

SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH ARAH SLING TERHADAP
KEKUATAN PAD EYE**

Disusun dan diajukan oleh

IHZA MAHENDRA AMIR

D311 16 311



DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2021



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
Jalan Poros Malino KM. 6 Bontomarannu, Gowa, Sulawesi Selatan 92171

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mengikuti ujian akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

JUDUL SKRIPSI :

**“ANALISIS PENGARUH ARAH SLING TERHADAP
KEKUATAN PAD EYE”**

Disusun Oleh :

IHZA MAHENDRA AMIR

D311 16 311

Gowa, 5 Maret 2021

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing 1

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

Dosen Pembimbing 2

Hamzah, ST., MT.
NIP. 19800618 200501 1 004

Mengetahui,

Kapal 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 : Ihza Mahendra Amir
NIM : D311 16 311
Program Studi : Teknik Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“ANALISIS PENGARUH ARAH SLING TERHADAP KEKUATAN PAD EYE”

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 karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 5 Maret 2021

Menyatakan



Ihza Mahendra Amir

KATA PENGANTAR

ALHAMDULILLAH, segala puji dan syukur kepada Allah SWT, atas limpahan berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul **“ANALISIS PENGARUH ARAH SLING TERHADAP KEKUATAN PAD EYE”**.

Pengerjaan tugas akhir ini merupakan persyaratan bagi setiap mahasiswa untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penyusun menyadari bahwa penyelesaian tugas akhir ini adalah suatu kebanggaan tersendiri bagi penyusun karena tantangan dan hambatan yang menghadang selama mengerjakan tugas akhir ini dapat terlewati dengan 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 terima kasih sedalam – dalamnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Ayahanda Amir Candi dan Ibunda Mariaty atas kesabaran, pengorbanan, nasehat dan yang terutama doa yang tak putus – putus selama ini sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan baik dan untuk saudari tercinta yang telah memberikan support dan semangat tiada henti Rifqa Maharani Amir atas perhatian dan dukungannya.
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 skripsi ini.
3. Bapak Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl.-Ing selaku Kepala Laboratorium Struktur Teknik Perkapalan dan Bapak Moh. Rizal Firmansyah, ST., MT, M.Eng selaku dosen Laboratorium Produksi sekaligus penguji dalam tugas akhir ini.

4. Seluruh Dosen Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kemurahan hatinya.
5. Ibu Uti, Kak Yudi, Pak Afif dan Pak Rio selaku staff Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan dan kesabarannya selama penulis mengurus segala persuratan di kampus.
6. Kepada teman-teman Program Studi Teknik Perkapalan Angkatan 2016, terima kasih atas segala suka dan duka yang kita alami bersama yang menjadikan penulis bisa tumbuh dewasa dalam pikiran dan perbuatan.
7. Kepada teman-teman dan kanda senior sesama Labo Struktur
8. Kepada kanda-kanda senior dan adik-adik junior yang penulis tak bisa sebutkan satu persatu.
9. Kepada teman teman KKN Posko Desa Lioka (Chika Fujiwara, Sultan, Isna, Arin, Dinar) yang telah mewarnai hari-hari saya selama ber-KKN di Kabupaten Luwu Timur.
10. Yang terakhir penulis ucapkan terima kasih untuk seluruh pihak baik secara langsung maupun tidak langsung yang memiliki peranan dan kontribusi di dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

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

Gowa, Maret 2021

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
ABSTRAK.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Pembuatan dan Perakitan Komponen Kapal.....	6
2.1.1 Fabrikasi.....	6
2.1.2 Sub Assembly.....	7
2.1.3 Assembly.....	7
2.1.4 Erection	8
2.2 Pengangkatan (<i>lifting</i>).....	8
2.3 Pad Eye (<i>lifting eyes</i>)	10
2.3.1 Deskripsi Pembebanan.....	11
2.3.2 <i>Pad Eye Nonsymmetric</i>	13
2.3.3 Ketahanan Beban	13
2.3.4 Kegagalan Pad Eye	15
2.4 Sling	15
2.4.1 Wire Rope Sling.....	16

