelitian
3. Penelitian tugas akhir terdahulu
4. Rules BKI

3.2.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk menunjang proses pengerjaan tugas akhir. Semua data penunjang yang dibutuhkan dalam penelitian ini diperoleh dengan mengajukan secara langsung kepada perusahaan. Dalam tugas akhir ini, penelitian mendapat data secara langsung oleh galangan data yang dibutuhkan berupa :

1. *General Arrangement*
2. Spesifikasi *Auxiliary Engine*
3. Desain Pondasi *Auxiliary Engine*



Gambar 3. 2 General Arrangement
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

3.2.4 Pemodelan Konstruksi Eksisting

Berdasarkan data yang didapatkan sebelumnya, model konstruksi pondasi *Auxiliary Engine* dibuat dengan bantuan *software* Fusion untuk selanjutnya diekspor ke file yang berkeestensi .iges. Setelah itu, dilakukan pendefinisian bagian-bagian yang terdapat pada model *software* Ansys. Pemodelan konstruksi harus dibuat sedemikian rupa sehingga model dapat mewakili kondisi yang sebenarnya. Terdapat 2 model yang akan digunakan dalam penelitian ini, yaitu model eksisting dan model modifikasi.

3.2.5 Analisis Kekuatan Pondasi

Langkah pertama dimulai dengan menentukan titik-titik pembebanan berdasarkan gambaran konstruksi pondasi *Auxiliary engine*. Setelah itu, dilakukan pendefinisian material yang digunakan, yaitu baja BKI grade A. Tahap berikutnya melibatkan penggunaan perangkat lunak *FEM (Finite element method)*, dimulai dengan memasukkan nilai-nilai material konstruksi pada menu *engineering data*. Selanjutnya, file geometri yang telah dibuat sebelumnya menggunakan perangkat lunak pemodelan 3D diimpor, kemudian data material yang sudah ditambahkan di *engineering data* diterapkan pada konstruksi yang akan dianalisis.

Dalam Metode Elemen Hingga, model elemen matematis dibuat dengan membagi struktur menjadi bagian-bagian kecil yang disebut elemen. Setelah model

terbentuk, analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak *FEM* pada struktur tersebut. Tahap berikutnya adalah memasukkan nilai-nilai struktur untuk menentukan distribusi gaya pada struktur akibat pembebanan yang diterapkan. Beban yang digunakan adalah beban statis dari berat mesin induk dan momen torsi. Jenis pembebanan yang digunakan adalah pembebanan terpusat pada penumpu memanjang pondasi. Hasil simulasi menggunakan perangkat lunak *FEM* akan memberikan nilai tegangan maksimum dan defleksi maksimum pada struktur.

3.2.6 Validasi Hasil

Dalam tahap validasi hasil, terdapat dua data yang akan digunakan, yaitu hasil simulasi yang dilakukan menggunakan *FEM* dan perhitungan secara teoretis. Pada tahap ini kedua data tersebut dibandingkan dengan toleransi perbedaan maksimal 5%. Jika hasil simulasi yang dilakukan menggunakan *FEM* dan perhitungan secara teori memiliki perbedaan melebihi 5% yang sudah ditentukan, maka kemungkinan ada kesalahan pada simulasi maupun perhitungan secara teori, maka harus diulang hingga di bawah persentase yang sudah ditentukan.

3.2.7 Validasi Tegangan dan Defleksi

Dari hasil simulasi yang dilakukan menggunakan perangkat lunak *FEM*, akan diperoleh beberapa output yang sesuai dengan kebutuhan analisis. Output tersebut mencakup nilai tegangan von Mises dan defleksi yang dihasilkan dari setiap skenario pembebanan yang telah diinputkan. Selanjutnya, nilai-nilai tersebut dibandingkan dengan aturan dan batasan yang ditetapkan oleh rules BKI untuk menentukan apakah pondasi telah memenuhi persyaratan atau belum.

3.2.8 Analisis Umur Pondasi Aux Engine (*fatigue life*)

Dalam penelitian ini, perhitungan umur kelelahan dilakukan menggunakan pendekatan metode Palmgren-Miner yang berbasis kerusakan kumulatif. Metode ini digunakan untuk memperkirakan umur struktur akibat pembebanan yang terjadi selama masa operasi. Kegagalan akibat *fatigue* dianggap terjadi ketika akumulasi kerusakan mencapai nilai maksimum tertentu.

Jumlah siklus aktual per tahun dihitung berdasarkan kondisi operasional nyata kapal, yaitu dari lama waktu beroperasi serta frekuensi putaran yang dipengaruhi oleh nilai torsi. Dengan menggunakan data torsi aktual, dapat diketahui seberapa sering struktur mengalami pembebanan dalam satu tahun pada berbagai level pembebanan.

Selanjutnya, jumlah siklus aktual tersebut dibandingkan dengan batas siklus maksimum yang diperoleh dari simulasi menggunakan perangkat lunak ANSYS, untuk mengetahui seberapa besar kerusakan yang terjadi. Hasil perhitungan ini digunakan untuk mengetahui umur struktur pondasi

3.2.9 Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini, kesimpulan dari penelitian dapat diambil berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan secara menyeluruh. Setelah seluruh proses analisis selesai, kesimpulan disusun untuk merangkum temuan utama penelitian, termasuk kesesuaian pondasi *Auxiliary engine* dengan standar yang berlaku serta performanya terhadap pembebanan yang diterapkan. Selain itu, saran juga diberikan untuk penelitian lebih lanjut, seperti pengembangan desain, pengujian tambahan, atau implementasi metode lain yang relevan untuk meningkatkan kualitas dan keandalan pondasi.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Peneliti

Dalam melakukan analisis kekuatan struktur dan *fatigue life* pada pondasi *Auxiliary engine* menggunakan metode elemen hingga, diperlukan sekumpulan data teknis. Data penelitian ini menjadi input parameter utama dalam proses pemodelan geometri 3D, penentuan properti material, hingga pengaplikasian pembebanan dan kondisi batas.

4.1.1 Data Utama Kapal

Pada penelitian ini, objek penelitian yang digunakan adalah kapal penumpang ferry yang sedang melaksanakan overhaul di galangan Jawa Timur. Kapal ini dipilih sebagai model analisis. Data yang dibutuhkan dalam penyelesaian tugas akhir ini meliputi data utama kapal (*Principal Dimension*) pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Data Utama Kapal

<i>Principal Dimension</i>		
<i>Length Overall (LOA)</i>	144.00	<i>meter</i>
<i>Length Between Perpendicular (LPP)</i>	130.00	<i>meter</i>
<i>Breadth (B)</i>	23.4	<i>meter</i>
<i>Depth (H)</i>	13.4	<i>meter</i>
<i>Draft (T)</i>	5.9	<i>meter</i>
<i>Deadweight (DWT)</i>	2700	<i>Ton</i>
<i>Service Speed (Vs)</i>	20	<i>Knot</i>
<i>Oprasional Area</i>	Surabaya – Makassar	

Sumber : Dokumen Penulis, 2026

4.1.2 Data Auxiliary Engine

Auxiliary Engine digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik pada sebuah kapal penumpang sesuai dengan yang dibutuhkan.

Tabel 4. 2 Data Auxiliary Engine

Auxiliary Engine			
Diesel Engine		AC Generator	
Type	6DE-23	Type	FE 653B-8
No. OF CYL	6	Output	100 kVA
Revolutions	900 min	Frequency	50 Hz
Mass	19500 Kg	Mass	5500 Kg
Mass Total :		25000 Kg / 245250 N	

Sumber : Dokumen Penulis, 2026

4.1.3 Data Material Pondasi

Material yang digunakan pada konstruksi pondasi auxiliary engine ini mengacu pada standar kualifikasi baja konstruksi kapal yang diatur oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI). Properti mekanis material baja konstruksi pondasi yang diinputkan ke dalam perangkat lunak analisis disajikan pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4. 3 Data Material Pondasi

Steel BKI Grade AH 36	
Yield strength	355 MPa
Tensile strength	490 MPa
Modulus of elasticit	210,000 MPa
Shear modulus	80,769 MPa
Poisson ration	0.3
Density	7850 kg/m ³

Sumber : Dokumen Penulis, 2026

4.2 Perhitungan Konstruksi Pondasi Mesin

Perencanaan konstruksi pondasi auxiliary engine pada kapal feri dalam penelitian ini berpedoman pada regulasi yang ditetapkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI), terutama Biro Klasifikasi Indonesia (2022) Volume II Peraturan Lambung Bab 8 – Bagian C 8.3 Dudukan Mesin. Tahapan perhitungan ditunjukkan sebagai berikut :

- Penumpu Memanjang

Tebal penumpu memanjang di atas alas dalam tidak boleh kurang dari :

$$t = \sqrt{\frac{p}{15}} + 6,0 \text{ [mm]} \text{ untuk } P < 1500 \text{ kW} \quad (4.1)$$

Diketahui :

P = keluaran daya pada mesin tunggal [kW]

$$= 1000 \text{ kW}$$

Sehingga didapatkan :

$$t = \sqrt{\frac{1000}{15}} + 6,0 \text{ [mm]}$$
$$= 14,165 \sim 15 \text{ mm}$$

- Pelat Atas Penumpu

Luas penampang melintang dari pelat atas tersebut tidak boleh kurang dari :

$$A_T = \frac{P}{75} + 70 \text{ [cm}^2\text{]} \text{ untuk } P > 750 \text{ kW} \quad (4.2)$$

Diketahui : P = keluaran daya pada mesin [kW]

Sehingga didapatkan :

$$A_T = \frac{P}{75} + 70$$

$$= 83,33 \text{ cm}^2$$

$$= 8333,33 \text{ mm}^2$$

Ketebalan pelat atas pada penumpu pondasi mesin kurang lebih sama dengan diameter baut yang dipasang.

D = diameter baut

$$= 25 \text{ mm}$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya, diperoleh nilai tebal minimum pelat konstruksi pondasi sesuai dengan ketentuan Biro Klasifikasi Indonesia (2022) Volume II Peraturan Lambung Bab 8 – Bagian C 8.3 Dudukan Mesin.

4.3 Perhitungan Beban

Perhitungan beban merupakan aspek krusial yang perlu diperhatikan dalam penelitian ini. Terdapat beberapa jenis beban yang dianalisis, antara lain beban akibat berat auxiliary engine itu sendiri.

4.3.1 Beban *auxiliary Engine*

Nilai beban *Auxiliary Engine* didapatkan pada katalog mesin auxiliary engine didapatkan berdasarkan katalog daihatsu, sebagai berikut :

Tabel 4. 4 Data auxiliary Engine

Auxiliary Engine			
Diesel Engine		AC Generator	
Type	6DE-23	Type	FE 653B-8
No. OF CYL	6	Output	100 kVA
Revolutions	900 min	Frequency	50 Hz
Mass	19500 Kg	Mass	5500 Kg
Mass Total :		25000 Kg / 245250 N	

Sumber : Dokumen Penulis, 2026

4.3.2 Beban Pondasi

Nilai beban konstruksi pondasi *auxiliary engine* didapatkan berdasarkan perhitungan, di mana seluruh rincian perhitungan beban konstruksi pondasi *auxiliary engine* ini secara lengkap dilampirkan pada lembar lampiran. Berikut adalah hasil dari perhitungan beban yang telah dilakukan :

Tabel 4. 5 Berat Pondasi Eksisting

Pondasi Eksisting				
No.	Item	Ket.	Beban (Kg)	Beban (N)
1	Top Plate	Plate	1042,09	10222,88
2	Engine Girder	Plate	574,25	5633,40
3	Bracket 1	Plate	615,13	6034,38
4	Bracket 2	Plate	26,42	259,21
5	Bracket 3	Plate	26,42	259,21
w Total :			2284,31	22409,09

Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Tabel 4. 6 Berat Pondasi Modifikasi

Pondasi Modifikasi				
No.	Item	Ket.	Beban (Kg)	Beban (N)
1	Top Plate	Plate	1433,45	14062,14
2	Engine Girder	Plate	470,89	4619,40
3	Spigot	Plate	48,95	480,17
4	Bracket 1	Plate	582,05	5709,91
5	Bracket 2	Plate	199,26	1954,69
6	Bracket 3	Plate	45,36	444,96
7	Bracket 4	Plate	47,38	464,81
w Total :			2827,33	27736,10

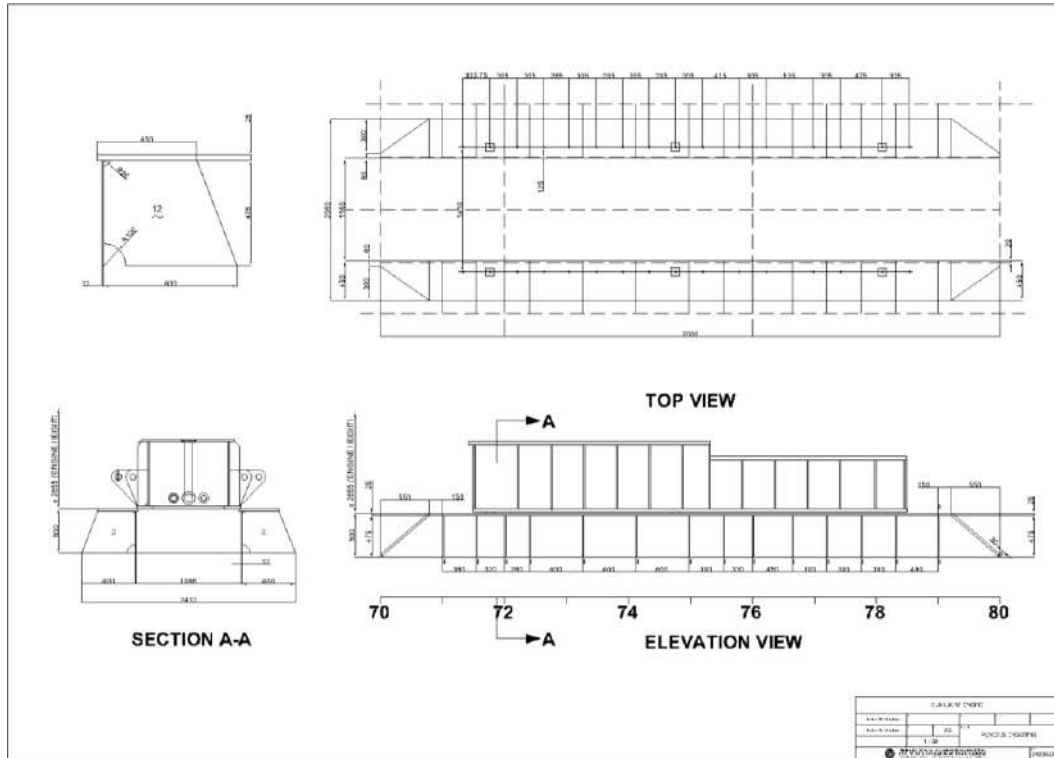
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

4.4 Pemodelan Pondasi auxiliary Engine

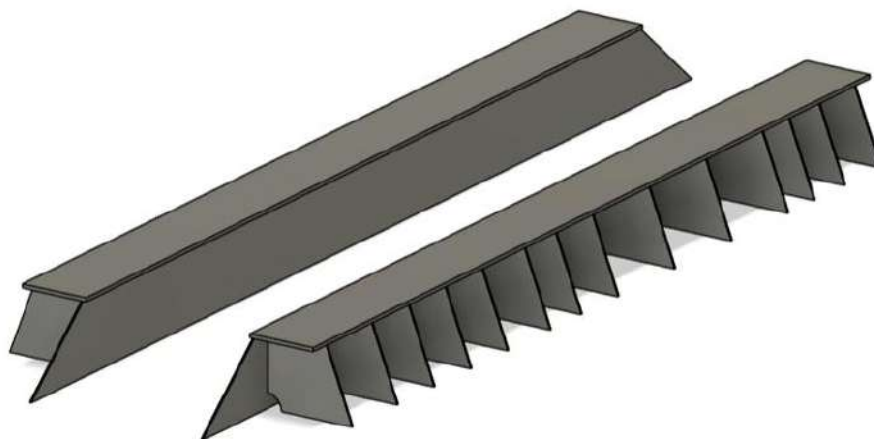
Desain konstruksi pondasi *auxiliary engine* diperoleh dari pihak perusahaan. Selanjutnya, pemodelan 3D dilakukan dengan menggunakan software Fusion 360.

4.4.1 Desain Model Eksisting

Berikut merupakan desain Eksisting pondasi *auxiliary engine* :



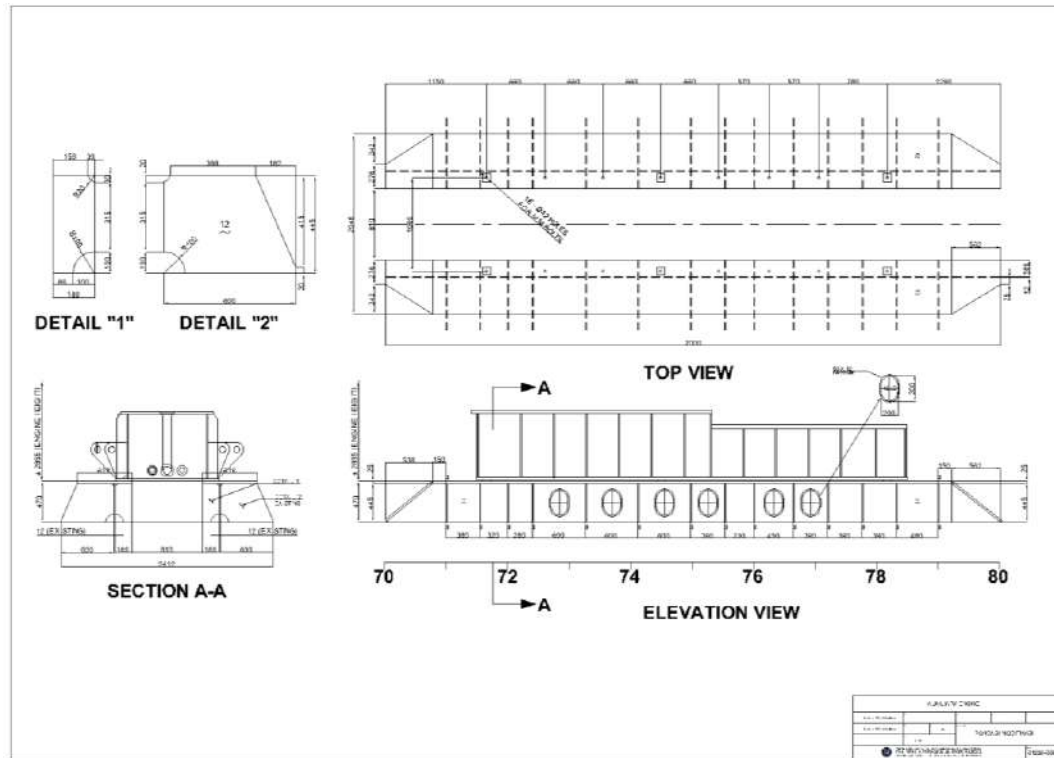
Gambar 4. 1 Model 2D Pondasi Eksisting
(Peneliti, 2026)



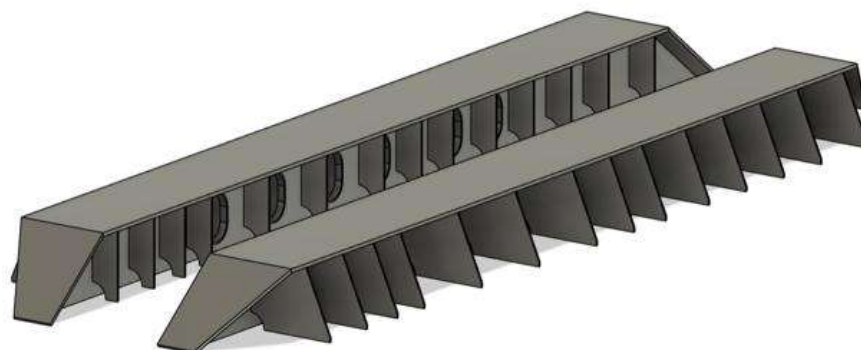
Gambar 4. 2 Model 3D Pondasi Eksisting
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

4.4.2 Desain Model Modifikasi

Berikut merupakan desain Modifikasi pondasi *auxiliary engine* :



Gambar 4. 3 Model 2D Pondasi Modifikasi
Sumber : Dokumen Penulis, 2026



Gambar 4. 4 Model 3D Pondasi Modifikasi
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

4.4.3 Validasi Model

Tahap validasi model merupakan langkah krusial dalam analisis Metode Elemen Hingga (FEM) untuk memastikan model yang akan digunakan sudah merepresentasikan desain konstruksi aktual secara akurat. Sebelum proses meshing dan simulasi pembebanan dilakukan, geometri model pondasi divalidasi dengan membandingkannya dengan gambar rencana konstruksi 2D.

Berdasarkan pemodelan yang telah dilakukan, validasi geometri memverifikasi dimensi utama dari pondasi. Validasi ini juga memastikan penempatan dan ukuran komponen-komponen pada struktur pondasi seperti top plate, girder, dan bracket. Proses validasi ini menggunakan bantuan software Fusion 360 untuk mengecek volume dan berat pada setiap komponen seperti yang ada pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8.

Tabel 4. 7 Berat Pondasi Eksisting Software

No	Item	Volume	Berat (Kg)	Jumlah	Total (Kg)
1	Top Plate	0.066	521,044	2	1042,088
2	Egine Girder	0.037	288,605	2	577,21
3	Bracket 1	0.003	21,969	28	615,132
4	Bracket 2	0.008	62,351	2	124,702
5	Bracket 3	0.008	62,351	2	124,702
Berat Total :					2483,834

Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Tabel 4. 8 Berat Pondasi Modifikasi Software

No	Item	Volume	Berat (Kg)	Jumlah	Total (Kg)
1	Top Plate	0.091	716,73	2	1433.45
2	Egine Girder	0.033	259,92	2	519.83
3	Spigot	0.0005	4,013	12	48.16
4	Bracket 1	0.001	20.79	28	582.06
5	Bracket 2	0.001	7.116	28	199.25
6	Bracket 3	0.006	48.02	2	96.04
7	Bracket 4	0.006	49.36	2	98.71
Berat Total :					2929.34

Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Setelah dilakukan pengecekan volume dan berat di software fusion 360, tahap validasi selanjutnya dengan membandingkan perhitungan manual yang terdapat pada tabel 4.5 dan 4.6 dengan hasil dari software pada tabel 4.7 dan 4.8 disajikan dalam bentuk presentase perbandingan seperti dibawah ini :

Tabel 4. 9 Validasi Model Eksisting

No.	Item	Ket.	Jumlah	Mauual (Kg)	Software (Kg)	Selisih (%)
1	Top Plate	Plate	2	1042.09	1042.09	0.0%
2	Egine Girder	Plate	2	574.25	577.21	0.5%
3	Bracket 1	Plate	28	615.13	615.13	0.0%
4	Bracket 2	Plate	2	26.42	26.55	0.5%
5	Bracket 3	Plate	2	26.42	26.55	0.5%
Berat Total :				2284.31	2287.53	0.1%

Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Tabel 4. 10 Validasi Model Modifikasi

No.	Item	Ket.	Jumlah	Mauual (Kg)	Software (Kg)	Selisih (%)
1	Top Plate	Plate	2	1433.449	1433.45	0.0%
2	Engine Girder	Plate	2	470.8872	519.83	9.4%
3	Spigot	Plate	12	48.94732	48.16	-1.6%
4	Bracket 1	Plate	28	582.0502	582.06	0.0%
5	Bracket 2	Plate	28	199.26	199.25	0.0%
6	Bracket 3	Plate	2	45.35824	96.04	0,5%
7	Bracket 4	Plate	2	47.38166	98.71	0,7%
Berat Total :				2284.31	2287.53	1.7%

Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Hasil perbandingan pada Tabel 4.9 dan 4.10 memperlihatkan hasil perhitungan manual dan software pada pondasi eksisting dan pondasi modifikasi yang memiliki persentase perbedaan di bawah 2 % yang memperlihatkan kesesuaian pada model.

4.5 Perhitungan Tegangan Izin

Pada tahap ini dilakukan perhitungan tegangan izin (*allowable stress*) yang merupakan salah satu parameter penting dalam evaluasi kekuatan struktur. Tegangan izin digunakan sebagai batas aman yang tidak boleh dilampaui oleh tegangan aktual yang terjadi pada struktur pondasi *auxiliary engine*. Perhitungan tegangan izin dalam tugas akhir ini mengacu pada ketentuan yang ditetapkan oleh Rules Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) untuk struktur baja pada kapal. Nilai tegangan izin tersebut diperoleh berdasarkan sifat mekanik material yang digunakan, serta faktor-faktor keamanan sesuai peraturan klasifikasi. Nilai ini selanjutnya menjadi dasar pembandingan terhadap hasil tegangan maksimum yang timbul akibat beban kerja dan momen pada struktur engine bed, untuk memastikan bahwa struktur tetap berada dalam kondisi aman selama operasional kapal.

Berdasarkan aturan klas BKI Vol. II section 8 B.8.2.2 tegangan ijin pada suatu struktur bottom tidak boleh melebihi persamaan dibawah ini

- Tegangan Ijin Ekuivalent (σ_v)

$$\begin{aligned} &= \frac{230 \text{ N/mm}^2}{k} \\ &= \frac{230 \text{ N/mm}^2}{0,72} \\ &= 319,44 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

- Tegangan ijin Bending (σ_ℓ)

$$\begin{aligned} &= \frac{150 \text{ N/mm}^2}{k} \\ &= \frac{150 \text{ N/mm}^2}{0,72} \\ &= 208,33 \end{aligned}$$

- Tegangan Ijin Geser (τ)

$$\begin{aligned} &= \frac{100 \text{ N/mm}^2}{k} \\ &= \frac{100 \text{ N/mm}^2}{0,72} \\ &= 138,89 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

4.6 Perhitungan Deformasi

Pada tahap ini dilakukan perhitungan terhadap besarnya deformasi maksimum yang terjadi pada struktur kapal. Nilai deformasi aktual yang terjadi harus berada di bawah batas maksimum yang diizinkan.

Pada tugas akhir ini, acuan yang digunakan adalah ketentuan dari Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) yang tercantum dalam *BKI Rules for Hull, Volume II*, 2022, khususnya pada Bab 8: Struktur Alas, Bagian C.

Persyaratan tersebut menjelaskan batas deformasi yang diperbolehkan pada struktur alas kapal serta metode dan rumus perhitungannya. Adapun rumus atau pendekatan yang digunakan dalam perhitungan deformasi struktur akan dijelaskan sebagai berikut:

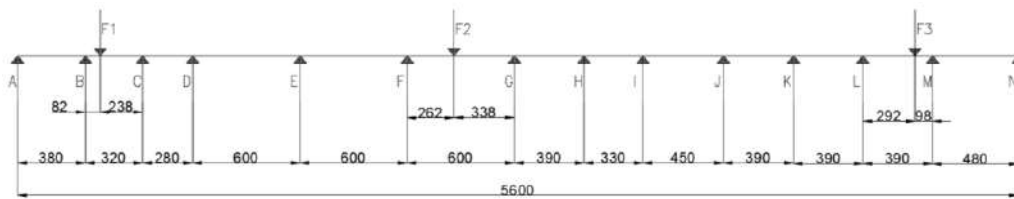
$$\begin{aligned}\Delta f &= 0,2 \times l_m \text{ [mm]} \\ &= 0,2 \times 6,012 \text{ m} \\ &= 1,2 \text{ mm}\end{aligned}$$

Untuk kedudukan *auxiliary engine* nilai deformasi tidak boleh lebih dari 50% nilai di atas, sehingga maksimum deformasi yang didapatkan :

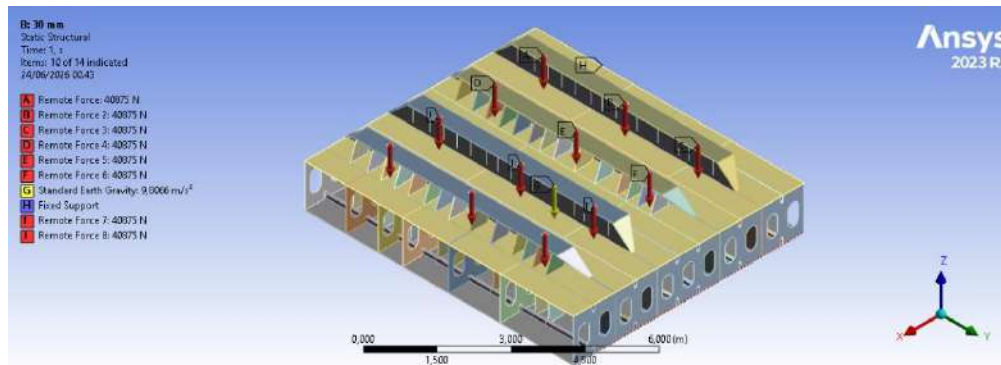
$$\begin{aligned}\delta_{\text{maks}} &\leq 150\% \Delta f \\ \delta_{\text{maks}} &\leq 1,8 \text{ mm}\end{aligned}$$

4.7 Perhitungan Momen

Perhitungan momen maksimum pada struktur ini dilakukan dengan pendekatan dalam bentuk model free body diagram (FBD), di mana struktur tersebut dianggap sebagai tumpuannya dan beban generator didistribusikan pada beberapa titik penumpunya. Berikut adalah gambar free body diagram perhitungan momen yang telah dilakukan



Gambar 4. 5 2D Free Body Diagram
Sumber : Dokumen Penulis, 2026



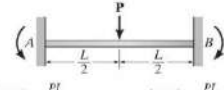
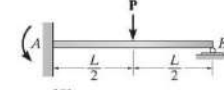
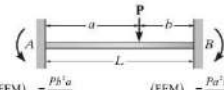
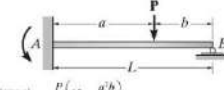
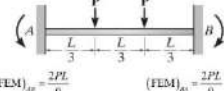
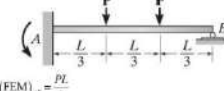
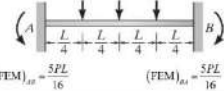
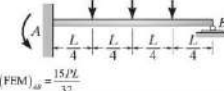
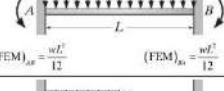
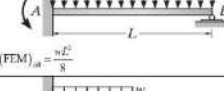
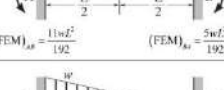
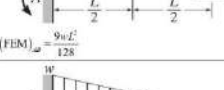
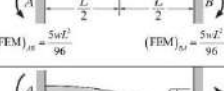
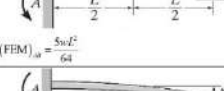
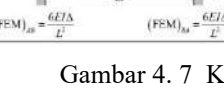
Gambar 4. 6 3D Free Body Diagram (FBD)
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Perhitungan gaya-gaya pada konstruksi pondasi main engine dengan metode *Fixed End Moment*. Untuk mempermudah analisis, model struktur pondasi dibagi menjadi lima segmen, menyesuaikan dengan jarak antar frame pada kapal. Pembagian ini bertujuan untuk menyederhanakan perhitungan momen dan reaksi gaya pada setiap titik tumpuan dan antar segmen. Metode *Fixed End Moment* digunakan karena konstruksi diasumsikan bersifat kaku dan terjepit pada kedua ujungnya, sehingga memungkinkan perhitungan momen yang ditimbulkan oleh beban merata maupun terpusat secara lebih akurat.

