

**ANALISIS KEKUATAN DAN KEKAKUAN  
KONSTRUKSI PONDASI MOTOR PENGGERAK  
KAPAL ALUMINIUM KPC 40**

**SKRIPSI**

Diajukan Untuk Menempuh Ujian Sarjana

Departemen Teknik Perkapalan

Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin



**OLEH :**

**DWI RESTU AFDILLAH**

**D311 16 008**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2021**

# LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam mengikuti seminar dan ujian akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Perkapalan Program Studi Strata Satu (S1) pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar

**Judul Skripsi :**

**ANALISIS KEKUATAN DAN KEKAKUAN KONSTRUKSI  
PONDASI MOTOR PENGGERAK KAPAL KPC 40**

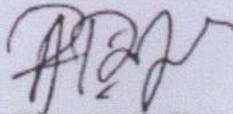
Disusun Oleh :

**DWI RESTU AFDILLAH  
D31116008**

Gowa, Juli 2021

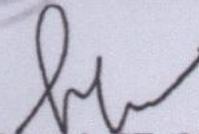
Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing I



**Dr. Eng. A. Ardianti, ST., MT**  
Nip. 19850526 201212 2 002

Pembimbing II

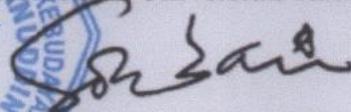


**Hamzah, ST., MT.**  
Nip. 19800618 200501 1 004

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



  
**Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.**  
Nip. 19730206 200012 1 002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Dwi Restu Afdillah

NIM : D311 16 008

Program Studi : Teknik Perkapalan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

### ANALISIS KEKUATAN DAN KEKAKUAN KONSTRUKSI PONDASI MOTOR PENGGERAK KAPAL ALUMINIUM KPC 40

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar – benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 14 Juli 2021

Yang menyatakan



Dwi Restu Afdillah

## ABSTRAK

**Restu Afdillah, Dwi.** 2021. “*Analisis Kekuatan dan Kekakuan Konstruksi Pondasi Motor Penggerak Kapal Aluminium KPC 40*” (Dibimbing oleh **Andi Ardianti dan Hamzah**)

Untuk mencapai kecepatan tinggi sesuai fungsi dan misi kapal, dibutuhkan motor penggerak dengan daya yang sangat besar sehingga pondasi motor menjadi perhatian lebih agar tidak berakibat fatal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan dan kekakuan pondasi motor diesel penggerak kapal dengan konstruksi aluminium. Beban yang digunakan dalam penelitian ini adalah beban dari motor penggerak itu sendiri, tambahan beban percepatan, momen torsi dan gaya dorong propeller. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga dan dibantu dengan *software ANSYS Workbench*. Berdasarkan hasil analisis diperoleh tegangan terbesar pada kondisi 100%RPM atau 667 RPM yang diterima oleh pondasi motor diesel pada arah X sebesar 37,237 Mpa, tegangan maksimal pada arah Y sebesar 67,5249 Mpa, tegangan maksimal pada arah Z sebesar 44,944 Mpa, dan tegangan von mises yang terjadi sebesar 58,711 Mpa lebih kecil daripada tegangan ijin material sebesar 138,182 MPa berdasarkan *The Aluminium Association*. Rentang tegangan yang terjadi setiap kondisi RPM masih berada dibawah tegangan ijin yang disyaratkan. Besar deformasi yang terjadi pada struktur pondasi mesin pada kondisi 100%RPM sebesar 0,387 mm dimana merupakan nilai deformasi total terkecil dibanding pada kondisi RPM yang lain.

**Kata kunci:** *Pondasi Motor Penggerak Kapal, Metode Elemen Hingga, ANSYS Workbench*

## **ABSTRACT**

**Restu Afdillah, Dwi.** 2021. “*Analysis Strength and Stiffness Of Engine Foundation Construction KPC 40 Aluminium*” (Dibimbing oleh **Andi Ardianti dan Hamzah**)

*To achieve high speed according to the ship's function and mission, a propulsion engine with a very large power is needed so that the engine foundation is of greater concern so as not to be fatal. This study aims to determine the strength and stiffness of the foundation of the diesel engine that drives ships with aluminum construction. The load used in this study is the load from the driving engine itself, additional acceleration loads, torque moments and propeller thrust. This research was conducted using the finite element method and assisted by ANSYS Workbench software. Based on the results of the analysis, the largest stress at 100% RPM or 667 RPM received by the diesel motor foundation in the X direction is 37,237 Mpa, the maximum stress in the Y direction is 67,5249 Mpa, the maximum stress in the Z direction is 44,944 Mpa, and The misses that occur are 58.711 MPa, which is smaller than the allowable stress of the material at 138.182 MPa based on The Aluminum Association. The stress range that occurs in each RPM condition is still below the required allowable stress. The amount of deformation that occurs in the machine foundation structure at 100% RPM is 0.387 mm which is the smallest total deformation value compared to other RPM conditions.*

**Keywords:** *Engine Foundation, Finite Element Method, ANSYS Workbench*

## KATA PENGANTAR

ALHAMDULILLAH, segala puji dan syukur kepada Allah SWT, atas limpahan berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul “**ANALISIS KEKUATAN DAN KEKAKUAN PONDASI MOTOR PENGGERAK KAPAL ALUMINIUM KPC 40**”.

Pengerjaa tugas akhir ini merupakan persyaratan bagi setiap mahasiswa untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada program studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penyelesaian tugas akhir ini merupakan suatu kebanggaan tersendiri bagi penyusun karena tantangan dan hambatan yang menghadang selama mengerjakan tugas akhir ini dapat terlewatidengan usaha dan upaya yang sungguh-sungguh dari penulis.

