

SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH RASIO KETEBALAN PELAT BLOK DENGAN
PAD EYE TERHADAP SEBARAN TEGANGAN DAN DEFORMASI**

Disusun dan diajukan oleh

WA ODE MELDA

D311 16 011



DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Pada Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Judul Skripsi :

**ANALISIS PENGARUH RASIO KETEBALAN PELAT BLOK DENGAN
PAD EYE TERHADAP SEBARAN TEGANGAN DAN DEFORMASI**

Disusun Oleh :

WA ODE MELDA

D31116011

Gowa, 16 Januari 2023.

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing I



(Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl-Ing.)
NIP. 19600425 198811 1 001

Pembimbing II




(Moh. Rizal Firmansyah, ST., MT., MEng)
NIP. 19701001 200012 1 001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Perkapalan




(Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT)
NIP. 19730206 200012 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : WA ODE MELDA
NIM : D31116011
Program Studi : TEKNIK PERKAPALAN
Jenjang : S1 (STRATA SATU)

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

**“ANALISIS PENGARUH RASIO KETEBALAN PELAT BLOK DENGAN
PAD EYE TERHADAP SEBARAN TEGANGAN DAN DEFORMASI”**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain, bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil kerja 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, 13 Desember 2022



Wa Ode Melda

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Puji syukur kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “**Analisis Pengaruh Rasio Ketebalan Pelat Blok Dengan *Pad Eye* Terhadap Sebaran Tegangan dan Deformasi**”. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan kelulusan pada jenjang strata satu (S1) di Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Proses pengerjaan Tugas Akhir ini melalui berbagai macam tantangan, namun semuanya dapat teratasi dengan penuh kesabaran dan keikhlasan serta bantuan, bimbingan, kritikan dan saran dari berbagai pihak..

Penulis menyadari bahwa di dalam tugas akhir ini masih terdapat kekurangan, untuk itu penulis meminta masukan atau kritik yang membangun demi hasil yang lebih baik. Dan semoga proses belajar selama ini dan tugas akhir ini diridhoi dan diberkahi oleh Allah SWT. Aamiin.

Gowa, 13 Desember 2022



Wa Ode Melda

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang turut membantu dalam penyelesaian penelitian ini. Saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang tua saya: **Tamrin Diwa S.T**, dan **Muliyati Mpodea**, ; orang tua tercinta yang senantiasa mencurahkan kasih sayang, do'a serta dukungan yang tiada hentinya kepada saya. Semoga keduanya senantiasa dalam lindungan Allah dan diberikan umur panjang hingga penulis mampu membanggakan mereka.
2. Bapak **Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl-Ing.**, dan Bapak **Moh. Rizal Firmansyah, S.T., M.T., M.Eng.**, selaku pembimbing I dan II yang senantiasa membimbing dan mengarahkan penulis dengan penuh kesabaran dan keikhlasan meluangkan waktu untuk berkonsultasi demi kesempurnaan tugas akhir ini sehingga dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak **Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl-Ing** selaku Kepala Laboratorium Struktur Teknik Perkapalan, dan Bapak **Hamzah ST., MT** dan Ibu **Dr. Eng A. Ardianti, S.T M.T**, selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran sehingga saya dapat memperoleh gelar akademik di Departemen Teknik Perkapalan.
4. Bapak **Dr.Eng Suandar Baso, ST., MT**, selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah membantu dan memberikan arahan dalam penyelesaian tugas ini.
5. Seluruh **Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Perkapalan** Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas bimbingan, arahan, didikan, dan motivasi yang telah diberikan, semoga ilmu dan bimbingan bapak dan ibu membawa keberkahan dan mendapat balasan yang lebih baik dari Allah SWT.
6. Seluruh Pegawai/Staff Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang selalu membantu segala administrasi selama kuliah.

7. Teman seperjuangan Laboratorium Struktur 2016. Juga senior dan junior di Laboratorium Struktur atas ketersediaanya dalam berdiskusi dan berjuang bersama selama proses pengerjaan tugas akhir ini.
8. Saudara(i) **CRUIZER 2016** dan saudara(i) **NAVAL 2016** yang banyak berbagi suka dan duka yang dialami selama berkuliah yang menjadikan penulis dewasa dalam pikiran dan perbuatan, semoga kita semua dalam lindungan Allah.
9. Saudari Fani selaku sahabat yang selalu mendengarkan curahan hatiku dan memberikan dukungan mental serta saudari Dila yang selalu memasakkanku makanan enak.
10. Semua pihak yang telah membantu, dalam bentuk fisik ataupun dalam bentuk doa. Semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian dengan yang lebih baik.

Gowa, 13 Desember 2022



Wa Ode Melda

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| LEMBAR PENGESAHAN | ii |
| PERNYATAAN KEASLIAN..... | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| UCAPAN TERIMA KASIH..... | iv |
| DAFTAR GAMBAR | ix |
| DAFTAR TABEL..... | xii |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xiii |
| ABSTRAK | xiv |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang Masalah..... | 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 TINJAUAN PUSTAKA..... | 4 |
| 2.1. Pembuatan dan Perakitan Komponen Kapal..... | 4 |
| 2.1.1 Fabrikasi | 4 |
| 2.1.2 <i>Subassembly</i> | 4 |
| 2.1.3 <i>Assembly</i> | 5 |
| 2.1.4 <i>Erection</i> | 6 |
| 2.2 Pelat Kapal | 6 |
| 2.2.1 Perhitungan Tebal Pelat Kulit (<i>Shell Plating</i>)..... | 6 |
| 2.3 Profil..... | 9 |
| 2.4 Pengangkatan (<i>Lifting</i>)..... | 9 |
| 2.5 Perancangan Lifting Eyes (<i>Eye Plate</i>) | 10 |
| 2.5.1 <i>Pad eye</i> (lifting eyes)..... | 10 |
| 2.5.2 Deskripsi Pembebanan | 10 |
| 2.5.3 Ketahanan Beban..... | 12 |
| 2.5.4 Kegagalan <i>Pad Eye</i> | 13 |
| 2.6 Sling | 13 |
| 2.7 Titik Berat (<i>Center Of Gravity</i>) | 14 |

| | |
|---|----|
| 2.8 Analisis Pembebanan | 15 |
| 2.9 Keseimbangan Benda Tegar | 17 |
| 2.9.1 Definisi Keseimbangan Benda Tegar | 17 |
| 2.9.2 Tumpuan Struktur..... | 17 |
| 2.10 Tegangan dan Regangan | 19 |
| 2.10.1 Tegangan (<i>Stress</i>) | 19 |
| 2.10.2 Regangan (<i>Strain</i>)..... | 20 |
| 2.10.3 Kurva Tegangan-Regangan | 21 |
| 2.10.4 Tegangan Izin | 22 |
| 2.11 Metode Elemen Hingga (<i>Finite Element Method</i>)..... | 23 |
| 2.12 Penyelesaian <i>Software</i> ANSYS..... | 26 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN..... | 28 |
| 3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian | 28 |
| 3.2 Prosedur Penelitian..... | 28 |
| 3.2.1 Studi Literatur..... | 28 |
| 3.2.2 Pengumpulan Data Penelitian..... | 28 |
| 3.3 Prosedur Penyelesaian Data dengan <i>Software</i> ANSYS | 32 |
| 3.4 Flow Chart..... | 39 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 40 |
| 4.1 Analisis Kekuatan <i>Pad Eye</i> dan Blok | 40 |
| 4.1.1 Tegangan Normal Y (<i>Normal Stress Y</i>)..... | 40 |
| 4.1.2 Tegangan Normal X (<i>Normal Stress X</i>) | 44 |
| 4.1.3 Deformasi Maksimum | 48 |
| 4.1.4 Analisis Pada Ujung <i>Pad Eye</i> | 50 |
| BAB V PENUTUP..... | 57 |
| 5.1 Kesimpulan | 57 |
| 5.2 Saran..... | 57 |
| DAFTAR PUSTAKA | 59 |
| LAMPIRAN | 61 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Proses fabrikasi..... | 4 |
| Gambar 2.2 Proses <i>subassembly</i> | 5 |
| Gambar 2.3 Proses <i>assembly</i> | 5 |
| Gambar 2.4 Proses <i>erection</i> | 6 |
| Gambar 2.5 Proses <i>lifting</i> blok kapal..... | 9 |
| Gambar 2.6 <i>Pad eye</i> simetris dan non simetris | 11 |
| Gambar 2.7 <i>Pad eye</i> yang telah dipasang <i>shackle</i> | 11 |
| Gambar 2.8 Komponen <i>Pad Eye</i> | 12 |
| Gambar 2.9 Distribusi gaya dengan dan tanpa <i>ring stiffeners</i> | 13 |
| Gambar 2.10 Titik berat pada blok yang akan diangkat..... | 14 |
| Gambar 2.11 Titik berat di atas titik teoretis | 15 |
| Gambar 2.12 Beban terpusat | 16 |
| Gambar 2.13 Beban merata | 17 |
| Gambar 2.14 Tumpuan rol..... | 18 |
| Gambar 2.15 Tumpuan engsel..... | 18 |
| Gambar 2.16 Tumpuan jepit..... | 19 |
| Gambar 2.17 <i>Normal stress</i> (tegangan tarik dan tekan)..... | 19 |
| Gambar 2.18 Kurva tegangan-regangan baja structural | 21 |
| Gambar 2.19 Aproksimasi solusi keseluruhan diperoleh dari gabungan solusi- solusi elemen..... | 24 |
| Gambar 2.20 (a) Mesh Metode Perbedaan Hingga, (b) elemen segitiga, (c) elemen segiempat • adalah titik mesh nodes) | 24 |
| Gambar 3.1 Geometri <i>pad eye</i> | 28 |
| Gambar 3.2 Gambar blok HS4 | 29 |
| Gambar 3.3 (a) Geometri <i>pad eye</i> 2D, (b) Geometri <i>pad eye</i> 3D..... | 33 |
| Gambar 3.4 (a) Geometri blok 2D, (b) Geometri blok 3D | 33 |
| Gambar 3.5 Kesatuan model blok dan <i>pad eye</i> | 34 |
| Gambar 3.6 Properti material S355J0..... | 35 |
| Gambar 3.7 <i>Meshing</i> pada model..... | 36 |