Metode *Fixed End Moment* umumnya digunakan dalam analisis balok kontinu atau struktur yang memiliki tumpuan jepit (*fixed support*), karena mampu memperhitungkan distribusi momen akibat beban eksternal. Menurut Hibbeler (*Structural Analysis, 9th Edition*), FEM adalah salah satu metode klasik untuk menghitung momen ujung tetap pada balok akibat beban, dan menjadi dasar dalam moment distribution method maupun *force method* dalam struktur statis tak tentu.

Pemilihan metode perhitungan *Fixed End Moment* dilakukan berdasarkan jenis dan posisi beban yang bekerja pada struktur, serta kondisi tumpuan yang ada pada konstruksi sesuai gambar berikut.

Fixed End Moments

 $(FEM)_{AB} = -\frac{PL}{8}$ $(FEM)_{BA} = \frac{PL}{8}$	 $(FEM)_{AB} = -\frac{3PL}{16}$
 $(FEM)_{AB} = -\frac{Pb^2a}{L^2}$ $(FEM)_{BA} = \frac{Pa^2b}{L^2}$	 $(FEM)_{AB} = -\frac{P}{L^2} \left(b^2a + \frac{a^3b}{2} \right)$
 $(FEM)_{AB} = -\frac{2PL}{9}$ $(FEM)_{BA} = \frac{2PL}{9}$	 $(FEM)_{AB} = -\frac{PL}{3}$
 $(FEM)_{AB} = -\frac{5PL}{16}$ $(FEM)_{BA} = \frac{5PL}{16}$	 $(FEM)_{AB} = -\frac{15PL}{32}$
 $(FEM)_{AB} = -\frac{wL^2}{12}$ $(FEM)_{BA} = \frac{wL^2}{12}$	 $(FEM)_{AB} = -\frac{wL^2}{8}$
 $(FEM)_{AB} = -\frac{11wL^2}{192}$ $(FEM)_{BA} = \frac{5wL^2}{192}$	 $(FEM)_{AB} = -\frac{9wL^2}{128}$
 $(FEM)_{AB} = -\frac{wL^2}{29}$ $(FEM)_{BA} = \frac{wL^2}{30}$	 $(FEM)_{AB} = -\frac{wL^2}{15}$
 $(FEM)_{AB} = -\frac{5wL^2}{96}$ $(FEM)_{BA} = \frac{5wL^2}{96}$	 $(FEM)_{AB} = -\frac{5wL^2}{64}$
 $(FEM)_{AB} = -\frac{6EI\Delta}{L^2}$ $(FEM)_{BA} = \frac{6EI\Delta}{L^2}$	 $(FEM)_{AB} = -\frac{3EI\Delta}{L^2}$

Gambar 4. 7 Katalog Fixed end Moments
(sumber : ce.memphis.edu)

4.7.1 Momen Pondasi Eksisting

Tabel 4. 11 Pembagian Beban Free Body Diagram

Segmen	Panjang (L)	Titik Berat konstruksi (mm)	Titik Berat Eksternal (mm)	Berat konstruksi q (Kg)	Berat konstruksi q (N)	Berat Eksternal F (Kg)	Berat Eksternal F (N)
		x	x				
AB	380	190		68.809	675.015		
BC	320	160	82	68.150	668.550	4166.667	40875
CD	280	140		62.377	611.921		
DE	600	300		108.558	1064.957		
EF	600	300		108.558	1064.957		
FG	600	300	262	108.558	1064.957	4166.667	40875
GH	390	195		78.252	767.652		
HI	330	165		69.593	682.708		
IJ	450	225		80.911	793.736		
JK	390	195		78.252	767.652		
KL	390	195		78.252	767.652		
LM	390	195	292	78.252	767.652	4166.667	40875
MN	480	240		83.240	816.589		
	5600			1071.763	10513.999	12500	122625

Sumber : Dokumen Penulis, 2026

A. Fix End Momen Setiap Segmen

Pada tahap ini kita akan melakukan perhitungan *Fix End Momen* sesuai dengan ketentuan rumus pada gambar 4.7 yang memperlihatkan katalog perhitungan *Fix End Momen*, sebagai contoh akan dilakukan perhitungan pada Segmen AB sebagai berikut :

SEGMENT AB

$$\text{Beban (qAB)} = 675 \text{ N}$$

$$L = 380 \text{ mm}$$

$$a = 190 \text{ mm}$$

$$b = 190 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{MA} &= \frac{qAB \times a \times b^2}{L^2} \\ &= 32063,19652 \quad \text{Nmm} \\ &= 0,032 \quad \text{kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MB} &= (-qAB \times a^2 \times b)/L^2 \\ &= -32063,19652 \quad \text{Nmm} \\ &= -0,032 \quad \text{kNm} \end{aligned}$$

Tabel 4. 12 Perhitungan Momen

Segmen	MA1 (Nmm)	MB1 (Nmm)
	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$
AB	32063,19652	-32063,19652
BC 1	26742,01186	-26742,01186
BC 2	1854067,646	-638796,416
CD	21417,22514	-21417,22514
DE	79871,80073	-79871,80073
EF	79871,80073	-79871,80073
FG 1	79871,80073	-79871,80073
FG 2	3398520,992	-2634356,508
GH	37423,03783	-37423,03783
HI	28161,69225	-28161,69225
IJ	44647,67392	-44647,67392
JK	37423,03783	-37423,03783
KL	37423,03783	-37423,03783
LM 1	37423,03783	-37423,03783
LM 2	753639,3294	-2245537,594
MN	48995,31653	-48995,31653

Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Tabel 4.12 memaparkan hasil perhitungan momen seperti pada contoh di atas. Hasil perhitungan disajikan dalam bentuk tabel, dan perhitungan secara rinci akan dilampirkan.

B. Total Fix End Moment

Pada Tabel 4.13 memaparkan Total *Fix End Moment* pada setiap tumpuhan A-N pada satuan Nmm dan kNm.

Tabel 4. 13 Total Perhitungan end Momen

SEGMENT AB					
FEMA	=	43106,22	Nmm	0,043106	kNm
FEMB	=	-43106,2	Nmm	-0,04311	kNm
SEGMENT BC					
FEMB	=	1886364.9	Nmm	1,8863649	kNm
FEMC	=	-671093,7	Nmm	-0,6710937	kNm

SEGMENT CD					
FEMC	=	25925,183	Nmm	0,02592518	kNm
FEMD	=	-25925,183	Nmm	-0,0259252	kNm
SEGMENT DE					
FEMD	=	95581,1271	Nmm	0.09558113	kNm
FEME	=	-95581,127	Nmm	-0,0955811	kNm
SEGMENT EF					
FEME	=	95581,1271	Nmm	0,09558113	kNm
FEMF	=	-95581,127	Nmm	-0,0955811	kNm
SEGMENT FG					
FEMF	=	3494102.12	Nmm	3,49410212	kNm
FEMG	=	-2729937.6	Nmm	-2,7299376	kNm
SEGMENT GH					
FEMG	=	45053,6457	Nmm	0,04505365	kNm
FEMH	=	-45053,646	Nmm	-0,0450536	kNm
SEGMENT HI					
FEMH	=	33994,5144	Nmm	0,03399451	kNm
FEMI	=	-33994,514	Nmm	-0,0339945	kNm
SEGMENT IJ					
FEMI	=	57613,7957	Nmm	0,0576138	kNm
FEMJ	=	-57613,796	Nmm	-0,0576138	kNm
SEGMENT JK					
FEMJ	=	45053.6457	Nmm	0,04505365	kNm
FEMK	=	-45053.646	Nmm	-0,0450536	kNm
SEGMENT KL					
FEMK	=	45053.6457	Nmm	0,04505365	kNm
FEML	=	-45053.646	Nmm	-0,0450536	kNm
SEGMENT LM					
FEML	=	798692,975	Nmm	0,79869298	kNm
FEMM	=	-2290591,2	Nmm	-2,2905912	kNm
SEGMENT MN					
FEMM	=	64456,7527	Nmm	0,06445675	kNm
FEMN	=	-64456,753	Nmm	-0,0644568	kNm

Sumber : Dokumen Penulis, 2026

C. Reaksi Setiap Segmen

Pada tahap ini, akan dilakukan perhitungan reaksi yang terjadi pada setiap segmen dengan beban yang sudah ada pada Tabel 4.11. Sebagai contoh, akan dilakukan perhitungan pada segmen AB sebagai berikut:

Segmen AB

$$\Sigma MA = (-q_{AB} \times a) + FEMA + FEMB$$

$$= -128252,7861 \quad \text{Nmm}$$

$$= -0,128252786 \quad \text{kNm}$$

$$\Sigma MB = (q_{AB} \times b) + FEMA + FEMB$$

$$= 128252,7861 \quad \text{Nmm}$$

$$= 0,128252786 \quad \text{kNm}$$

$$RA = \Sigma MB / L$$

$$= 400,7899565 \quad \text{N}$$

$$= 0,400789956 \quad \text{kN}$$

$$\Sigma FB = (-q_{AB}) + RA + RB$$

$$-RB = -267,7603 \quad \text{N}$$

$$= -0,2678 \quad \text{kN}$$

$$RB = 267,7603 \quad \text{N}$$

$$= 0,2678 \quad \text{kN}$$

Tabel 4. 14 Perhitungan Reaksi dan Momen

Segmen	$\Sigma MA \text{ (kN)}$	$\Sigma MB \text{ (kN)}$	RA	$\Sigma FB = (-q_{AB}) + RA + RB$	
	$(-q_{AB} \times a) + FEMA + FEMB$	$(q_{AB} \times b) + FEMA + FEMB$		-RB	RB
AB	-0.1283	0.1283	0.4008	-0.2678	0.2678
BC 1	1.1083	1.3222	4.1320	0.0035	-3.4634
BC 2	-2.1365	10.9435	34.1985	-0.0067	6.6765
CD	-0.0857	0.0857	0.2677	-0.3442	0.3442
DE	-0.3195	0.3195	0.5325	-0.5325	0.5325
EF	-0.3195	0.3195	0.5325	-0.5325	0.5325
FG1	0.4447	1.0837	1.8061	0.7411	-0.7411
FG2	-9.9451	14.5799	24.2999	-16.5751	16.5751
GH	-0.1497	0.1497	0.3838	-0.3838	0.3838
HI	-0.1126	0.1126	0.3414	-0.3414	0.3414
IJ	-0.1786	0.1786	0.3969	-0.3969	0.3969
JK	-0.1497	0.1497	0.3838	-0.3838	0.3838
KL	-0.1497	0.1497	0.3838	-0.3838	0.3838
LM1	-1.6416	-1.3422	-3.4416	-4.2092	4.2092
LM2	-13.4274	2.5139	6.4458	-34.4292	34.4292
MN	-0.1960	0.1960	0.4083	-0.4083	0.4083

Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Tabel 4.14 memaparkan hasil perhitungan reaksi. Hasil perhitungan disajikan dalam bentuk tabel, dan perhitungan secara rinci akan dilampirkan.

D. Total Reaksi dan Momen

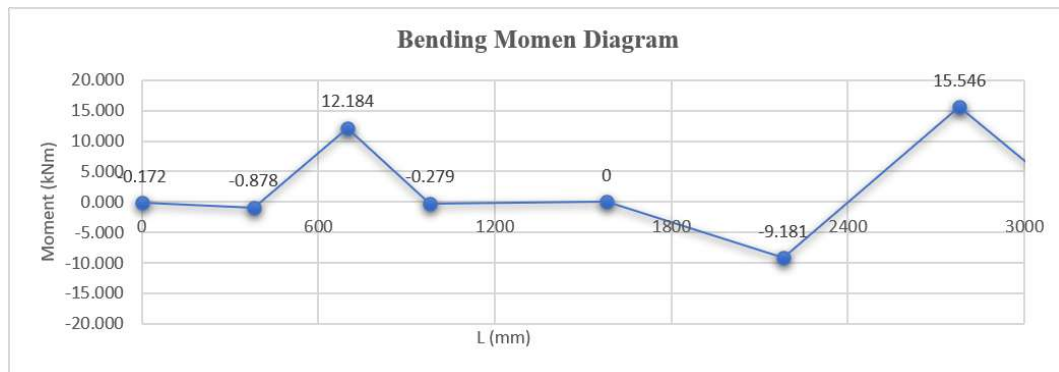
Setelah melakukan proses perhitungan momen dan reaksi, maka resume hasil disajikan dalam bentuk tabel 4.15. Tabel tersebut memaparkan hasil perhitungan pada setiap tumpuan A – N.

Tabel 4. 15 Resume Reaksi dan Momen

Tumpuan	Reaksi (kN)	Momen (kNm)	L (mm)
A	0,401	-0,128	0
B	38,598	-0,900	380
C	3,481	12,180	700
D	0,877	-0,234	980
E	1,065	0	1580
F	26,638	-9,181	2180
G	16,218	15,514	2780
H	0,725	0,037	3170
I	0,738	-0,066	3500
J	0,781	0,029	3950
K	0,768	0	4340
L	3,388	-14,919	4730
M	39,047	0,976	5120
N	0,408	0,196	5600

Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Dari Tabel 4.15 Resume reaksi dan momen, didapatkan nilai momen maksimum yang nantinya akan digunakan pada perhitungan tegangan manual, yaitu sebesar 15,514 kN/mm.



Gambar 4. 8 Diagram Bending Momen
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Pada kurva momen pada Gambar 4.8 terlihat bahwa momen negatif maksimum terjadi tepat pada titik-titik tumpuan, yang mengindikasikan adanya struktur yang menahan lendutan akibat beban *auxiliary engine*. Sebaliknya, nilai momen positif menandakan area yang tidak terkena beban langsung atau di antara tumpuan.

4.7.2 Momen Pondasi Modifikasi

Tabel 4. 16 Pembagian Beban Free Body Diagram

Segmen	Panjang (L)	Titik Berat konstruksi (mm)	Titik Berat Eksternal (mm)	Berat konstruksi q (Kg)	Berat konstruksi q (N)	Berat Eksternal F (Kg)	Berat Eksternal F (N)
		x	x				
AB	380	190		92.508	907.499		
BC	320	160	82	82.307	807.431	4166.667	40875
CD	280	140		75.507	740.720		
DE	600	300		129.910	1274.415		
EF	600	300		129.910	1274.415		
FG	600	300	262	129.910	1274.415	4166.667	40875
GH	390	195		94.208	924.177		
HI	330	165		84.007	824.109		
IJ	450	225		104.408	1024.245		
JK	390	195		94.208	924.177		
KL	390	195		94.208	924.177		
LM	390	195	292	94.208	924.177	4166.667	40875
MN	480	240		109.509	1074.279		
	5600			1314.805	12898.239	12500	122625

Sumber : Dokumen Penulis, 2026

A. Fix End Momen Setiap Segmen

Pada tahap ini kita akan melakukan perhitungan Fix End Momen sesuai dengan ketentuan rumus pada gambar 4.7 yang memperlihatkan katalog perhitungan Fix End Momen, sebagai contoh akan dilakukan perhitungan pada Segmen AB sebagai berikut :

Segmen AB

Beban (qAB) = 907 N

L = 380 mm

a = 190 mm

b = 190 mm

$$MA = \frac{qAB \times a \times b^2}{L^2}$$

$$= \frac{907 \times 190 \times 190^2}{380^2}$$

$$= 43106,21975 \quad \text{Nmm}$$

$$= 0,043 \quad \text{kNm}$$

$$MB = - \frac{qAB \times a^2 \times b}{L^2}$$

$$= - \frac{907 \times 190^2 \times 190}{380^2}$$

$$= -43106,21975 \quad \text{Nmm}$$

$$= -0,043 \quad \text{kNm}$$

Tabel 4. 17 Perhitungan Fix and Momen (Modifikasi)

Segmen	MA1 (Nmm)	MB1 (Nmm)
	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$
AB	43106,21975	-43106,21975
BC 1	32297,25818	-32297,25818
BC 2	1854067,646	-638796,416
CD	25925,18304	-25925,18304
DE	95581,12711	-95581,12711
EF	95581,12711	-95581,12711
FG 1	95581,12711	-95581,12711
FG 2	3398520,992	-2634356,508
GH	45053,64571	-45053,64571
HI	33994,51437	-33994,51437
IJ	57613,79568	-57613,79568
JK	45053,64571	-45053,64571
KL	45053,64571	-45053,64571
LM 1	45053,64571	-45053,64571
LM 2	753639,3294	-2245537,594
MN	64456,75265	-64456,75265

Tabel 4.17 memaparkan hasil perhitungan momen seperti pada contoh di atas. Hasil perhitungan disajikan dalam bentuk tabel, dan perhitungan secara rinci akan dilampirkan.

B. Total Fix End Moment

Tabel 4.18 ini menjelaskan Total Fix End Moment pada setiap segmen tumpuan A-N dalam satuan Nmm dan kNm.

Tabel 4. 18 Resume Fix and Momen (Modifikasi)

SEGMENT AB					
FEMA	=	43106.22	Nmm	0.043106	kNm
FEMB	=	-43106.2	Nmm	-0.04311	kNm
SEGMENT BC					
FEMB	=	1886365	Nmm	1.886365	kNm
FEMC	=	-671094	Nmm	-0.67109	kNm
SEGMENT CD					
FEMC	=	25925.18	Nmm	0.025925	kNm
FEMD	=	-25925.2	Nmm	-0.02593	kNm
SEGMENT DE					
FEMD	=	95581.13	Nmm	0.095581	kNm
FEME	=	-95581.1	Nmm	-0.09558	kNm
SEGMENT EF					
FEME	=	95581.13	Nmm	0.095581	kNm
FEMF	=	-95581.1	Nmm	-0.09558	kNm
SEGMENT FG					
FEMF	=	3494102	Nmm	3.494102	kNm
FEMG	=	-2729938	Nmm	-2.72994	kNm
SEGMENT GH					
FEMG	=	45053.65	Nmm	0.045054	kNm
FEMH	=	-45053.6	Nmm	-0.04505	kNm
SEGMENT HI					
FEMH	=	33994.51	Nmm	0.033995	kNm
FEMI	=	-33994.5	Nmm	-0.03399	kNm
SEGMENT IJ					
FEMI	=	57613.8	Nmm	0.057614	kNm
FEMJ	=	-57613.8	Nmm	-0.05761	kNm

SEGMENT JK					
FEMJ	=	45053.65	Nmm	0.045054	kNm
FEMK	=	-45053.6	Nmm	-0.04505	kNm
SEGMENT KL					
FEMK	=	45053.65	Nmm	0.045054	kNm
FEML	=	-45053.6	Nmm	-0.04505	kNm
SEGMENT LM					
FEML	=	798693	Nmm	0.798693	kNm
FEMM	=	-2290591	Nmm	-2.29059	kNm
SEGMENT MN					
FEMM	=	64456.75	Nmm	0.064457	kNm
FEMN	=	-64456.8	Nmm	-0.06446	kNm

Sumber : Dokumen Penulis, 2026

C. Reaksi Setiap Segmen

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan reaksi yang terjadi pada setiap segmen dengan beban yang sudah ada pada Tabel 4.16. sebagai contoh akan dilakukan perhitungan pada segmen AB sebagai berikut :

Segmen AB

$$\Sigma MA = (-q_{AB} \times a) + FEM_A + FEM_B$$

$$= -172424,879 \quad \text{Nmm}$$

$$= -0,172424879 \quad \text{kNm}$$

$$\Sigma MB = (q_{AB} \times b) + FEM_A + FEM_B$$

$$= 172424,879 \quad \text{Nmm}$$

$$= 0,172424879 \quad \text{kNm}$$

$$R_A = \Sigma MB / L$$

$$= 538,8277469 \quad \text{N}$$

$$= 0,538827747 \quad \text{kN}$$

$$\Sigma FB = (-q_{AB}) + R_A + R_B$$

$$-R_B = -268,6037 \quad \text{N}$$

$$= -0,2686 \quad \text{kN}$$

$$R_B = 268,6037 \quad \text{N}$$

$$= 0,2686 \quad \text{kN}$$

Tabel 4. 19 Perhitungan Reaksi dan Momen (Modifikasi)

Segmen	$\Sigma MA \text{ (kN)}$	$\Sigma MB \text{ (kN)}$	RA	$\Sigma FB = (-qAB) + RA + RB$	
	$(-qAB \times a) + FEMA + FEMB$	$(qAB \times b) + FEMA + FEMB$	$\Sigma MB / L$	-RB	RB
AB	-0.1724	0.1724	0.5388	-0.2686	0.2686
BC 1	1.0861	1.3445	4.2014	0.0034	-3.3940
BC 2	-2.1365	10.9435	34.1985	-0.0067	6.6765
CD	-0.1037	0.1037	0.3241	-0.4167	0.4167
DE	-0.3823	0.3823	0.6372	-0.6372	0.6372
EF	-0.3823	0.3823	0.6372	-0.6372	0.6372
FG1	0.3818	1.1465	1.9108	0.6364	-0.6364
FG2	-9.9451	14.5799	24.2999	-16.5751	16.5751
GH	-0.1802	0.1802	0.4621	-0.4621	0.4621
HI	-0.1360	0.1360	0.4121	-0.4121	0.4121
IJ	-0.2305	0.2305	0.5121	-0.5121	0.5121
JK	-0.1802	0.1802	0.4621	-0.4621	0.4621
KL	-0.1802	0.1802	0.4621	-0.4621	0.4621
LM1	-1.6721	-1.3117	-3.3633	-4.2875	4.2875
LM2	-13.4274	2.5139	6.4458	-34.4292	34.4292
MN	-0.2578	0.2578	0.5371	-0.5371	0.5371

Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Tabel 4.19 memaparkan hasil perhitungan reaksi. Hasil perhitungan disajikan dalam bentuk tabel, dan perhitungan secara rinci akan dilampirkan.

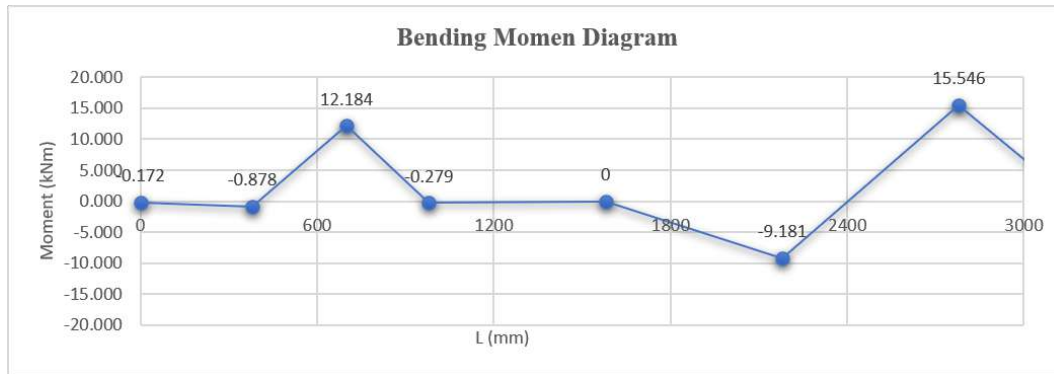
D. Total Reaksi dan Momen

Setelah melakukan proses perhitungan momen dan reaksi, resume hasil disajikan dalam bentuk Tabel 4.20. Tabel tersebut memaparkan hasil perhitungan pada setiap tumpuan A – N.

Tabel 4. 20 Resume Reaksi dan Momen (Modifikasi)

Tumpuan	Reaksi (kN)	Momen (kNm)	L (mm)
A	0,539	-0,172	0
B	38,669	-0,878	380
C	3,607	12,184	700
D	1,054	-0,279	980
E	1,274	0	1580
F	26,848	-9,181	2180
G	16,401	15,546	2780
H	0,874	0,044	3170
I	0,924	-0,094	3500
J	0,974	0,050	3950
K	0,924	0	4340
L	3,545	-14,919	4730
M	39,254	0,944	5120
N	0,537	0,258	5600

Dari perhitungan momen di atas, didapatkan nilai momen maksimum yang nantinya akan digunakan pada perhitungan tegangan manual, yaitu sebesar 15.546 kN/mm.



Gambar 4. 9 Bending Momen Diagram
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Pada kurva momen pada Gambar 4.9 terlihat bahwa momen negatif maksimum terjadi tepat pada titik-titik tumpuhan, yang mengindikasikan adanya struktur yang menahan lendutan akibat beban *auxiliary engine*. Sebaliknya, nilai momen positif menandakan area yang tidak terkena beban langsung atau di antara tumpuhan.

4.8 Perhitungan Tegangan Manual

Perhitungan tegangan ini dilakukan secara manual dengan mengacu pada ketentuan yang terdapat dalam Rules BKI. Perhitungan tersebut diterapkan pada setiap desain untuk memastikan nilai tegangan yang diperoleh sesuai dengan standar yang berlaku.

4.8.1 Tegangan Manual Pondasi Eksisting

Tabel 4. 21 Perhitungan Momen Inersia (Eksisting)

No	Item	Ket.	Jumlah	Lebar	Tinggi	Titik Berat		Luas Total	Momen Statis (m3)		Momen Inersia (m4)			
				l (m)	t (m)	X (m)	Y (m)	A= l x t (m2)	X.A	Y.A	l lokal	l add	l nm	
											A x (Y - Yb) ²	l lokal + l add		
PONDASI														
1	Top Plate	Plate	1	0.45	0.03	0.23	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Egine Girder	Plate	1	0.012	0.45	0.01	0.18	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	Bracket 1	Plate	14	0.5	0.45	0.25	0.18	2.84	0.71	0.50	0.00	0.30	0.31	
4	Bracket 2	Plate	1	0.5	0.45	0.25	0.18	0.22	0.06	0.04	0.00	0.00	0.01	
5	Bracket 3	Plate	1	0.5	0.45	0.25	0.18	0.22	0.06	0.04	0.00	0.00	0.01	
				Luasan Total :				3.30	0.82	0.58	total inersia :		0.324	

$$\begin{aligned}\text{Titik berat } (y) &= \frac{\sum Ay}{\sum A} \\ &= \frac{0,58}{3,30} \\ &= 0,177 \text{ m}\end{aligned}$$

- Momen

Nilai momen didapatkan dari perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya: $M = 15513874,02 \text{ Nmm}$.

- Tegangan Bending

$$\begin{aligned}\sigma_{normal} &= \frac{M \cdot c}{I} \\ &= \frac{15513874,02 \times 1,52}{0,324} \\ &= 72758317,37 \quad \text{N/m}^2 \\ &= 72,758 \quad \text{N/mm}^2\end{aligned}$$

Dengan :

M = momen bending (Nm)

c = jarak sumbu netral kesisi terjauh penampang (m)

I = momen inersia (m^4)

- Tegangan Geser

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{V \cdot Q}{I \cdot b} \\ &= \frac{122625 \times 0,585}{0,324 \times 0,450} \\ &= 492610,1 \quad \text{N/m}^2 \\ &= 0,49 \quad \text{N/mm}^2\end{aligned}$$

Dengan :

V = Gaya yang diberikan (N)

Q =Momen statis penampang (m^3)

I = momen inersia profil yang dipilih (m^4)

b = lebar penampang profil yang dipilih (m)

- Tegangan Ekuivalen

$$\begin{aligned}\sigma_v &= \sqrt{(\sigma_t)^2 + 3\tau^2} \\ &= \sqrt{(2,214 \text{ N/mm}^2)^2 + 3(7,12 \text{ N/mm}^2)^2} \\ &= 72,76 \text{ MPa}\end{aligned}$$

4.8.2 Tegangan Manual Pondasi Modifikasi

Tabel 4. 22 Perhitungan Momen Inersia (Modifikasi)

No	Item	Ket.	Jumlah	Lebar	Tinggi	Titik Berat		Luas Total	Momen Statis (m3)		Momen Inersia (m4)			
				l (m)	t (m)	X (m)	Y (m)	A= l x t (m2)	X.A	Y.A	I lokal	I add	I nn	
				A x (Y - Yb)²										I lokal + I add
PONDASI														
1	Top Plate	Plate	1	0.62	0.03	0.31	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Engine Girder	Plate	1	0.03	0.42	0.01	0.20	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	Spigot	Plate	6	0.05	0.10	0.03	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	Bracket 1	Plate	14	0.50	0.42	0.25	0.20	2.91	0.73	0.58	0.00	0.42	0.42	0.00
5	Bracket 2	Plate	14	0.19	0.42	0.09	0.20	1.10	0.10	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00
6	Bracket 3	Plate	1	0.50	0.42	0.25	0.20	0.21	0.05	0.04	0.00	0.01	0.01	0.00
7	Bracket 4	Plate	1	0.50	0.42	0.25	0.20	0.21	0.05	0.04	0.00	0.01	0.01	0.00
Luasan Total :								4.48	0.94	0.88	Total inersia :			0.440

Sumber : Dokumen Penulis, 2026

$$\begin{aligned}\text{Titik berat (y)} &= \frac{\sum Ay}{\sum A} \\ &= \frac{69,193}{37,109} \\ &= 0,536 \text{ m}\end{aligned}$$

- Momen

Nilai momen didapatkan dari perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya: $M = 15546188,89 \text{ Nmm}$.