Di dalam pengerjaan skripsi ini telah melibatkan banyak pihak yang sangat membantu dalam banyak hal. Oleh sebab itu, disini penulis sampaikan rasa terimakasih sedalam-dalamnya kepada :

1. Kedua orang tua tercinta, Ayahanda **Sarjimen** dan Ibunda **Haryana** atas kesabaran, pengorbanan, nasehat, dan yang terutama doa yang tak terputus selama ini sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan baik.
2. Ibu **Dr. Eng. A.Ardianti, ST., MT** selaku pembimbing I dan Bapak **Hamzah ST., MT** selaku pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan dan kesabaran dalam membimbing dan mendidik penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak **Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl. –Ing** selaku Kepala Labolatorium Struktur Teknik Perkapalan dan Bapak **Wahyudin ST., MT** selaku dosen Labolatorium Produksi sekaligus penguji dalam tugas akhir ini yang telah masukan dan saran demi penyempurnaan skripsi penulis.
4. Bapak **Dr. Eng Suandar Baso, ST., MT**, selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

5. Seluruh Dosen Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kemurahan hatinya.
6. Seluruh staff Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kesabarannya selama penulis mengurus segala persuratan di kampus.
7. Kepada teman-teman Program Studi Teknik Perkapalan Angkatan 2016, terima kasih atas segala suka dan duka yang ita alami bersama yang menjadikan penulis bisa tumbuh dewasa dalam pikiran dan perbuatan.
8. Kepada teman-teman dan kanda senior sesama Labo Struktur
9. Kepada kakanda senior dan adinda yang penulis tak bisa sebutkan satu persatu.
10. Kepada teman teman PULMAN16, MaMMesA, Cruizer, dan ExSmansal yang telah memberi semangat dan motivasi penulis selama ini.
11. Kepadanya sang penyemangat yang selalu ada.
12. Yang terakhir penulis ucapkan terima kasih untuk seluruh pihak baik secara langsung maupun tidak langsung yang memilikiperanan dan kontribusi di dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penyusun menyadari dengan sepuh hati bahwa didalam tugas akhir ini masih banyak terdapat kesalahan maupun kekurangan. Untuk itu penulis memohon maaf dan meminta kritikan yang bersifat membangun demi kesempurnaan peneliti ini. Akhir kata penulis berharap semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi penulis sendiri maupun bagi semua pihak yang berkenan untuk membaca dan mempelajarinya.

Gowa, Juli 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK .....	iv
<i>ABSTRACT</i> .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II LANDASAN TEORI.....	4
2.1 Aluminium.....	4
2.1.1 Sifat-sifat Aluminium .....	4
2.1.2 Klasifikasi Aluminium.....	6
2.1.3 Kelebihan dan kekurangan kapal konstruksi aluminium .....	8
2.2 Sistem Konstruksi Kapal .....	8
2.2.1 Kamar Mesin.....	10
2.2.2 Pondasi Mesin .....	11
2.3 Beban.....	13
2.3.1 Beban Motor Penggerak .....	14
2.3.2 Gaya Dorong ( <i>Trust</i> ).....	14
2.3.3 Momen Torsi.....	15
2.4 Tegangan .....	16
2.4.1 Tegangan Tekan.....	16

2.4.2	Tegangan Lentur .....	16
2.4.3	Tegangan Von-Mises .....	17
2.4.4	Hubungan Tegangan Regangan .....	17
2.5	Tegangan ijin .....	19
2.6	<i>Stress</i> Tiga Dimensi.....	20
2.7	Metode Elemen Hingga .....	21
2.8	Ansys .....	23
<b>BAB III</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>25</b>
3.1	Waktu dan Lokasi Penelitian.....	25
3.2	Prosedur Penelitian .....	25
3.2.1	Studi Literatur .....	25
3.2.2	Pengumpulan dan Pengolahan Data.....	25
3.3	Prosedur Penyelesaian dengan Software Elemen Hingga.....	29
3.3.3	Pre Processing .....	29
3.3.4	Solution .....	34
3.4	<i>Flow Chart</i> Penelitian .....	36
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>38</b>
4.1	Pembebanan Struktur .....	38
4.1.1	Perhitungan Beban Mesin Kapal.....	38
4.1.2	Perhitungan Gaya Dorong ( <i>Thrust</i> ).....	39
4.1.3	Perhitungan Momen Torsi .....	41
4.2	Analisis Kekuatan Pondasi Motor Penggerak Kapal.....	43
4.2.1	Tegangan Ijin .....	43
4.2.2	Tegangan Normal dan Tegangan <i>Von-mises</i> .....	44
4.2.3	Deformasi Total .....	47
<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP.....</b>	<b>51</b>
5.1	Kesimpulan.....	51
5.2	Saran .....	51
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>53</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>55</b>
Brosur mesin.....		56

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kamar mesin tampak atas. (PT. CAPUTRA MITRA SEJATI).....	10
Gambar 2.2 Pondasi mesin konstruksi alas ganda (Kusna, 2008) .....	12
Gambar 2.3 Pondasi mesin konstruksi alas tunggal (Kusna, 2008).....	12
Gambar 2.4 Balok yang Mengalami Lentur (Theodosius & Saleh, 2003).....	17
Gambar 2.5 Kurva Tegangan-regangan Baja Ringan (Bauchau dan Craig, 2009)18	
Gambar 3.1 Konstruksi Memanjang Pondasi Mesin Tampak Atas .....	27
Gambar 3.2 Konstruksi Memanjang Pondasi Mesin Tampak Sisi Kiri.....	27
Gambar 3.3 Konstruksi Memanjang Pondasi Mesin Tampak Sisi Kanan .....	28
Gambar 3.4 Konstruksi Melintang Pondasi Mesin .....	28
Gambar 3.5 Geometri Pondasi Motor Penggerak Kapal.....	30
Gambar 3.6 Properti material Aluminium 5803 .....	31
Gambar 3.7 <i>Contact Top Plat</i> dengan <i>Longitudinal Girder</i> .....	32
Gambar 3.8 <i>Contact Top Plat</i> dengan Plat Penumpu .....	32
Gambar 3.9 <i>Contact Wrang</i> dengan <i>Longitudinal Girder</i> .....	33
Gambar 3.10 <i>Meshing</i> pada Pondasi Motor Penggerak .....	33
Gambar 3.11 Tumpuan <i>Fixed Support</i> Kapal .....	34
Gambar 3.12 Tumpuan <i>Displacement</i> .....	35
Gambar 3.13 Posisi Pembebanan Pondasi Motor .....	35
Gambar 3.14 <i>Solving</i> berhasil dilakukan .....	36
Gambar 3.15 Diagram Alir Penelitian .....	37
Gambar 4.1 Kurva Thrust Propeller.....	41
Gambar 4.2 Kurva Momen dengan RPM Propeller.....	42
Gambar 4.3 Kontur Tegangan normal arah x Pondasi Motor Penggerak Kapal Kondisi RPM 667.....	44
Gambar 4.4 Kontur Tegangan normal arah y Pondasi Motor Penggerak Kapal Kondisi RPM 667.....	44
Gambar 4.5 Kontur Tegangan normal arah z Pondasi Motor Penggerak Kapal Kondisi RPM 667.....	44