| | |
|--|----|
| Gambar 3.8 Tumpuan <i>fix support</i> | 36 |
| Gambar 3.9 Tumpuan <i>remote displacement</i> | 37 |
| Gambar 3.10 Beban tebal pelat blok 8 mm | 37 |
| Gambar 3.11 Detail beban pada <i>pad eye</i> | 37 |
| Gambar 3.12 Hasil <i>Solving</i> | 38 |
| Gambar 3.13 Diagram <i>flow chart</i> penelitian | 39 |
| | |
| Gambar 4.1 (a) Hasil <i>zoom out</i> tegangan normal Y untuk tebal <i>pad eye</i> 25 mm dan tebal pelat blok 8 mm, (b) Hasil <i>zoom in</i> tegangan normal Y untuk tebal <i>pad eye</i> 25 mm dan tebal pelat blok 8 mm | 41 |
| Gambar 4.2 (a) Kurva hubungan rasio ketebalan pelat blok dengan <i>pad eye</i> terhadap tegangan normal Y maksimum untuk tebal <i>pad eye</i> 25 mm, (b) Kurva hubungan rasio ketebalan pelat blok dengan <i>pad eye</i> terhadap tegangan normal Y maksimum untuk tebal <i>pad eye</i> 20 mm, (c) Kurva hubungan rasio ketebalan pelat blok dengan <i>pad eye</i> terhadap tegangan normal Y maksimum untuk tebal <i>pad eye</i> 15 mm | 43 |
| Gambar 4.3 (a) Hasil <i>zoom out</i> tegangan normal X untuk tebal <i>pad eye</i> 25 mm dan tebal pelat blok 8 mm, (b) Hasil <i>zoom in</i> tegangan normal X untuk tebal <i>pad eye</i> 25 mm dan tebal pelat blok 8 mm | 45 |
| Gambar 4.4 (a) Kurva hubungan rasio ketebalan pelat blok dengan <i>pad eye</i> terhadap tegangan normal X maksimum untuk tebal <i>pad eye</i> 25 mm, (b) Kurva hubungan rasio ketebalan pelat blok dengan <i>pad eye</i> terhadap tegangan normal X maksimum untuk tebal <i>pad eye</i> 20 mm, (c) Kurva hubungan rasio ketebalan pelat blok dengan <i>pad eye</i> terhadap tegangan normal X maksimum untuk tebal <i>pad eye</i> 15 mm | 47 |
| Gambar 4.5 Deformasi untuk ketebalan <i>pad eye</i> 25 mm dan tebal pelat blok 8 mm | 48 |
| Gambar 4.6 (a) Kurva hubungan rasio ketebalan pelat blok dengan <i>pad eye</i> terhadap deformasi maksimum untuk tebal <i>pad eye</i> 25 mm, (b) | |

| | | |
|--------------------|--|----|
| | Kurva hubungan rasio ketebalan pelat blok dengan <i>pad eye</i> terhadap deformasi maksimum untuk tebal <i>pad eye</i> 20 mm, (c) Kurva hubungan rasio ketebalan pelat blok dengan <i>pad eye</i> terhadap deformasi maksimum untuk tebal <i>pad eye</i> 15 mm | 50 |
| Gambar 4.7 | Besaran tegangan normal X di sekitar ujung bawah <i>pad eye</i> | 51 |
| Gambar 4.8 | (a) Kurva pengaruh posisi dari ujung <i>pad eye</i> terhadap tegangan normal X untuk tebal <i>pad eye</i> 25 mm, (b) Kurva pengaruh posisi dari ujung <i>pad eye</i> terhadap tegangan normal X untuk tebal <i>pad eye</i> 20 mm, (c) Kurva pengaruh posisi dari ujung <i>pad eye</i> terhadap tegangan normal X untuk tebal <i>pad eye</i> 15 mm..... | 53 |
| Gambar 4.9 | Besaran tegangan normal Y di sekitar ujung bawah <i>pad eye</i> | 54 |
| Gambar 4.10 | (a) Kurva pengaruh posisi dari ujung <i>pad eye</i> terhadap tegangan normal Y untuk tebal <i>pad eye</i> 25 mm, (b) Kurva pengaruh posisi dari ujung <i>pad eye</i> terhadap tegangan normal Y untuk tebal <i>pad eye</i> 20 mm, (c) Kurva pengaruh posisi dari ujung <i>pad eye</i> terhadap tegangan normal Y untuk tebal <i>pad eye</i> 15 mm..... | 56 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 <i>Materials factor k</i> | 23 |
| Tabel 3.1 Properti Material S355J0..... | 30 |
| Tabel 4.1 Tabel tegangan normal Y maksimum pada ujung bawah <i>pad eye</i> | 42 |
| Tabel 4.2 Tabel tegangan normal X maksimum pada ujung bawah <i>pad eye</i> | 45 |
| Tabel 4.3 Tabel deformasi maksimum | 49 |
| Tabel 4.4 Tabel perubahan tegangan normal X dari titik pusat konsentrasi tegangan (ujung bawah <i>pad eye</i>) sampai jarak 25 mm arah X <i>pad eye</i> | 51 |
| Tabel 4.5 Tabel perubahan tegangan normal Y dari titik pusat konsentrasi tegangan (ujung bawah <i>pad eye</i>) sampai jarak 25 mm arah Y <i>pad eye</i> | 54 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|----|
| Lampiran 1 Desain <i>pad eye</i> Swl 12T | 62 |
| Lampiran 2 Konstruksi <i>Midship</i> | 63 |

ABSTRAK

Melda, Wa Ode. 2022. “*Analisis Pengaruh Rasio Ketebalan Pelat Blok Dengan Pad Eye Terhadap Sebaran Tegangan dan Deformasi*” (dibimbing oleh **Ganding Sitepu** dan **Moh. Rizal Firmansyah**)

Salah satu tahapan dari produksi kapal adalah proses *erection*, dimana pada proses ini akan dilakukan pengangkatan (*lifting*) blok yang beratnya bisa mencapai ratusan ton. Kemudian penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh tegangan dan deformasi dari variasi tebal pelat blok dengan pelat *pad eye* ketika proses *erection*. Berdasarkan hasil analisa diperoleh tegangan normal y maksimum sudut sling 90° terbesar pada rasio 1: 1 dimana tebal pelat blok 15 mm dan tebal *pad eye* 15 mm yaitu 222.29 MPa. Begitupula tegangan normal x maksimum sudut 90° terbesar pada rasio 1:1 dimana tebal pelat blok 15 mm dan tebal *pad eye* 15 mm yaitu 641.74 MPa. Pelat blok saat proses *lifting* tidak mengalami tegangan yang tinggi baik pada arah y maupun arah x dengan berbagai variasi ketebalan *pad eye* dan pelat blok. Tegangan ini berupa tegangan konsentrasi yang hanya tersebar tidak lebih dari 5 mm. Perbedaan hasil yang didapatkan setelah menggunakan variasi tebal pelat blok dan pelat *pad eye* menunjukkan bahwa semakin tipis ketebalan *pad eye* yang digunakan maka semakin tinggi pula tegangan yang dihasilkan dan semakin tinggi rasio ketebalan pelat blok dengan *pad eye* maka semakin tinggi pula tegangan yang dihasilkan.