- Tegangan Bending

$$\begin{aligned}\sigma_{normal} &= \frac{M \cdot c}{I} \\ &= \frac{15546188,89 \times 1,50}{0,44} \\ &= 52990170,771 \text{ N/m}^2 \\ &= 52,990 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Dengan :

M = momen bending (Nm)

c = jarak sumbu netral kesisi terjauh penampang (m)

I = momen inersia (m⁴)

- Tegangan Geser

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{V \cdot Q}{I \cdot b} \\ &= \frac{122625 \times 0,882}{0,44 \times 0,620} \\ &= 396732,68 \quad \text{N/m}^2 \\ &= 0,40 \quad \text{N/mm}^2\end{aligned}$$

Dengan :

V = Gaya yang diberikan (N)

Q = Momen statis penampang (m³)

I = momen inersia profil yang dipilih (m⁴)

b = lebar penampang profil yang dipilih (m)

- Tegangan Ekuivalen

$$\begin{aligned}\sigma_v &= \sqrt{(\sigma_t)^2 + 3\tau^2} \\ &= \sqrt{(2,214 \text{ N/mm}^2)^2 + 3(7,12 \text{ N/mm}^2)^2} \\ &= 52,99 \text{ MPa}\end{aligned}$$

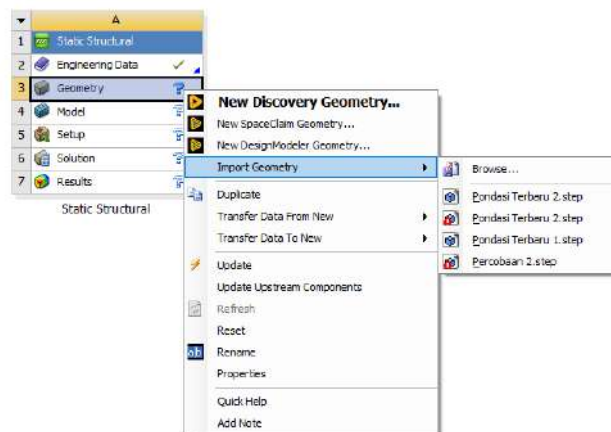
4.9 Analisis Tegangan dan Deformasi Dengan Software

Analisis tegangan dengan *finite element method* ini menggunakan *Static Structural* sebagai tipe analisis sistemnya. Berikut adalah langkah pengerjaan analisis :

4.9.1 Impor Model

Langkah awal dalam melakukan analisis model pondasi *auxiliary engine* adalah memilih jenis analisis yang akan dilakukan. Dalam software FEM, terdapat

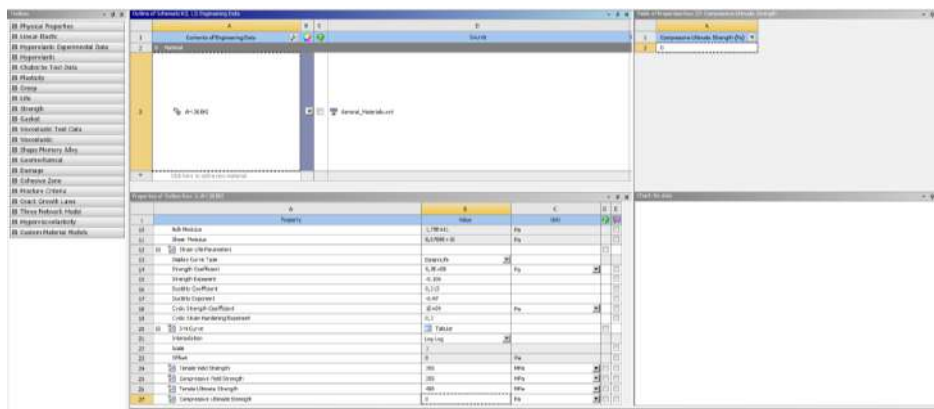
berbagai opsi analisis seperti *static structur*, tehermal, fluida, dan CFD. Pemilihan jenis analisis harus disesuaikan dengan kebutuhan analisis yang dilakukan. Dalam penelitian ini, jenis analisis yang akan digunakan adalah analisis struktural statis.



Gambar 4. 10 Import Model (Software Ansys)
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

4.9.2 Engineering Data

Sebelum melakukan simulasi, langkah awal yang perlu dilakukan adalah penyesuaian data material pada engineering data. Tahap ini dilakukan dengan memasukkan data dari sifat mekanik material meliputi massa jenis material, poisson ratio, dan modulus elastisitas yang dimasukkan secara manual pada kolom engineering data.



Gambar 4. 11 Engineering Data (Software Ansys)
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

4.9.3 Boundary Condition

Berikut letak *boundary condition* (kondisi batas) dan beban yang akan diaplikasikan pada struktur pondasi yang akan dianalisis.

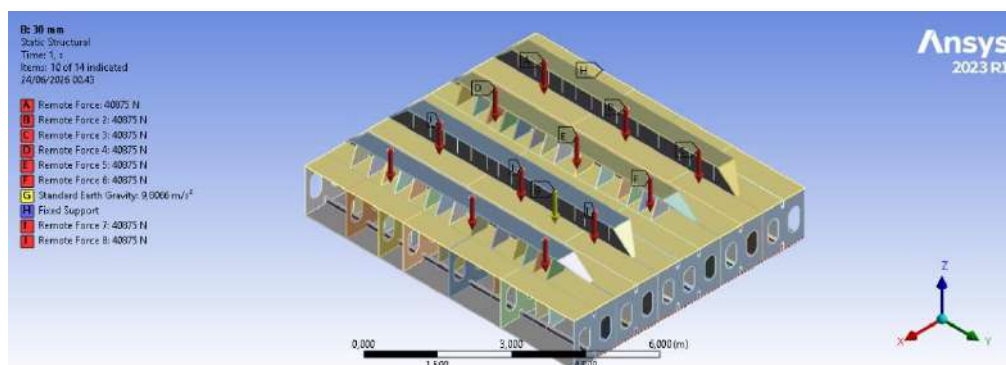
A - F = *Remote Force*, pada pondasi 1 yang terletak pada 6 titik yang merupakan tumpuan dari *Auxiliary Engine*.

G = Standar gravitasi Bumi $9,81 \text{ m/s}$ akibat adanya gaya gravitasi bumi.

H = *Fiks Support*, yang terletak setiap sisi konstruksi

I - N = *Remote Force*, pada pondasi 2 yang terletak pada 6 titik yang merupakan tumpuan dari *Auxiliary Engine*.

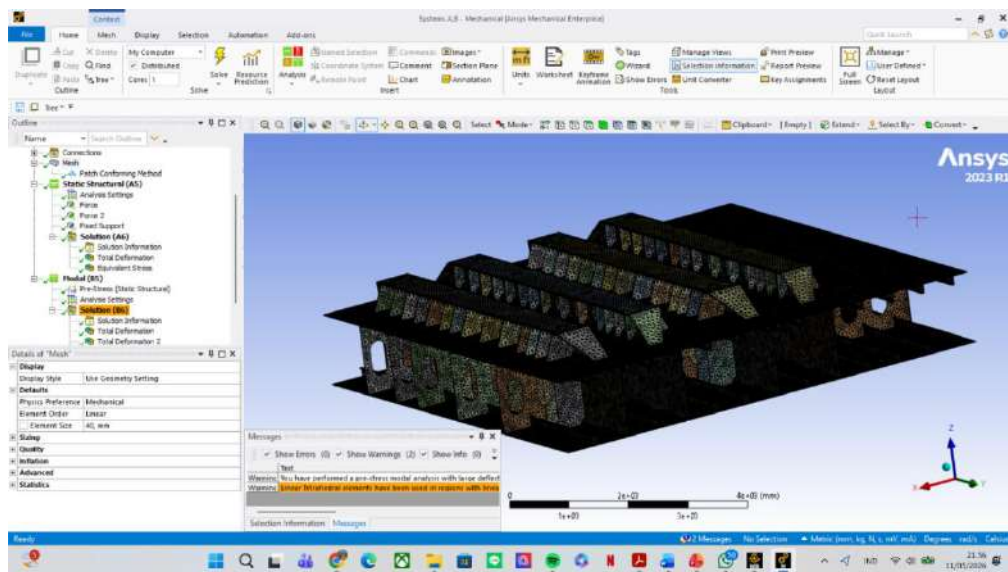
Pada pemodelan ini, menggunakan *remote force* karena beban akibat *iry engine* tidak terdistribusi secara merata.



Gambar 4. 12 Boundry Condition
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

4.9.4 Meshing

Proses meshing merupakan tahap yang sangat penting, karena memengaruhi hasil akhir dari simulasi yang dilakukan. Pada tahap ini, model tiga dimensi dari setiap objek akan dibagi menjadi elemen-elemen yang lebih kecil untuk analisis lebih lanjut.



Gambar 4. 13 Meshing
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

4.9.5 Hasil Analisis

1. Model Eksisting

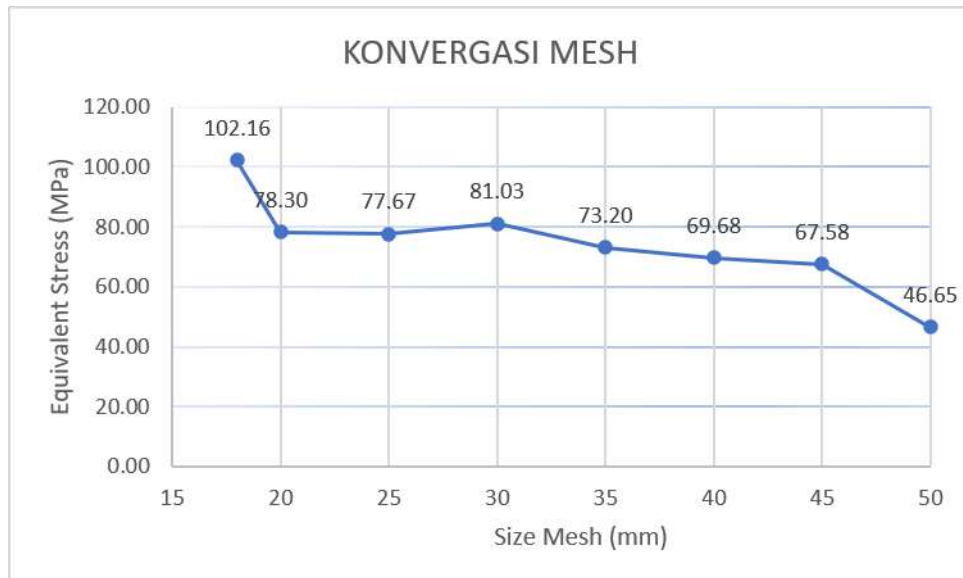
Sebelum melakukan analisis, diperlukan uji konvergensi terlebih dahulu pada model yang akan dianalisis. Uji konvergensi melibatkan perbandingan antara beberapa opsi ukuran meshing dan jumlah elemen dalam satu model, dengan tujuan akhir mencapai hasil yang paling optimal. Berikut adalah hasil konvergensi dari desain awal :

Tabel 4. 23 Konvergensi Mesh (Model Eksisting)

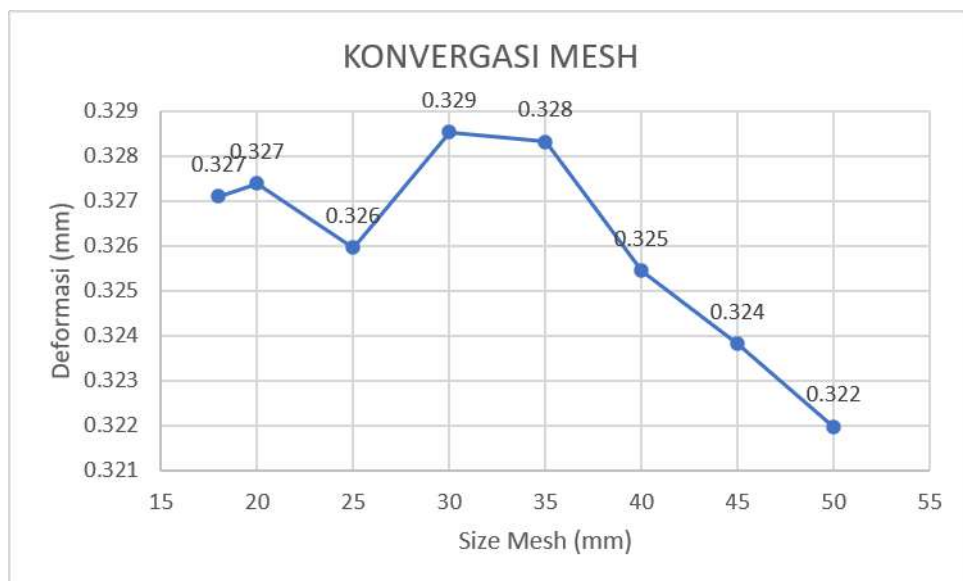
No	Size Mesh (mm)	Equivalent Stress (Mpa)		Deformasi (mm)	Selisih Stress (%)	Selisih Deformasi
		Max	Min			
1	18	102,16	7,3021	0,327		
2	20	78,30	0,00011173	0,327	23,4%	0,4%
3	25	77,67	0,00013947	0,326	0,8%	-0,8%
4	30	81,03	0,00025467	0,329	-4,3%	0,1%
5	35	73,20	0,00018954	0,328	9,7%	0,9%
6	40	69,68	0,00027508	0,325	4,8%	0,5%
7	45	67,58	0,00023667	0,324	3,0%	0,6%
8	50	46,65	0,00030085	0,322	31,0%	0,6%

Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Berdasarkan Tabel 4.23 konvergensi mesh, berikut adalah gambar grafik konvergensi dari model eksisting.

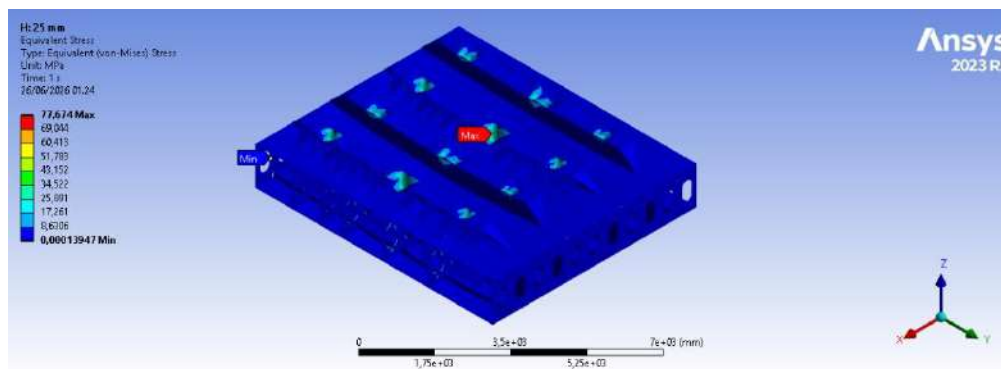


Gambar 4. 14 Grafik Konvergensi Mesh (Model Eksisting)
Sumber : Dokumen Penulis, 2026



Gambar 4. 15 Grafik Konvergensi Mesh Deformasi (Model Eksisting)
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

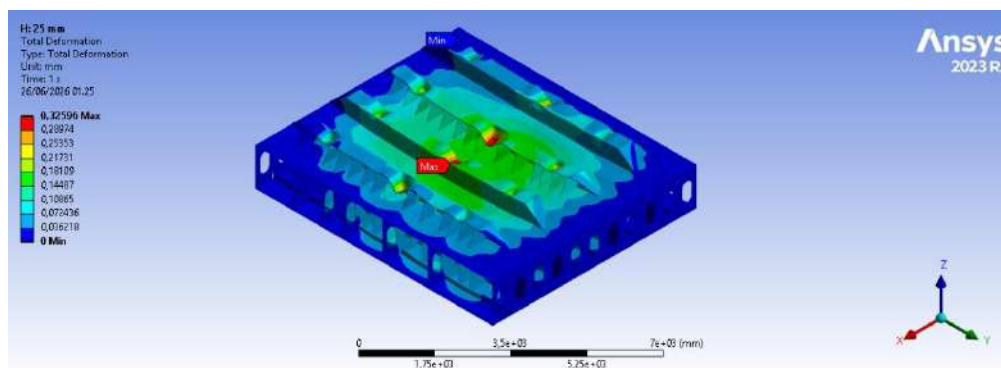
Berdasarkan grafik konvergensi, ukuran mesh yang dipilih adalah 40 mm. Hasil simulasi tegangan ekuivalen ditampilkan.



Gambar 4. 16 Tegangan Ekuivalent (Model Eksisting)
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Pada Gambar 4.16 di atas, dapat diketahui bahwa nilai tegangan equivalent maksimum struktur tersebut adalah sebesar 77,674 MPa.

Untuk hasil deformasi maksimum dari model tersebut dapat dilihat pada Gambar berikut:



Gambar 4. 17 Deformasi (Model Eksisting)
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Pada Gambar 4.17 di atas, dapat diketahui bahwa nilai deformasi maksimum struktur tersebut adalah sebesar 0,32 mm.

2. Model Modifikasi

Sebelum melakukan analisis, diperlukan uji konvergensi terlebih dahulu pada model yang akan dianalisis. Uji konvergensi melibatkan perbandingan antara beberapa opsi ukuran meshing dan jumlah elemen dalam satu model, dengan tujuan

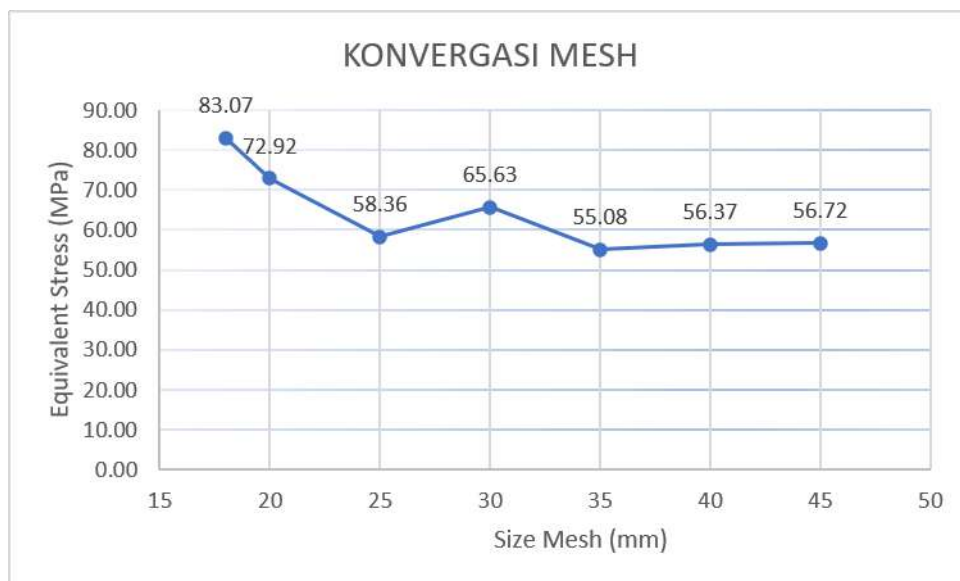
akhir mencapai hasil yang paling optimal. Berikut adalah hasil konvergensi dari desain awal :

Tabel 4. 24 Konvergensi Meshing (Model Modifikasi)

No	Size Mesh (mm)	Equivalent Stress (MPa)		Deformasi (mm)	Selisih Stress (%)	Selisih Deformasi
		Max	Min			
1	18	83,07	0,00010191	0,462		
2	20	72,92	0,00013227	0,461	12,2%	0,1%
3	25	58,36	0,00014118	0,461	20,0%	0,0%
4	30	65,63	0,00010049	0,459	-12,5%	0,4%
5	35	55,08	0,00028847	0,459	16,1%	0,0%
6	40	56,37	0,0002135	0,459	-2,4%	0,0%
7	45	56,72	0,00025643	0,454	-0,6%	1,1%

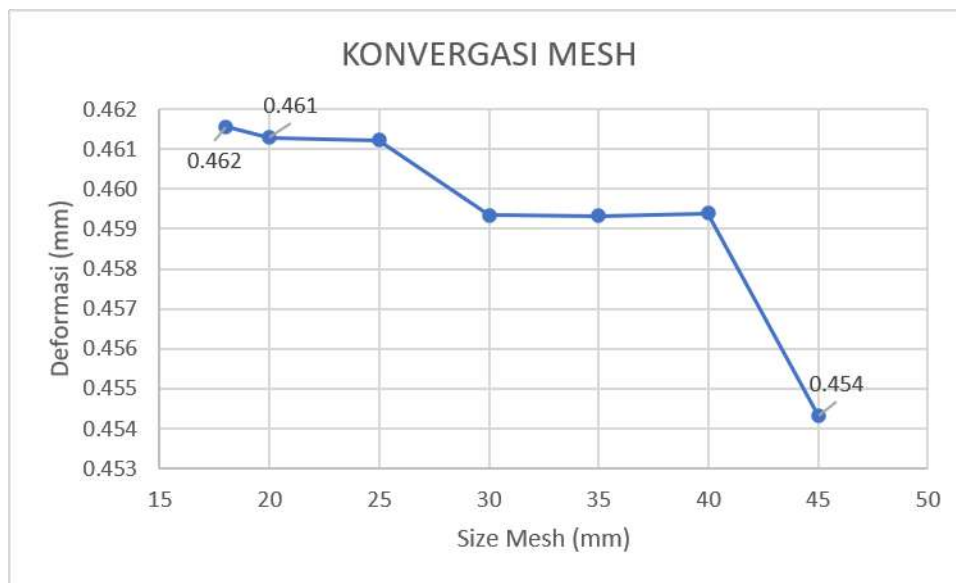
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Berdasarkan Tabel 4.24 konvergensi mesh di atas, berikut adalah gambaran grafik konvergensi dari model modifikasi.



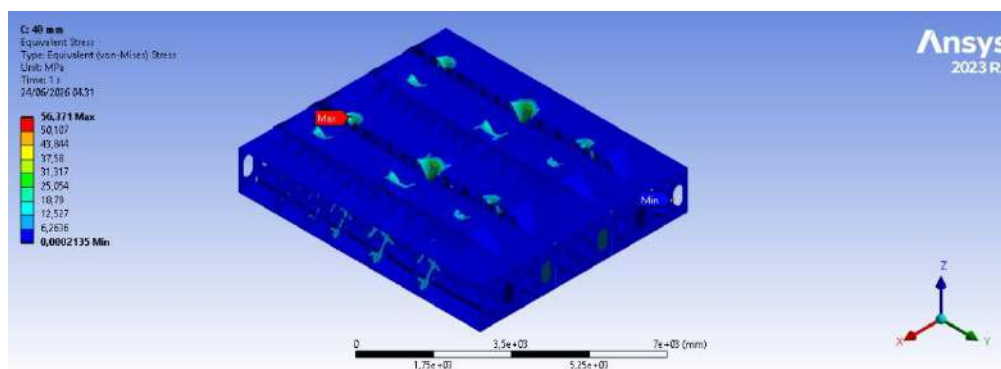
Gambar 4. 18 Grafik Konvergensi Mesh (Model Modifikasi)

Sumber : Dokumen Penulis, 2026



Gambar 4. 19 Grafik Konvergensi Mesh Deformasi (Model Modifikasi)
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

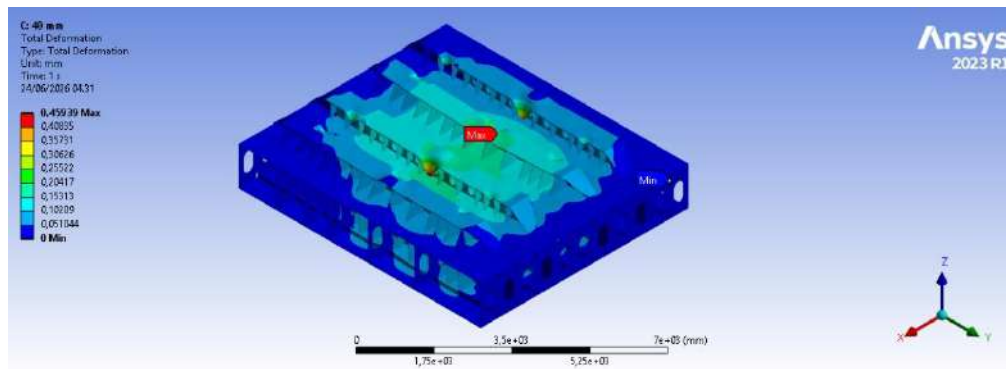
Berdasarkan grafik konvergensi, ukuran mesh yang dipilih adalah 40 mm. Hasil simulasi tegangan ekuivalen ditampilkan.



Gambar 4. 20 Tegangan Ekuivalent (Model Modifikasi)
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Pada Gambar 4.20 di atas, dapat diketahui bahwa nilai tegangan equivalent maksimum struktur tersebut adalah sebesar 56,371 MPa.

Untuk hasil deformasi maksimum dari model tersebut dapat dilihat pada Gambar berikut:



Gambar 4. 21 Deformasi (model modifikasi)
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Pada Gambar 4.21 di atas, dapat diketahui bahwa nilai deformasi maksimum struktur tersebut adalah sebesar 0,45939 mm.

4.9.6 Presentase Error Perhitungan Manual dan *Software*

Nilai persentase error dihitung dengan membandingkan hasil perhitungan tegangan manual dengan hasil analisis menggunakan software untuk mengetahui tingkat kesesuaian metode analitik dan numerik (*software*). Nilai error dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini.

$$A = \pi r^2$$

Berikut adalah rekap hasil presentase error dari perhitungan tegangan manual dan analisis dengan software yang telah dilakukan :

Tabel 4. 25 Presentase Error

Perhitungan Manual (MPa)	Analisis Software (MPa)	Error (%)
52,99	56,37	5,99 %
72,76	77,67	6,32 %

Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Berdasarkan Tabel 4.25 yang memaparkan hasil analisis analitis dan numerik dengan persentase perbandingan yang cukup akurat, ini membuktikan bahwa pendefinisian beban, tumpuan, dan material pada simulasi *software Ansys* telah merepresentasikan kondisi aktual.

4.9.7 Safety Factor

Langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi dan pengujian pada tiap model, serta melakukan analisis faktor keamanan (*safety factor*) pada tiap-tiap model yang sudah dilakukan pengujian. Hasil dari analisis *safety factor* bisa dilihat pada tabel dibawah untuk *safety factor* menurut standart BKI

Menurut Biro Klasifikasi Indonesia (2022) Vol II *Rules for Hull* Bab 3 – *Prinsip Desain* Part F faktor keamanan untuk struktur dengan beban statis digunakan *safety factor* sebesar 1,2 untuk struktur yang secara eksklusif terkena beban lokal.

Tabel 4. 26 Resume Analisis Safety Factor

Model	Hasil Tegangan	Tegangan Izin	<i>Safety Factor</i>	Standar	Status
Eksisting	77,67	319,4	4,11	1,2	Memenuhi
Modifikasi	56,37	319,4	5,67	1,2	Memenuhi

Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Tabel 4. 27 Resume Analisis Deformasi

Model	Deformasi Software (mm)	Deformasi Maks (mm)	Status
Eksisting	0,32596	1,2	Memenuhi
Modifikasi	0,45939	1,2	Memenuhi

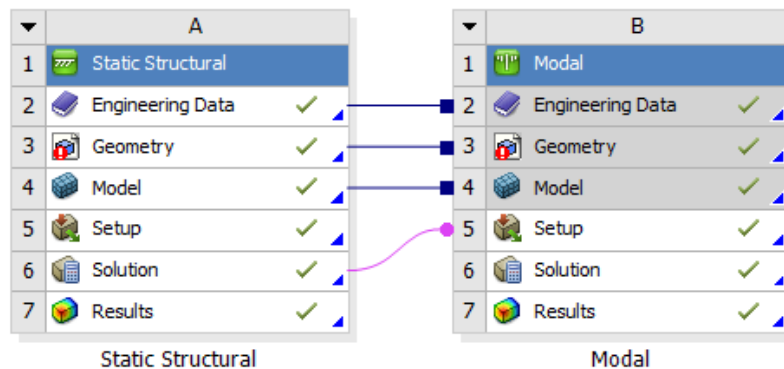
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Tabel 4.26 memaparkan hasil analisis tegangan pada setiap model dengan nilai tegangan masing-masing yang akan dihitung menggunakan rumus 2.7. Maka muncul nilai *safety factor* yang harus memenuhi standar BKI. Pada analisis yang terjadi, kedua pondasi memenuhi standar class BKI.

4.10 Analisis Frekuensi Natural

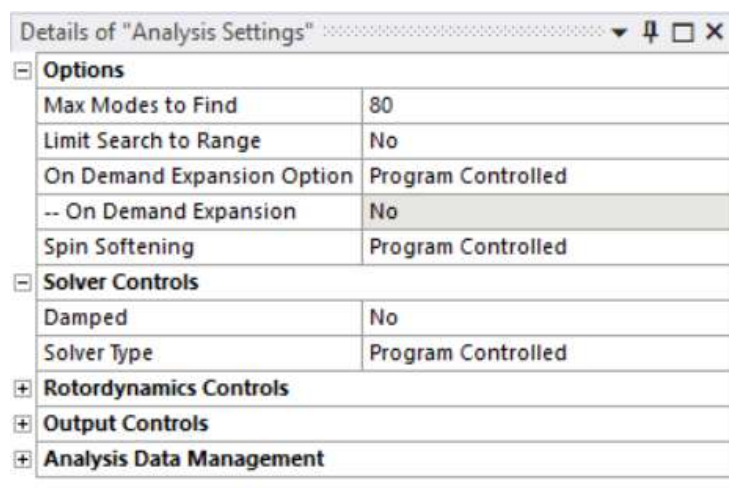
Untuk mengetahui dan menentukan karakteristik getaran (frekuensi natural dan modulus getar) dari struktur pondasi *auxiliary engine* pada penelitian ini digunakan Analisis Modal menggunakan FEM.

4.10.1 Input Modal Analysis



Gambar 4. 22 Input Modal Analysis
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Mode shape merupakan bentuk sesaat dari suatu struktur pada frekuensi alami tertentu. Frekuensi alami dan mode shape ini mencirikan perilaku dinamis dasar struktur. Bentuk ini merupakan indikasi bagaimana struktur akan merespon pembebanan secara dinamis. Struktur bisa memiliki frekuensi natural tak terbatas dengan bentuk mode tak terhingga namun hanya beberapa yang pertama saja yang memberikan pengaruh signifikan. Oleh karena itu, penting untuk menentukan jumlah mode yang akan ditampilkan. Pada bagian Analysis Settings, diterapkan maksimal 80 mode.