Gambar 4.6 Kontur Tegangan von-mises Pondasi Motor Penggerak Kapal Kondisi RPM 667 .....	45
Gambar 4.7 Grafik Perubahan Tegangan Normal Arah x, y, z dan Tegangan Von-mises terbesar Pondasi Motor Penggerak .....	46
Gambar 4.5 Kontur Deformasi total Pondasi Motor Penggerak kondisi RPM 667 .....	48
Gambar 4.6 Grafik perubahan Deformasi Total Pondasi Motor Penggerak .....	49

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Material Properti Al 5083 .....	29
Tabel 4.1 Trust Untuk Setiap Variasi RPM .....	40
Tabel 4.2 Momen Torsi Untuk Setiap Variasi RPM.....	42
Tabel 4.3 Tegangan Normal Arah x, y, z dan Tegangan von-mises terbesar Pondasi Motor Penggerak Kapal.....	46
Tabel 4.4 Perubahan Tegangan Normal Arah x, y z, dan Tegangan Von-mises Terbesar Pondasi Motor Penggerak Setiap Variasi RPM .....	46
Tabel 4.5 Deformasi total Pondasi Motor Penggerak .....	49
Tabel 4.6 Perubahan Deformasi total Pondasi Motor Penggerak untuk Setiap variasi RPM.....	49

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kapal patroli cepat adalah kapal berkecepatan tinggi yang digunakan untuk melakukan operasi militer atau polisi dalam rangka menjaga kedaulatan wilayah laut suatu negara.

Dalam proses pembuatan kapal cepat tentunya tujuan utama yang ingin di capai seorang perancang adalah kecepatan kapal. Untuk memenuhi kebutuhan ini, bahan aluminium menjadi solusi karena memiliki sifat bahan yang ringan dan kuat agar kecepatan dapat dipenuhi pun dengan kekuatannya. Selain itu bahan aluminium juga tahan korosi terhadap air laut.

Kapal aluminium dengan kekuatan yang sama dengan kapal baja atau fiberglass yang dirancang memiliki penghematan berat 35% sampai 45% pada bagian lambung, dan 55% sampai 65% pada bagian bangunan atas. (Simpson, 2003)

Untuk mencapai kecepatan tinggi sesuai dengan fungsi dan misi kapal, di butuhkan motor penggerak dengan daya yang sangat besar (*over power*). Besarnya daya motor relatif terhadap dimensi struktur kapal, membawa konsekuensi pada kekuatan dan kekakuan pondasi motor penggerak kapal. Pondasi yang tidak kaku menyebabkan kesegarisan (*alignment*) poros terganggu, dan bisa berakibat fatal.

Berkaitan dengan hal tersebut penelitian ini dilakukan untuk menganalisis seberapa besar kekuatan dan kekakuan pondasi motor penggerak agar kapal dapat mencapai kecepatan optimal saat beroperasi tanpa kendala.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah “Bagaimana kekuatan dan kekakuan pondasi motor diesel penggerak kapal dengan konstruksi aluminium?”

## **1.3 Batasan Masalah**

Karena cakupan masalah yang luas pada penelitian ini maka penulis membatasi ruang lingkup permasalahan, yaitu :

1. Kapal yang di jadikan objek (analisis kasus) yaitu Kapal Aluminium KPC 40M
2. Jenis mesin yang digunakan yaitu 2x MTU 12VV4000M71 dengan *gearbox* ZF 7600
3. Material pondasi motor penggerak yaitu Al 5083
4. Asumsi pembebanan :
  - a. Beban Quasistatis, dari mesin utama dan gearbox
  - b. Beban torsi, dari gaya putar *crankshaft* mesin induk dan putaran *reduction gear* pada *gearbox*.
  - c. Beban gaya dorong *propeller*
5. Perhitungan beban trust menggunakan diagram wagennigen b-series dan diasumsikan titik berat mesin berada di tengah pondasi
6. Analisis dilakukan dengan menggunakan *software* ANSYS

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah “Untuk mengetahui kekuatan dan kekakuan pondasi motor diesel penggerak kapal dengan konstruksi aluminium”.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Dari penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai referensi penelitian dalam menganalisis konstruksi pondasi motor penggerak kapal.

#### **1.6 Sistematika Penulisan**

Penyajian materi penulisan ini dijabarkan secara umum dalam kerangka penulisan sebagai berikut:

**Bab I Pendahuluan**, berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan yang akan dicapai dan manfaat untuk penulis dan pembaca serta sistematika penulisan skripsi.

**Bab II Landasan Teori**, pada bab ini dipaparkan sumber kajian pustaka yang dapat mendukung permasalahan dalam penelitian.

**Bab III Metodologi Penelitian**, dalam bab ini berisi lokasi dan waktu penelitian, jenis dan sumber data penelitian, metode penelitian, metode pengumpulan data, teknik analisis data, serta kerangka pemikiran untuk memperoleh kesimpulan.

**Bab IV Hasil dan Pembahasan**, berisi pembahasan dan hasil analisis data yang telah didapatkan

**Bab V Penutup**, berisikan kesimpulan yang diperoleh dari penelitian dan saran-saran.

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Aluminium**

Aluminium ditemukan pada tahun 1809 oleh Sir Humphrey sebagai suatu unsur, dan direduksi sebagai logam oleh H.C. Oersted pada tahun 1825 (Surdia, 1992). Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik, penghantar listrik yang baik, ketahanan aus, dan koefisien pemuaian rendah. Dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni dan sebagainya secara satu persatu atau bersama-sama pada aluminium dapat meningkatkan kekuatan mekanik dan juga meningkatkan ketahanan korosi, ketahanan aus dan sifat baik lainnya. Material ini dipergunakan dalam bidang yang sangat luas, mulai dari keperluan rumah tangga, konstruksi, mobil, kapal hingga material pesawat terbang.