Kata Kunci : Rasio, Tebal, Pelat Blok, *Pad Eye*, *Lifting Block*, Tegangan, Metode Elemen Hingga

ABSTRACT

Melda, Wa Ode. 2022. "Analysis of the Effect of Block Plate Thickness Ratio with Pad Eye on Stress Distribution and Deformation" (supervised by **Ganding Sitepu and Moh. Rizal Firmansyah**)

One of the stages of ship production is the erection process, where in this process lifting blocks weighing up to hundreds of tons will be carried out. Then this study aims to examine the effect of stress and deformation on variations in the thickness of block plates with pad eye plates during the erection process. Based on the results of the analysis, it is obtained that the maximum normal y stress at the sling angle is 90° at a ratio of 1: 1 where the block plate thickness is 15 mm and the pad eye thickness is 15 mm, which is 222.29 MPa. Likewise the normal stress x maximum 90° angle is greatest at a 1:1 ratio where the block plate thickness is 15 mm and the pad eye thickness is 15 mm, which is 641.74 MPa. The block plate during the lifting process does not experience high stresses in both the y and x directions with various variations in the thickness of the pad eye and block plate. This stress is in the form of concentrated stress which is only spread no more than 5 mm. The difference in results obtained after using variations in the thickness of the block plate and pad eye plate shows that the thinner the thickness of the pad eye used, the higher the stress generated and the higher the ratio of the thickness of the block plate to the pad eye, the higher the stress generated.

Keywords : Ratio, Thickness, Plate Block, Pad Eye, Lifting Block, Stress, Finite Element Method

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Saat ini semakin banyak galangan kapal berskala menengah hingga besar yang pada proses produksinya telah mengalami kemajuan. Salah satu sistem produksi yang diterapkan dalam proses pembangunan kapal adalah sistem blok. Sistem ini memungkinkan kapal untuk diproduksi lebih cepat dibandingkan sistem produksi kapal sebelumnya yang harus memulai pekerjaan dari bagian bawah kapal (*keel*) terlebih dahulu. Pembangunan kapal dengan sistem blok merupakan proses produksi kapal yang membagi kapal dalam beberapa blok dan kemudian menyambung blok-blok itu menjadi sebuah kapal atau biasa disebut proses *erection*.

Dalam proses penyambungan antar blok (*erection process*), ada tahapan dimana blok-blok tersebut diangkat (*lifting*) dan dipindahkan dari bengkel produksi menuju ke tempat pembangunan kapal (*building berth*). Blok dipindahkan dan ditempatkan menurut urutan blok tersebut untuk kemudian dirangkai menjadi sebuah kapal.

Yang perlu diperhatikan dalam proses *lifting* adalah keamanan dari blok yang akan diangkat, serta peralatan dan perlengkapan dalam proses pengangkatan. Blok/struktur dan peralatan tersebut tidak boleh mengalami kerusakan selama proses *lifting*. Karenanya, sistem pengangkatan blok (*lifting*) harus mendapat perhatian yang serius. Proses *lifting* blok menggunakan satu atau lebih crane (bergantung pada dimensi blok). Tali sling dari crane dihubungkan ke blok kapal dengan menggunakan *pad eye* yang dilas pada beberapa sisi blok kapal. Koneksi *pad eye* pada blok kapal dan sudut sling saat pengangkatan blok dapat menjadi titik rawan dalam proses pengangkatan blok kapal. Selisih ketebalan *pad eye* dan pelat blok diduga bisa menyebabkan tegangan dan deformasi pada pelat blok pada saat pengangkatan. Analisis tegangan dan deformasi yang terjadi dapat dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga (*finite element method/ FEM*).

Analisis metode elemen hingga (FEM) merupakan metode matematis yang biasa digunakan untuk menyelesaikan berbagai permasalahan seperti analisis tegangan. Dalam metode ini seluruh masalah yang kompleks seperti variasi bentuk, kondisi batas dan beban diselesaikan dengan metode pendekatan. Untuk memecahkan masalah, FEM membagi sistem besar menjadi bagian – bagian yang lebih kecil dan lebih sederhana yang disebut elemen hingga. Persamaan sederhana yang memodelkan elemen–elemen hingga ini kemudian dirangkai menjadi sistem persamaan yang lebih besar yang memodelkan seluruh masalah. Dengan menggunakan 3 metode elemen hingga, dapat diperoleh tegangan yang terjadi pada konstruksi *pad eye*. Dalam tulisan ini penulis bermaksud melaksanakan penelitian terhadap “**Analisis pengaruh rasio ketebalan pelat blok dengan *pad eye* terhadap sebaran tegangan dan deformasi**”. Melalui studi ini, diharapkan untuk mendapatkan gambaran tegangan dan deformasi pada konstruksi pelat blok untuk beberapa kondisi yang terjadi saat pengangkatan blok.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Berapa nilai tegangan maksimum yang terjadi pada pelat blok saat proses lifting dengan berbagai variasi ketebalan *pad eye* dan pelat blok?
2. Bagaimana deformasi yang terjadi pada pelat blok terhadap berbagai variasi ketebalan *pad eye* dan pelat blok?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Tidak dilakukan analisa pada proses pengelasan yang terjadi
2. Analisis dilakukan dengan menggunakan software ANSYS
3. Hanya menggunakan *pad eye* dengan geometri non simetric.
4. Analisis dilakukan hanya untuk sudut tarik sling 90°

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan :

1. Menentukan nilai tegangan maksimum yang terjadi pada pelat blok saat proses lifting dengan berbagai variasi ketebalan *pad eye* dan pelat blok
2. Menentukan deformasi yang terjadi pada pelat blok terhadap berbagai variasi ketebalan *pad eye* dan pelat blok

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai referensi teknis untuk pengangkatan blok pada pembangunan kapal baru yang aman dalam hal kekuatan.
2. Sebagai bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan perusahaan saat proses *lifting* blok kapal.

1.6 Sistematika Penulisan

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

Bab I Pendahuluan, dibahas latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab II Tinjauan Pustaka, pada bab ini dipaparkan landasan teori dan studi literatur yang berkaitan dengan topik penelitian.

Bab III Metode Penelitian, dalam bab ini dijelaskan jenis penelitian yang digunakan untuk memperoleh data yang dibutuhkan.

Bab IV Hasil dan Pembahasan, dalam bab ini disajikan hasil – hasil penelitian yang diperoleh dari pengolahan data dan penelitian.

Bab V Penutup, Berisikan kesimpulan dari penelitian dan saran – saran bagi para pembaca.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pembuatan dan Perakitan Komponen Kapal

Bagian produksi khususnya bagian konstruksi lambung kapal (hull construction) dalam proses manufaktur umumnya mempunyai beberapa bengkel antara lain bengkel fabrikasi, bengkel assembly, bengkel las, bengkel cat dan bengkel boat builder. Setiap bengkel mempunyai tugas/pekerjaan yang berbeda-beda tapi satu dengan yang lainnya saling berkaitan.

2.1.1 Fabrikasi

Fabrikasi merupakan tahap awal proses manufaktur. Proses fabrikasi dilakukan di bengkel fabrikasi yang memproduksi komponen-komponen untuk konstruksi lambung kapal (*hull construction*). Proses fabrikasi terdiri dari *straightening, marking, cutting* dan *forming* (Djaya, 2008). Dapat dilihat pada Gambar 2.1 yaitu proses fabrikasi struktur yang dilakukan di bengkel fabrikasi.



Gambar 2. 1 Proses fabrikasi

(sumber : navale-engineering.blogspot.com)

2.1.2 Subassembly

Subassembly merupakan proses penggabungan komponen-komponen dari bengkel fabrikasi menjadi blok-blok kecil (*part assembly*). Komponen-komponen tersebut masih berupa pelat dengan potongan lurus (paralel) maupun tidak lurus (non paralel), pelat yang telah dilengkungkan dan lain lainnya seperti bagian-bagian pipa. Sebagai contoh proses pada *subassembly* ini adalah penggabungan

antara merakit sekat, merakit *web frame*, merakit pelat dengan pelat (Djaya, 2008).