Gambar 4. 23 Analisis Setting Modal
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Analisis modal dilakukan dengan memasukkan sebagian besar mode signifikan, yang berarti harus mengekstrak sejumlah besar mode untuk evaluasi.

Hal ini dapat diketahui dari *total ratio effective mass* dari total massa keseluruhan, jika hasil total rasio mendekati ± 0.9 sudah cukup digunakan sebagai acuan. Jika masih belum memenuhi, maka perlu ditambahkan jumlah mode yang harus di ekstraksi.

Hasil ini dapat ditemui pada bagian Solution Information Modal Analysis, lalu cari tabel *Participation Factor Calculation*. Dalam tabel tersebut dicantumkan respons struktural pada setiap 6 derajat kebebasan, yaitu pada translasi di sumbu X,Y,Z dan rotasi di sumbu X,Y,Z. Sebagai contoh, pada tabel di bawah ini ditunjukkan nilai besaran rasio massa efektif struktur.

***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** 2 DIRECTION							
MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC.FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	81.5356	0.12265E-01	4.2915	1.000000	18.4166	0.820603	0.640720
2	106.168	0.94190E-02	-0.68923	0.160605	0.475035	0.841770	0.165266E-01
3	139.250	0.71813E-02	-0.80751E-01	0.018817	0.652071E-02	0.842060	0.226858E-03
4	149.746	0.66780E-02	1.0985	0.255966	1.20663	0.895825	0.419790E-01
5	152.654	0.65508E-02	0.20906E-01	0.004872	0.437071E-03	0.895844	0.152059E-04
6	155.324	0.64381E-02	-1.1191	0.260765	1.25230	0.951644	0.435678E-01
7	166.857	0.59932E-02	-0.23764	0.055376	0.564737E-01	0.954160	0.196474E-02
8	172.080	0.58113E-02	0.51805E-01	0.012072	0.268375E-02	0.954280	0.933687E-04
9	174.266	0.57383E-02	0.50724	0.118198	0.257292	0.965744	0.895129E-02
10	185.557	0.53892E-02	-0.38535	0.089795	0.148496	0.972361	0.516622E-02
11	188.094	0.53165E-02	0.59822	0.139397	0.357862	0.988306	0.124502E-01
12	188.825	0.52959E-02	0.51229	0.119374	0.262441	1.00000	0.913040E-02
sum				22.4428			0.780792

Gambar 4. 24 Contoh Participation Factor Calculation
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Untuk menentukan mode signifikan, dapat dilihat pada besarnya nilai faktor partisipasi beban (*participation factor*) dan massa efektif (*effective mass*), keduanya mengukur jumlah massa yang bergerak di setiap arah untuk setiap mode. Nilai tertinggi dalam arah tertentu menunjukkan bahwa mode akan tereksitasi oleh gaya eksitasi ke arah tersebut.

4.10.2 Hasil Analisis

Dalam hasil analisis ini ditampilkan hasil analisis dari modal analysis berupa frekuensi natural, dimana secara umum dapat dihitung dengan rumus :

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Sehingga, hasil yang didapatkan dari analisis oleh software FEM dapat diketahui :

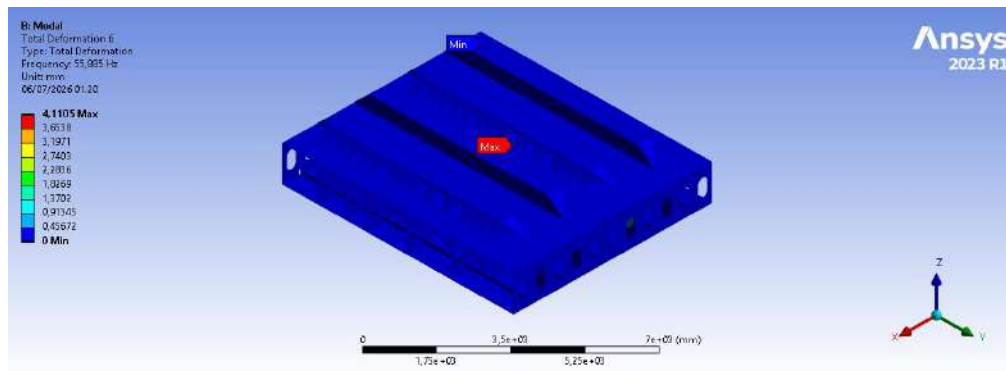
- Model Eksisting

Setelah proses setting analisis selesai dilakukan, model struktur siap untuk dianalisis. Hasil analisis yang ditampilkan mencakup nilai frekuensi natural, partisipasi massa, hingga massa efektif dari struktur pondasi main engine, sebagaimana ditunjukkan pada gambar di bawah ini.

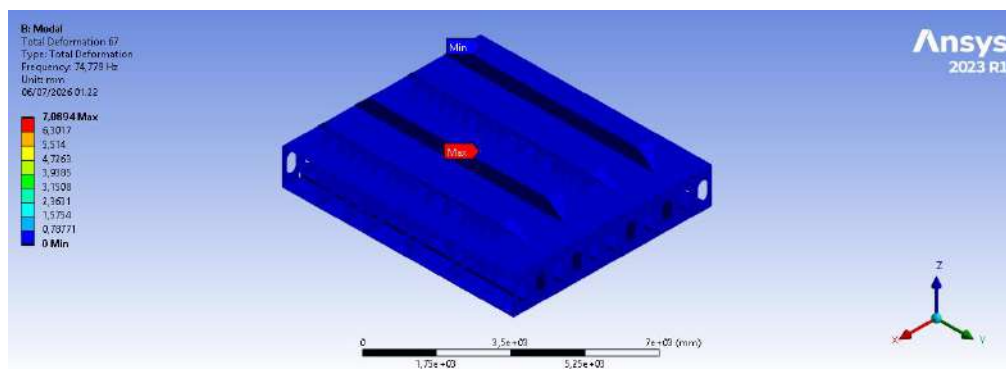
***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** Y DIRECTION									
MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC. FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF. MASS	TO TOTAL MASS	
1	49.3412	0.20267E-01	0.17752	0.330943	0.315142E-01	0.131219E-01	0.126288E-02		
2	49.8218	0.20072E-01	0.18406	0.343137	0.338792E-01	0.272285E-01	0.135765E-02		
3	50.1102	0.19956E-01	0.17157	0.319846	0.294360E-01	0.394851E-01	0.117960E-02		
4	50.1719	0.19931E-01	0.15756	0.293720	0.248236E-01	0.498211E-01	0.994766E-03		
5	55.7851	0.17926E-01	0.57296E-02	0.010681	0.328280E-04	0.498348E-01	0.121553E-05		
6	55.8848	0.17894E-01	0.51498	0.960040	0.265302	0.160260	0.106275E-01		
7	55.9162	0.17884E-01	0.14856	0.276944	0.220659E-01	0.169449	0.884376E-03		
8	56.0249	0.17849E-01	-0.48556E-02	0.009108	0.238694E-04	0.169459	0.956527E-06		
9	56.2711	0.17771E-01	0.34947E-01	0.065149	0.122129E-02	0.169967	0.489411E-04		
10	56.2900	0.17765E-01	0.13936	0.259800	0.194212E-01	0.178054	0.778274E-03		
11	56.3665	0.17741E-01	0.73207E-01	0.136474	0.535922E-02	0.180285	0.214762E-03		
12	56.3995	0.17731E-01	0.44608	0.831607	0.198992	0.263141	0.797426E-02		
13	56.9251	0.17567E-01	0.31993E-01	0.059643	0.102357E-02	0.263567	0.410178E-04		
14	56.9663	0.17557E-01	0.33517E-01	0.062484	0.112341E-02	0.264035	0.450189E-04		
15	57.0752	0.17521E-01	0.14473E-01	0.026980	0.209454E-03	0.264122	0.839351E-05		
16	57.1221	0.17506E-01	0.13101E-01	0.024424	0.171644E-03	0.264194	0.687836E-05		
17	57.9500	0.17256E-01	0.39318	0.732974	0.154588	0.328561	0.619486E-02		
18	58.1607	0.17194E-01	0.29118	0.542832	0.847870E-01	0.363865	0.339770E-02		
19	59.0601	0.16932E-01	0.22752E-01	0.042416	0.517676E-03	0.364080	0.207450E-04		
20	59.2219	0.16886E-01	0.11988E-01	0.022348	0.143707E-03	0.364140	0.575882E-05		
21	61.9034	0.16154E-01	0.18573	0.346242	0.344951E-01	0.378503	0.138234E-02		
22	62.0386	0.16119E-01	0.17622	0.328508	0.310521E-01	0.391433	0.124436E-02		
23	62.1503	0.16090E-01	0.18484	0.344589	0.341666E-01	0.405659	0.136917E-02		
24	62.2112	0.16074E-01	0.16598E-01	0.030942	0.275492E-03	0.405774	0.110399E-04		
25	62.2633	0.16061E-01	0.17597	0.328041	0.309639E-01	0.418666	0.124082E-02		
26	62.3202	0.16046E-01	-0.20023E-01	0.037328	0.400928E-03	0.418833	0.160665E-04		
27	62.6436	0.15963E-01	0.18346	0.342008	0.336567E-01	0.432847	0.134874E-02		
28	62.8623	0.15908E-01	0.18292	0.341006	0.334597E-01	0.446779	0.134084E-02		
29	69.5393	0.14380E-01	0.42733E-01	0.079665	0.182613E-02	0.447540	0.731799E-04		
30	69.7445	0.14338E-01	0.51095E-01	0.095254	0.261073E-02	0.448627	0.104621E-03		
31	69.9241	0.14301E-01	0.19223	0.358369	0.369539E-01	0.464014	0.148087E-02		
32	70.0719	0.14271E-01	0.28732E-02	0.005356	0.825520E-05	0.464017	0.330814E-06		
33	70.6306	0.14158E-01	-0.62718E-01	0.116921	0.393356E-02	0.465655	0.157631E-03		
34	70.7085	0.14143E-01	-0.32116E-01	0.059873	0.103146E-02	0.466084	0.412342E-04		
35	70.7495	0.14134E-01	-0.32917E-01	0.061366	0.108356E-02	0.466526	0.424217E-04		
36	70.8352	0.14117E-01	0.95239E-02	0.017755	0.907049E-04	0.466573	0.363485E-05		
37	70.9019	0.14104E-01	0.21972	0.409606	0.482759E-01	0.486674	0.193458E-02		
38	70.9734	0.14090E-01	0.17745	0.330817	0.314902E-01	0.499786	0.126192E-02		
39	71.3201	0.14021E-01	0.13290	0.230981	0.153816E-01	0.506178	0.615189E-03		
40	71.3451	0.14016E-01	-0.38221E-01	0.071253	0.146086E-02	0.506787	0.885416E-04		
41	71.3452	0.14016E-01	0.23243	0.432296	0.540217E-01	0.529280	0.216482E-02		
42	71.3878	0.14008E-01	-0.39815E-01	0.074225	0.158526E-02	0.529940	0.635265E-04		
43	71.4589	0.13994E-01	-0.93891E-01	0.175035	0.881556E-02	0.533611	0.353269E-03		
44	71.5957	0.13967E-01	-0.36494E-01	0.068034	0.133183E-02	0.534165	0.533709E-04		
45	72.1241	0.13865E-01	-0.24391E-01	0.045471	0.594931E-03	0.534413	0.238409E-04		
46	72.2134	0.13848E-01	0.67061E-01	0.125018	0.449721E-02	0.536286	0.180218E-03		
47	72.2552	0.13820E-01	-0.77829E-01	0.143091	0.605733E-02	0.538808	0.242738E-03		
48	72.4015	0.13812E-01	-0.78916E-01	0.147118	0.622774E-02	0.541401	0.249566E-03		
49	72.6952	0.13756E-01	0.19610	0.365573	0.384546E-01	0.557413	0.154100E-02		
50	72.7635	0.13743E-01	0.19488	0.363295	0.379766E-01	0.573225	0.152185E-02		
51	72.8595	0.13725E-01	-0.35602E-01	0.066271	0.126753E-02	0.573753	0.507942E-04		
52	73.0064	0.13697E-01	-0.66353E-01	0.123698	0.440276E-02	0.575586	0.176434E-03		
53	73.2579	0.13650E-01	0.74575E-01	0.139025	0.556144E-02	0.577902	0.222865E-03		
54	73.3497	0.13632E-01	0.18662	0.347906	0.348275E-01	0.592403	0.139565E-02		
55	73.6227	0.13583E-01	0.19975	0.372384	0.399006E-01	0.609017	0.159895E-02		
56	73.6739	0.13573E-01	0.15311	0.285441	0.234439E-01	0.618779	0.939477E-03		
57	73.7562	0.13558E-01	0.24772	0.461801	0.613622E-01	0.644329	0.245903E-02		
58	73.7893	0.13552E-01	0.40645E-01	0.075773	0.165205E-02	0.645017	0.662032E-04		
59	73.8528	0.13540E-01	0.48086E-01	0.089643	0.231224E-02	0.645980	0.926591E-04		
60	73.9115	0.13530E-01	0.15940	0.297153	0.254074E-01	0.656559	0.101816E-02		
61	74.0900	0.13497E-01	-0.30791E-01	0.057402	0.948082E-03	0.656954	0.379928E-04		
62	74.1141	0.13499E-01	0.75479E-01	0.140711	0.569711E-02	0.659326	0.228302E-03		
63	74.1527	0.13486E-01	0.16862	0.314352	0.284235E-01	0.671165	0.113943E-02		
64	74.1676	0.13489E-01	0.69415E-01	0.129406	0.481846E-02	0.672171	0.192092E-03		
65	74.1865	0.13480E-01	0.14240E-01	0.026548	0.202791E-03	0.673256	0.812652E-05		
66	74.5278	0.13418E-01	-0.11091E-01	0.020677	0.123020E-03	0.673307	0.492983E-05		
67	74.7794	0.13373E-01	0.53641	1.000000	0.287729	0.793116	0.115307E-01		
68	74.8027	0.13368E-01	0.10758	0.200560	0.115741E-01	0.797933	0.463813E-03		
69	74.8409	0.13362E-01	0.29926	0.550773	0.896151E-01	0.835249	0.259118E-02		
70	74.8916	0.13355E-01	0.27828	0.518786	0.774416E-01	0.867494	0.310335E-02		
71	74.9034	0.13351E-01	0.26029	0.485281	0.677535E-01	0.895705	0.271511E-02		
72	74.9428	0.13344E-01	0.23285	0.434094	0.542209E-01	0.918282	0.217281E-02		
73	74.9638	0.13340E-01	0.17292	0.322371	0.299028E-01	0.930733	0.119830E-02		
74	75.0923	0.13317E-01	0.20078	0.374296	0.403116E-01	0.947517	0.161542E-02		
75	75.1000	0.13316E-01	-0.89690E-02	0.016720	0.804426E-04	0.947551	0.322360E-05		
76	75.1529	0.13306E-01	0.30487	0.569342	0.929433E-01	0.986251	0.372455E-02		
77	75.9124	0.13172E-01	0.21019E-01	0.039185	0.441812E-03	0.986435	0.177049E-04		
78	76.0820	0.13144E-01	0.42349E-01	0.078937	0.179291E-02	0.987181	0.716480E-04		
79	76.1214	0.13137E-01	0.40476E-01	0.075487	0.168230E-02	0.987863	0.656521E-04		
80	76.3098	0.13104E-01	0.17073	0.318278	0.291491E-01	1.000000	0.116806E-02		
sum					2.40165		0.962423E-01		

Gambar 4. 25 Hasil Nilai Frekuensi Natural (Pondasi Eksisting)
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Berdasarkan hasil analisis, diperoleh bahwa *rasio effective mass* terhadap total massa keseluruhan saat translasi pada sumbu Y memiliki nilai terbesar dibandingkan dengan arah lainnya, yaitu sekitar 0,0962423. Nilai ini menunjukkan bahwa sebagian besar massa struktur akibat pengaruh beban dinamis telah terakumulasi pada sumbu Y. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa mode-mode dominan struktur telah berhasil ditangkap. Perlu diketahui bahwa sumbu Y ini juga merupakan arah utama pembebanan yang diberikan. Mode signifikan dalam desain awal teridentifikasi pada mode ke-6 dan ke-67, yang divisualisasikan secara tiga dimensi pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 26 Mode Shape Ke-6 (Pondasi Eksisting)
Sumber : Dokumen Penulis, 2026



Gambar 4. 27 Mode Shape Ke-67 (Pondasi Eksisting)
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

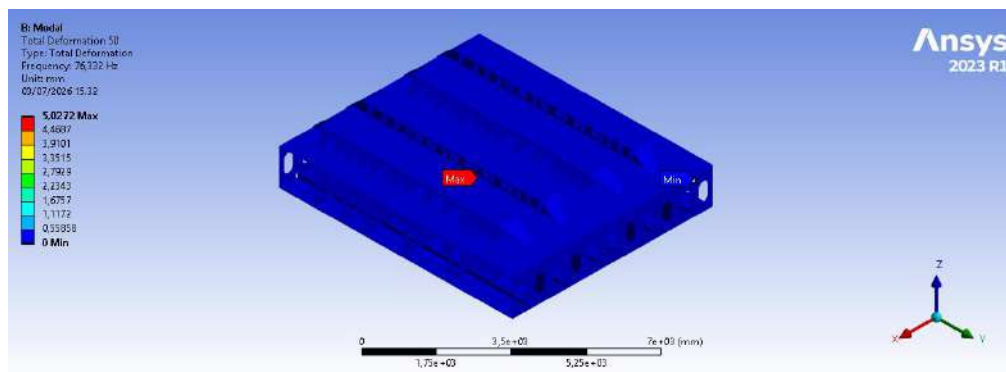
- Model Modifikasi

Setelah proses setting analisis selesai dilakukan, model struktur siap untuk dianalisis. Hasil analisis yang ditampilkan mencakup nilai frekuensi natural, partisipasi massa, hingga massa efektif dari struktur pondasi *main engine*, sebagaimana ditunjukkan pada gambar di bawah ini.

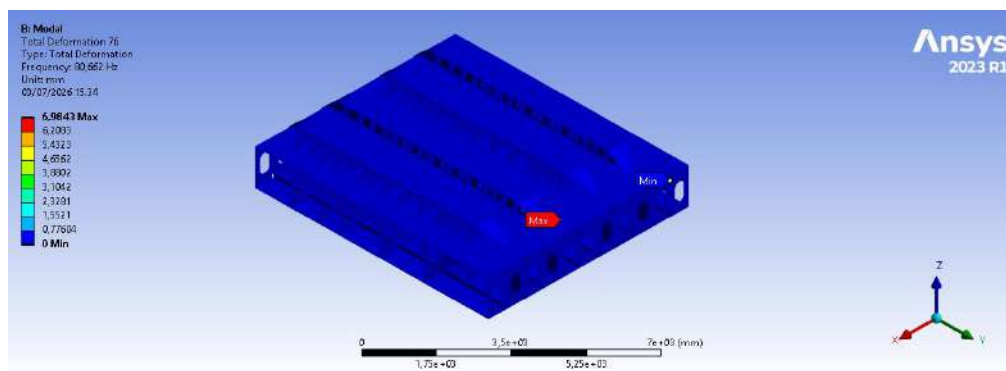
***** PARTICIPATION FACTOR CALCULATION ***** 2 DIRECTION							
MODE	FREQUENCY	PERIOD	PARTIC. FACTOR	RATIO	EFFECTIVE MASS	CUMULATIVE MASS FRACTION	RATIO EFF.MASS TO TOTAL MASS
1	51.8623	0.19282E-01	0.46719E-03	0.000304	0.218270E-06	0.491276E-07	0.240223E-08
2	52.0049	0.19229E-01	0.24785E-02	0.001612	0.614313E-05	0.143181E-05	0.236478E-06
3	52.5992	0.19012E-01	0.14938E-02	0.000971	0.223155E-05	0.193405E-05	0.559029E-07
4	52.7279	0.18965E-01	0.54738E-03	0.000356	0.299629E-06	0.200152E-05	0.115341E-07
5	58.1953	0.17184E-01	0.13760E-02	0.000895	0.189351E-05	0.242770E-05	0.728999E-07
6	58.2238	0.17175E-01	0.25828E-02	0.001680	0.667425E-05	0.392992E-05	0.256923E-06
7	58.3726	0.17131E-01	-0.11566E-01	0.007522	0.123779E-03	0.340405E-04	0.514977E-05
8	58.4664	0.17104E-01	0.13018E-01	0.008466	0.169480E-03	0.721566E-04	0.652406E-05
9	58.4802	0.17100E-01	0.47417E-03	0.000308	0.224841E-06	0.722272E-04	0.865519E-08
10	58.5948	0.17098E-01	-0.26462E-02	0.003371	0.132850E-04	0.752299E-04	0.511785E-06
11	58.5534	0.17078E-01	-0.17057E-02	0.001079	0.275444E-05	0.758495E-04	0.106032E-06
12	58.5692	0.17074E-01	-0.27679E-02	0.002450	0.141547E-04	0.790445E-04	0.546459E-06
13	58.5863	0.17069E-01	-0.20017E-03	0.000195	0.901027E-07	0.790653E-04	0.346847E-08
14	58.6052	0.17063E-01	0.17647E-02	0.001148	0.211431E-05	0.797661E-04	0.119884E-06
15	58.7560	0.17020E-01	0.50361E-02	0.003275	0.253625E-04	0.854747E-04	0.976321E-06
16	58.8360	0.16996E-01	-0.29910E-02	0.001945	0.894628E-05	0.874882E-04	0.244264E-06
17	60.4326	0.16547E-01	0.48362E-04	0.000030	0.205772E-08	0.874887E-04	0.792112E-10
18	60.4602	0.16540E-01	0.19807E-03	0.000129	0.392317E-07	0.874976E-04	0.151021E-08
19	60.4969	0.16530E-01	0.16078E-03	0.000105	0.255413E-07	0.875034E-04	0.994751E-09
20	60.6749	0.16451E-01	0.14518E-03	0.000096	0.219587E-07	0.875053E-04	0.845290E-09
21	61.7956	0.16182E-01	0.57222E-03	0.000372	0.327431E-06	0.875820E-04	0.126044E-07
22	61.8919	0.16157E-01	0.49337E-03	0.000282	0.187812E-06	0.876243E-04	0.722976E-08
23	61.9827	0.16141E-01	0.59966E-03	0.000390	0.359597E-06	0.877052E-04	0.138425E-07
24	62.0167	0.16125E-01	-0.21823E-03	0.000142	0.476222E-07	0.877159E-04	0.183320E-08
25	62.2859	0.16029E-01	-0.55128E-02	0.003585	0.303904E-04	0.948561E-04	0.114987E-05
26	64.2699	0.15392E-01	-0.34597E-01	0.024493	0.119631E-02	0.363805E-03	0.460492E-04
27	65.0242	0.15379E-01	0.48613E-01	0.044621	0.470779E-02	0.142342E-02	0.181224E-03
28	65.1134	0.15358E-01	-0.43297E-03	0.000282	0.187463E-06	0.142346E-02	0.721632E-08
29	65.1346	0.15353E-01	-0.40568E-03	0.000266	0.167837E-06	0.142350E-02	0.646053E-08
30	65.3137	0.15311E-01	0.85710E-03	0.000557	0.734616E-06	0.142367E-02	0.282788E-07
31	65.2267	0.15308E-01	0.76191E-03	0.000495	0.580501E-06	0.142380E-02	0.223462E-07
32	65.9052	0.15173E-01	0.17482E-02	0.001127	0.305645E-05	0.142448E-02	0.117657E-06
33	65.9068	0.15173E-01	0.18591E-02	0.001209	0.345624E-05	0.142526E-02	0.133047E-06
34	72.6917	0.13572E-01	-0.22700E-01	0.014762	0.515275E-03	0.154124E-02	0.198353E-04
35	72.7552	0.13553E-01	0.17334E-01	0.011273	0.300463E-03	0.160887E-02	0.115662E-04
36	72.9233	0.13528E-01	0.24829E-02	0.001615	0.616497E-05	0.161025E-02	0.237318E-06
37	74.2050	0.13476E-01	0.56563E-02	0.003675	0.319934E-04	0.161746E-02	0.123158E-05
38	74.3611	0.13448E-01	0.60815E-01	0.039550	0.369847E-02	0.244990E-02	0.142371E-03
39	74.4003	0.13441E-01	0.52021E-01	0.033831	0.270621E-02	0.205900E-02	0.104175E-03
40	74.7275	0.13382E-01	0.10265E-01	0.006676	0.105372E-03	0.208272E-02	0.405627E-05
41	75.0847	0.13318E-01	0.10739	0.069841	0.113391E-01	0.567935E-02	0.443962E-03
42	75.0994	0.13316E-01	0.11265E-01	0.007326	0.126898E-03	0.570712E-02	0.488489E-05
43	75.2337	0.13292E-01	-0.23463E-01	0.015260	0.550629E-03	0.582105E-02	0.113949E-04
44	75.6175	0.13224E-01	0.48572E-01	0.029437	0.207679E-02	0.629849E-02	0.799454E-04
45	75.7443	0.13202E-01	0.22229E-01	0.020460	0.103873E-02	0.653228E-02	0.398954E-04
46	75.8121	0.13190E-01	0.24275E-01	0.018552	0.594161E-03	0.666602E-02	0.228720E-04
47	75.9657	0.13164E-01	0.10861	0.070632	0.117958E-01	0.922097E-02	0.454074E-03
48	76.0988	0.13141E-01	0.11600	0.075436	0.134549E-01	0.123494E-01	0.517942E-03
49	76.1897	0.13120E-01	-1.5277	1.000000	2.36444	0.344531	0.920182E-01
50	76.3325	0.13101E-01	0.58423	0.575047	0.751270	0.720513	0.300978E-01
51	76.7170	0.13035E-01	-0.49453	0.321608	0.244558	0.775557	0.941416E-02
52	76.8805	0.13007E-01	-0.30073	0.195575	0.904390E-01	0.795913	0.348142E-02
53	77.0480	0.12979E-01	-0.59047E-01	0.038400	0.348544E-02	0.796698	0.134213E-03
54	77.3286	0.12932E-01	0.21607	0.140519	0.466870E-01	0.807206	0.179720E-02
55	77.3716	0.12925E-01	-0.31102E-01	0.020227	0.967955E-03	0.807423	0.372380E-04
56	77.3967	0.12922E-01	0.14050E-01	0.009137	0.197415E-03	0.807469	0.759941E-05
57	77.4908	0.12905E-01	0.30038E-01	0.019532	0.902076E-03	0.807671	0.347231E-04
58	77.5910	0.12890E-01	0.58774E-01	0.039223	0.345439E-02	0.808448	0.132975E-03
59	77.6998	0.12872E-01	-0.14622E-02	0.000951	0.213797E-05	0.808449	0.823002E-07
60	77.7004	0.12870E-01	-0.14043	0.091327	0.197207E-01	0.812898	0.759141E-03
61	77.8526	0.12845E-01	-0.23322E-01	0.015167	0.543925E-03	0.813010	0.209322E-04
62	78.0283	0.12816E-01	0.49156E-01	0.028066	0.186245E-02	0.813429	0.176945E-04
63	78.4006	0.12755E-01	0.20213E-02	0.001321	0.412612E-05	0.813430	0.158823E-06
64	78.6697	0.12711E-01	-0.11684E-01	0.007599	0.126519E-02	0.813461	0.525525E-05
65	78.7102	0.12705E-01	0.14458E-02	0.000940	0.209032E-05	0.813461	0.804662E-07
66	78.7196	0.12703E-01	0.84068E-02	0.005467	0.706736E-04	0.813477	0.272056E-05
67	78.9863	0.12660E-01	-0.19751E-01	0.012844	0.390085E-03	0.813565	0.150162E-04
68	78.9992	0.12658E-01	0.22555E-01	0.014668	0.508719E-03	0.813690	0.195830E-04
69	79.0273	0.12654E-01	-0.98917E-01	0.064329	0.978466E-02	0.815892	0.376697E-03
70	79.1365	0.12638E-01	0.21889E-02	0.001391	0.457253E-05	0.815893	0.176018E-06
71	79.7906	0.12532E-01	-0.20173	0.121189	0.406932E-01	0.825042	0.136647E-02
72	80.1669	0.12474E-01	-0.58564	0.380862	0.942976	0.902238	0.132027E-01
73	80.2951	0.12454E-01	-0.28213	0.249164	0.146791	0.925277	0.565065E-02
74	80.5184	0.12420E-01	0.16496E-01	0.010728	0.272117E-03	0.925298	0.104751E-04
75	80.5562	0.12414E-01	0.46658E-01	0.030369	0.218072E-02	0.925329	0.839458E-04
76	80.6657	0.12397E-01	0.53115	0.345427	0.282124	0.999329	0.108603E-01
77	80.8195	0.12373E-01	-0.27033E-02	0.001758	0.730790E-05	0.999331	0.281315E-06
78	80.9064	0.12360E-01	0.19039E-03	0.000124	0.362493E-07	0.999331	0.139540E-08
79	82.6803	0.12095E-01	0.32717E-01	0.021927	0.113658E-02	0.999587	0.427626E-04
80	82.2572	0.12011E-01	-0.42858E-01	0.027872	0.183678E-02	1.000000	0.707061E-04
sum					4.44292		0.171029

Gambar 4. 28 Hasil Nilai Frekuensi Natural Pondasi Modifikasi
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Berdasarkan hasil analisis, diperoleh bahwa *rasio effective mass* terhadap total massa keseluruhan saat translasi pada sumbu Z memiliki nilai terbesar dibandingkan dengan arah lainnya, yaitu sekitar 0,171029. Nilai ini menunjukkan bahwa sebagian besar massa struktur akibat pengaruh beban dinamis telah terakumulasi pada sumbu Z. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa mode-mode dominan struktur telah berhasil ditangkap. Perlu diketahui bahwa sumbu Z ini juga merupakan arah utama pembebanan yang diberikan. Mode signifikan dalam desain awal teridentifikasi pada mode ke-50 dan ke-76, yang divisualisasikan secara tiga dimensi pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 29 Mode Shape Ke-50 (Pondasi Modifikasi)
Sumber : Dokumen Penulis, 2026



Gambar 4. 30 Mode Shape Ke-76 (Pondasi Modifikasi)
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

4.11 Analisis Potensi Resonansi

Berdasarkan data yang telah diperoleh, diketahui bahwa mesin *auxiliary engine* yang digunakan pada kapal feri. Umumnya frekuensi eksitasi dapat dihitung dengan rumus :

$$f = \text{RPM} / 60$$

Dari perhitungan di atas, nilai frekuensi eksitasi didapatkan, tetapi pada *auxiliary engine* nilai frekuensi eksitasi sudah dicantumkan pada spesifikasi, yaitu sebesar 50 Hz.