##### **2.1.1 Sifat-sifat Aluminium**

Sifat teknik bahan aluminium murni dan aluminium paduan dipengaruhi oleh konsentrasi bahan dan perlakuan yang diberikan. Aluminium tahan terhadap korosi disebabkan oleh peristiwa pasivasi, yaitu proses pembentukan lapisan aluminium oksida pada permukaan logam aluminium pada saat terpapar udara bebas. Lapisan ini yang mencegah terjadinya korosi. Adapun sifat mekanik dari aluminium sebagai berikut :

a. Ketahanan Korosi

Pembentukan lapisan aluminium oksida menjadikan aluminium sangat tahan terhadap korosi bahkan untuk air laut, oleh karenanya tidak memerlukan pengecatan untuk perlindungan (Nafis, 2015)

b. Penghantar panas dan listrik yang baik

Konduktivitas listrik aluminium sangat diperlukan untuk elektronik dan listrik. Kabel aluminium membawa arus dua kali lebih banyak dari tembaga dengan berat yang sama. Konduktivitas termal yang tinggi sangat cocok untuk pengaplikasian pemanasan dan pendinginan. Aluminium tak berserat memiliki konduktivitas termal dan listrik sekitar 60% dari bahan tembaga. (Nafis, 2015)

c. Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik adalah besar tegangan yang didapatkan pada saat pengujian tarik. Kekuatan tarik pada aluminium murni umumnya sangat rendah, sehingga untuk penggunaan yang memerlukan kekuatan tarik yang tinggi aluminium dipadukan dengan logam lain. (Febrianto,2018)

d. Kekerasan

Kekerasan merupakan sifat yang terdapat dalam suatu bahan yang mencegah terjadinya deformasi. Kekerasan suatu bahan dipengaruhi oleh elastisitas, plastisitas, viskoelastisitas, kekuatan tarik, dan sebagainya. Untuk pengaplikasian aluminium yang membutuhkan

kekerasan, aluminium perlu dipadukan dengan logam lain.  
(Febrianto,2018)

e. Kelenturan

Kelenturan adalah kemampuan suatu bahan untuk dapat diubah bentuknya secara plastis tanpa terjadi retakan. Dalam suatu pengujian tarik, material dengan daya kelenturan yang tinggi akan mengalami *necking* sedangkan bahan berdaya lentur rendah hampir tidak mengalami *necking* (Febrianto,2018).

f. *Recyclability*

Aluminium mudah didaur ulang tanpa menurunkan kualitas awalnya.  
(Febrianto,2018)

### **2.1.2 Klasifikasi Aluminium**

Aluminium diklasifikasikan dalam beberapa jenis golongan tergantung dari proses dan penggunaannya. Karena sifat mampu bentuk yang baik, logam aluminium mampu menggantikan logam lain seperti baja, tembaga, dan sebagainya. Logam ini digunakan secara luas di berbagai bidang. Untuk mencapai sifat aluminium yang sesuai dengan peruntukannya, aluminium dibagi menjadi delapan jenis paduan, yaitu (Ship Structure Commite, 2012):

1. Aluminium murni (Seri 1000)

Yaitu aluminium dengan kemurnian di atas 99%. Aluminium ini memiliki sifat penghantar panas dan penghantar listrik yang sangat baik, namun memiliki kekuatan yang rendah. Aluminium ini biasanya digunakan dalam industri listrik dan bahan kimia.

2. Paduan Al-Cu (Seri 2000)

Paduan aluminium seri ini memiliki kekuatan yang menyamai baja lunak, namun daya tahan korosi yang rendah. Paduan ini biasanya digunakan pada industry pesawat terbang.

3. Paduan Al-Mn (Seri 3000)

Paduan aluminium seri ini memiliki kekuatan sedang dan kemampuan kerja yang tinggi. Paduan ini biasanya digunakan oleh produksi arsitektur.

4. Paduan Al-Si (Seri 4000)

Paduan aluminium seri ini memiliki ketahanan korosi yang baik, sangat ringan, koefisien pemuaian yang rendah dan sebagai penghantar panas dan listrik yang baik. Paduan ini biasanya digunakan untuk produksi batang las dan mematri lembaran.

5. Paduan Al-Mg (Seri 5000)

Paduan aluminium seri ini meningkatkan kekuatan aluminium tanpa mengurangi keuletan, memiliki daya tahan korosi yang sangat tinggi dan sifat mampu lasnya yang baik. Paduan ini digunakan pada industri maritim

6. Paduan (Al-Mg-Si) Seri 600)

Paduan aluminium seri ini memiliki kekuatan tinggi dan daya tahan korosi yang baik

7. Paduan Al-Zn (Seri 7000)

Paduan aluminium ini memiliki kekuatan yang tinggi. Paduan ini digunakan pada industri pesawat terbang.

8. Paduan Al dengan besi, nikel, timah, dan atau lithium (Seri 8000)

### 2.1.3 Kelebihan dan kekurangan kapal konstruksi aluminium

Dalam penggunaannya sebagai konstruksi kapal, aluminium memiliki keuntungan dan kerugian sebagai berikut (Hardjono, 2012) :

a. Kelebihan

1. Memiliki berat bahan yang ringan, sehingga sangat cocok untuk merencanakan kecepatan kapal yang tinggi atau pengurangan kebutuhan kekuatan mesin.
2. Ketahanan terhadap korosi air laut sangat tinggi, terkhusus pada aluminium seri 5000.
3. Dapat di daur ulang sehingga tidak mencemari lingkungan

b. Kekurangan dari penggunaan aluminium sebagai material konstruksi kapal bukan berdasar sifat mekanis, namun lebih kepada ketersediaan bahan dan biaya. Di Indonesia bahan aluminium untuk bidang perkapalan belum tersedia sehingga harus di datangkan dari luar.