Gambar 2. 2 Proses *subassembly*

(sumber : latarlembayung.wordpress.com)

2.1.3 Assembly

Proses *assembly* adalah proses penggabungan *part assembly* yang telah di *subassembly* menjadi sebuah blok. Blok yang dibangun diperhitungkan beratnya sesuai dengan kemampuan crane (Djaya, 2008). Contoh proses *assembly* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Proses *assembly*

(sumber : cak-andri.blogspot.com)

2.1.4 Erection

Erection merupakan tingkatan terakhir dari proses *assembly*. Proses ini merupakan penggabungan blok-blok dari proses *assembly* menjadi sebuah kapal. Proses *erection* ini dimulai dari blok dasar ganda (*double bottom*) yang biasanya bersamaan dengan proses *keel laying* kemudian semakin keatas sampai bagian *superstructure* (Djaya, 2008). Contoh proses *erection* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Proses *erection*

(sumber : tellyfahrul.blogspot.com)

2.2 Pelat Kapal

Pelat kapal merupakan pelat yang berbeda dengan pelat pada umumnya. Pelat kapal tegangan tinggi (untuk lambung kapal) memiliki sifat mekanis antara lain sebagai berikut: tegangan lumer minimal 32 kg/mm^2 dan kekuatan tarik 48 kg/mm^2 . Selain itu juga digunakan baja tempa yang memiliki kekuatan tarik minimal 41 kg/mm^2 . Pemakaian pelat baja untuk bangunan kapal memiliki resiko kerusakan tinggi terutama pada pelat lambung kapal yang tercelup air, sangat rawan terjadi korosi (Irawan, 2017).

2.2.1 Perhitungan Tebal Pelat Kulit (*Shell Plating*)

1. Pelat alas (*bottom plate*)

Pelat alas untuk kapal dengan panjang $L < 90 \text{ m}$

Tebal pelat alas pada $0,4 L$ tengah kapal tidak boleh kurang dari :

$$t_{B1} = 1,9 \cdot n_f \cdot a \sqrt{p_B \cdot k} + t_K \quad [\text{mm}] \quad [2.1]$$

Pelat alas untuk kapal dengan panjang $L \geq 90$ m

$$t_{B2} = 1,21 \cdot n_f \cdot a \sqrt{p_B \cdot k} + t_K \quad [\text{mm}] \quad [2.2]$$

Tebal pelat alas pada 0,1 L buritan dan 0,05 haluan kapal tidak boleh kurang dari :

$$t_{B2} = 1,21 \cdot n_f \cdot a \sqrt{p_B \cdot k} + t_K \quad [\text{mm}] \quad [2.3]$$

Dimana :

$$n_f = 1,0 \text{ untuk sistem gading-gading melintang}$$

$$= 0,83 \text{ untuk sistem gading-gading memanjang}$$

$$p_B = \text{beban alas untuk pelat}$$

$$k = 1,0 \text{ faktor material baja}$$

$$t_K = 1,5 \text{ (faktor korosi)}$$

$$a = \text{jarak gading (frame space)}$$

Tebal minimum pelat alas :

$$t_{\min} = (1,5 - 0,01 \cdot L) \sqrt{L \cdot k} \quad [\text{mm}] \quad \text{for } L < 50 \text{ m} \quad [2.4]$$

$$= \sqrt{L \cdot k} \quad [\text{mm}] \quad \text{for } L \geq 50 \text{ m} \quad [2.5]$$

$$t_{\max} = 16,0 \text{ mm in general}$$

2. Pelat bilga (*bilge strike*)

Tebal pelat bilga tidak boleh kurang dari tebal pelat alas. Lebar pelat bilga tidak boleh kurang dari :

$$b = 800 + (5 \times L) \quad [\text{mm}] \quad [2.6]$$

3. Pelat lunas datar (*flat plate keel*)

Tebal pelat lunas datar tidak boleh kurang dari :

$$t_{FK} = t_B + 2,0 \quad [\text{mm}] \quad [2.7]$$

Lebar pelat lunas datar tidak boleh kurang dari :

$$b = 800 + (5 \times L) \quad [\text{mm}] \quad [2.8]$$

4. Pelat sisi (*side shell plating*)

Pelat sisi untuk kapal dengan panjang $L < 90$ m

Tebal pelat sisi pada $0,4 L$ tengah kapal tidak boleh kurang dari :

$$t_{s1} = 1,9 \cdot n_f \cdot a \sqrt{p \cdot k} + t_K \quad [\text{mm}] \quad [2.9]$$

Pelat sisi untuk kapal dengan panjang $L \geq 90$ m

$$t_{s2} = 1,21 \cdot n_f \cdot a \sqrt{p \cdot k} + t_K \quad [\text{mm}] \quad [2.10]$$

Tebal pelat sisi pada $0,1 L$ buritan dan $0,05 L$ haluan kapal tidak boleh kurang dari :

$$t_{s2} = 1,21 \cdot n_f \cdot a \sqrt{p \cdot k} + t_K \quad [\text{mm}] \quad [2.11]$$

5. Pelat sisi lajur atas (*sheer strake*)

Tebal pelat sisi lajur atas tidak boleh kurang dari :

$$t = 0,5 (t_D + t_S) \quad [\text{mm}] \quad [2.12]$$

$$= t_S \quad [\text{mm}]$$

Dimana :

t_D = pelat geladak kekuatan

t_S = pelat sisi

Lebar pelat sisi lajur atas :

$$b = 800 + (5 \times L) \quad [\text{mm}] \quad [2.13]$$

$$b_{\text{max}} = 1800 \text{ mm}$$

(BKI Vol. II, 2014)

2.3 Profil

Profil adalah salah satu material yang digunakan untuk pembangunan sebuah blok kapal. Profil digunakan sebagai penguat pelat lambung sisi pada kapal.

Untuk perhitungan berat profil *flat bar* dapat dilakukan dengan masukan dimensi, jumlah bagian dan massa jenis baja tersebut (Irawan, 2017).

2.4 Pengangkatan (*Lifting*)

Proses *lifting* merupakan merupakan proses pengangkatan pada blok kapal pada saat proses *assembly* dan *erection*. Dalam proses ini resiko kecelakaan yang relatif besar dapat terjadi. Adapun faktor yang dapat menyebabkan proses *lifting* mengalami kegagalan adalah perencanaan yang kurang baik, kegagalan peralatan, SDM yang tidak memenuhi syarat. Dikarenakan beberapa faktor tersebut, sebelum pekerjaan *lifting* dilakukan perlu adanya *lifting plan*. Untuk merencanakan *lifting plan* diperlukan beberapa data yaitu data titik berat / COG, berat blok, posisi blok yang akan dibangun, data *lifting eyes*.



Gambar 2. 5 Proses *lifting* blok kapal

(sumber : Irawan, 2017)

2.5 Perancangan *Lifting Eyes (Pad Eye)*

2.5.1 *Pad eye (lifting eyes)*

Pad eye adalah merupakan salah satu *lifting equipment* yang sangat penting dalam proses *lifting*. *Pad eye* berfungsi sebagai penghubung antara beban utama dengan *shackle* yang nanti akan dihubungkan pada tali (*sling*). *Shackle* biasanya tersedia di pasaran dengan nilai SWL tertentu. Jumlah *pad eye* yang digunakan biasanya 4 *pad eye* untuk setiap *section*, hal ini bertujuan untuk menjaga stabilitas atau keseimbangan blok.

Lifting pad eyes banyak digunakan dalam industri *shipbuilding* dan *offshore*. Desain *pad eye* yang bagus harus memiliki keamanan yang tinggi tetapi juga ekonomis. (Zhong, dkk, 2013)

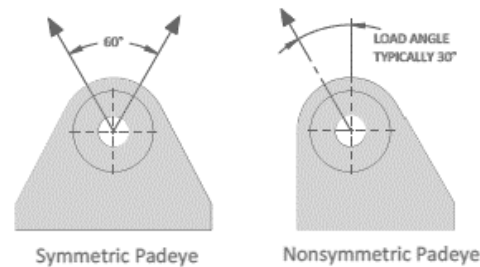
Penentuan dimensi *pad eye* menurut DNV OSH205 (2014) adalah sebagai berikut:

1. Penentuan diameter luar *main plate pad eye* tidak boleh kurang dari diameter *pin hole*
2. Tebal *pad eye* pada area lubang tidak boleh kurang dari 75% lebar dalam dari *shackle*
3. Diameter lubang *pad eye* harus secara hati-hati ditentukan agar fit dengan diameter *shackle pin*. Agar kuat, perbedaan jarak lubang *pad eye* dan diameter pin sekecil mungkin
4. Direkomendasikan untuk diameter *shackle pin* tidak kurang 94% dari diameter lubang *pad eye*.