Modal analysis yang telah dilakukan. Tujuan perbandingan ini adalah untuk mengidentifikasi kemungkinan terjadinya resonansi. Resonansi berpotensi terjadi apabila frekuensi eksitasi mendekati atau sama dengan frekuensi natural, khususnya pada mode signifikan struktur. Sebaliknya, jika terdapat selisih yang cukup besar antara kedua frekuensi tersebut, maka resonansi dapat dihindari.

Tabel-tabel berikut menyajikan hasil perbandingan antara frekuensi eksitasi hasil perhitungan manual dengan frekuensi natural struktur pada beberapa mode signifikan.

Tabel 4. 28 Perbandingan Frekuensi Natural dan Eksitasi (Pondasi Eksisting)

Mode	Frekuensi natural (Hz)	Frekuensi Eksitasi (Hz)	Presentase Perbedaan (%)
6	55,8848	50	10,530
67	74,7749	50	33,133

Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Tabel 4. 29 Perbandingan Frekuensi Natural dan Eksitasi (Pondasi Modifikasi)

Mode	Frekuensi natural (Hz)	Frekuensi Eksitasi (Hz)	Presentase Perbedaan (%)
50	76,3315	50	34,496
76	80,6617	50	38,013

Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Nilai frekuensi eksitasi sebesar 50 Hz memiliki selisih yang cukup besar terhadap frekuensi natural pada mode ke-50 dan ke-76, dengan persentase perbedaan di atas 34%. Hal ini menunjukkan bahwa potensi resonansi cukup kecil baik pada pondasi eksisting dan pondasi modifikasi. Perbedaan frekuensi yang signifikan ini menunjukkan bahwa sistem dapat dikatakan aman terhadap resonansi pada mode-mode yang diamati.

4.12 Analisis *Fatigue Life*

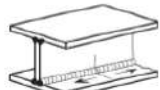
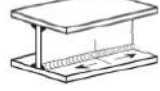
Pada tahap ini akan dilakukan beberapa analisis yang berkaitan dengan *fatigue life*. Subbab ini akan membahas secara penuh mengenai *fatigue life* dari konstruksi pondasi yang penulis rencanakan. Banyak hal yang perlu diperhatikan dalam menganalisis umur kelelahan dari sebuah konstruksi, salah satunya yaitu kurva S-N yang akan digunakan, tipe class yang dipilih berdasarkan keterangan yang ada, lalu perhitungan umur yang mengacu pada salah satu klasifikasi yang mengatur mengenai *fatigue life* ini.

4.12.1 Penentuan Kurva S-N

Penentuan kelas pada kurva S-N dalam analisis *fatigue life* didasarkan pada standar yang ditetapkan oleh Rules BKI, khususnya merujuk pada BKI Vol. II *Rules For Hull Section 20*. Kurva ini memiliki peran penting dalam menghitung umur lelah suatu struktur, karena memberikan acuan dalam menentukan jumlah siklus pembebanan yang dapat ditahan oleh material berdasarkan tegangan maksimum yang dialami. Selain itu, klasifikasi kurva S-N juga dipengaruhi oleh jenis sambungan las yang digunakan. Dalam studi ini, aturan dari BKI menjadi dasar penentuan kelas sambungan las, di mana jenis pengelasan yang digunakan adalah *fillet weld*.

Pengelasan yang digunakan adalah jenis pengelasan fillet. Jenis sambungan ini termasuk dalam kategori sambungan tanpa perlakuan khusus seperti grinding atau peening, dan digunakan dalam kondisi as-welded. Berdasarkan aturan dari BKI, sambungan fillet dalam kondisi tersebut diklasifikasikan ke dalam kelas FAT

100, yang merepresentasikan sambungan dengan tingkat konsentrasi tegangan sedang dan umur lelah yang masih cukup baik.

B. Pengelasan dengan arah pembebanan memanjang				
Tipe	Konfigurasi Sambungan yang menunjukkan mode retak lelah dan tegangan σ yang ditinjau	Uraian sambungan	Kelas FAT $\Delta\sigma_R$	
			Baja	Al
B1		Las tumpul memanjang Dua sisi diratakan sejajar dengan arah pembebanan Tanpa posisi start/stop, NDT Dengan posisi start/stop	125	50
			125	50
			90	36
B2		Las tumpul tipe K penetrasi penuh dioperasikan otomatis dan kontinyu pada arah memanjang tanpa posisi stop/start (berdasarkan rentang tegangan di flens pengelasan didekatnya)	125	50
B3		Las sudut tipe K penetrasi penuh dioperasikan otomatis dan kontinyu pada arah memanjang tanpa posisi stop/start (berdasarkan rentang tegangan di flens pengelasan didekatnya)	100	40
B4		Las tumpul atau sudut dioperasikan manual dan kontinyu pada arah memanjang (berdasarkan rentang tegangan di flens pengelasan didekatnya)	90	36
B5		Las sudut putus-putus pada arah memanjang (berdasarkan rentang tegangan di flens pengelasan didekatnya) Jika terdapat gaya geser τ pada bilah, kelas FAT dapat dikurangi dengan faktor koreksi $(1 - \Delta\tau / \Delta\sigma)$ dan tidak boleh kurang dari 36 untuk baja atau 14 untuk aluminium.	80	32
B6		Las tumpul arah memanjang, las sudut atau las sudut putus-putus dengan potongan lubang (berdasarkan rentang tegangan di ujung pengelasan) Jika potongan lubang lebih dari 40% tinggi bilah Terdapat gaya geser τ pada bilah, kelas FAT dapat dikurangi dengan faktor koreksi $(1 - \Delta\tau / \Delta\sigma)$ dan tidak boleh kurang dari 36 untuk baja atau 14 untuk aluminium. <i>Catatan:</i> <i>Analisa berbasis tegangan lokal direkomendasikan untuk skalap tipe Q.</i>	71	28
			63	25

Gambar 4. 31 Klasifikasi Penentuan Klas Berdasarkan Sambungan Pengelasan
(Sumber: BKI Vol. II Rules For Hull Section 20)

Dengan mengetahui kategori klas yang digunakan untuk sambungan las konstruksi, selanjutnya untuk menentukan jumlah kejadian (N) dapat digunakan rumus persamaan sebagai berikut.

$$\log(N) = 7,0 + m \cdot Q$$

Dimana :

$$Q : \log\left(\frac{\Delta\sigma_R}{\Delta\sigma}\right) - \frac{0.69897}{m_0}$$

m : eksponen kemiringan Kuva S-N

m_0 : kemiringan balik dalam rentang $N < 1 \cdot 10^7$

: 3 untuk sambungan las

: 3,5 – 5 untuk tepian plat bebas

Karena konstruksi pondasi mesin terdiri dari detail sambungan las antara top plate, bracket, dan side girder, maka nilai m_0 yang digunakan adalah $m_0=3$ sesuai ketentuan BKI untuk sambungan las.

Dalam analisis fatigue, nilai m merepresentasikan kemiringan dari kurva S-N yang menunjukkan sensitivitas umur fatigue terhadap perubahan tegangan. Menurut rules BKI nilai m dipilih berdasarkan jumlah siklus (N) dan tingkat tegangan pada struktur.

Untuk struktur dengan tegangan yang bervariasi, digunakan persamaan:

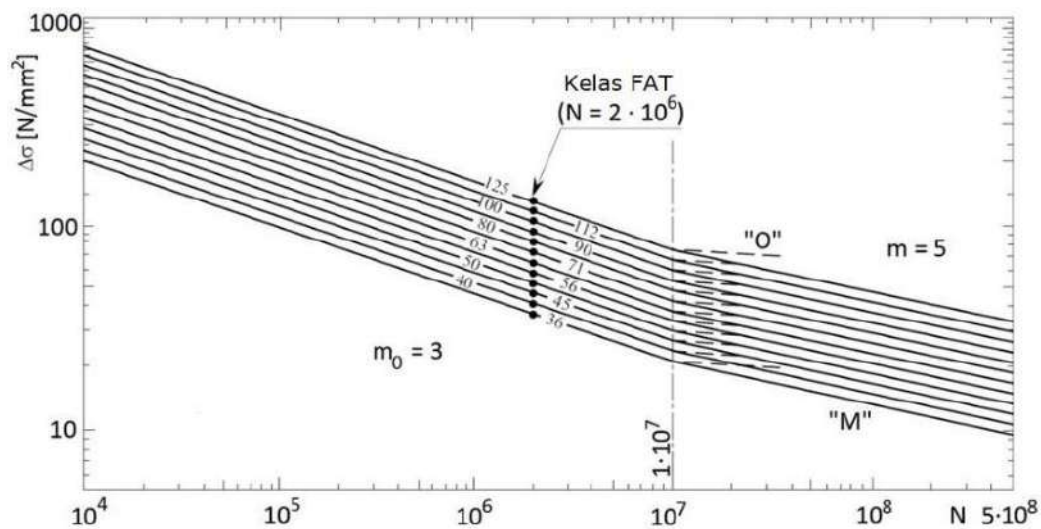
$$m = m_0 \quad \text{untuk } N \leq 1 \cdot 10^6$$

$$m = 2 \times m_0 - 1 \quad \text{untuk } N > 1 \cdot 10^6$$

sedangkan untuk struktur dengan tegangan konstan, digunakan persamaan:

$$m = m_0 \quad \text{untuk } N \leq 1 \cdot 10^6$$

$$m = 22 \quad \text{untuk } N > 1 \cdot 10^6$$



Gambar 4. 32 Kurva S-N
(Sumber: BKI Vol. II Rules For Hull Section 20)

Karena pondasi mesin bekerja di bawah beban siklik berulang akibat gaya torsi dan getaran dari mesin, maka digunakan kurva S-N tipe M. Dengan nilai $m = m_0$ untuk $N \leq 1 \cdot 10^6$ dan $m = 2 \times m_0 - 1$ untuk $N > 1 \cdot 10^6$. Dengan demikian, mengacu pada pemilihan klas FAT 100 sesuai jenis pengelasan, perhitungan rentang tegangan untuk analisis fatigue life pondasi mesin dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\text{Log}(\Delta\sigma) = \frac{\log(A) - \log(N)}{m}$$

Sehingga dapat dihitung :

$$\Delta\sigma = 10^{\frac{\log(A) - \log(N)}{m}}$$

Dari perhitungan tersebut, maka didapatkan nilai Kurva S-N pada tabel 4.30 di bawah ini.

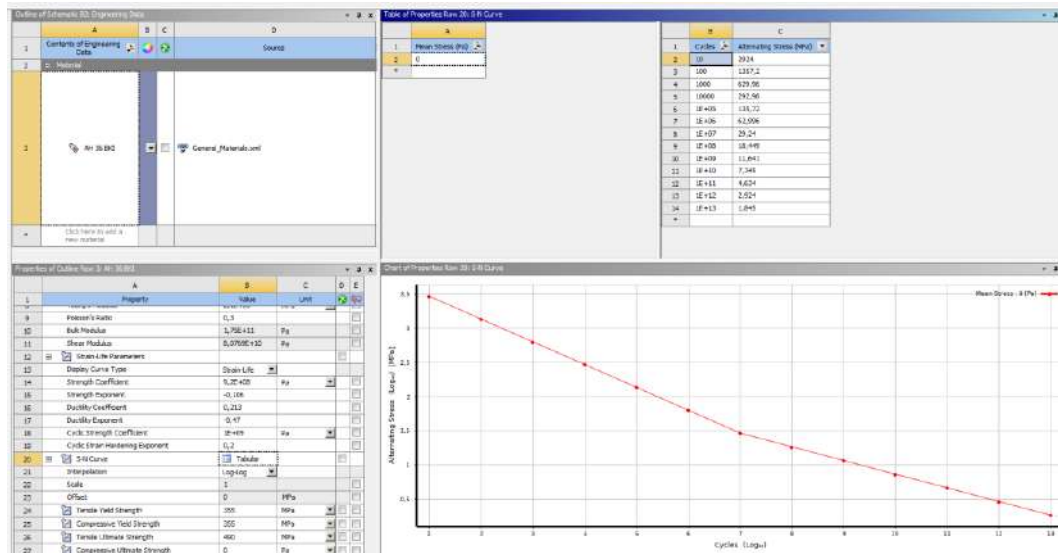
Tabel 4. 30 Perhitungan Kurva S-N

N	m	$\Delta\sigma$	σ_{alt}
1E+01	3	5848,04	2924,018
1E+02	3	2714,42	1357,209
1E+03	3	1259,92	629,961
1E+04	3	584,80	292,402
1E+05	3	271,44	135,721
1E+06	3	125,99	62,996
1E+07	3	58,48	29,240
1E+08	5	36,90	18,449
1E+09	5	23,28	11,641
1E+10	5	14,69	7,345
1E+11	5	9,27	4,634
1E+12	5	5,85	2,924
1E+13	5	3,69	1,845

Sumber : Dokumen Penulis, 2026

4.12.2 Analisis *Fatigue Life* Pada *Software*

Hasil perhitungan kurva S-N yang tertera pada tabel dan kurva yang telah dilakukan selanjutnya di input pada *software FEM* yang bertujuan untuk mendapatkan nilai *cycle* yang tertera pada gambar berikut.



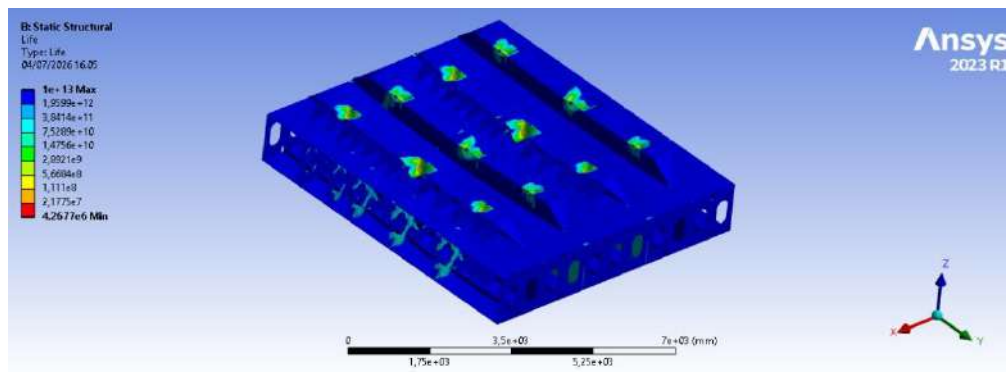
Gambar 4. 33 Gambar Input Nilai Kurva S-N
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Sedangkan untuk setup *Fatigue Tools* pada *Ansys Mechanical* adalah sebagai berikut:

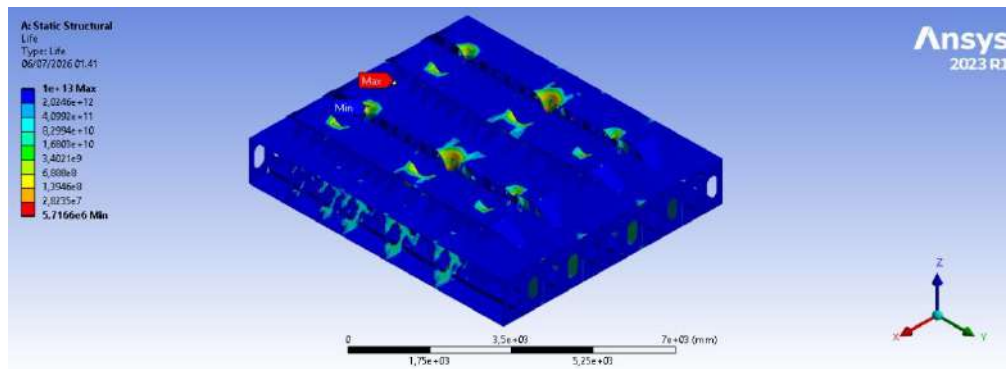
Details of "Fatigue Tool"	
Domain	
Domain Type	Time
Materials	
Fatigue Strength Factor (Kf)	1,
Loading	
Type	Zero-Based
Scale Factor	1,
Definition	
Display Time	End Time
Options	
Analysis Type	Stress Life
Mean Stress Theory	None
Stress Component	Equivalent (von-Mises)
Life Units	
Units Name	cycles
1 cycle is equal to	1, cycles

Gambar 4. 34 Gambar Setup *Fatigue Tool*
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

4.12.3 Hasil Analisis *Fatigue Life* Pada Software



Gambar 4. 35 Hasil Anlisis Life Pondasi Eksisting
Sumber : Dokumen Penulis, 2026



Gambar 4. 36 Hasil Analisis Life Pondasi Modifikasi
Sumber : Dokumen Penulis, 2026

4.12.4 Perhitungan *Fatigue Life*

Perhitungan umur kelelahan dalam penelitian ini menggunakan metode Palmgren-Miner, yaitu pendekatan berbasis kerusakan kumulatif yang disebabkan oleh pembebanan selama masa operasional struktur.

Dasar dari metode Palmgren-Miner adalah asumsi bahwa setiap siklus pembebanan dengan level tertentu akan menyumbang fraksi kerusakan terhadap struktur. Kegagalan akibat kelelahan dianggap terjadi ketika total akumulasi kerusakan mencapai nilai 1, atau secara matematis dituliskan sebagai persamaan berikut.

$$D = \sum \frac{ni}{Ni}$$

Dimana:

D = kerusakan total (Damage)

I = jumlah total rentang tegangan yang digunakan dalam penjumlahan (umumnya $I \geq 20$)

ni = jumlah siklus tegangan dalam i /jumlah siklus aktual yang direncanakan untuk 20 tahun (dihitung berdasarkan frekuensi torsi dan waktu operasi)

Ni = jumlah siklus tegangan yang dialami dan dihitung dari desain kurva S-N

Pada penelitian ini, nilai ni dihitung berdasarkan data torsi aktual dari operasional kapal yang dikonversi menjadi jumlah siklus per tahun berdasarkan frekuensi putaran mesin (RPM) dan waktu operasi tahunan. Data ini mencerminkan kondisi nyata yang dialami oleh struktur selama kapal beroperasi.

Perhitungan ni (siklus aktual) di setiap variasi pembebanan dengan data asumsi rute pelayaran. Dalam penelitian ini, karena keterbatasan akses terhadap data operasional langsung dari pihak pemilik kapal (owner), dilakukan pendekatan berbasis asumsi realistis dan konservatif menggunakan referensi dari kapal lain yang beroperasi di wilayah Kepulauan Seribu. Rute pelayaran dan estimasi waktu tempuh diadopsi untuk mensimulasikan kondisi operasional kapal feri. Dalam penelitian ini, kapal feri diasumsikan melaksanakan 1 siklus pelayaran PP (Pulang-Pergi) 15 hari sekali atau 1 kali dalam 1 bulan dengan rute logistik sebagai berikut.

Tabel 4. 31 Opreasional Kapal

No	Rute Oprasinal	Jarak (mil)	jam
1	Kijang - Tanjung priok	530	40
2	Tanjung priok - Tanjung Perak	390	24
3	Tanjung Perak - Makassar	430	30
4	Makassar - Bau-Bau	210	15
5	Bau-Bau - Maumere	185	14
6	Maumere - Larantuka	75	6
7	Larantuka - Lewoleba	35	4
8	Lewoleba - Kupang	130	12
		1985	145

Sumber : Dokumen Penulis, 2026

❖ Pondasi Eksisting

- Waktu operasional kapal/bulan :
 $= 145 \times 2$
 $= 290 \text{ jam}$
- Waktu oprasional kapal/Tahun :
 $= 290 \times 12$
 $= 3480 \text{ jam}$
 $= 12528000 \text{ detik}$
- Siklus aktual (ni) / detik : 50 Hz
- Siklus aktual (ni) /Tahun :
 $= 12528000 \times 50$
 $= 626400000$
- Siklus aktual (ni) /Perencanaan 20 Tahun :
 $= 626400000 \times 20$
 $= 12528000000$
- Damage :
 $= 12528000000 / 42677000000$
 $= 0.293$

❖ Pondasi Modifikasi

- Waktu operasional kapal/bulan :
= 145×2
= 290 jam
- Waktu oprasional kapal/Tahun :
= 290×12
= 3480 jam
= 12528000 detik
- Siklus aktual (ni) / detik : 50 Hz
- Siklus aktual (ni) /Tahun :
= 12528000×50
= 626400000
- Siklus aktual (ni) /Perencanaan 20 Tahun :
= 626400000×20
= 12528000000
- Damage :
= $12528000000 / 57166000000$
= 0.219

Setelah diperoleh nilai kerusakan tahunan, dilakukan proses konversi ke umur kelelahan dalam atuan waktu (tahun) dengan cara mengambil kebalikan dari nilai D :

$$Fatigue\ life = \frac{Design\ life}{DM}$$

Dengan :

Design life = 20 tahun (standard DNV)

DM = *cumulative fatigue damage*

Dengan pendekatan ini, umur kelelahan akan semakin pendek apabila nilai kerusakan per tahun semakin besar.

❖ Pondasi Eksisting

Diketahui :

$$D = 0.293$$

$$\text{Umur kelelahan (tahun)} = \left(\frac{20}{0.293} \right)$$

$$\text{Umur kelelahan} = 68.13 \text{ Tahun}$$

❖ Pondasi Modifikasi

Diketahui :

$$D = 0,219$$

$$\text{Umur kelelahan (tahun)} = \left(\frac{20}{0,219} \right)$$

$$\text{Umur kelelahan} = 91,26 \text{ Tahun}$$

Hasil perhitungan umur kelelahan ini kemudian dibandingkan dengan standar masa desain yang ditetapkan oleh *DNV (Det Norske Veritas)*, yaitu selama 20 tahun. Jika umur kelelahan lebih kecil dari 20 tahun, maka struktur dianggap tidak memenuhi kriteria desain.

Tabel 4. 32 Resume Umur Kelelahan

Pondasi	<i>Fatigue Life</i> (Tahun)	Standart DNV (Tahun)	Keterangan
Eksisting	68,13	20	Memenuhi
Modifikasi	91,26	20	Memenuhi

Sumber : Dokumen Penulis, 2026

Pada tahap akhir, analisis ini memprediksi umur kelelahan (*fatigue life*) akibat tegangan yang terjadi selama masa operasional kapal. Tabel 4.32 menyajikan resume hasil perkiraan umur kelelahan pada pondasi eksisting dan pondasi modifikasi dengan beban *auxiliary engine*. Hasil dari analisis menunjukkan perkiraan umur pada pondasi yang sangat baik dan memenuhi standar DNV.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis dan perhitungan yang telah dilakukan, dapat diambil Kesimpulan bahwa:

1. Nilai tegangan dan deformasi pada pondasi eksisting adalah sebagai berikut : tegangan maksimum 77.674 MPa, minimum 0,00013947 dengan nilai deformasi 0,326 mm. Pondasi modifikasi adalah sebagai berikut : tegangan maksimum 56.37 MPa minimum 0.0002135 dengan nilai deformasi 0.459 mm
2. Setelah dilakukan analisis resonansi, persentase resonansi maksimum pada mode signifikan adalah sebagai berikut: pondasi eksisting 10 % dan pondasi modifikasi 34%. Terdapat persentase perbedaan yang signifikan antara frekuensi natural pondasi dan frekuensi eksitasi *auxiliary engine*. Dapat disimpulkan bahwa pondasi tidak mengalami resonansi akibat eksitasi yang diterima.
3. Analisis menunjukkan nilai *safety factor* menurut standar BKI pada pondasi eksisting 4.11 dan pondasi modifikasi 5.67. Nilai minimum yang dipersyaratkan BKI adalah 1.2 Semua pondasi memenuhi standar BKI.
4. Perkiraan umur pada konstruksi pondasi *auxiliary engine* adalah:pondasi eksisting 68.13 tahun dan pondasi modifikasi 91.26 tahun. Berdasarkan standar DNV dengan umur minimum 20 tahun, semua pondasi memenuhi persyaratan tersebut.

5.2 Saran

Setelah pembuatan tugas akhir ini, terdapat beberapa aspek yang perlu mendapat perhatian lebih lanjut dalam penelitian selanjutnya. Saran-saran ini diharapkan dapat membantu peneliti berikutnya untuk memperdalam kajian yang

berkaitan serta mengatasi keterbatasan dalam penelitian ini. Saran-saran tersebut adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini masih terbatas pada analisis pembebanan statis. Oleh karena itu, pada penelitian selanjutnya disarankan untuk menganalisis pembebanan secara dinamis.
2. Pada analisis getaran untuk lebih mengakuratkan perkiraan umur kelelahan pada area struktur yang mengalami eksitasi.
3. Hasil frekuensi natural yang didapatkan dari hasil analisis FEM juga dilakukan pendekatan perhitungan manual untuk keakuratan hasil.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, M. S., Rahman, M. M., & Rahman, M. A. (2021). Fatigue life assessment of ship structures using finite element method. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(4), 1–15.
- Alshoaibi, A. M. (2024). Advances in finite element modeling of fatigue crack propagation: A review. *Applied Sciences*, 14(3), 1–22.
- American Bureau of Shipping. (2020). *Guide for fatigue assessment of offshore structures*. ABS.
- Andrianto, A., Utomo, A. P., & Cahyono, L. (2026). Analysis of structural strength at the stern with the addition of stern roller on TB ASL Prosper VI ship. *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, 23(2).
- Ardelia, Q. (2024). *Analisis kekuatan dan potensi resonansi pada pondasi diesel generator menggunakan metode elemen hingga* [Tugas Akhir, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya]. Repositori PPNS.
- Ardiansyah, G. (2020). *Analisa perbandingan safety factor dan fatigue life pada konstruksi rampdoor* [Tugas Akhir, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya].
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2022). *Rules for the classification and construction: Hull*. BKI.
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2023). *Rules for the classification and construction: Machinery installations*. BKI.
- Bonita, N. (2023). *Analisis kekuatan dan kelelahan konstruksi pondasi mesin kapal general cargo 6088 GT* [Tugas Akhir, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya]. Repositori PPNS.
- Budianto, Wahyudi, M. T., Dinata, U., Ruddianto, & Eko P., M. M. (2018). Strength analysis on ship ladder using finite element method. *Journal of Physics: Conference Series*, 953(1), 012043.

- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2020). *Shigley's mechanical engineering design* (11th ed.). McGraw-Hill Education.
- Bureau of Transportation Statistics. (2020). *Indonesian ferry transportation statistics*. Badan Pusat Statistik Republik Indonesia.
- Cook, R. D., Malkus, D. S., Plesha, M. E., & Witt, R. J. (2018). *Concepts and applications of finite element analysis* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Dowling, N. E. (2013). *Mechanical behavior of materials: Engineering methods for deformation, fracture, and fatigue* (4th ed.). Pearson Education.
- Frick, H. (1978). *Mekanika teknik 1: Statika dan kegunaannya*. Kanisius.
- Gere, J. M., & Timoshenko, S. P. (1997). *Mekanika bahan* (Edisi ke-4). Erlangga.
- Hasan, I. H. (2025). *Analisis kekuatan dan fatigue life konstruksi pondasi main engine pada bangunan baru kapal SPOB 15.000 KL dengan metode elemen hingga* [Tugas Akhir, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya]. Repositori PPNS.
- International Maritime Organization. (2018). *Guidelines for vibration and noise control on ships*. IMO Publishing.
- Jackson, B., & Lasse, D. A. (2020). Tata kelola kapal dan kinerja keselamatan pelayaran. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik*, 7(3), 1–12.
- Lewis, E. V. (Ed.). (1988). *Principles of naval architecture* (2nd rev., Vol. 2). Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- Pitaloka, S. D., & Misbah, M. N. (2020). Studi pengaruh variasi pengelasan bracket terhadap fatigue life struktur kapal patroli cepat 40M akibat beban gelombang. *Jurnal Teknik ITS*, 10, 1–7.
- Popov, E. P. (1984). *Mekanika teknik* (Z. Astamar, Terjemahan). Erlangga.
- PT ASDP Indonesia Ferry (Persero). (2023). *Annual report 2023*. PT ASDP Indonesia Ferry.