## 2.2 Sistem Konstruksi Kapal

Sistem konstruksi kapal dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu sistem konstruksi melintang (*transverse framing system*), sistem konstruksi membujur (*longitudinal framing system*), dan sistem konstruksi kombinasi (*combination framing system*). Penggunaan sistem konstruksi suatu kapal ditentukan oleh pertimbangan ukuran

kapal, jenis dan fungsi kapal, dan pertimbangan-pertimbangan lainnya (Kusna, 2008).

Kapal cepat yang di desain dengan ukuran tidak panjang dan untuk mencapai kecepatan yang tinggi menggunakan sistem konstruksi melintang. Dalam sistem ini gading (*frame*) dipasang vertikal mengikuti bentuk lambung. Pada bagian geladak dipasang balok-balok geladak dengan jarak antara yang sama dengan jarak antar gading (*frame*). Pada bagian ujung balok geladak ditumpu oleh gading yang terletak pada vertikal yang sama. Pada bagian alas dipasang wrang dengan jarak yang sama dengan jarak antar frame sehingga wrang, gading dan balok geladak membentuk rangkaian yang saling berhubungan. Rangkaian ini hanya ditiadakan apabila pada tempat yang sama terdapat sekat melintang atau gading besar (*web frame*).

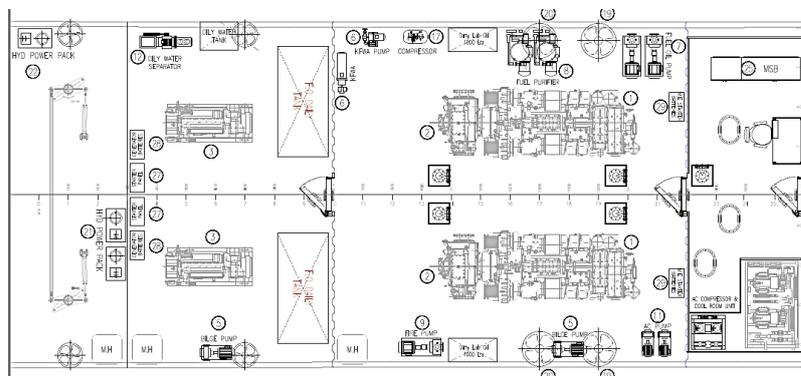
Gading besar (*web frame*) adalah gading yang mempunyai bilah yang lebih besar dibanding dengan bilah gading utama. Gading besar ini ujungnya dihubungkan dengan balok geladak yang mempunyai bilah yang juga besar. Gading besar umumnya hanya ditempatkan pada ruangan tertentu yang membutuhkan tambahan penguatan melintang. Tergantung kebutuhan, gading umumnya dipasang dengan jarak antara sekitar 3 – 5 m. (Kusna, 2008)

Sekat melintang, gading (*frame*), gading besar (*web frame*), dan balok geladak merupakan penunjang kekuatan melintang kapal. Pada beberapa bagian sistem konstruksi melintang terdapat elemen yang dipasang membujur, antara lain (Kusna, 2008):

- a. Pada bagian alas terdapat penumpu tengah (*center girder*) dan penumpu samping (*side girder*). Penumpu tengah adalah pelat yang dipasang memanjang kapal tepat pada tengah kapal. Penumpu samping juga merupakan pelat yang dipasang membujur pada alas yang terletak di sebelah penumpu tengah.
- b. Pada bagian sisi terdapat senta. Senta sisi umumnya dipasang pada tempat tertentu sesuai dengan kebutuhan.
- c. Pada bagian geladak terdapat penumpu geladak. Penumpu geladak dipasang membujur pada geladak kapal.

### 2.2.1 Kamar Mesin

Kamar mesin merupakan ruangan yang sangat penting pada kapal. Pada ruangan ini terdapat mesin penggerak kapal dan sumber tenaga pembangkit listrik berupa generator listrik, pompa-pompa, dan berbagai peralatan kerja yang menunjang pengoperasian kapal. Konstruksi kamar mesin dibuat khusus karena adanya beban-beban tambahan yang bersifat tetap, seperti beban putaran mesin utama.



Gambar 2.1 Kamar mesin tampak atas. (PT. CAPUTRA MITRA SEJATI)

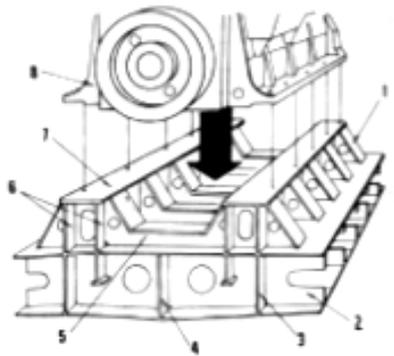
Dalam perencanaan kamar mesin, seluruh kebutuhan sistem harus ditentukan secara detail. Hal yang harus menjadi pertimbangan dalam perancangan kamar mesin antara lain meminimumkan volume ruang kamar mesin.

### **2.2.2 Pondasi Mesin**

Pondasi mesin merupakan pengikat mesin agar mesin tetap tegak dan tegar pada posisi yang telah ditetapkan seolah mesin telah menjadi satu kesatuan dengan kapal itu sendiri. Kekakuan pondasi motor penggerak dan struktur dasar di sekitarnya harus memadai agar dapat menjaga deformasi sistem akibat beban dalam batas yang diizinkan. Dalam pemasangan pondasi mesin perlu perlakuan khusus sehingga kelurusan sumbu poros mesin dengan sumbu poros propeller selalu terjamin. (BKI, 2019)

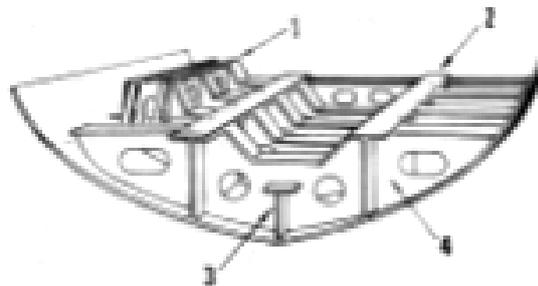
Persyaratan umum dari pondasi mesin dalam Ngurah (2018), yaitu :

1. Pondasi mesin harus dapat menahan beban di atasnya (*superimposed loads*) tanpa menyebabkan keruntuhan geser atau hancur.
2. Kombinasi dari titik berat mesin dan pondasi sedapat mungkin berada pada satu garis vertikal dari bidang dasar.
3. Bagian *rotating & reciprocating* dari mesin harus selalu dalam keadaan seimbang agar mengurangi gaya-gaya yang tak seimbang yang dapat terjadi.