2.5.2 Deskripsi Pembebanan

Pad eye digunakan untuk menghubungkan konstruksi yang akan diangkat dengan *crane* menggunakan *sling*. *Pad eye* yang digunakan di lapangan memiliki berbagai geometri tergantung tipe bebannya. Apabila bebannya berupa gaya vertikal maka geometri yang digunakan adalah

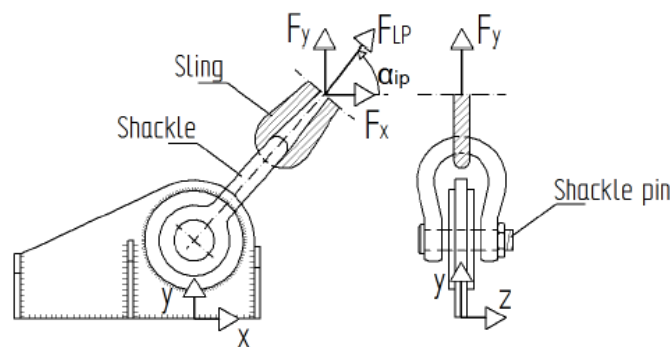
simetris/*symmetric*. Sedangkan apabila gayanya membentuk sudut maka digunakan geometri asimetris/*nonsymmetric* (Oorebeek, 2016).



Gambar 2.6 *Pad Eye* simetris dan non simetris

(sumber : www.technikdesign.co.uk)

Dalam banyak kasus, *spreader bar* digunakan antara crane dan titik angkat. *Spreader bar* digunakan untuk memastikan bahwa sling bekerja di bawah sudut yang diizinkan. Setiap titik angkat memiliki *pad eye* yang dilas ke struktur dan dihubungkan ke sling menggunakan *shackle* (Oorebeek, 2016).



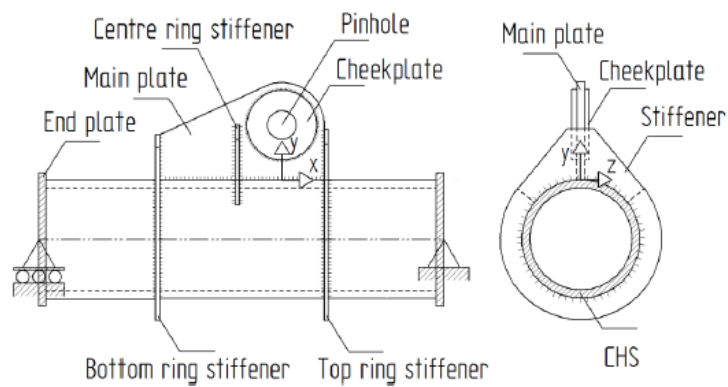
Gambar 2.7 *Pad Eye* yang telah dipasang *shackle*

(sumber : Oorebeek, 2016)

Gaya angkat (F_{LP}) yang bekerja pada *pad eye* disebabkan oleh berat struktur dan peralatan yang digunakan. Gaya angkat ini ditransfer ke sling oleh *shackle* yang dimasukkan melalui lubang *pad eye*, yang menciptakan koneksi. Dari koneksi ini, gaya berawal di tengah penampang *shackle*, yang bekerja di tengah lubang *pad eye* (Oorebeek, 2016).

2.5.3 Ketahanan Beban

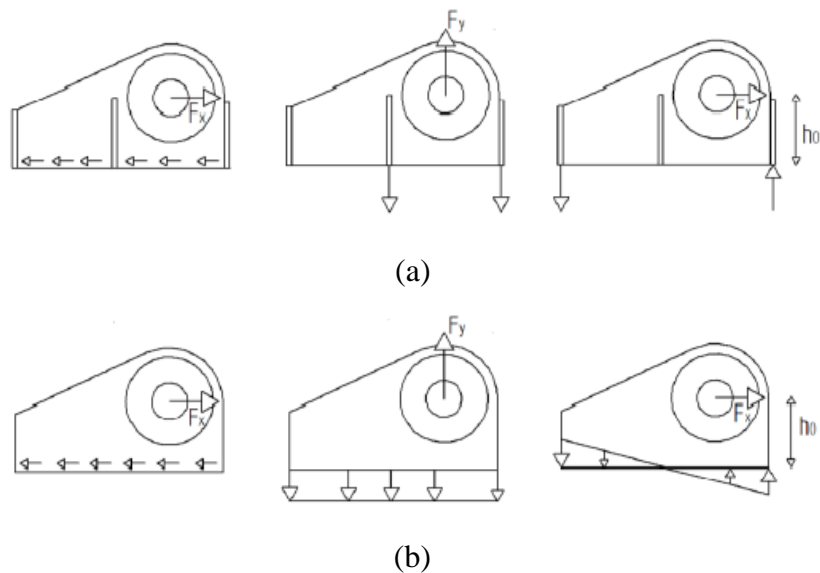
Untuk menahan beban selama operasi, *pad eye* terdiri dari pelat utama dan kadang memiliki *ring stiffeners*. Pelat utama dihubungkan dengan sepasang *cheek plates* (pelat pipi) untuk mencegah pelat utama gagal berfungsi karena *bearing stress* (tegangan bantalan). *Ring stiffeners* dipasang ke pelat utama untuk menahan gaya radial dan lateral serta mencegah deformasi yang berlebihan (Oorebeek, 2016)



Gambar 2.8 Komponen *Pad Eye*

(sumber : Oorebeek, 2016)

Distribusi gaya pada *pad eye* dengan tambahan *ring stiffeners* ditunjukkan pada **Gambar 2.9** baris atas. Distribusi gaya tanpa *ring stiffeners* juga dapat dilihat pada **Gambar 2.9** baris bawah.



Gambar 2. 9 (a) Distribusi gaya dengan *ring stiffeners*, (b) Distribusi gaya tanpa *ring stiffeners*

(sumber : Oorebeek, 2016)

Jika tidak ada *ring stiffeners*, komponen gaya horizontal dan vertikal akan didistribusikan pada seluruh pelat utama dan dihubungkan ke tumpuan. Dalam hal ini beban ditransfer dari lubang *pad eye* melalui pelat utama menuju ke tumpuan. Komponen gaya ditransfer dari pelat utama ke tumpuan. Komponen gaya horizontal F_x diterima oleh pengelasan antara pelat utama *pad eye* dan blok/beban, komponen gaya vertikal F_y didistribusikan di atas dasar pelat utama, bending momen dalam bidang didistribusikan di atas pelat utama (Oorebeek, 2016)

2.5.4 Kegagalan *Pad Eye*

Karena beban dan tegangan yang melewati struktur, beberapa mode kegagalan pada *pad eye* dapat terjadi. Lokasi di mana kegagalan dapat terjadi dapat ditentukan dengan melihat jalur beban. Jalur beban adalah cara beban ditransfer ke penyangga. Jalur beban ini dapat dilihat pada Gambar 2.9 untuk kasus beban *pad eye* tanpa tambahan *ring stiffeners*. Dari sini dapat diperoleh bahwa mode kegagalan yang mungkin terjadi adalah kegagalan pelat pipi (*cheek plate*), pelat utama dan kegagalan pengelasan (Oorebeek, 2016)

2.6 Sling

Sling adalah sebuah alat bantu angkat, khususnya barang yang besar dan berat di berbagai industri. Karakteristik dari sling ini adalah salah satu atau kedua ujungnya diterminasi atau dibuat menjadi mata untuk digunakan sebagai sarana mengaitkan aksesoris yang digunakan untuk membantu aplikasi pengangkatan seperti *Hook*, *Masterlink*, dan lain-lain. (Nusantara Traisser. Apa Itu Sling. <http://nusantaratraisses.co.id/responsiveweb>. Diakses 20 Desember 2021)

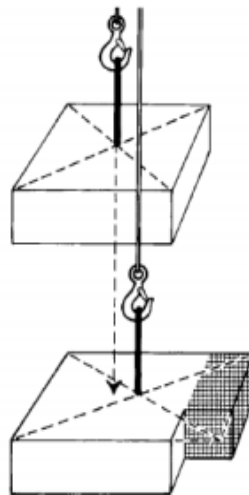
Jenis sling yang digunakan sesuai dengan kondisi lapangan yang ada, kebutuhan *customer* pada saat aplikasinya nanti dan fungsinya sendiri.

2.7 Titik Berat (*Center of Gravity*)

Titik berat suatu benda adalah suatu titik pada benda tersebut atau di sekitar benda tersebut di mana berat semua bagian benda terpusat pada titik tersebut (Lohat, San Alexander. Fisika, 2011.<https://gurumuda.net/titik-berat.htm>. Diakses 20 Desember 2021)

Pada Gambar 2.10 dapat dilihat perbedaan letak titik berat pada 2 objek yang berbeda.