- Qin, Y., Wang, Y., Pang, F., Fu, Z., & Li, H. (2023). Vibration isolation characteristics of impedance-balanced ship equipment foundation under unbalanced excitation. *Sustainable Marine Structures*, 5(1), 37–47.
- Sari, A. R. (2022). *Analisis kekuatan dan fatigue life konstruksi pondasi mesin induk OSV 907 GT* [Tugas Akhir, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya]. Repositori PPNS.
- Stephens, R. I., Fatemi, A., Stephens, R. R., & Fuchs, H. O. (2000). *Metal fatigue in engineering* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Wirsching, P. H., Haugen, E. B., & Hal, S. M. (2014). *Probabilistic methods for structural fatigue*. Prentice Hall.
- Zienkiewicz, O. C., Taylor, R. L., & Zhu, J. Z. (2013). *The finite element method: Its basis and fundamentals* (7th ed.). Elsevier Butterworth-Heinemann.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

(halaman ini sengaja dikosongkan)



LAMPIRAN I
ENGINE ROOM LAYOUT

(halaman ini sengaja dikosongkan)

(halaman ini sengaja dikosongkan)

3-DECK

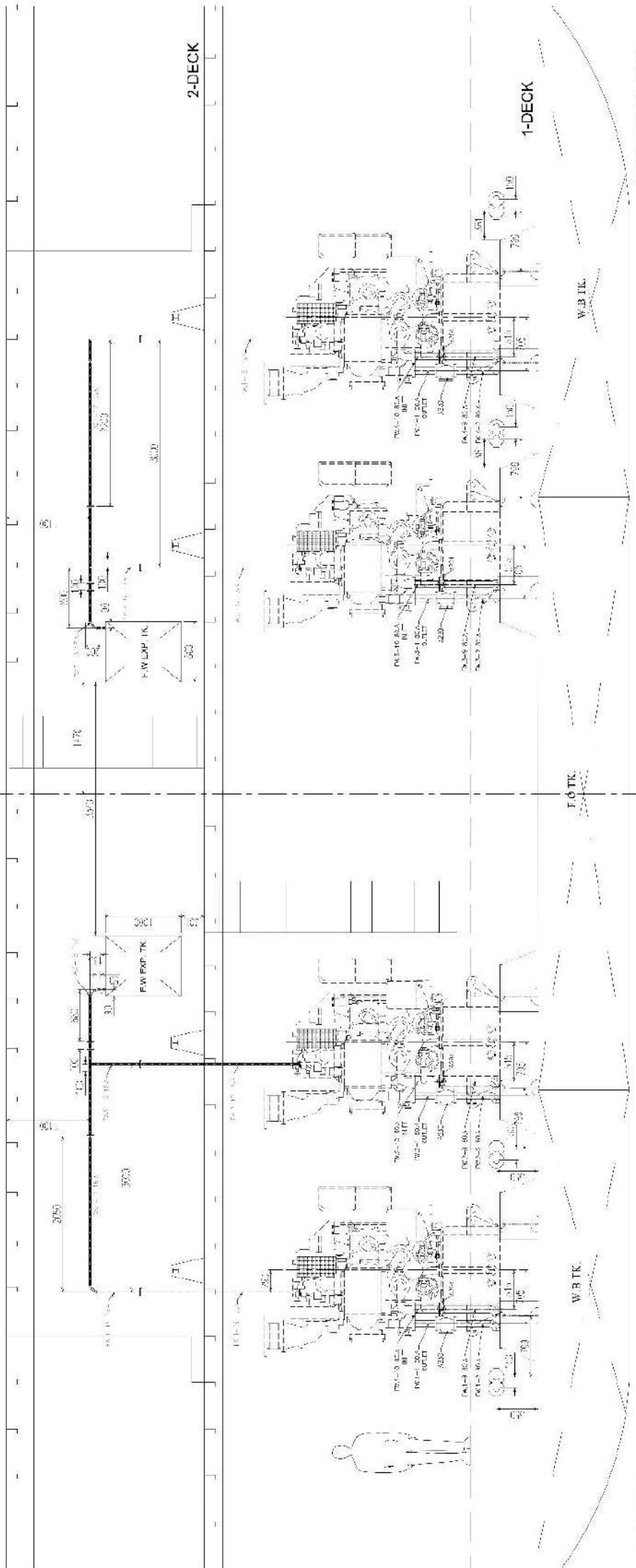
2-DECK

1-DECK

PORT SIDE

FRAME 70 LOOK FORWARD

STARBOARD SIDE



Project Name:

KM. UMSINI

Drawing Name:

NEW AUXILIARY ENGINE

Project No.

R25 USI XA

Scale: NTS

Furn: A3

7 of 9 Sheets.

Drawing No. : USI.300.810.112-25

Danantara Indonesia

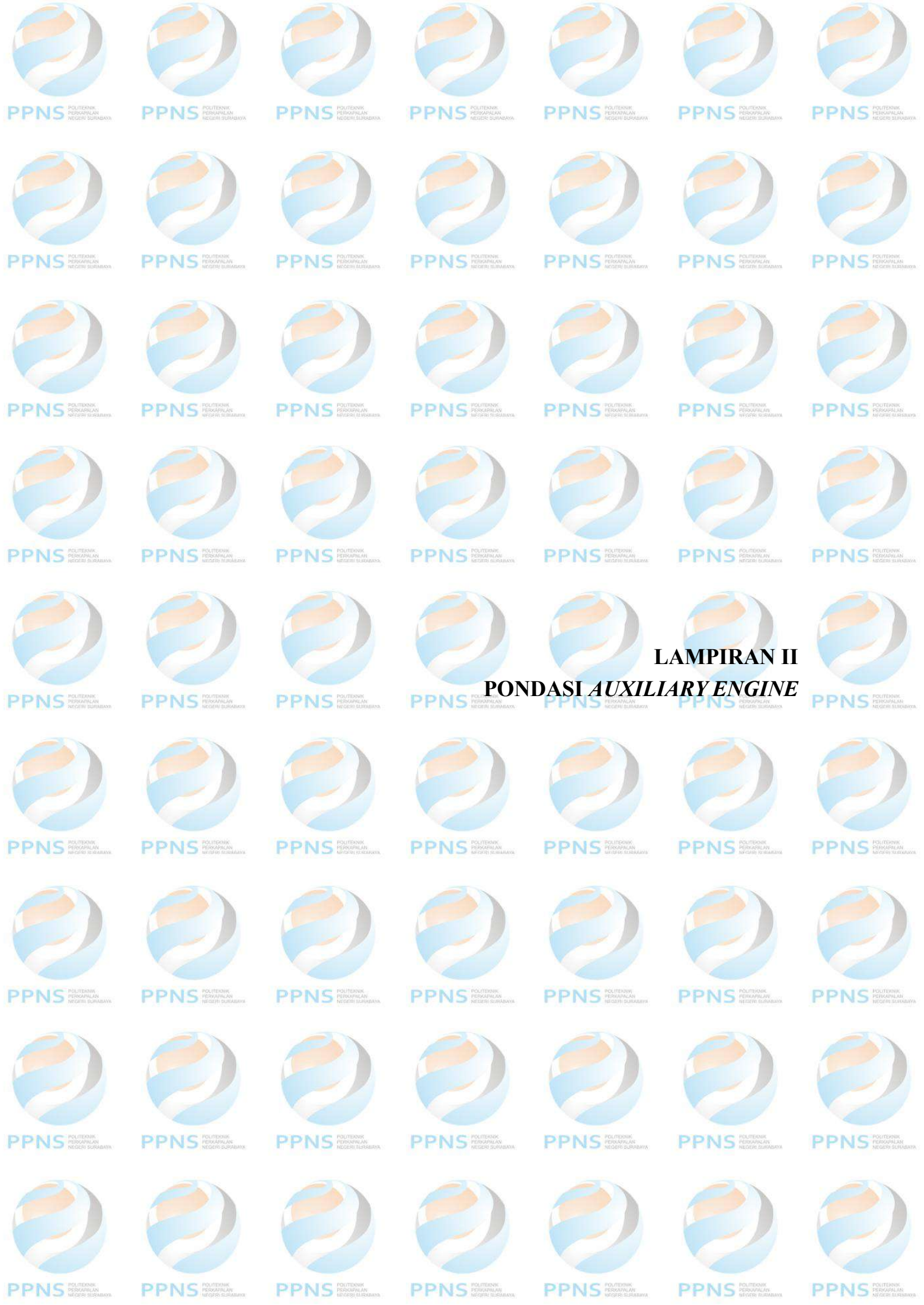
ENGINEERING GROUP

REV: 0 1 2 3 4 5 6

THIS DOCUMENT IS PROPERTY OF PT. PAL INDONESIA AND MAY NOT BE USED OR DISCLOSED TO OTHERS WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF PT. PAL INDONESIA

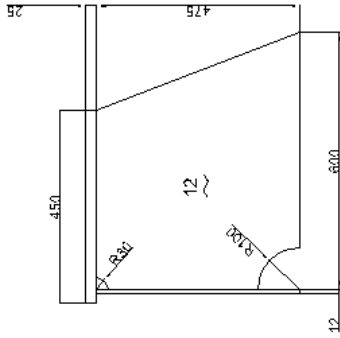
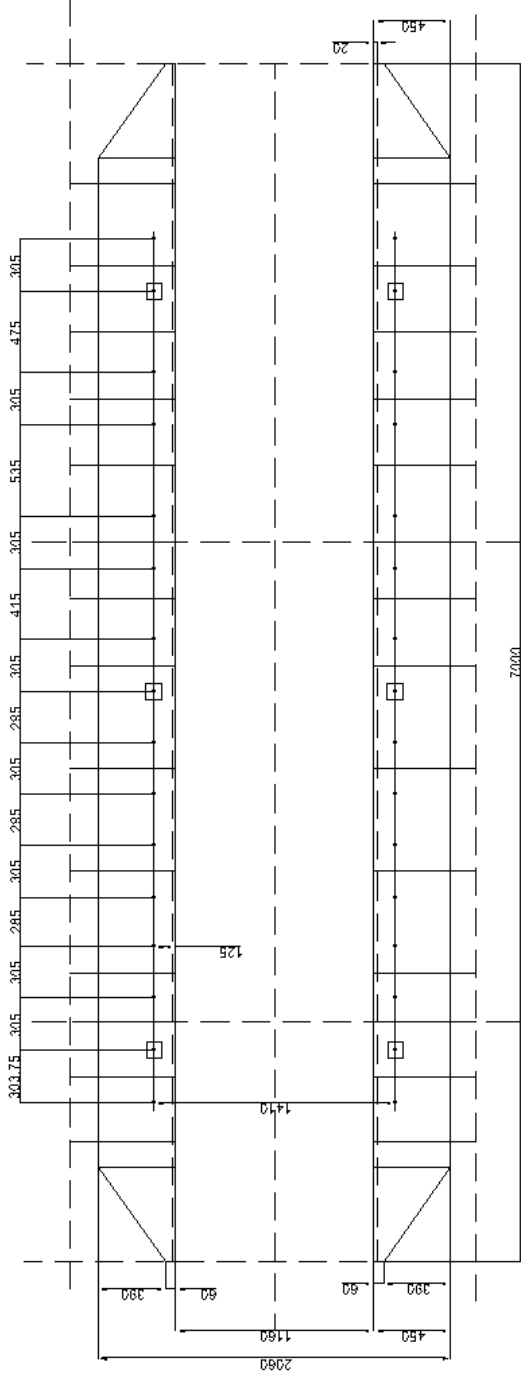
(halaman ini sengaja dikosongkan)

(halaman ini sengaja dikosongkan)

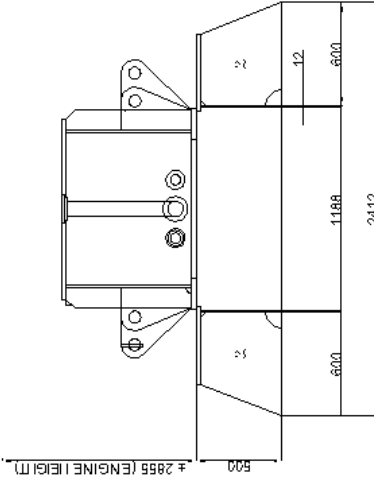


LAMPIRAN II
PONDASI *AUXILIARY* ENGINE

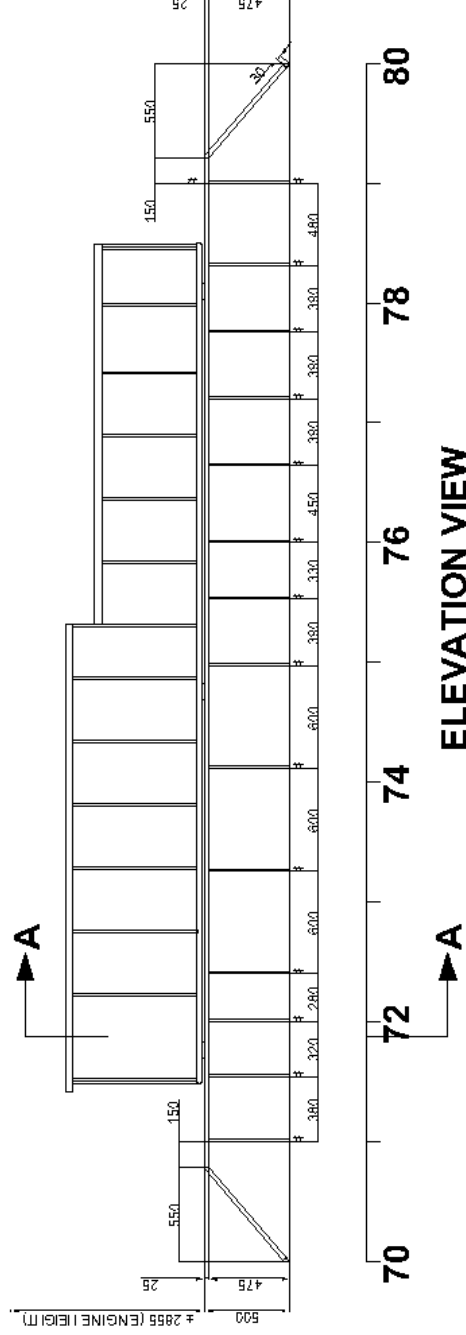
(halaman ini sengaja dikosongkan)



TOP VIEW



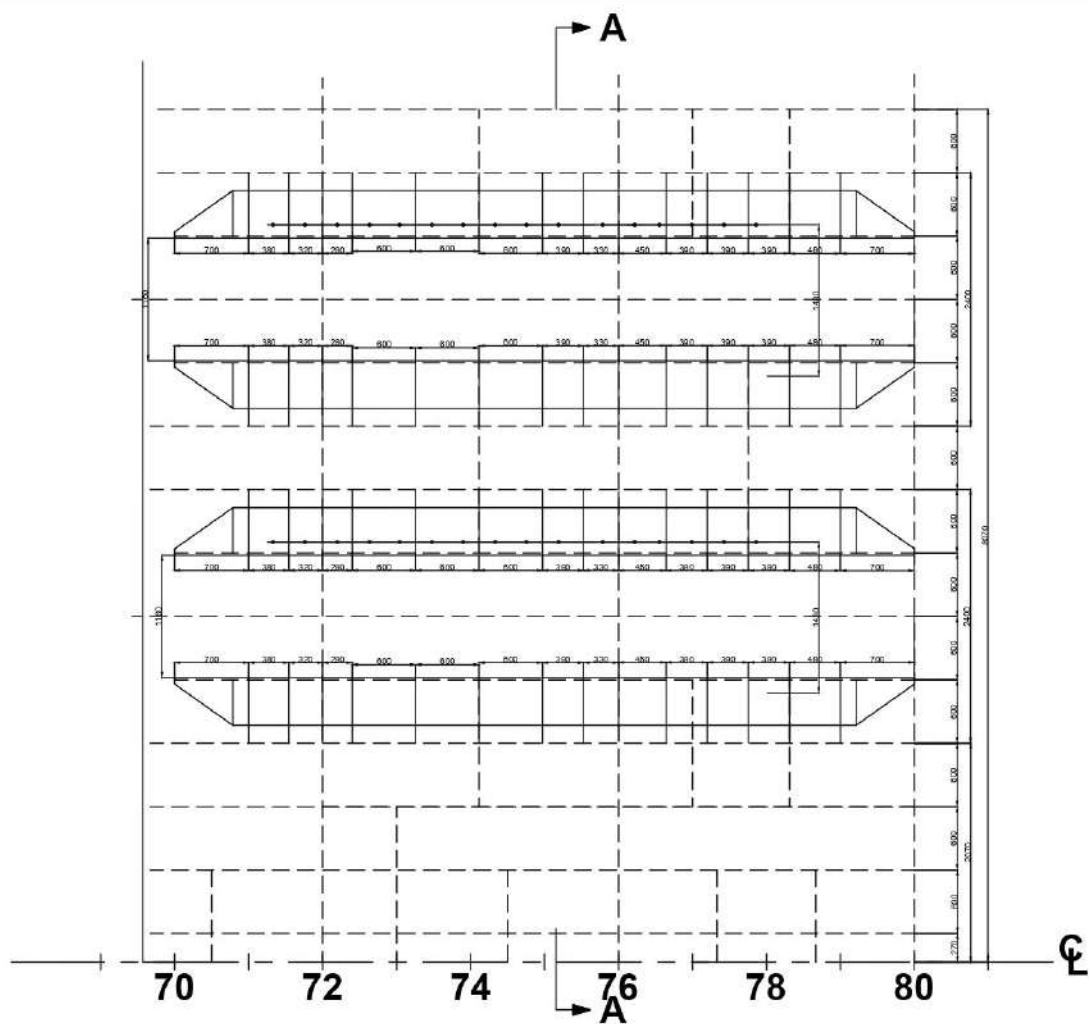
SECTION A-A



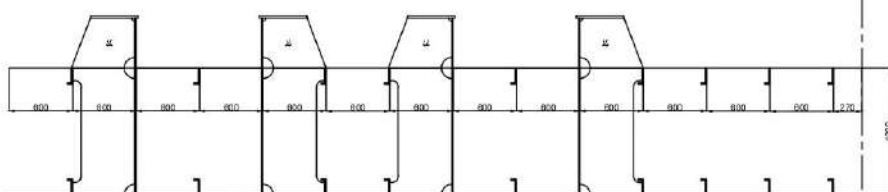
ELEVATION VIEW

PROJECT INFORMATION		PROJECT INFORMATION	
PROJECT NAME	PROJECT NO.	PROJECT NAME	PROJECT NO.
PROJECT LOCATION	PROJECT DATE	PROJECT LOCATION	PROJECT DATE
PROJECT SCALE	PROJECT STATUS	PROJECT SCALE	PROJECT STATUS
PROJECT DRAWN BY	PROJECT CHECKED BY	PROJECT DRAWN BY	PROJECT CHECKED BY
PROJECT DATE	PROJECT REVISION	PROJECT DATE	PROJECT REVISION
PROJECT SCALE	PROJECT STATUS	PROJECT SCALE	PROJECT STATUS
PROJECT DRAWN BY	PROJECT CHECKED BY	PROJECT DRAWN BY	PROJECT CHECKED BY
PROJECT DATE	PROJECT REVISION	PROJECT DATE	PROJECT REVISION

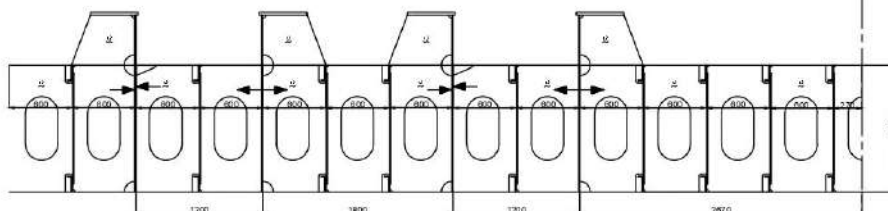
(halaman ini sengaja dikosongkan)



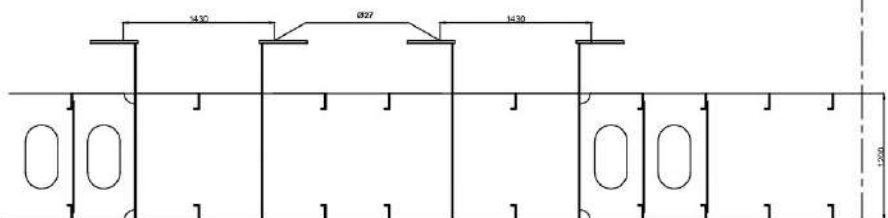
Section A/A



Frame 72 + 76



Frame 77



PRINCIPAL DIMENSION

Loa	:	144.00	m
Lpp	:	130.00	m
B	:	23.40	m
H	:	19.30	m
T	:	5.9	m
VS	:	20	Knot
TYPE	:	FERI	

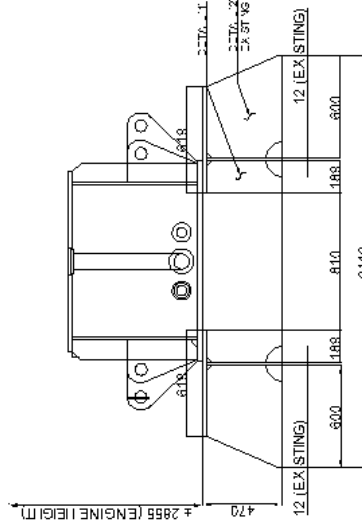
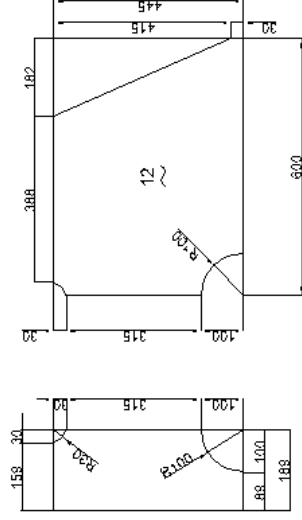
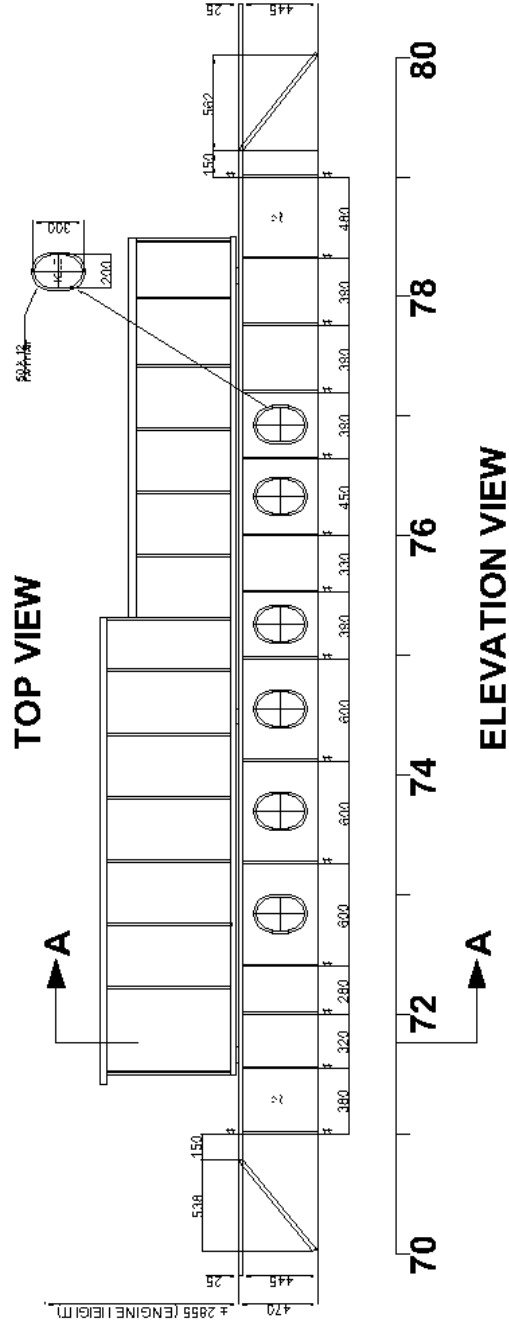
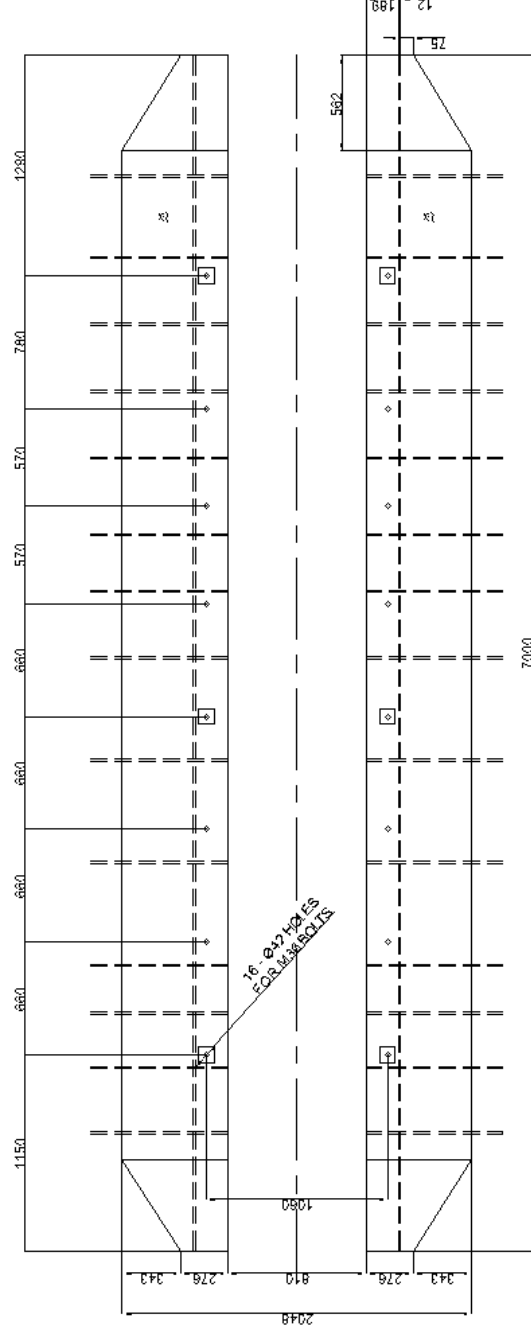
PONDASI AUXILIARY ENGINE

DOUBLE BOTTOM

Desain:	Farhan Ahyat S.	Desain:	Imam Nur Rokhm	Desain:		Desain:		Desain:	
Rev:	Farhan Ahyat S.	Rev:		Rev:	AS	Rev:		Rev:	
Drawn:	Imam Nur Rokhm	Drawn:	1:30	Drawn:		Drawn:		Drawn:	

PONDASI EKSISTING

(halaman ini sengaja dikosongkan)



(halaman ini sengaja dikosongkan)



PONDASI AUXILIARY ENGINE				
DOUBLE BOTTOM				
Desain : Farhan Alkhaty S.	Revisi : Iman Nur Rokhmah	Desain 2 : -	Desain 3 : -	Desain 4 : -
Desain : Farhan Alkhaty S.	Revisi : -	Desain 2 : -	Desain 3 : -	Desain 4 : -
Desain : Iman Nur Rokhmah	Revisi : 1:30	PONDASI MODIFIKASI		
 PT. TEKNIK PERKALAN NEGERI SURABAYA PT. TEKNIK PERKALAN NEGERI SURABAYA PT. TEKNIK PERKALAN NEGERI SURABAYA				0122040064

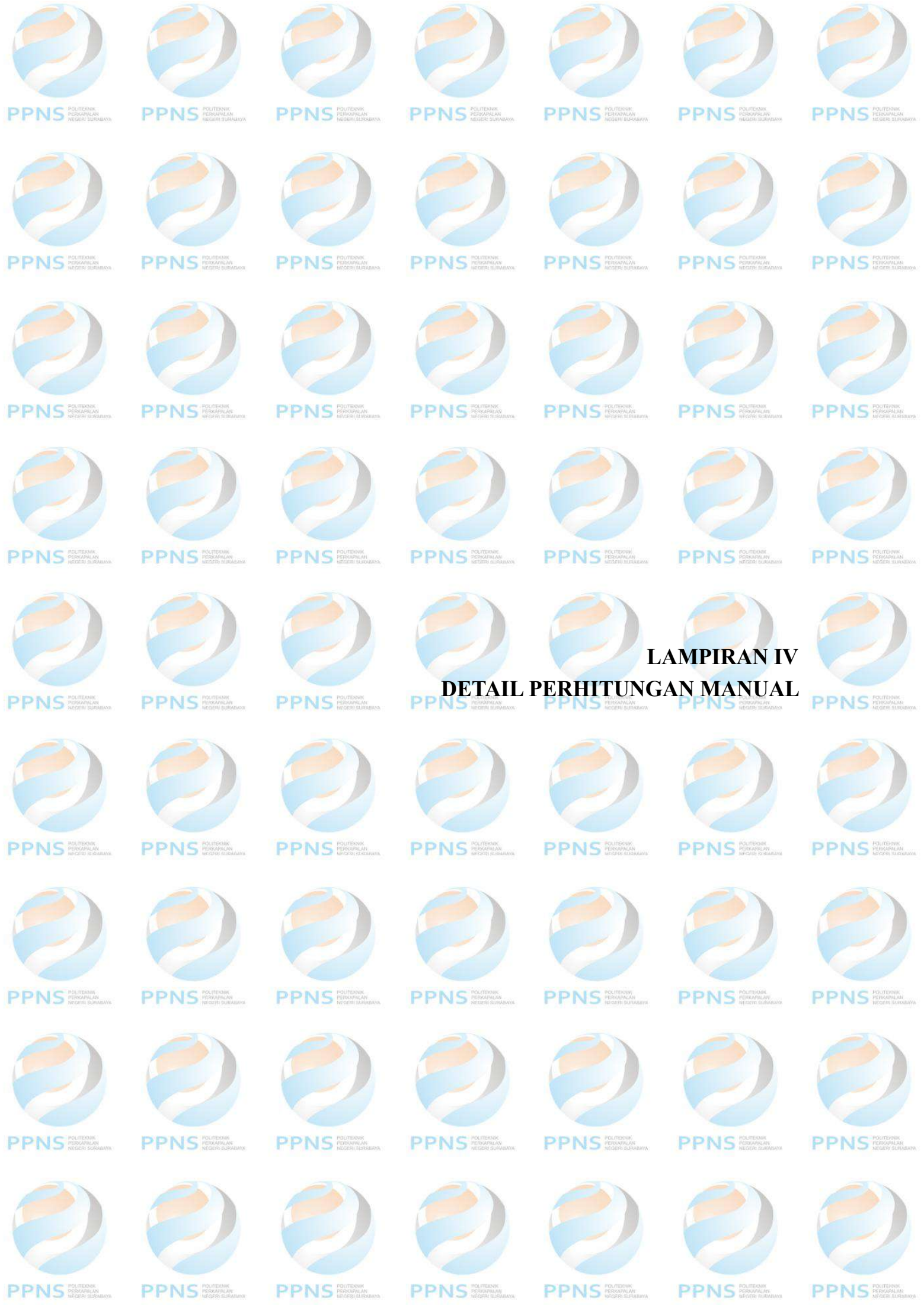
(halaman ini sengaja dikosongkan)



LAMPIRAN III
SPEKIFIKASI *AUXILIARY ENGINE*

(halaman ini sengaja dikosongkan)

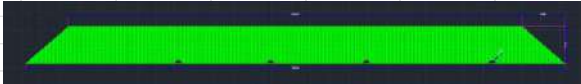
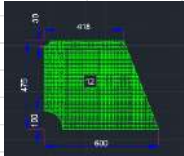
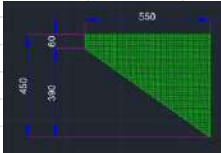
(halaman ini sengaja dikosongkan)



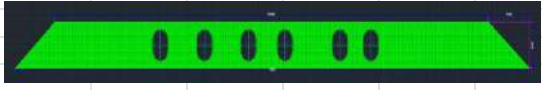
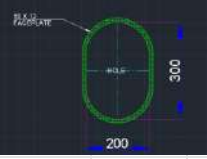
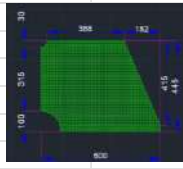
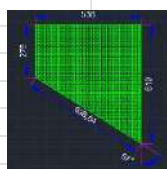
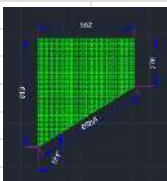
LAMPIRAN IV
DETAIL PERHITUNGAN MANUAL

(halaman ini sengaja dikosongkan)