Gambar 2.2 Pondasi mesin konstruksi alas ganda (Kusna, 2008)

1. Penguat
2. Wrang alas
3. Penumpu samping
4. Penumpu tengah
5. Pelintang pondasi
6. Penumpu bujur pondasi
7. Pelat hadap pondasi
8. Mesin utama



Gambar 2.3 Pondasi mesin konstruksi alas tunggal (Kusna, 2008)

1. Pondasi mesin utama
2. Pondasi mesin bantu

3. Penumpu tengah

4. Wrang

Kekakuan pondasi mesin harus mencukupi persyaratan agar deformasi yang dapat terjadi masih dalam batas yang diizinkan. Dalam perencanaan pembuatan pondasi mesin harus dapat menyebarkan beban pada mesin induk secara merata pada struktur lambung kapal agar dapat menahan berbagai macam gaya yang dapat memberikan beban pada pondasi tersebut (Kusna, 2008).

### **2.3 Beban**

Beban yang diterima pondasi motor penggerak adalah secara vertikal yang berasal dari berat motor dan *gearbox*, beban torsi dari momen putar *crankshaft* mesin dan *reduction gear* pada *gearbox*, serta arah horizontal oleh beban sistem propulsi kapal (Adityo, 2015).

Beban motor penggerak dihasilkan dari berat motor penggerak yang didistribusikan merata pada pondasi motor penggerak. Beban motor penggerak juga dipengaruhi oleh torsi mesin dengan reaksi beban arah vertikal.

Menurut Odo (1998) dalam Putria (2016) beban pondasi motor diesel terdiri dari :

- Beban motor itu sendiri
- Tambahan beban percepatan horizontal akibat gerak *rolling* dan *pitching*
- Tambahan beban percepatan vertikal akibat gerak *rolling* dan *heaving*
- Gaya dorong poros akibat gaya dorong (*thrust*) dari propeller
- Beban kejut (jika propeller terkena sesuatu) sehingga terjadi *Crash stop*

### 2.3.1 Beban Motor Penggerak

Menurut Odo (1998) dalam Putria (2016) kondisi dinamis pada motor diesel akan mengakibatkan tambahan beban yang terdiri dari tambahan beban dari percepatan horizontal dan vertikal, besaran beban adalah :

- Tambahan Beban dari percepatan Vertikal ( $a_v$ )

$$2 \times \text{gravitasi} \quad [2.1]$$

- Tambahan Beban dari percepatan Horizontal ( $a_h$ )

$$0,5 \times \text{gravitasi} \quad [2.2]$$

Jadi beban motor dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$W_v = m \times g (1 + a_v) \quad [2.3]$$

$$W_h = m \times g (a_h) \quad [2.4]$$

Dimana:

$$W_v = \text{Berat Vertikal (N)}$$

$$W_h = \text{Berat Horizontal (N)}$$

$$m = \text{Massa (kg)}$$

$$g = \text{Percepatan gravitasi (m/s}^2\text{)}$$

$$a = \text{Percepatan Tambahan (m/s}^2\text{)}$$

### 2.3.2 Gaya Dorong (*Trust*)

Gaya dorong dari propeller (*Trust*) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Bernitsas dkk, 1981)

$$T = K_T \times \rho \times n^2 \times D^4 \quad [2.5]$$

Dimana:

$$T = \text{Trust Propeller (N)}$$

KT	=	Koefisien <i>Thrust</i>
P	=	Massa jenis fluida (kg/m <sup>3</sup> )
n	=	Putaran per detik (s <sup>-1</sup> )
D	=	Diameter Propeller

Nilai koefisien thrust diperoleh dengan menggunakan diagram wageningen b-series propeller dengan memperhatikan nilai AE/A0 dan P/D pada propeller serta nilai *advance coeff* dengan menggunakan persamaan (Bernitsas dkk, 1981):

$$J = \frac{V_A}{n \cdot D} \quad [2.6]$$

Dimana:

J	=	<i>Advance Coeff</i>
V <sub>a</sub>	=	Kecepatan aliran fluida pada propeller
n	=	Putaran per detik (s <sup>-1</sup> )
D	=	Diameter Propeller

### 2.3.3 Momen Torsi

Torsi adalah suatu pemuntiran sebuah batang yang diakibatkan oleh kopelkopel yang menghasilkan putaran terhadap sumbu longitudinalnya. Torsi dihasilkan dari putaran poros kapal.

Torsi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Yulianto dan Ariesta, 2019):

$$Q = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n} \quad [2.7]$$

Dimana :

Q = Momen Torsi (Nm)

P = Daya Motor (W)

n = Banyaknya putaran poros per detik ( $s^{-1}$ )

## 2.4 Tegangan

Tegangan pertama kali diperkenalkan oleh Augustin Cauchy (1789-1857). Tegangan adalah gaya dalam yang bekerja pada luasan yang kecil tak terhingga pada sebuah potongan dan terdiri dari bermacam-macam besaran dan arah gaya (Adityo dkk, 2015). Intensitas gaya yang bekerja pada suatu benda berubah-ubah dari suatu titik ke titik yang lain. Intensitas gaya yang tegak lurus terhadap benda disebut tegangan normal.

### 2.4.1 Tegangan Tekan

Jika gaya normal bekerja tepat pada titik berat penampang, maka dikatakan bahwa gaya normal tersebut bekerja sentris (Theodosius & Saleh, 2003) :

$$\sigma = \frac{N}{A} = (N/mm^2) \quad [2.8]$$

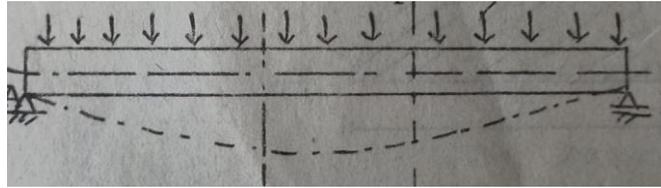
Dimana:  $\sigma$  = tegangan tekan ( $N/mm^2$ )

$N$  = gaya tekan (N)

$A$  = luas penampang ( $mm^2$ )

### 2.4.2 Tegangan Lentur

Tegangan lentur adalah tegangan pada balok yang timbul akibat beban yang terbagi rata sehingga melentur dimana bagian atas balok tertekan sedangkan bagian bawahnya tertarik.