Sangat penting bagi setiap orang yang terlibat dalam pengangkatan dan pengangkutan beban untuk mengetahui dasar-dasar statika dan efek pusat gravitasi suatu benda dalam kaitannya dengan titik angkat, atau distribusi gaya pada sling dan benda (MacDonald, dkk, 2009).



Gambar 2.10 Titik berat pada blok yang akan diangkat

(sumber : MacDonald, dkk, 2019)

Pusat gravitasi adalah titik dalam suatu beban di mana semua beban dapat dikatakan terkonsentrasi selama pengangkatan yang bertindak ke bawah untuk

membawa beban ke posisi kesetimbangan tepat di bawah kait pengangkat, meskipun beban mungkin tidak sejajar.

Sebelum mencoba mengangkat beban yang mungkin jauh lebih berat di satu ujung daripada di ujung lainnya, atau di mana *pad eye* mungkin tidak terletak sehubungan dengan pusat gravitasi beban, *rigger* harus memperkirakan lokasi pusat gravitasi beban dan tempatkan kait derek tepat di atas titik teoretis tersebut (MacDonald, dkk, 2009). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.11.

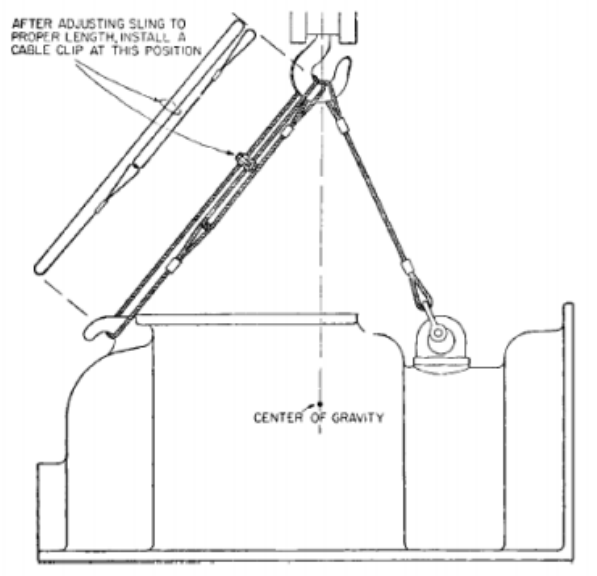


FIGURE 12.6 Center of gravity not midway between hitch points; unequal legs.

Gambar 2.11 Titik berat di atas titik teoretis

(sumber : MacDonald, dkk, 2019)

2.8 Analisis Pembebanan

Beban *structural* merupakan gaya, deformasi, atau akselerasi yang diterapkan pada komponen struktur. Beban menyebabkan tegangan, deformasi, dan perpindahan pada struktur. Perhitungan efeknya dilakukan dengan metode analisis *structural*. Beban berlebihan atau kelebihan beban dapat menyebabkan kegagalan struktur, dan karenanya kemungkinan seperti itu harus dipertimbangkan dalam desain atau dikontrol secara ketat (Avallone dan Baumeister, 1996).

Dalam melakukan pemodelan, analisis dan desain suatu struktur, perlu ada gambaran mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur tersebut.

- Gaya statis adalah gaya yang bekerja secara terus–menerus pada struktur dan mempunyai karakter *steady-states*.

- Gaya dinamis adalah gaya yang bekerja secara tiba–tiba pada struktur, pada umumnya tidak bersifat *steady-states* dan mempunyai karakteristik besar dan lokasinya berubah dengan cepat.

Pemodelan beban pada struktur digunakan untuk menyederhanakan di dalam perhitungan analisis dan desain struktur. Beban–beban yang bekerja pada suatu struktur dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori, yaitu:

1. Beban Mati (*Dead Loads*) Beban mati adalah segala sesuatu bagian struktur yang bersifat tetap, termasuk dalam hal ini berat sendiri struktur.

2. Beban Hidup (*Live Loads*) Beban hidup adalah semua beban yang bersifat dapat berpindah–pindah, atau beban yang bersifat sementara yang ditempatkan pada suatu tempat tertentu. Sebagai contoh adalah beban kendaraan pada area parkir, kelengkapan meja/kursi pada kantor, manusia, beban air pada kolam renang, beban air pada tangki air, dan lain sebagainya.

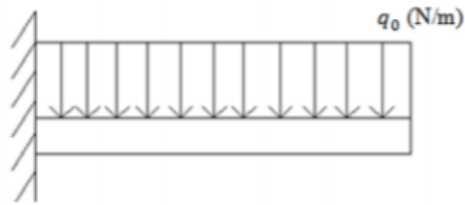
Berdasarkan daerah pembebanannya beban dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Beban Terpusat = beban yang terkonsentrasi di suatu tempat.



Gambar 2.12 Beban terpusat

2. Beban Merata = beban yang tersebar secara merata baik ke arah memanjang maupun ke arah luas.



Gambar 2. 13 Beban merata

2.9 Keseimbangan Benda Tegar

2.9.1 Definisi Keseimbangan Benda Tegar

Suatu benda disebut sebagai benda tegar jika jarak antara setiap bagian benda itu selalu sama. Dalam hal ini, setiap benda bisa dianggap tersusun dari partikel-partikel atau titik-titik, di mana jarak antara setiap titik yang tersebar di seluruh bagian benda selalu sama (Jumarim, 2017).

Benda dikatakan berada dalam kesetimbangan apabila benda itu sebagai satu keseluruhan tetap diam atau bergerak menurut garis lurus dengan kecepatan konstan atau benda itu tidak berotasi sama sekali atau berotasi dengan kecepatan tetap.

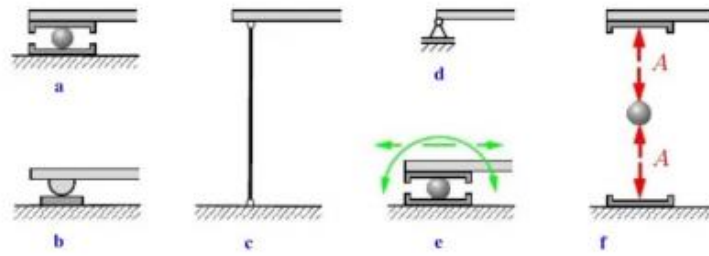
2.9.2 Tumpuan Struktur

Struktur dihubungkan dengan penyangga/tumpuan yang tujuan utamanya adalah menetapkan struktur pada posisi tertentu, selain itu tumpuan juga bertujuan meneruskan gaya (Gross, dkk, 2013).

Beberapa jenis tumpuan struktur pada konstruksi sebagai berikut:

1. Tumpuan Rol (*Roller Support*)

Jenis tumpuan yang hanya dapat meneruskan satu reaksi ($r = 1$). Tumpuan ini hanya dapat meneruskan reaksi ke arah vertikal, dan tidak mampu menahan gaya translasi horizontal dan gaya momen (Gross, dkk, 2013). Tumpuan rol dapat dilihat pada Gambar 2.14.

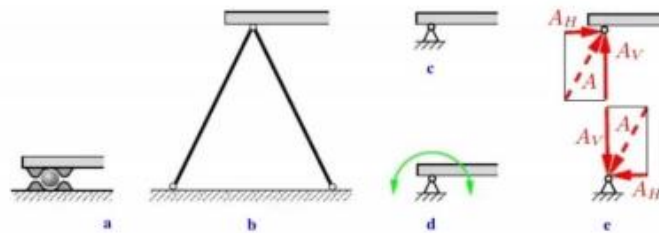


Gambar 2. 14 Tumpuan rol

(sumber : Gross, dkk, 2013)

2. Tumpuan Engsel (*Hinged Support*)

Jenis tumpuan yang dapat meneruskan dua reaksi ($r = 2$). Tumpuan ini dapat meneruskan reaksi arah vertikal dan horizontal, jadi tumpuan engsel dapat menahan gaya translate vertikal dan horizontal tetapi tidak dapat menahan momen atau rotasi (Gross, dkk, 2013). Tumpuan engsel dapat dilihat pada Gambar 2.11.