PERHITUNGAN MANUAL VALIDASI MODEL (EKSISTING)

Material Pondasi		Auxiliary Engine	mtotal pondasi (Kg)	=	2284.31
Nama	:	Steel BKI Grade AH 36	Wtotal Pondasi (N)	=	22409.09
Yield strength	:	355 Mpa			
Tensile strength	:	490 Mpa			
Modulus of elasticit	:	210000 Mpa			
Shear modulus	:	80769 Mpa			
Poisson ration	:	0.3			
Density	:	7850 kg/m ³			
Top Plate			Rumus Perhitungan Beban		
Jumlah	=	2	Beban = Volume x Density		
p	=	5.9 m			
l	=	0.45 m	Keterangan		
t	=	0.025 m	Panjang (p)		
m	=	521 kg	Lebar (l)		
m total	=	1042.088 kg	Tinggi (t)		
			Alas (a)		
Egine Girder					
Jumlah	=	2			
a	=	3.048042 m ²			
t	=	0.012 m			
m	=	287.1256 kg			
m total	=	574.2511 kg			
Bracket 1					
Jumlah	=	28			
a	=	0.233214 m ²			
t	=	0.012 m			
m	=	21.96877 kg			
m total	=	615.1257 kg			
Bracket 2					
Jumlah	=	2			
a	=	0.14025 m ²			
t	=	0.012 m			
m	=	13.21155 kg			
m total	=	26.4231 kg			
Bracket 3					
Jumlah	=	2			
a	=	0.1403 m ²			
t	=	0.012 m			
m	=	13.21 kg			
m total	=	26.42 kg			
mtotal pondasi			=	2284.31 kg	
Wtotal Pondasi			=	22409.0859 N	

PERHITUNGAN MANUAL VALIDASI GAMBAR (MODIFIKASI)

Material Pondasi		Auxiliary Engine	mtotal pondasi (Kg) =	2827.33
Nama	:	Steel BKI Grade AH 36	Wtotal Pondasi (N) =	27736.1
Yield strength	:	355 Mpa		
Tensile strength	:	490 Mpa		
Modulus of elasticit	:	210000 Mpa		
Shear modulus	:	80769 Mpa		
Poisson ration	:	0.3		
Density	:	7850 kg/m ³		
Top Plate			Rumus Perhitungan Beban	
Jumlah	=	2	Beban = Volume x Density	
p	=	5.9 m		
l	=	0.619 m	Keterangan	
t	=	0.025 m	Panjang (p)	
m	=	717 kg	Lebar (l)	
m total	=	1433.4493 kg	Tinggi (t)	
			Alas (a)	
Engine Girder				
Jumlah	=	2		
a	=	2.4994012 m ²		
t	=	0.012 m		
m	=	235.44359 kg		
m total	=	470.88718 kg		
Spigot				
Jumlah	=	12		
a	=	0.0103922 m ²		
t	=	0.05 m		
m	=	4.0789431 kg		
m total	=	48.947317 kg		
Bracket 1				
Jumlah	=	28		
a	=	0.2206742 m ²		
t	=	0.012 m		
m	=	20.787506 kg		
m total	=	582.05016 kg		
Bracket 2				
Jumlah	=	28		
a	=	0.0755 m ²		
t	=	0.012 m		
m	=	7.12 kg		
m total	=	199.26 kg		
Bracket 3				
Jumlah	=	2		
a	=	0.240755 m ²		
t	=	0.012 m		
m	=	22.679121 kg		
m total	=	45.358242 kg		
Bracket 4				
Jumlah	=	2		
a	=	0.251495 m ²		
t	=	0.012 m		
m	=	23.690829 kg		
m total	=	47.381658 kg		
mtotal pondasi		=	2827.33 kg	
Wtotal Pondasi		=	27736.1 N	

PERHITUNGAN MANUAL FIX END MOMEN (EKSISTING)

Fix End Moment Setiap Segmen			
Segmen	=	AB	
Beban (qAB)	=	675	N
L	=	380	mm
a	=	190	mm
b	=	190	mm
MA	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$	
	=	32063.19652	Nmm
	=	0.032	kNm
MB	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$	
	=	-32063.19652	Nmm
	=	-0.032	kNm
Segmen	=	BC	
Beban (qAB)	=	669	N
Beban (FBC)	=	40875	N
L	=	320	mm
a1	=	160	mm
b1	=	160	mm
a2	=	82	mm
b2	=	238	mm
MA1	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$	
	=	26742.01186	Nmm
	=	0.027	kNm
MB1	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$	
	=	-26742.01186	Nmm
	=	-0.027	kNm
MA1	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$	
	=	1854067.646	Nmm
	=	1.854	kNm
MB1	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$	
	=	-638796.416	Nmm
	=	-0.639	kNm
Segmen	=	CD	
Beban (qAB)	=	612	N
L	=	280	mm
a	=	140	mm
b	=	140	mm
MA	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$	
	=	21417.22514	Nmm
	=	0.021	kNm
MB	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$	
	=	-21417.22514	Nmm
	=	-0.021	kNm

Segmen	=	DE
Beban (qAB)	=	1065 N
L	=	600 mm
a	=	300 mm
b	=	300 mm
MA	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$
	=	79871.80073 Nmm
	=	0.080 kNm
MB	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$
	=	-79871.80073 Nmm
	=	-0.080 kNm
Segmen	=	EF
Beban (qAB)	=	1065 N
L	=	600 mm
a	=	300 mm
b	=	300 mm
MA	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$
	=	79871.80073 Nmm
	=	0.080 kNm
MB	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$
	=	-79871.80073 Nmm
	=	-0.080 kNm
Segmen	=	FG
Beban (qAB)	=	1065 N
Beban (FFG)	=	40875 N
L	=	600 mm
a1	=	300 mm
b1	=	300 mm
a2	=	262 mm
b2	=	338 mm
MA1	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$
	=	79871.80073 Nmm
	=	0.080 kNm
MB1	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$
	=	-79871.80073 Nmm
	=	-0.080 kNm
MA2	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$
	=	3398520.992 Nmm
	=	3.399 kNm
MB2	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$
	=	-2634356.508 Nmm
	=	-2.634 kNm

Segmen	=	GH
Beban (qAB)	=	768 N
L	=	390 mm
a	=	195 mm
b	=	195 mm
MA	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$
	=	37423.03783 Nmm
	=	0.037 kNm
MB	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$
	=	-37423.03783 Nmm
	=	-0.037 kNm
Segmen	=	HI
Beban (qAB)	=	683 N
L	=	330 mm
a	=	165 mm
b	=	165 mm
MA	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$
	=	28161.69225 Nmm
	=	0.028 kNm
MB	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$
	=	-28161.69225 Nmm
	=	-0.028 kNm
Segmen	=	IJ
Beban (qAB)	=	794 N
L	=	450 mm
a	=	225 mm
b	=	225 mm
MA	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$
	=	44647.67392 Nmm
	=	0.045 kNm
MB	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$
	=	-44647.67392 Nmm
	=	-0.045 kNm
Segmen	=	JK
Beban (qAB)	=	768 N
L	=	390 mm
a	=	195 mm
b	=	195 mm
MA	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$
	=	37423.03783 Nmm
	=	0.037 kNm
MB	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$
	=	-37423.03783 Nmm
	=	-0.037 kNm

Segmen	=	KL
Beban (qAB)	=	768 N
L	=	390 mm
a	=	195 mm
b	=	195 mm
MA	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$
	=	37423.03783 Nmm
	=	0.037 kNm
MB	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$
	=	-37423.03783 Nmm
	=	-0.037 kNm
Segmen	=	LM
Beban (qAB)	=	768 N
Beban (FLM)	=	40875 N
L	=	390 mm
a1	=	195 mm
b1	=	195 mm
a2	=	292 mm
b2	=	98 mm
MA1	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$
	=	37423.03783 Nmm
	=	0.037 kNm
MB1	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$
	=	-37423.03783 Nmm
	=	-0.037 kNm
MA2	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$
	=	753639.3294
	=	0.754
MB2	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$
	=	-2245537.594
	=	-2.246
Segmen	=	MN
Beban (qAB)	=	817 N
L	=	480 mm
a	=	240 mm
b	=	240 mm
MA	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$
	=	48995.31653 Nmm
	=	0.049 kNm
MB	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$
	=	-48995.31653 Nmm
	=	-0.049 kNm

Total Fix End Moment					
Segmen AB					
FEMA	=	32063.197	Nmm	0.032063	kNm
FEMB	=	-32063.2	Nmm	-0.03206	kNm
Segmen BC					
FEMB	=	1880809.7	Nmm	1.88081	kNm
FEMC	=	-665538.4	Nmm	-0.66554	kNm
Segmen CD					
FEMC	=	21417.225	Nmm	0.021417	kNm
FEMD	=	-21417.23	Nmm	-0.02142	kNm
Segmen DE					
FEMD	=	79871.801	Nmm	0.079872	kNm
FEME	=	-79871.8	Nmm	-0.07987	kNm
Segmen EF					
FEME	=	79871.801	Nmm	0.079872	kNm
FEMF	=	-79871.8	Nmm	-0.07987	kNm
Segmen FG					
FEMF	=	3478392.8	Nmm	3.478393	kNm
FEMG	=	-2714228	Nmm	-2.71423	kNm
Segmen GH					
FEMG	=	37423.038	Nmm	0.037423	kNm
FEMH	=	-37423.04	Nmm	-0.03742	kNm
Segmen HI					
FEMH	=	28161.692	Nmm	0.028162	kNm
FEMI	=	-28161.69	Nmm	-0.02816	kNm
Segmen IJ					
FEMI	=	44647.674	Nmm	0.044648	kNm
FEMJ	=	-44647.67	Nmm	-0.04465	kNm
Segmen JK					
FEMJ	=	37423.038	Nmm	0.037423	kNm
FEMK	=	-37423.04	Nmm	-0.03742	kNm
Segmen KL					
FEMK	=	37423.038	Nmm	0.037423	kNm
FEML	=	-37423.04	Nmm	-0.03742	kNm
Segmen LM					
FEML	=	791062.37	Nmm	0.791062	kNm
FEMM	=	-2282961	Nmm	-2.28296	kNm
Segmen MN					
FEMM	=	48995.317	Nmm	0.048995	kNm
FEMN	=	-48995.32	Nmm	-0.049	kNm

Reaksi Setiap Segmen	
Segmen	= AB
ΣMA	$= (-q_{AB} \times a) + F_{EMA} + F_{EMB}$ $= -128252.7861 \text{ Nmm}$ $= -0.128252786 \text{ kNm}$
ΣMB	$= (q_{AB} \times b) + F_{EMA} + F_{EMB}$ $= 128252.7861 \text{ Nmm}$ $= 0.128252786 \text{ kNm}$
RA	$= \Sigma MB / L$ $= 400.7899565 \text{ N}$ $= 0.400789956 \text{ kN}$
ΣFB	$= (-q_{AB}) + R_A + R_B$
-RB	$= -267.7603 \text{ N}$ $= -0.2678 \text{ kN}$
RB	$= 267.7603 \text{ N}$ $= 0.2678 \text{ kN}$
Segmen	= BC
$\Sigma MA1$	$= (-q_{AB} \times a) + F_{EMB} + F_{EMC}$ $= 1108303.183 \text{ Nmm}$ $= 1.108303183 \text{ kNm}$
$\Sigma MB1$	$= (q_{AB} \times b) + F_{EMB} + F_{EMC}$ $= 1322239.278 \text{ Nmm}$ $= 1.322239278 \text{ kNm}$
RA	$= \Sigma MB / L$ $= 4131.997743 \text{ N}$ $= 4.131997743 \text{ kN}$
ΣFB	$= (-q_{AB}) + R_A + R_B$
-RB	$= 3463.4474 \text{ N}$ $= 0.0035 \text{ kN}$
RB	$= -3463.4474 \text{ N}$ $= -3.4634 \text{ kN}$
$\Sigma MA2$	$= (-F_{BC} \times a) + F_{EMB} + F_{EMC}$ $= -2136478.77 \text{ Nmm}$ $= -2.13647877 \text{ kNm}$
$\Sigma MB2$	$= (F_{BC} \times b) + F_{EMB} + F_{EMC}$ $= 10943521.23 \text{ Nmm}$ $= 10.94352123 \text{ kNm}$
RA	$= \Sigma MB / L$ $= 34198.50385 \text{ N}$ $= 34.19850385 \text{ kN}$
ΣFB	$= (-q_{AB}) + R_A + R_B$
-RB	$= -6676 \text{ N}$ $= -0.006676496 \text{ kN}$
RB	$= 6676.496155 \text{ N}$ $= 6.676496155 \text{ kN}$
TOTAL	

$$\begin{aligned}
\Sigma MA1 + \Sigma MA2 &= -1.028175586 \text{ kNm} \\
\Sigma MB1 + \Sigma MB2 &= 12.26576051 \text{ kNm} \\
RB1 + RB2 &= 38.33050159 \text{ kN} \\
RC1 + RC2 &= 3.213048708 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Segmen = CD

$$\begin{aligned}
\Sigma MA &= (-q_{AB} \times a) + F_{EMB} + F_{EMC} \\
&= -85668.90057 \text{ Nmm} \\
&= -0.085668901 \text{ kNm} \\
\Sigma MB &= (q_{AB} \times b) + F_{EMB} + F_{EMC} \\
&= 85668.90057 \text{ Nmm} \\
&= 0.085668901 \text{ kNm} \\
RA &= \Sigma MB / L \\
&= 267.7153143 \text{ N} \\
&= 0.267715314 \text{ kN} \\
\Sigma FB &= (-q_{AB}) + RA + RB \\
-RB &= -344 \text{ N} \\
&= -0.344205404 \text{ kN} \\
RB &= 344.2054041 \text{ N} \\
&= 0.344205404 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Segmen = DE

$$\begin{aligned}
\Sigma MA &= (-q_{AB} \times a) + F_{EMB} + F_{EMC} \\
&= -319487.2029 \text{ Nmm} \\
&= -0.319487203 \text{ kNm} \\
\Sigma MB &= (q_{AB} \times b) + F_{EMB} + F_{EMC} \\
&= 319487.2029 \text{ Nmm} \\
&= 0.319487203 \text{ kNm} \\
RA &= \Sigma MB / L \\
&= 532.4786715 \text{ N} \\
&= 0.532478672 \text{ kN} \\
\Sigma FB &= (-q_{AB}) + RA + RB \\
-RB &= -532 \text{ N} \\
&= -0.532478672 \text{ kN} \\
RB &= 532.4786715 \text{ N} \\
&= 0.532478672 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Segmen = EF

$$\begin{aligned}
\Sigma MA &= (-q_{AB} \times a) + F_{EMB} + F_{EMC} \\
&= -319487.2029 \text{ Nmm} \\
&= -0.319487203 \text{ kNm} \\
\Sigma MB &= (q_{AB} \times b) + F_{EMB} + F_{EMC} \\
&= 319487.2029 \text{ Nmm} \\
&= 0.319487203 \text{ kNm} \\
RA &= \Sigma MB / L \\
&= 532.4786715 \text{ N} \\
&= 0.532478672 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$\Sigma \text{ FB}$	$= (-q_{AB}) + R_A + R_B$
$-\text{RB}$	$= -532 \text{ N}$
	$= -0.532478672 \text{ kN}$
RB	$= 532.4786715 \text{ N}$
	$= 0.532478672 \text{ kN}$
Segmen	= FG
$\Sigma \text{ MA1}$	$= (-q_{AB} \times a) + \text{FEMB} + \text{FEMC}$
	$= 444677.2804 \text{ Nmm}$
	$= 0.44467728 \text{ kNm}$
$\Sigma \text{ MB1}$	$= (q_{AB} \times b) + \text{FEMB} + \text{FEMC}$
	$= 1083651.686 \text{ Nmm}$
	$= 1.083651686 \text{ kNm}$
RA	$= \Sigma \text{ MB} / L$
	$= 1806.086144 \text{ N}$
	$= 1.806086144 \text{ kN}$
$\Sigma \text{ FB}$	$= (-q_{AB}) + R_A + R_B$
$-\text{RB}$	$= 741 \text{ N}$
	$= 0.741128801 \text{ kN}$
RB	$= -741.1288007 \text{ N}$
	$= -0.741128801 \text{ kN}$
$\Sigma \text{ MA2}$	$= (-\text{FBC} \times a) + \text{FEMB} + \text{FEMC}$
	$= -9945085.517 \text{ Nmm}$
	$= -9.945085517 \text{ kNm}$
$\Sigma \text{ MB2}$	$= (\text{FBC} \times b) + \text{FEMB} + \text{FEMC}$
	$= 14579914.48 \text{ Nmm}$
	$= 14.57991448 \text{ kNm}$
RA	$= \Sigma \text{ MB} / L$
	$= 24299.85747 \text{ N}$
	$= 24.29985747 \text{ kN}$
$\Sigma \text{ FB}$	$= (-q_{AB}) + R_A + R_B$
$-\text{RB}$	$= -16575 \text{ N}$
	$= -16.57514253 \text{ kN}$
RB	$= 16575.14253 \text{ N}$
	$= 16.57514253 \text{ kN}$
TOTAL	
$\Sigma \text{ MA1} + \Sigma \text{ MA2}$	$= -9.500408236 \text{ kNm}$
$\Sigma \text{ MB1} + \Sigma \text{ MB2}$	$= 15.66356617 \text{ kNm}$
$\text{RB1} + \text{RB2}$	$= 26.10594362 \text{ kN}$
$\text{RG1} + \text{RG2}$	$= 15.83401373 \text{ kN}$

Segmen	= GH
$\Sigma \text{ MA}$	$= (-q_{AB} \times a) + \text{FEMB} + \text{FEMC}$
	$= -149692.1513 \text{ Nmm}$
	$= -0.149692151 \text{ kNm}$
$\Sigma \text{ MB}$	$= (q_{AB} \times b) + \text{FEMB} + \text{FEMC}$
	$= 149692.1513 \text{ Nmm}$

$$\begin{aligned}
&= 0.149692151 \text{ kNm} \\
\text{RA} &= \Sigma \text{ MB} / L \\
&= 383.826029 \text{ N} \\
&= 0.383826029 \text{ kN} \\
\Sigma \text{ FB} &= (-q_{AB}) + \text{RA} + \text{RB} \\
-\text{RB} &= -384 \text{ N} \\
&= -0.383826029 \text{ kN} \\
\text{RB} &= 383.826029 \text{ N} \\
&= 0.383826029 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Segmen = HI

$$\begin{aligned}
\Sigma \text{ MA} &= (-q_{AB} \times a) + \text{FEMB} + \text{FEMC} \\
&= -112646.769 \text{ Nmm} \\
&= -0.112646769 \text{ kNm} \\
\Sigma \text{ MB} &= (q_{AB} \times b) + \text{FEMB} + \text{FEMC} \\
&= 112646.769 \text{ Nmm} \\
&= 0.112646769 \text{ kNm} \\
\text{RA} &= \Sigma \text{ MB} / L \\
&= 341.3538455 \text{ N} \\
&= 0.341353845 \text{ kN} \\
\Sigma \text{ FB} &= (-q_{AB}) + \text{RA} + \text{RB} \\
-\text{RB} &= -341 \text{ N} \\
&= -0.341353845 \text{ kN} \\
\text{RB} &= 341.3538455 \text{ N} \\
&= 0.341353845 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Segmen = IJ

$$\begin{aligned}
\Sigma \text{ MA} &= (-q_{AB} \times a) + \text{FEMB} + \text{FEMC} \\
&= -178590.6957 \text{ Nmm} \\
&= -0.178590696 \text{ kNm} \\
\Sigma \text{ MB} &= (q_{AB} \times b) + \text{FEMB} + \text{FEMC} \\
&= 178590.6957 \text{ Nmm} \\
&= 0.178590696 \text{ kNm} \\
\text{RA} &= \Sigma \text{ MB} / L \\
&= 396.8682126 \text{ N} \\
&= 0.396868213 \text{ kN} \\
\Sigma \text{ FB} &= (-q_{AB}) + \text{RA} + \text{RB} \\
-\text{RB} &= -397 \text{ N} \\
&= -0.396868213 \text{ kN} \\
\text{RB} &= 396.8682126 \text{ N} \\
&= 0.396868213 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Segmen = JK

$$\begin{aligned}
\Sigma \text{ MA} &= (-q_{AB} \times a) + \text{FEMB} + \text{FEMC} \\
&= -149692.1513 \text{ Nmm} \\
&= -0.149692151 \text{ kNm} \\
\Sigma \text{ MB} &= (q_{AB} \times b) + \text{FEMB} + \text{FEMC}
\end{aligned}$$

	=	149692.1513	Nmm
	=	0.149692151	kNm
RA	=	$\Sigma MB / L$	
	=	383.826029	N
	=	0.383826029	kN
ΣFB	=	$(-qAB) + RA + RB$	
-RB	=	-384	N
	=	-0.383826029	kN
RB	=	383.826029	N
	=	0.383826029	kN
Segmen	=	KL	
ΣMA	=	$(-qAB \times a) + FEMB + FEMC$	
	=	-149692.1513	Nmm
	=	-0.149692151	kNm
ΣMB	=	$(qAB \times b) + FEMB + FEMC$	
	=	149692.1513	Nmm
	=	0.149692151	kNm
RA	=	$\Sigma MB / L$	
	=	383.826029	N
	=	0.383826029	kN
ΣFB	=	$(-qAB) + RA + RB$	
-RB	=	-384	N
	=	-0.383826029	kN
RB	=	383.826029	N
	=	0.383826029	kN
Segmen	=	LM	
$\Sigma MA1$	=	$(-qAB \times a) + FEMB + FEMC$	
	=	-1641590.416	Nmm
	=	-1.641590416	kNm
$\Sigma MB1$	=	$(qAB \times b) + FEMB + FEMC$	
	=	-1342206.113	Nmm
	=	-1.342206113	kNm
RA	=	$\Sigma MB / L$	
	=	-3441.554136	N
	=	-3.441554136	kN
ΣFB	=	$(-qAB) + RA + RB$	
-RB	=	-4209	N
	=	-4.209206194	kN
RB	=	4209.206194	N
	=	4.209206194	kN
$\Sigma MA2$	=	$(-FBC \times a) + FEMB + FEMC$	
	=	-13427398.26	Nmm
	=	-13.42739826	kNm
$\Sigma MB2$	=	$(FBC \times b) + FEMB + FEMC$	
	=	2513851.736	Nmm
	=	2.513851736	kNm

RA	=	$\Sigma MB / L$	
	=	6445.773681	N
	=	6.445773681	kN
ΣFB	=	$(-qAB) + RA + RB$	
-RB	=	-34429	N
	=	-34.42922632	kN
RB	=	34429.22632	N
	=	34.42922632	kN
TOTAL			
$\Sigma MA1 + \Sigma MA2$	=	-15.06898868	kNm
$\Sigma MB1 + \Sigma MB2$	=	1.171645623	kNm
RB1+RB2	=	3.004219545	kN
RC1+RC2	=	38.63843251	kN

Segmen	=	MN
ΣMA	=	$(-qAB \times a) + FEMB + FEMC$
	=	-195981.2661 Nmm
	=	-0.195981266 kNm
ΣMB	=	$(qAB \times b) + FEMB + FEMC$
	=	195981.2661 Nmm
	=	0.195981266 kNm
RA	=	$\Sigma MB / L$
	=	408.2943044 N
	=	0.408294304 kN
ΣFB	=	$(-qAB) + RA + RB$
-RB	=	-408 N
	=	-0.408294304 kN
RB	=	408.2943044 N
	=	0.408294304 kN

Total Reaksi dan Momen

Tumpuan	Reaksi (kN)	Momen (kNm)	L (mm)
A	0.401	-0.128	0
B	38.598	-0.900	380
C	3.481	12.180	700
D	0.877	-0.234	980
E	1.065	0	1580
F	26.638	-9.181	2180
G	16.218	15.514	2780
H	0.725	0.037	3170
I	0.738	-0.066	3500
J	0.781	0.029	3950
K	0.768	0	4340
L	3.388	-14.919	4730
M	39.047	0.976	5120
N	0.408	0.196	5600
	133.133		

VALIDASI

Momen

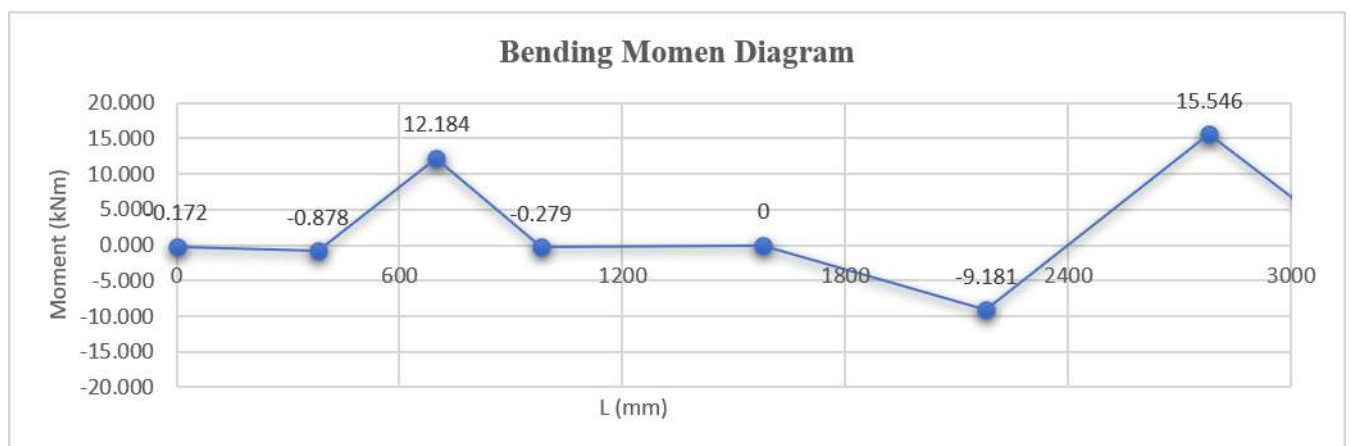
Maks = 15.514 kNm

Aksi = 133138.999 N

Reaksi = 133132.5343 N

Selisih = -6 N

Error = 0%



PERHITUNGAN MANUAL FIX END MOMEN (MODIFIKASI)

Fix End Moment Setiap Segmen			
Segmen	=	AB	
Beban (qAB)	=	907	N
L	=	380	mm
a	=	190	mm
b	=	190	mm
MA	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$	
	=	43106.21975	Nmm
	=	0.043	kNm
MB	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$	
	=	-43106.21975	Nmm
	=	-0.043	kNm
Segmen	=	BC	
Beban (qAB)	=	807	N
Beban (FBC)	=	40875	N
L	=	320	mm
a1	=	160	mm
b1	=	160	mm
a2	=	82	mm
b2	=	238	mm
MA1	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$	
	=	32297.25818	Nmm
	=	0.032	kNm
MB1	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$	
	=	-32297.25818	Nmm
	=	-0.032	kNm
MA1	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$	
	=	1854067.646	Nmm
	=	1.854	kNm
MB1	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$	
	=	-638796.416	Nmm
	=	-0.639	kNm
Segmen	=	CD	
Beban (qAB)	=	741	N
L	=	280	mm
a	=	140	mm
b	=	140	mm
MA	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$	
	=	25925.18304	Nmm
	=	0.026	kNm
MB	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$	
	=	-25925.18304	Nmm
	=	-0.026	kNm

Segmen = DE			
Beban (qAB)	=	1274	N
L	=	600	mm
a	=	300	mm
b	=	300	mm
MA	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$	
	=	95581.12711	Nmm
	=	0.096	kNm
MB	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$	
	=	-95581.12711	Nmm
	=	-0.096	kNm
Segmen = EF			
Beban (qAB)	=	1274	N
L	=	600	mm
a	=	300	mm
b	=	300	mm
MA	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$	
	=	95581.12711	Nmm
	=	0.096	kNm
MB	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$	
	=	-95581.12711	Nmm
	=	-0.096	kNm
Segmen = FG			
Beban (qAB)	=	1274	N
Beban (FFG)	=	40875	N
L	=	600	mm
a1	=	300	mm
b1	=	300	mm
a2	=	262	mm
b2	=	338	mm
MA1	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$	
	=	95581.12711	Nmm
	=	0.096	kNm
MB1	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$	
	=	-95581.12711	Nmm
	=	-0.096	kNm
MA2	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$	
	=	3398520.992	Nmm
	=	3.399	kNm
MB2	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$	
	=	-2634356.508	Nmm
	=	-2.634	kNm

Segmen	=	GH
Beban (qAB)	=	924 N
L	=	390 mm
a	=	195 mm
b	=	195 mm
MA	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$
	=	45053.64571 Nmm
	=	0.045 kNm
MB	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$
	=	-45053.64571 Nmm
	=	-0.045 kNm
Segmen	=	HI
Beban (qAB)	=	824 N
L	=	330 mm
a	=	165 mm
b	=	165 mm
MA	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$
	=	33994.51437 Nmm
	=	0.034 kNm
MB	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$
	=	-33994.51437 Nmm
	=	-0.034 kNm
Segmen	=	IJ
Beban (qAB)	=	1024 N
L	=	450 mm
a	=	225 mm
b	=	225 mm
MA	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$
	=	57613.79568 Nmm
	=	0.058 kNm
MB	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$
	=	-57613.79568 Nmm
	=	-0.058 kNm
Segmen	=	JK
Beban (qAB)	=	924 N
L	=	390 mm
a	=	195 mm
b	=	195 mm
MA	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$
	=	45053.64571 Nmm
	=	0.045 kNm
MB	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$
	=	-45053.64571 Nmm
	=	-0.045 kNm

Segmen	=	KL
Beban (qAB)	=	924 N
L	=	390 mm
a	=	195 mm
b	=	195 mm
MA	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$
	=	45053.64571 Nmm
	=	0.045 kNm
MB	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$
	=	-45053.64571 Nmm
	=	-0.045 kNm
Segmen	=	LM
Beban (qAB)	=	924 N
Beban (FLM)	=	40875 N
L	=	390 mm
a1	=	195 mm
b1	=	195 mm
a2	=	292 mm
b2	=	98 mm
MA1	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$
	=	45053.64571 Nmm
	=	0.045 kNm
MB1	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$
	=	-45053.64571 Nmm
	=	-0.045 kNm
MA2	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$
	=	753639.3294
	=	0.754
MB2	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$
	=	-2245537.594
	=	-2.246
Segmen	=	MN
Beban (qAB)	=	1074 N
L	=	480 mm
a	=	240 mm
b	=	240 mm
MA	=	$(qAB \times a \times b^2)/L^2$
	=	64456.75265 Nmm
	=	0.064 kNm
MB	=	$(-qAB \times a^2 \times b)/L^2$
	=	-64456.75265 Nmm
	=	-0.064 kNm