Gambar 2.4 Balok yang Mengalami Lentur (Theodosius & Saleh, 2003)

Pada tegangan lentur dipengaruhi dengan besaran momen yang bekerja pada balok yang ditinjau. Adapun persamaan tegangan lentur (Theodosius & Saleh, 2003):

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I} = (\text{N/mm}^2) \quad [2.9]$$

Dimana:  $\sigma$  = tegangan lentur ( $\text{N/mm}^2$ )

$M$  = momen lentur ( $\text{N} \cdot \text{mm}$ )

$Y$  = jarak terjauh dari sumbu ( $\text{mm}$ )

$I$  = momen inersia ( $\text{mm}^4$ )

### 2.4.3 Tegangan Von-Mises

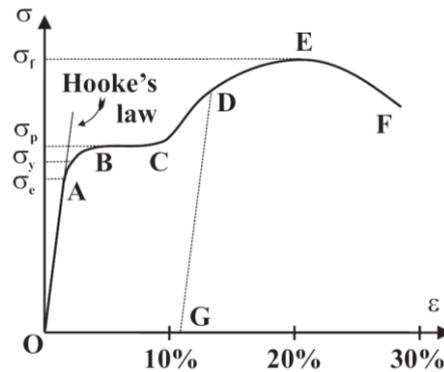
Analisa menggunakan perangkat lunak elemen hingga memiliki kelebihan yaitu dapat menghasilkan nilai tegangan Von-mises atau tegangan ekuivalen, yaitu jenis tegangan yang mengakibatkan kegagalan pada struktur material yang dirumuskan oleh Von mises. Untuk penentuan tegangan von-mises, terlebih dahulu menghitung tegangan utama yang bekerja pada struktur, setelah itu maka tegangan von-mises bisa ditentukan dengan persamaan (Shigley, 2004):

$$\sigma = \{[\sigma_1 - \sigma_2]^2 + [\sigma_2 + \sigma_3]^2 + [\sigma_3 - \sigma_1]^2\}^{1/2} \quad [2.10]$$

### 2.4.4 Hubungan Tegangan Regangan

Regangan adalah perubahan ukuran benda dikarenakan oleh gaya yang bekerja padanya. Regangan juga dapat dikatakan sebagai deformasi, dimana

dalam hal ini benda dapat terdeformasi dengan memanjang, memendek, membesar, mengecil, dan sebagainya.



Gambar 2.5 Kurva Tegangan-regangan Baja Ringan (Bauchau dan Craig, 2009)

Gambar di atas menunjukkan diagram tegangan-regangan baja ringan. Dari titik O ke titik A material bersifat linear, hal ini dapat di jelaskan dengan hukum *Hooke*. Pada bagian ini, setiap penambahan tegangan diikuti dengan penambahan regangan secara linear dan memiliki nilai yang sama dengan modulus *young* atau modulus elastisitas. Apabila gaya yang bekerja dihilangkan, material akan kembali pada bentuk awalnya. Kondisi ini dinamakan sebagai kondisi elastis

Titik A disebut sebagai batas proporsionalitas, karena perilaku benda tidak lagi proporsional atau linear ketika melewati titik ini. Bahan dapat terus menjadi elastis di luar titik A, tetapi pada beberapa titik perubahan bentuk plastis akan terjadi. Ketika gaya yang bekerja pada material dihilangkan maka benda tidak akan lagi kembali ke kondisi awal. Tegangan yang terjadi pada kondisi ini disebut tegangan luluh.

Dari titik B ke titik C, material akan terus mengalami perubahan luas dengan tegangan yang bekerja hampir konstan. Pada saat tegangan pada titik E tercapai, material akan segera pecah. Tegangan pada titik E disebut tegangan kegagalan.

Bahan yang memiliki elastisitas tinggi mengalami deformasi yang sangat besar sebelum hancur. Jika penurunan tegangan dilakukan antara titik B dan E, semisal pada titik D, hubungan tegangan-regangan akan mengikuti kurva DG. Pada saat tegangan diturunkan, bahan akan bersifat elastis meskipun deformasi permanen OG akan tetap terjadi meskipun seluruh gaya dihilangkan. Apabila material diberikan lagi tegangan, hubungan tegangan-regangan akan mengikuti kurva GD dan apabila tegangan ditingkatkan lagi maka akan mengikuti kurva DEF. Pertambahan tegangan-regangan kembali linear pada kurva DG dan mencapai tegangan yang lebih tinggi pada titik D sebelum deformasi plastis terjadi kembali. Peningkatan tegangan ini disebut regangan pengerasan.

## **2.5 Tegangan ijin**

Tegangan ijin adalah tegangan yang mengakibatkan suatu konstruksi mengalami lendutan yang besar dimana lendutan tersebut adalah batas sebuah konstruksi masih aman dalam mengatasi beban yang terjadi atau yang bekerja padanya. Apabila tegangan izin dari konstruksi lebih kecil dari tegangan maksimum yang terjadi, maka konstruksi tersebut tidak aman.