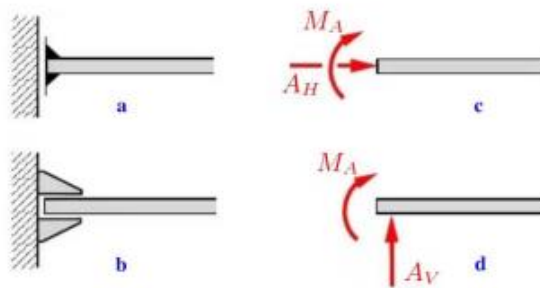


Gambar 2. 15 Tumpuan engsel

(sumber : Gross, dkk, 2013)

3. Tumpuan Jepit (*Fixed Support*)

Jenis tumpuan yang dapat meneruskan tiga reaksi ($r = 3$) atau dengan kata lain mampu menahan semua derajat kebebasan (*degree of freedom/DOF*), baik itu gaya translasi vertikal, horizontal, maupun momen (Gross, dkk,2013). Tumpuan jepit dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2. 16 Tumpuan jepit

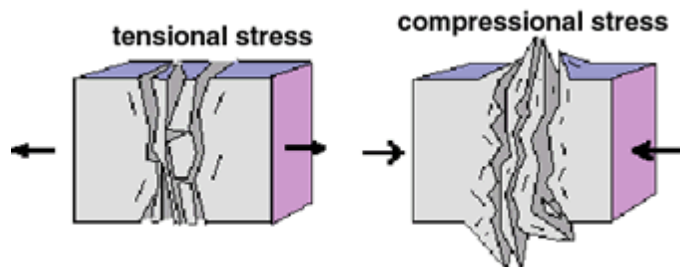
(sumber : Gross, dkk, 2013)

2.10 Tegangan dan Regangan

2.10.1 Tegangan (*Stress*)

Tegangan adalah besaran yang menunjukkan gaya internal antar partikel dari suatu bahan terhadap partikel lainnya. Dengan mengasumsikan bahwa tegangan *terbagi rata* di seluruh potongan penampang, dapat melihat bahwa resultannya harus sama dengan intensitas σ dikalikan dengan luas penampang A dari batang tersebut. Dengan demikian, besarnya tegangan dapat dinyatakan dengan rumus:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad [2.14]$$



Gambar 2.17 *Normal stress* (tegangan tarik dan tekan)

Dimana : σ = tegangan (N/mm^2)

P = gaya atau beban (N)

A = luas penampang (mm^2)

Persamaan di atas memberikan intensitas tegangan merata pada bidang prismatic yang dibebani secara aksial dengan penampang sembarang. Apabila batang ini ditarik dengan gaya P , maka tegangannya adalah tegangan tarik (*tensile stress*) dan apabila gayanya mempunyai arah sebaliknya sehingga menyebabkan batang tersebut mengalami tekan, maka terjadi tegangan tekan (*compressive stress*). Karena tegangan ini mempunyai arah tegak lurus permukaan potongan, maka tegangan ini disebut tegangan normal (*normal stress*). Jadi tegangan normal dapat berupa tarik atau tekan (Gere dan Timoshenko, 2000).

2.10.2 Regangan (Strain)

Regangan (strain) adalah perbandingan deformasi suatu struktur terhadap panjang mula-mula akibat gaya yang arahnya sejajar dengan perubahan panjang struktur tersebut. Suatu batang lurus akan mengalami perubahan panjang apabila dibebani secara aksial, yaitu menjadi panjang jika mengalami tarik dan menjadi pendek jika mengalami tekan (Gere dan Timoshenko, 2000).

Pertambahan panjang pada batang dinotasikan dengan Δ (delta), dimana satu satuan panjang dari batang akan mempunyai perpanjangan yang sama dengan $1/L$ kali perpanjangan total Δ . Perpanjangan pada batang dapat diukur untuk setiap kenaikan tertentu dari beban aksial. Dengan demikian konsep perpanjangan per satuan panjang, atau disebut regangan, yang diberi notasi ε (epsilon) dapat dihitung dengan persamaan: (Gere dan Timoshenko, 2000).

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad [2.15]$$

Dimana : ε = regangan

ΔL = pertambahan panjang (mm)

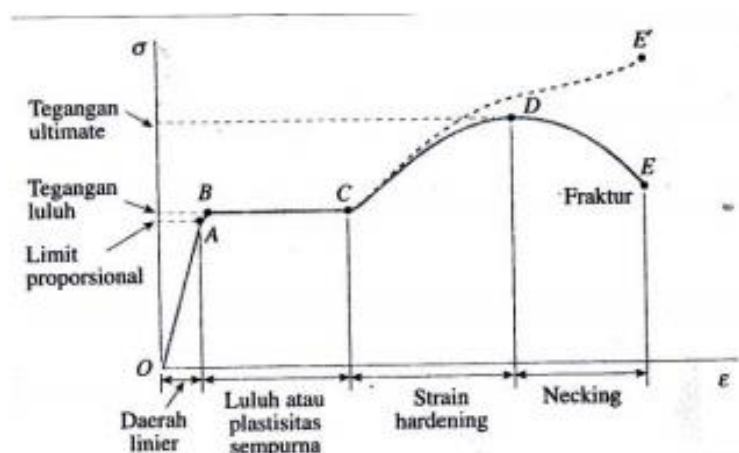
L = panjang mula-mula (mm).

2.10.3 Kurva Tegangan-Regangan

Setelah melakukan uji tarik atau tekan dan menentukan tegangan dan regangan pada berbagai taraf beban, dapat memplot diagram tegangan dan regangan. Diagram tegangan-regangan merupakan karakteristik dari bahan yang diuji dan memberikan informasi penting tentang besarab mekanis dan jenis perilaku (Gere dan Timoshenko, 2000).

Bahan baja struktural, yang dikenal dengan baja lunak atau baja karbon rendah. Baja struktural adalah salah satu bahan metal yang paling banyak digunakan untuk gedung, jembatan, menara, dan jenis struktur lain. Diagram tegangan-regangan untuk baja struktural tipikal yang mengalami tarik diperlihatkan pada Gambar 2.18.

Diagram dimulai dengan garis lurus dari pusat sumbu 0 ke titik A, yang berarti bahwa hubungan antara tegangan dan regangan pada daerah ini linier dan proporsional, dimana titik A tegangan maksimum, tidak terjadi perubahan bentuk ketika beban diberikan disebut batas elastis, jadi tegangan di A disebut limit proporsional, dan OA disebut daerah elastis.



Gambar 2. 18 Kurva tegangan-regangan baja structural

(Gere dan Timoshenko, 2000)

Dengan meningkatnya tegangan hingga melewati limit proporsional, maka regangan mulai meningkat secara lebih cepat untuk setiap penambahan tegangan. Dengan demikian kurva tegangan-regangan mempunyai kemiringan yang berangsur-angsur semakin kecil sampai pada titik B kurva tersebut menjadi horizontal. Mulai dari titik B terjadi perpanjangan yang cukup besar pada benda uji tanpa adanya penambahan gaya tarik (dari B ke C), fenomena ini disebut luluh dari bahan, dan titik B disebut titik luluh. Di daerah antara B dan C, bahan menjadi plastis sempurna, yang berarti bahwa bahan terdeformasi tanpa adanya penambahan beban. Sesudah mengalami regangan besar yang terjadi selama peluluhan di daerah BC, baja mulai mengalami pengerasan regang (strain hardening). Perpanjangan benda di daerah ini membutuhkan peningkatan beban tarik, sehingga diagram tegangan-regangan mempunyai kemiringan positif dari C ke D, dan beban pada akhirnya mencapai harga maksimum, dan tegangan di titik D disebut tegangan ultimate. Penarikan batang lebih lanjut akan disertai dengan pengurangan beban dan akhirnya terjadi putus/patah di suatu titik yaitu pada titik E (Gere dan Timoshenko, 2000).

2.10.4 Tegangan Izin

Tegangan izin adalah tegangan maksimum yang disyaratkan oleh badan klasifikasi. Tegangan yang terjadi akibat pembebanan yang berlangsung tak terbatas pada elemen struktur, tanpa mengakibatkan terjadinya kepatahan maupun deformasi atau perubahan bentuk. Penentuan tegangan izin menentukan perhitungan dan pemeriksaan ukuran dari struktur.

Ketika material baja dengan *yield stress* (tegangan luluh) minimum R_{eH} selain 235 N/mm^2 yang digunakan di kapal, *hull scantling* ditentukan dengan memperhitungkan faktor material (k) yang didefinisikan dalam Tabel 2.1. Tegangan normal (*normal stress*) yang diizinkan untuk konstruksi bagian deck adalah $170/k \text{ N/mm}^2$ dan tegangan geser (*shear stress*) yang diizinkan untuk konstruksi *deck* adalah $110/k \text{ N/mm}^2$, sedangkan untuk tegangan von-Mises yang diizinkan adalah $235/k \text{ N/mm}^2$ (Bureau Veritas, 2020).