Total Fix End Moment					
Segmen AB					
FEMA	=	43106.22	Nmm	0.043106	kNm
FEMB	=	-43106.2	Nmm	-0.04311	kNm
Segmen BC					
FEMB	=	1886365	Nmm	1.886365	kNm
FEMC	=	-671094	Nmm	-0.67109	kNm
Segmen CD					
FEMC	=	25925.18	Nmm	0.025925	kNm
FEMD	=	-25925.2	Nmm	-0.02593	kNm
Segmen DE					
FEMD	=	95581.13	Nmm	0.095581	kNm
FEME	=	-95581.1	Nmm	-0.09558	kNm
Segmen EF					
FEME	=	95581.13	Nmm	0.095581	kNm
FEMF	=	-95581.1	Nmm	-0.09558	kNm
Segmen FG					
FEMF	=	3494102	Nmm	3.494102	kNm
FEMG	=	-2729938	Nmm	-2.72994	kNm
Segmen GH					
FEMG	=	45053.65	Nmm	0.045054	kNm
FEMH	=	-45053.6	Nmm	-0.04505	kNm
Segmen HI					
FEMH	=	33994.51	Nmm	0.033995	kNm
FEMI	=	-33994.5	Nmm	-0.03399	kNm
Segmen IJ					
FEMI	=	57613.8	Nmm	0.057614	kNm
FEMJ	=	-57613.8	Nmm	-0.05761	kNm
Segmen JK					
FEMJ	=	45053.65	Nmm	0.045054	kNm
FEMK	=	-45053.6	Nmm	-0.04505	kNm
Segmen KL					
FEMK	=	45053.65	Nmm	0.045054	kNm
FEML	=	-45053.6	Nmm	-0.04505	kNm
Segmen LM					
FEML	=	798693	Nmm	0.798693	kNm
FEMM	=	-2290591	Nmm	-2.29059	kNm
Segmen MN					
FEMM	=	64456.75	Nmm	0.064457	kNm
FEMN	=	-64456.8	Nmm	-0.06446	kNm

Reaksi Setiap Segmen	
Segmen	= AB
ΣMA	$= (-q_{AB} \times a) + F_{EMA} + F_{EMB}$ $= -172424.879 \text{ Nmm}$ $= -0.172424879 \text{ kNm}$
ΣMB	$= (q_{AB} \times b) + F_{EMA} + F_{EMB}$ $= 172424.879 \text{ Nmm}$ $= 0.172424879 \text{ kNm}$
RA	$= \Sigma MB / L$ $= 538.8277469 \text{ N}$ $= 0.538827747 \text{ kN}$
ΣFB	$= (-q_{AB}) + R_A + R_B$
-RB	$= -268.6037 \text{ N}$ $= -0.2686 \text{ kN}$
RB	$= 268.6037 \text{ N}$ $= 0.2686 \text{ kN}$
Segmen	= BC
$\Sigma MA1$	$= (-q_{AB} \times a) + F_{EMB} + F_{EMC}$ $= 1086082.198 \text{ Nmm}$ $= 1.086082198 \text{ kNm}$
$\Sigma MB1$	$= (q_{AB} \times b) + F_{EMB} + F_{EMC}$ $= 1344460.263 \text{ Nmm}$ $= 1.344460263 \text{ kNm}$
RA	$= \Sigma MB / L$ $= 4201.438323 \text{ N}$ $= 4.201438323 \text{ kN}$
ΣFB	$= (-q_{AB}) + R_A + R_B$
-RB	$= 3394.0069 \text{ N}$ $= 0.0034 \text{ kN}$
RB	$= -3394.0069 \text{ N}$ $= -3.3940 \text{ kN}$
$\Sigma MA2$	$= (-F_{BC} \times a) + F_{EMB} + F_{EMC}$ $= -2136478.77 \text{ Nmm}$ $= -2.13647877 \text{ kNm}$
$\Sigma MB2$	$= (F_{BC} \times b) + F_{EMB} + F_{EMC}$ $= 10943521.23 \text{ Nmm}$ $= 10.94352123 \text{ kNm}$
RA	$= \Sigma MB / L$ $= 34198.50385 \text{ N}$ $= 34.19850385 \text{ kN}$
ΣFB	$= (-q_{AB}) + R_A + R_B$
-RB	$= -6676 \text{ N}$ $= -0.006676496 \text{ kN}$
RB	$= 6676.496155 \text{ N}$ $= 6.676496155 \text{ kN}$
TOTAL	

$\Sigma MA1 + \Sigma MA2$	=	-1.050396572	kNm
$\Sigma MB1 + \Sigma MB2$	=	12.28798149	kNm
$RB1 + RB2$	=	38.39994217	kN
$RC1 + RC2$	=	3.282489287	kN
Segmen	=	CD	
ΣMA	=	$(-q_{AB} \times a) + F_{EMB} + F_{EMC}$	
	=	-103700.7322	Nmm
	=	-0.103700732	kNm
ΣMB	=	$(q_{AB} \times b) + F_{EMB} + F_{EMC}$	
	=	103700.7322	Nmm
	=	0.103700732	kNm
RA	=	$\Sigma MB / L$	
	=	324.064788	N
	=	0.324064788	kN
ΣFB	=	$(-q_{AB}) + RA + RB$	
$-RB$	=	-417	N
	=	-0.416654727	kN
RB	=	416.6547275	N
	=	0.416654727	kN
Segmen	=	DE	
ΣMA	=	$(-q_{AB} \times a) + F_{EMB} + F_{EMC}$	
	=	-382324.5084	Nmm
	=	-0.382324508	kNm
ΣMB	=	$(q_{AB} \times b) + F_{EMB} + F_{EMC}$	
	=	382324.5084	Nmm
	=	0.382324508	kNm
RA	=	$\Sigma MB / L$	
	=	637.2075141	N
	=	0.637207514	kN
ΣFB	=	$(-q_{AB}) + RA + RB$	
$-RB$	=	-637	N
	=	-0.637207514	kN
RB	=	637.2075141	N
	=	0.637207514	kN
Segmen	=	EF	
ΣMA	=	$(-q_{AB} \times a) + F_{EMB} + F_{EMC}$	
	=	-382324.5084	Nmm
	=	-0.382324508	kNm
ΣMB	=	$(q_{AB} \times b) + F_{EMB} + F_{EMC}$	
	=	382324.5084	Nmm
	=	0.382324508	kNm
RA	=	$\Sigma MB / L$	
	=	637.2075141	N
	=	0.637207514	kN
ΣFB	=	$(-q_{AB}) + RA + RB$	
$-RB$	=	-637	N
	=	-0.637207514	kN

RB	=	637.2075141	N
	=	0.637207514	kN
Segmen	=	FG	
Σ MA1	=	$(-q_{AB} \times a) + F_{EMB} + F_{EMC}$	
	=	381839.9749	Nmm
	=	0.381839975	kNm
Σ MB1	=	$(q_{AB} \times b) + F_{EMB} + F_{EMC}$	
	=	1146488.992	Nmm
	=	1.146488992	kNm
RA	=	$\Sigma MB / L$	
	=	1910.814986	N
	=	1.910814986	kN
Σ FB	=	$(-q_{AB}) + R_A + R_B$	
-RB	=	636	N
	=	0.636399958	kN
RB	=	-636.3999581	N
	=	-0.636399958	kN
Σ MA2	=	$(-F_{BC} \times a) + F_{EMB} + F_{EMC}$	
	=	-9945085.517	Nmm
	=	-9.945085517	kNm
Σ MB2	=	$(F_{BC} \times b) + F_{EMB} + F_{EMC}$	
	=	14579914.48	Nmm
	=	14.57991448	kNm
RA	=	$\Sigma MB / L$	
	=	24299.85747	N
	=	24.29985747	kN
Σ FB	=	$(-q_{AB}) + R_A + R_B$	
-RB	=	-16575	N
	=	-16.57514253	kN
RB	=	16575.14253	N
	=	16.57514253	kN
TOTAL			
Σ MA1+ Σ MA2	=	-9.563245542	kNm
Σ MB1+ Σ MB2	=	15.72640348	kNm
RB1+RB2	=	26.21067246	kN
RG1+RG2	=	15.93874257	kN

Segmen	=	GH	
Σ MA	=	$(-q_{AB} \times a) + F_{EMB} + F_{EMC}$	
	=	-180214.5829	Nmm
	=	-0.180214583	kNm
Σ MB	=	$(q_{AB} \times b) + F_{EMB} + F_{EMC}$	
	=	180214.5829	Nmm
	=	0.180214583	kNm
RA	=	$\Sigma MB / L$	
	=	462.088674	N

	=	0.462088674	kN
ΣFB	=	$(-qAB) + RA + RB$	
$-RB$	=	-462	N
	=	-0.462088674	kN
RB	=	462.088674	N
	=	0.462088674	kN
Segmen	=	HI	
ΣMA	=	$(-qAB \times a) + FEMB + FEMC$	
	=	-135978.0575	Nmm
	=	-0.135978057	kNm
ΣMB	=	$(qAB \times b) + FEMB + FEMC$	
	=	135978.0575	Nmm
	=	0.135978057	kNm
RA	=	$\Sigma MB / L$	
	=	412.0547197	N
	=	0.41205472	kN
ΣFB	=	$(-qAB) + RA + RB$	
$-RB$	=	-412	N
	=	-0.41205472	kN
RB	=	412.0547197	N
	=	0.41205472	kN
Segmen	=	IJ	
ΣMA	=	$(-qAB \times a) + FEMB + FEMC$	
	=	-230455.1827	Nmm
	=	-0.230455183	kNm
ΣMB	=	$(qAB \times b) + FEMB + FEMC$	
	=	230455.1827	Nmm
	=	0.230455183	kNm
RA	=	$\Sigma MB / L$	
	=	512.1226283	N
	=	0.512122628	kN
ΣFB	=	$(-qAB) + RA + RB$	
$-RB$	=	-512	N
	=	-0.512122628	kN
RB	=	512.1226283	N
	=	0.512122628	kN
Segmen	=	JK	
ΣMA	=	$(-qAB \times a) + FEMB + FEMC$	
	=	-180214.5829	Nmm
	=	-0.180214583	kNm
ΣMB	=	$(qAB \times b) + FEMB + FEMC$	
	=	180214.5829	Nmm
	=	0.180214583	kNm
RA	=	$\Sigma MB / L$	
	=	462.088674	N
	=	0.462088674	kN
ΣFB	=	$(-qAB) + RA + RB$	

-RB	=	-462 N
	=	-0.462088674 kN
RB	=	462.088674 N
	=	0.462088674 kN
Segmen	=	KL
ΣMA	=	$(-q_{AB} \times a) + F_{EMB} + F_{EMC}$
	=	-180214.5829 Nmm
	=	-0.180214583 kNm
ΣMB	=	$(q_{AB} \times b) + F_{EMB} + F_{EMC}$
	=	180214.5829 Nmm
	=	0.180214583 kNm
RA	=	$\Sigma MB / L$
	=	462.088674 N
	=	0.462088674 kN
ΣFB	=	$(-q_{AB}) + RA + RB$
-RB	=	-462 N
	=	-0.462088674 kN
RB	=	462.088674 N
	=	0.462088674 kN
Segmen	=	LM
$\Sigma MA1$	=	$(-q_{AB} \times a) + F_{EMB} + F_{EMC}$
	=	-1672112.847 Nmm
	=	-1.672112847 kNm
$\Sigma MB1$	=	$(q_{AB} \times b) + F_{EMB} + F_{EMC}$
	=	-1311683.681 Nmm
	=	-1.311683681 kNm
RA	=	$\Sigma MB / L$
	=	-3363.291491 N
	=	-3.363291491 kN
ΣFB	=	$(-q_{AB}) + RA + RB$
-RB	=	-4287 N
	=	-4.287468839 kN
RB	=	4287.468839 N
	=	4.287468839 kN
$\Sigma MA2$	=	$(-F_{BC} \times a) + F_{EMB} + F_{EMC}$
	=	-13427398.26 Nmm
	=	-13.42739826 kNm
$\Sigma MB2$	=	$(F_{BC} \times b) + F_{EMB} + F_{EMC}$
	=	2513851.736 Nmm
	=	2.513851736 kNm
RA	=	$\Sigma MB / L$
	=	6445.773681 N
	=	6.445773681 kN
ΣFB	=	$(-q_{AB}) + RA + RB$
-RB	=	-34429 N
	=	-34.42922632 kN

RB	=	34429.22632	N
	=	34.42922632	kN
TOTAL			
$\Sigma MA1 + \Sigma MA2$	=	-15.09951111	kNm
$\Sigma MB1 + \Sigma MB2$	=	1.202168054	kNm
RB1+RB2	=	3.08248219	kN
RC1+RC2	=	38.71669516	kN
Segmen	=	MN	
ΣMA	=	$(-qAB \times a) + FEMB + FEMC$	
	=	-257827.0106	Nmm
	=	-0.257827011	kNm
ΣMB	=	$(qAB \times b) + FEMB + FEMC$	
	=	257827.0106	Nmm
	=	0.257827011	kNm
RA	=	$\Sigma MB / L$	
	=	537.1396055	N
	=	0.537139605	kN
ΣFB	=	$(-qAB) + RA + RB$	
-RB	=	-537	N
	=	-0.537139605	kN
RB	=	537.1396055	N
	=	0.537139605	kN

Total Reaksi dan Momen

Tumpuan	Reaksi (kN)	Momen (kNm)	L (mm)
A	0.539	-0.172	0
B	38.669	-0.878	380
C	3.607	12.184	700
D	1.054	-0.279	980
E	1.274	0	1580
F	26.848	-9.181	2180
G	16.401	15.546	2780
H	0.874	0.044	3170
I	0.924	-0.094	3500
J	0.974	0.050	3950
K	0.924	0	4340
L	3.545	-14.919	4730
M	39.254	0.944	5120
N	0.537	0.258	5600
	135.423		

VALIDASI

Momen

Maks = 15.546 kNm

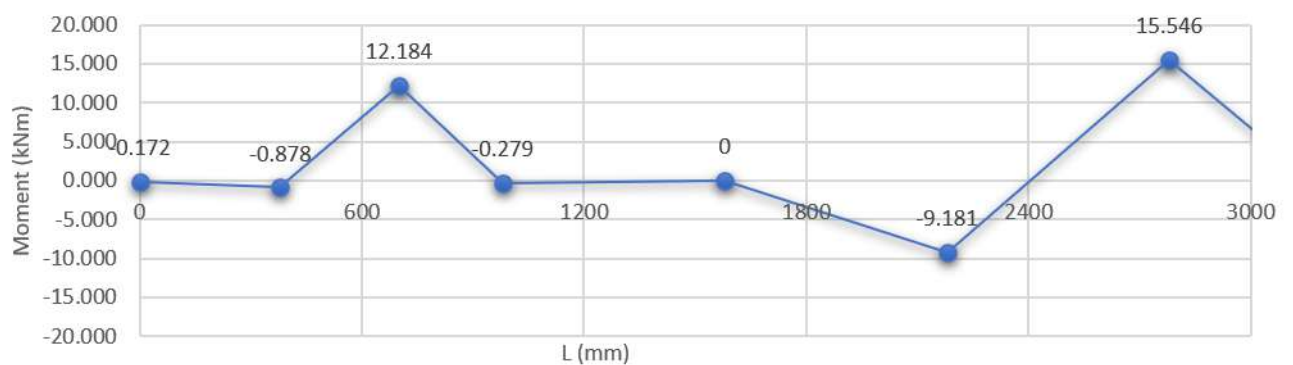
Aksi = 135523.239 N

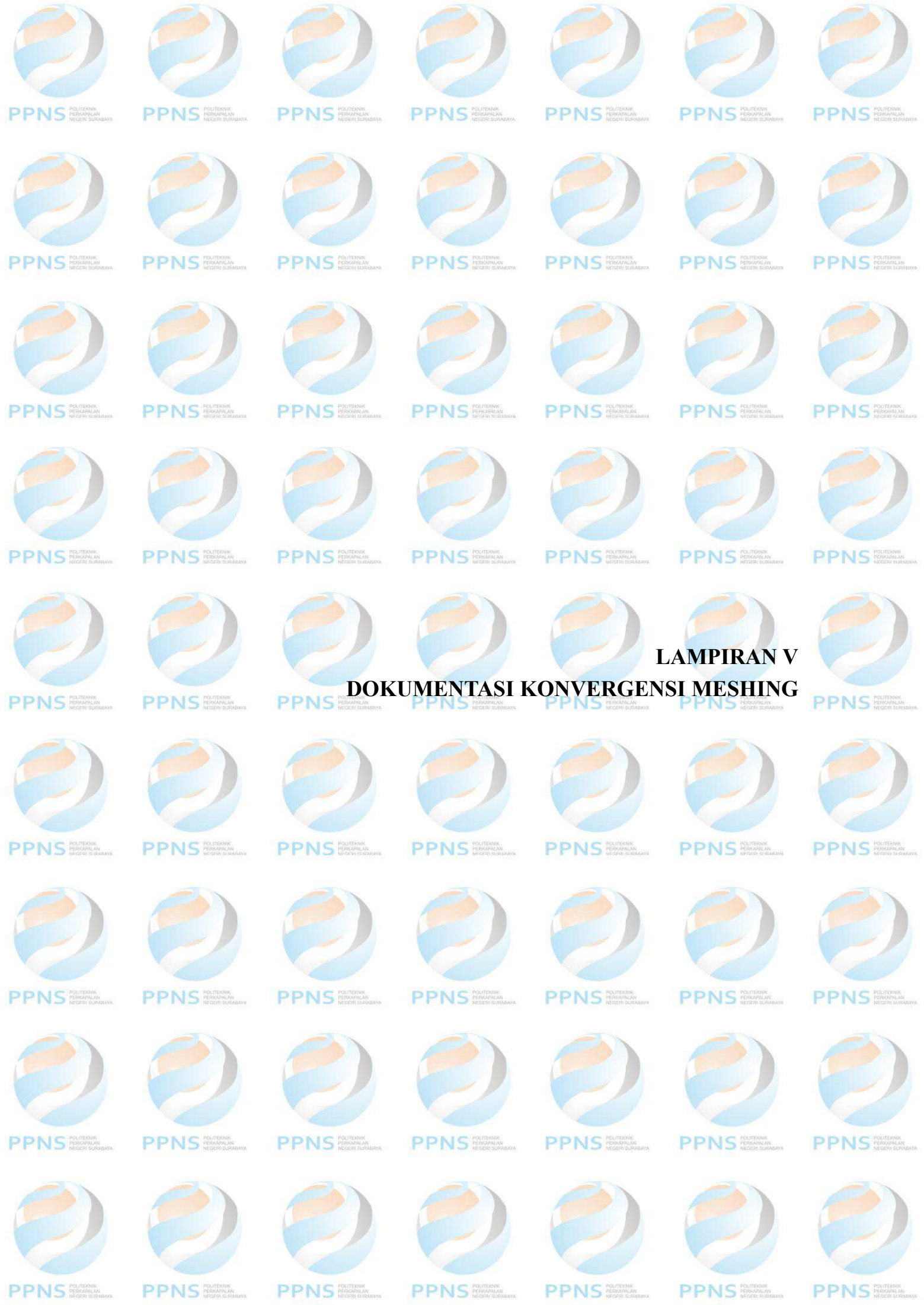
Reaksi = 135423.1708 N

Selisih = -100 N

Error = 0%

Bending Momen Diagram

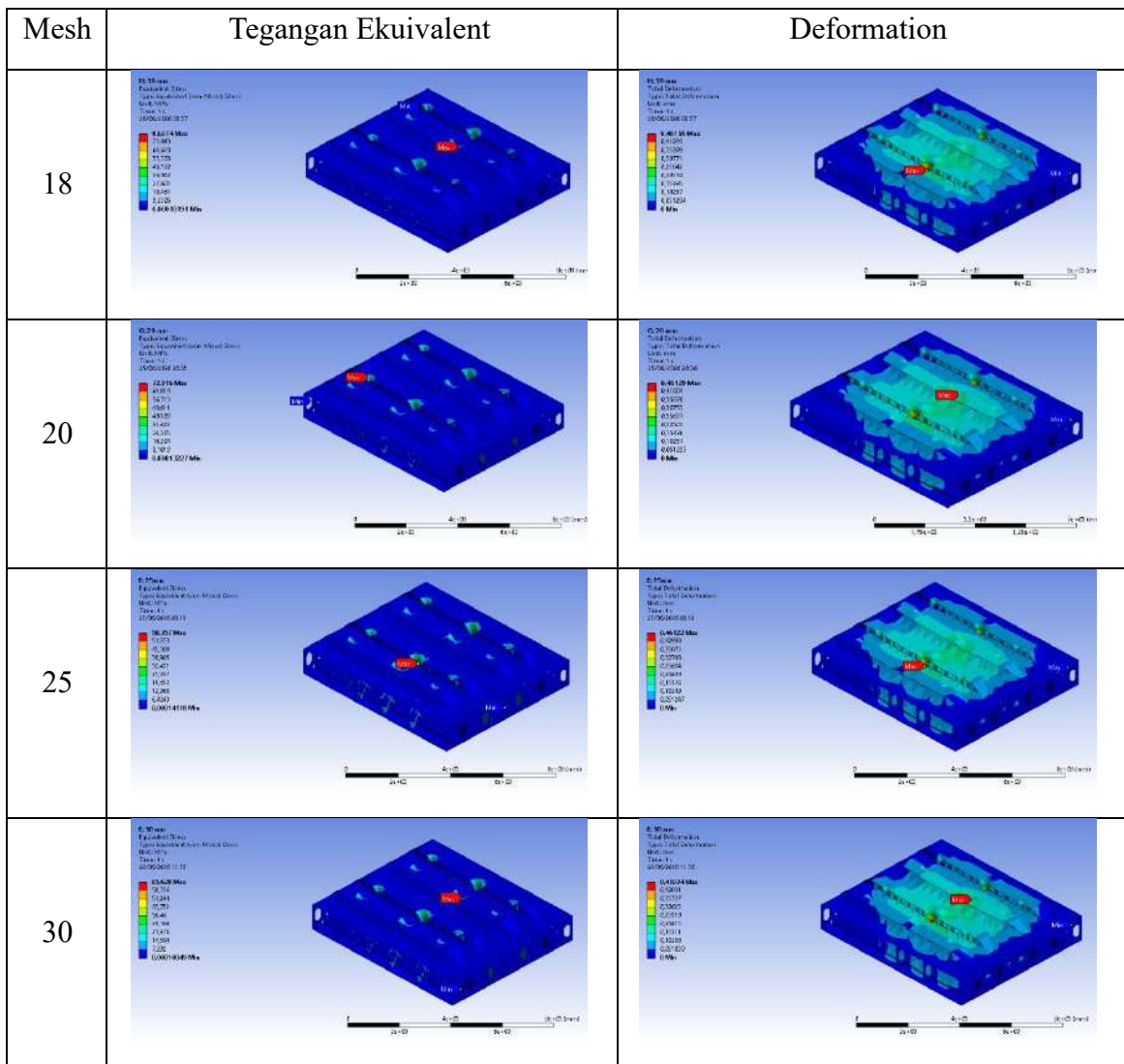
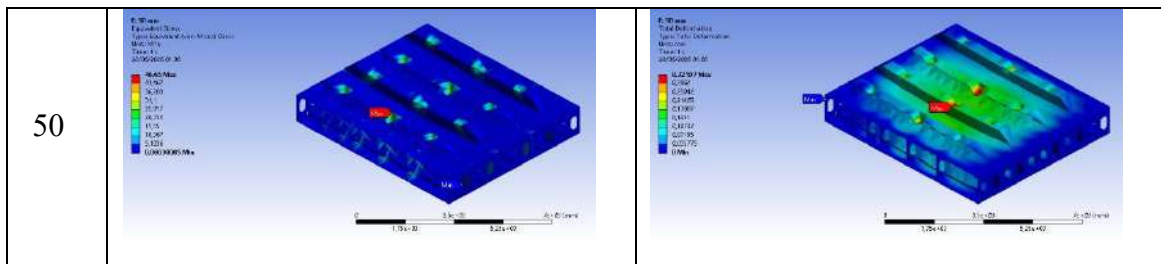


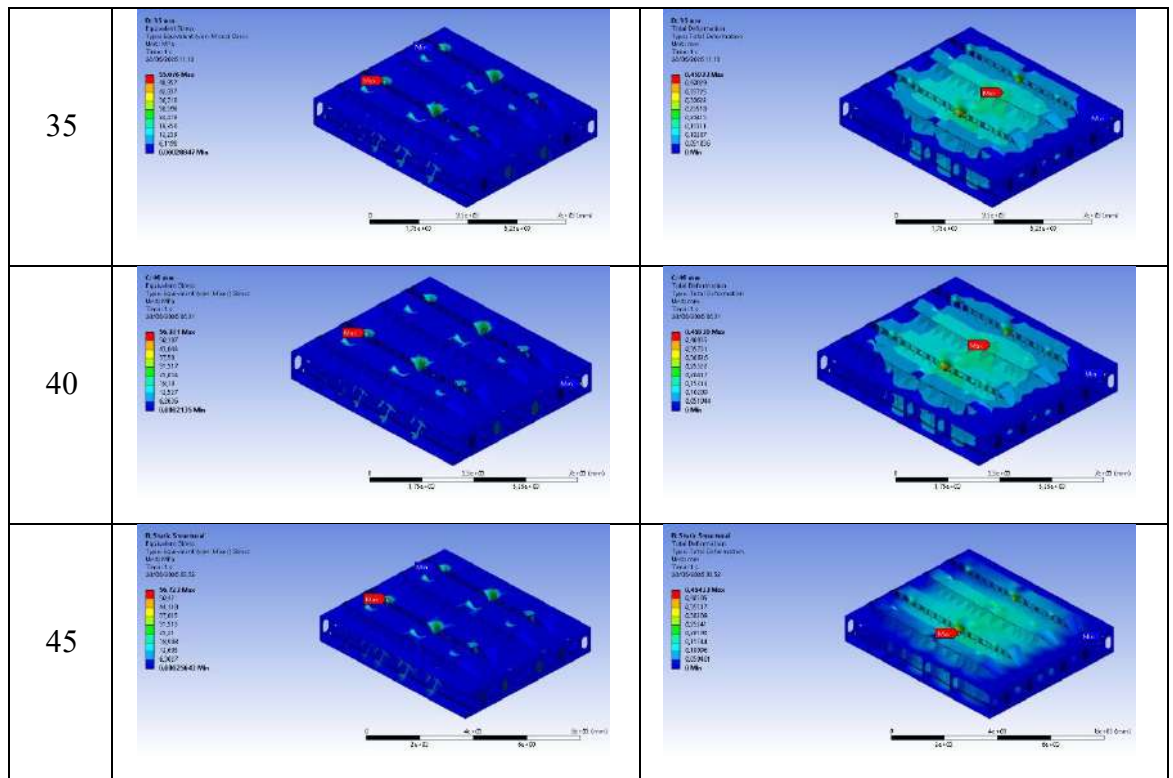


LAMPIRAN V
DOKUMENTASI KONVERGENSI MESHING

(halaman ini sengaja dikosongkan)

Mesh	Tegangan Ekuivalent	Deformation
18	E-Plane Horizontal Tipe Load/Dirig: Tumpukan/Balok Tumpukan/Balok Unit: MPa Time: 1 s JACOBSO(0.0, 0.0)	E-Plane Horizontal Tipe Load/Dirig: Tumpukan/Balok Tumpukan/Balok Unit: mm Time: 1 s JACOBSO(0.0, 0.0)
25	E-Plane Horizontal Tipe Load/Dirig: Tumpukan/Balok Tumpukan/Balok Unit: MPa Time: 1 s JACOBSO(0.0, 0.0)	E-Plane Horizontal Tipe Load/Dirig: Tumpukan/Balok Tumpukan/Balok Unit: mm Time: 1 s JACOBSO(0.0, 0.0)
30	E-Plane Horizontal Tipe Load/Dirig: Tumpukan/Balok Tumpukan/Balok Unit: MPa Time: 1 s JACOBSO(0.0, 0.0)	E-Plane Horizontal Tipe Load/Dirig: Tumpukan/Balok Tumpukan/Balok Unit: mm Time: 1 s JACOBSO(0.0, 0.0)
35	E-Plane Horizontal Tipe Load/Dirig: Tumpukan/Balok Tumpukan/Balok Unit: MPa Time: 1 s JACOBSO(0.0, 0.0)	E-Plane Horizontal Tipe Load/Dirig: Tumpukan/Balok Tumpukan/Balok Unit: mm Time: 1 s JACOBSO(0.0, 0.0)
40	E-Plane Horizontal Tipe Load/Dirig: Tumpukan/Balok Tumpukan/Balok Unit: MPa Time: 1 s JACOBSO(0.0, 0.0)	E-Plane Horizontal Tipe Load/Dirig: Tumpukan/Balok Tumpukan/Balok Unit: mm Time: 1 s JACOBSO(0.0, 0.0)
45	E-Plane Horizontal Tipe Load/Dirig: Tumpukan/Balok Tumpukan/Balok Unit: MPa Time: 1 s JACOBSO(0.0, 0.0)	E-Plane Horizontal Tipe Load/Dirig: Tumpukan/Balok Tumpukan/Balok Unit: mm Time: 1 s JACOBSO(0.0, 0.0)





(halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Nama : Farhan Akhyat Saifuddin
Tempat, Tanggal lahir : Surabaya, 21 Desember 2003
Alamat : Jl. Gubeng Masjid 2 no.33
Email : farhanakhyatsaifuddin@gmail.com
No. HP : 085549010873
Agama : Islam
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Hobi : Adrenalin Outdoor
Motto :

“Life is like riding a bicycle. To keep your balance,
you must keep moving.”

Riwayat Pendidikan :

2022 – 2026	Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya Program Studi D4 Teknik Perancangan & Konstruksi Kapal
2019 – 2022	SMA Negeri 6 Surabaya
2016 – 2019	SMP Negeri 6 Surabaya
2010 – 2016	SDN Airlangga Surabaya