Untuk material aluminium yang digunakan dalam konstruksi kapal, tegangan ijin ditentukan dengan memperhatikan *safety factor*. Untuk tegangan ijin

aluminium diperoleh dengan membagi nilai *minimum yield strength* dengan *safety factor* sebesar 1,65 : (Aluminium Construction Manual, 1968)

$$\sigma_{ijin} = \frac{\text{minimum yield strength}}{1,65} \quad [2.11]$$

## 2.6 Stress Tiga Dimensi

Solid adalah objek delapan node yang digunakan untuk memodelkan sistem struktural tiga dimensi. Dalam menganalisa stress dari suatu continuum tiga dimensi, berlaku beberapa persamaan (Susatio, 2004) :

Persamaan kesetimbangan :

$$[K]\{q\} = \{Q\}_{temp}\{Q\}_T + \{Q\}_{BF} \quad [2.12]$$

Matrik Kekakuan :

$$[K] = \int_{\Omega} [B]^T [c][B] d\Omega \quad [2.13]$$

Vektor beban temperatur Nodal:

$$\{Q\}_{temp} = \int_{\Omega} [B]^T [c][B] d\Omega \quad [2.14]$$

Vektor gaya nodal

$$\{Q\}_{NF} = \text{gaya yang dikenakan pada node} \quad [2.15]$$

Vektor traksi pada permukaan :

$$\{Q\}_T = \int_A [N]^T \begin{Bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{Bmatrix} dA \quad [2.16]$$

Vektor Body Force :

$$\{Q\}_{BF} = \int_{\Omega} [N]^T \begin{Bmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{Bmatrix} d\Omega \quad [2.17]$$

Matrik konstitutif [C] adalah :

$$[C] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & \frac{1-2\nu}{2} & \frac{1-2\nu}{2} & 0 \\ & 1-\nu & \nu & \frac{1-2\nu}{2} & 0 & 0 \\ & & 1-\nu & \frac{1-2\nu}{2} & 0 & 0 \\ & & & \frac{1-2\nu}{2} & 0 & 0 \\ & & & & \frac{1-2\nu}{2} & 0 \\ & & & & & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \quad [2.18]$$

*symetri*

## 2.7 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan problem matematis. Tipe permasalahan teknik dan matematis yang dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga terbagi dalam dua kelompok, yaitu kelompok analisa struktur dan kelompok non struktur. (Susatio, 2004).

Tipe-tipe permasalahan struktur yang dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga dalam Susatio (2004) meliputi :

1. Analisa tegangan, meliputi analisa *Truss* dan *frame* serta masalah-masalah yang berhubungan dengan tegangan-tegangan yang terkonsentrasi.
2. *Buckling*.
3. Analisa getaran

Adapun problem non struktur yang dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga dalam Susatio (2004) meliputi :

1. Perpindahan panas dan massa.

2. Mekanika fluida, termasuk aliran fluida yang melewati poros.
3. Distribusi dan potensial listrik dan potensi magnet.

Pada persoalan geometri yang rumit seperti pembebanan pada struktur yang kompleks, umumnya sulit diselesaikan dengan matematika analisis karena memerlukan besaran atau harga yang harus diketahui pada setiap titik pada struktur yang dikaji. Permasalahan geometri yang kompleks dan pembebanan yang rumit dapat diatasi dengan formulasi elemen hingga.

Dikritisasi adalah proses pemodelan dari struktur atau objek dengan membagi elemen-elemen kecil (elemen hingga) yang terhubung oleh titik-titik (*nodes*) yang digunakan oleh elemen-elemen tersebut dan sebagai batas dari struktur. Dalam metode elemen hingga persamaan dari seluruh sistem dibentuk dari penggabungan persamaan elemen-elemennya. Untuk masalah struktur, penyelesaian yang di dapat adalah deformasi pada setiap titik (*nodes*) yang selanjutnya digunakan untuk mendapatkan besaran regangan (*strain*) dan tegangan (*stress*).

Penyelesaian dari metode elemen hingga umumnya menggunakan metode matriks serta memerlukan perhitungan yang sangat banyak dan berulang-ulang dari persamaan yang sama, sehingga memerlukan sarana komputer dan pemrogramannya. Penyelesaian dari seluruh sistem umumnya merupakan penyelesaian persamaan serentak yang dinyatakan dalam bentuk matriks dan diselesaikan dengan menggunakan persamaan serentak. (Adityo dkk, 2015)

Dalam Pujo (2011) jenis analisa yang biasa digunakan dalam metode elemen hingga yaitu:

1. Analisa Linear Statis (*Linear Static Analysis*)

Analisa linear statis merupakan analisa yang digunakan untuk mengetahui kondisi struktur pada pembebanan linear. Jenis pembebanan yang dilakukan pada analisis ini antara lain pembebanan berupa gaya, tekanan, dan steady state temperature.

2. Analisa Non Linier Statis (*Non Linear Static Analysis*)

Apabila struktur mengalami pembebanan di atas titik luluhnya (*yield point*), maka hubungan tegangan dan regangan sudah tidak linear. Dengan kondisi ini *Modulus Young* dari material cenderung berubah selama analisa, yang mengakibatkan deformasi permanen (plastis) pada struktur.

3. Analisa Dinamik

Analisis dinamik merupakan analisis yang digunakan pada struktur dengan pembebanan yang berubah terhadap waktu ataupun frekuensi. Jenis pembebanan yang dapat diterapkan dalam analisa dinamik ini adalah gaya dinamik, frekuensi atau getaran paksa terhadap model.

## **2.8 Ansys**

Ansys merupakan software bantu untuk melakukan analisis pada metode elemen hingga. Ansys memiliki beberapa program yaitu *fluid dynamics*, *structural mechanics*, *electromagnetics*, *systems* dan *multihysics*. Untuk menyelesaikan analisa struktur digunakan program Structural mechanics (*Mechanical APDL*) (Wira, 2017).

Secara umum penyelesaian metode elemen hingga menggunakan ANSYS dapat dibagi menjadi beberapa tahap yaitu (Moaveni, 1999):

*1. Preprocessing phase*

- a. Membuat Mengasumsikan bentuk fungsi untuk menggambarkan perilaku fisik suatu elemen, yang merupakan pendekatan fungsi kontinu yang menggambarkan solusi suatu elemen
- b. Mengembangkan persamaan elemen
- c. Menggabungkan elemen untuk mewakili seluruh permasalahan.  
Membuat matriks kekakuan global
- d. Menetapkan kondisi batas, kondisi awal, dan pembebanan
- e. solusi persamaan elemen hingga dengan membagi masalah menjadi node dan elemen

*2. Solution Phase*

Selesaikan satu set persamaan aljabar linier atau non linier secara simultan untuk mendapatkan hasil *nodal* seperti nilai perpindahan pada *node* yang berbeda.

*3. Postprocessing Phase*

Pada tahap ini diperoleh banyak informasi seperti nilai tegangan utama, fluks panas, dan sebagainya.