Tabel 2.1 *Material factor k*

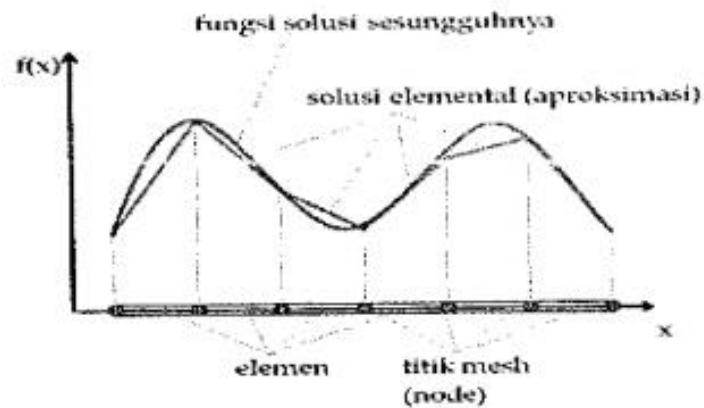
| REH in N/mm² | k |
|--------------------------------|----------|
| 235 | 1 |
| 315 | 0,78 |
| 355 | 0,72 |
| 390 | 0,68 |

(sumber: Berau Veritas, 2020)

2.11 Metode Elemen Hingga/MEH (*Finite Element Method/FEM*)

Metode elemen hingga adalah metode numerik untuk mendapatkan solusi permasalahan diferensial, baik persamaan diferensial biasa (*Ordinary Differential Equation*) maupun persamaan diferensial biasa (*Partial Differential Equation*). Saat ini MEH merupakan salah satu metode numerik paling *versatile* untuk memecahkan problem dalam domain kontinu.

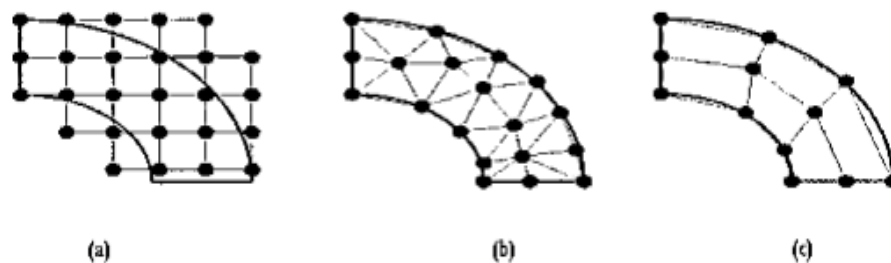
Proses inti MEH adalah membagi problem yang kompleks menjadi bagian-bagian kecil atau elemen-elemen dari mana solusi yang lebih sederhana dapat dengan mudah diperoleh. Solusi dari setiap elemen jika digabungkan akan menjadi solusi problem secara keseluruhan. Gambar 2.19 menjelaskan cara kerja MEH di mana solusi suatu problem yang kompleks diaproksimalkan oleh solusi elemen. Untuk mendapatkan solusi elemental, MEH menggunakan fungsi interpolasi untuk mengaproksimalkan solusi elemen. Untuk contoh ini suatu fungsi linear yang sederhana dipergunakan sebagai fungsi interpolasi. Setelah solusi setiap elemen diperoleh, dengan menggabungkan solusi-solusi elemen maka solusi keseluruhan problem dapat diperoleh. Dengan menggunakan fungsi polinomial seperti fungsi kuadrat sebagai fungsi interpolasi, solusi yang lebih akurat bisa diperoleh.



Gambar 2. 19 Aproksimasi solusi keseluruhan diperoleh dari gabungan solusi-solusi elemen
(sumber : Isworo dan Pathur, 2018)

Prinsip MEH adalah membagi domain permasalahan, baik itu domain ruang (spatial domain) atau domain waktu (time domain), menjadi sub domain atau elemen yang lebih kecil. Dengan menghitung solusi pada elemen-elemen dan selanjutnya menggabungkan keseluruhan solusi elemental, solusi total dari permasalahan diperoleh. Dalam menghitung solusi per elemen tentunya solusi elemen harus memenuhi beberapa ketentuan, seperti kontinuitas pada titik-titik noda dan antarmuka (interface) elemen.

Gambar 2.20 menggambarkan dua jenis elemen MEH, yaitu elemen segitiga (*triangular element*) dan segiempat (*quadrilateral element*).



Gambar 2. 20 (a) Mesh Metode Perbedaan Hingga, (b) elemen segitiga, (c) elemen segiempat • adalah titik mesh nodes)

(sumber : sumber : Isworo dan Pathur, 2018)

Dengan MEH, solusi yang diperoleh adalah fungsi interpolasi setiap elemen. Setelah fungsi interpolasi elemen dihitung, solusi keseluruhan dapat diperoleh. Fungsi-fungsi interpolasi setiap elemen ditentukan oleh nilai pada titik mesh.

Pada prinsipnya penerapan Metode Elemen Hingga terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut:

1. Diskritisasi Domain

Pada tahap ini ditentukan jenis elemen yang akan digunakan. Untuk problem 2-dimensi (Gambar 2.20), elemen 2-dimensi yang umum digunakan adalah tiga sisi (triangular) atau empat sisi (quadrilateral). Elemen-elemen ini bisa berupa elemen linear ataupun non-linear. Untuk problem 3 dimensi, elemen 3 dimensi yang umum digunakan adalah elemen tetrahedral (empat muka) dan heksahedral (enam muka).

2. Penentuan Bentuk Fungsi Aproksimasi

Pada tahap ini bentuk dari fungsi interpolasi ditentukan, fungsi yang umum digunakan adalah fungsi polinomial. Tingkat dari polinomial ini ditentukan oleh jumlah node pada setiap elemen dan syarat kontinuitas yang diperlukan pada batas elemen. Untuk elemen segitiga dengan tiga titik nodal, fungsi interpolasinya adalah fungsi linear atau polinomial tingkat 1. Dengan enam titik nodal, fungsi interpolasi yang digunakan adalah fungsi polinomial tingkat 2 atau fungsi kuadrat.

3. Penghitungan Properti Elemen

Fungsi interpolasi yang telah ditentukan pada tahap 2 kemudian disubstitusikan kembali pada persamaan-persamaan diferensial dan diproses guna mendapatkan sistem persamaan linear atau sistem matriks yang merupakan properti dari elemen yang terkait. Ada beberapa cara yang digunakan untuk mendapatkan persamaan linear tersebut, antara lain pendekatan direk, pendekatan

variasional, pendekatan residu berbobot (weighted residue) dan pendekatan keseimbangan energi.

4. Pembentukan Sistem Persamaan Linear

Matriks-matriks elemen yang terbentuk kemudian digabung menjadi matriks global. Ukuran matriks elemen adalah jumlah node perlemen dikalikan jumlah degree of freedom (dof) setiap node. Jadi untuk elemen segitiga dengan 3 node dan 1 dof, ukuran dari matriks elemennya adalah 3×3 . Seandainya setiap node mempunyai 2 dof maka ukuran matriks elemennya adalah 6×6 .

5. Pemecahan Sistem Persamaan Linear

Sistem global yang terbentuk pada tahap 4 dapat berupa sistem persamaan linear atau sistem persamaan non-linear. Jika sistem yang terbentuk berupa sistem persamaan linear teknik-teknik umum untuk memecahkan sistem dapat digunakan.

6. Post Process Hasil

Setelah solusi diperoleh dari tahap 5, hasil dapat ditampilkan berupa grafik kountour atau plot. Jika ada parameter lain yang bergantung pada hasil maka parameter ini dihitung setelah hasil diperoleh. (Isworo dan Pathur, 2018).

2.12 Penyelesaian Software ANSYS

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku batang baja akibat mendapat beban terpusat. Pada penggunaannya, secara umum program ANSYS memiliki tahapan utama yaitu (Kusbiantoro dkk, 2016) :

1. *Pre-Pocessing*

Prepocessing adalah langkah awal dalam permodelan elemen hingga. Pada *pre-pocessing* terdapat beberapa fungsi yang harus dideinisikan agar menghasilkan perhitungan yang spesifik pada benda yang akan dianalisa. Fungsi-fungsi yang terdapat *prepocessing* adalah permodelan, penentuan tipe elemen, penentuan material , *meshing*.

2. *Solution*

Pada tahapan ini FEM telah mendekati proses perhitungan dan analisa. Ada beberapa langkah dalam proses perhitungan yang harus dilalui terlebih dahulu. Langkah-langkah tersebut adalah pembebanan dan analisa.

3. *General Post-Processing*

Setelah proses permodelan dan analisis selesai langkah selanjutnya adalah proses *post processing*. Proses ini digunakan untuk melihat hasil analisis, dalam hal ini hasil yang dilihat adalah displacement, momen, gaya geser, dan gaya normal yang terjadi.