2.4.2	Perawatan Sling.....	17
2.5	Titik Berat (<i>Centre of Gravity</i>).....	17
2.6	Analisis Pembebanan	19
2.7	Keseimbangan Benda Tegar	21
2.7.1	Definisi Keseimbangan Benda Tegar.....	21
2.7.2	Tumpuan Struktur	22
2.8	Tegangan dan Regangan	24
2.8.1	Tegangan (<i>Stress</i>)	24
2.8.2	Regangan (<i>Strain</i>)	26
2.8.3	Kurva Tegangan-Regangan	27
2.8.4	Tegangan Ijin.....	29
2.9	Metode Elemen Hingga.....	30
2.10	Penyelesaian Software ANSYS	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		34
3.1	Waktu dan Lokasi Penelitian	34
3.2	Prosedur Penelitian.....	34
3.2.1	Studi Literatur.....	34
3.2.2	Pengumpulan dan Pengolahan Data	34
3.2.3	Prosedur Penyelesaian dengan Software Elemen Hingga	37
3.3	<i>Flow Chart</i> Penelitian	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		47
4.1	Analisis Kekuatan pada Pad Eye.....	47
4.2	Analisis Perubahan Tegangan, Regangan dan Deformasi	50
BAB V PENUTUP.....		65
5.1	Kesimpulan	65
5.2	Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA		68
LAMPIRAN		70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses fabrikasi struktur baja.....	6
Gambar 2.2 Proses assembly	7
Gambar 2.3 Proses erection	8
Gambar 2.4 Loading block	9
Gambar 2.5 Pad Eye simetris dan non simetris	11
Gambar 2.6 Pad Eye yang telah dipasang shackle	12
Gambar 2.7 Arah komponen gaya pada pad eye	13
Gambar 2.8 Komponen Pad Eye	14
Gambar 2.9 Distribusi gaya dengan dan tanpa ring stiffeners.....	14
Gambar 2.10 Wire Rope Sling	16
Gambar 2.11 Titik berat pada blok yang akan diangkat.....	18
Gambar 2.12 Titik berat di atas titik teoretis	19
Gambar 2.13 Beban terpusat	21
Gambar 2.14 Beban merata	21
Gambar 2.15 Tumpuan rol.....	23
Gambar 2.16 Tumpuan engsel.....	23
Gambar 2.17 Tumpuan jepit.....	24
Gambar 2.18 <i>Tensil stress</i> sumbu vertikal dan horizontal.....	25
Gambar 2.19 <i>shear stress</i>	26
Gambar 2.20 Kurva tegangan-regangan baja struktural.....	28
Gambar 3.1 Detail bentuk dan ukuran pad eye	35
Gambar 3.2 Variasi sudut gaya.....	37
Gambar 3.3 Geometri pad eye 2D	38
Gambar 3.4 Geometri pad eye 3D	38
Gambar 3.5 Properti material pad eye (S355J0)	39
Gambar 3.6 Contact main plate dan penegar 1	40
Gambar 3.7 Contact main plate dan cheek plate 1	40

Gambar 3.8 Contact main plate dan cheek plate 2	41
Gambar 3.9 Contact main plate dan penegar 2.....	41
Gambar 3.10 Meshing pada pad eye	42
Gambar 3.11 Fixed support pada pad eye	43
Gambar 3.12 Gambaran arah beban setiap sudut	44
Gambar 3.13 Detail beban pada pad eye	45
Gambar 3.14 Solving berhasil dilakukan	45
Gambar 3.15 Diagram flow chart penelitian	46
Gambar 4.1 Hasil simulasi tegangan normal sumbu X	51
Gambar 4.2 Hasil simulasi tegangan normal sumbu Y	52
Gambar 4.3 Grafik perubahan tegangan normal maksimum.....	54
Gambar 4.4 Hasil simulasi tegangan geser XY	55
Gambar 4.5 Grafik perubahan tegangan geser XY maksimum.....	56
Gambar 4.6 Hasil simulasi tegangan von-mises.....	57
Gambar 4.7 Grafik perubahan tegangan von-mises maksimum.....	58
Gambar 4.8 Hasil simulasi regangan geser XY	59
Gambar 4.9 Grafik perubahan regangan geser XY maksimum.....	60
Gambar 4.10 Hasil simulasi regangan von-mises	61
Gambar 4.11 Grafik perubahan regangan von-mises maksimum	62
Gambar 4.12 Hasil simulasi deformasi total	63
Gambar 4.13 Grafik perubahan deformasi total maksimum	64

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Material factor k	29
Tabel 3.1 Properti Material S355J0.....	36
Tabel 4.1 Hasil analisis kekuatan pad eye pada setiap sudut sling	48
Tabel 4.2 Tabel tegangan normal	53
Tabel 4.3 Tabel tegangan geser XY	56
Tabel 4.4 Tabel tegangan von-mises	58
Tabel 4.5 Tabel regangan geser XY	60
Tabel 4.6 Tabel regangan von-mises	62
Tabel 4.7 Tabel deformasi total.....	64

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Geometri dan dimensi <i>pad eye</i>	71
---	----

ABSTRACT

Mahendra Amir, Ihza. 2021. ” *Analysis of the effect of sling direction on pad eye strength*” (Supervised by **Andi Ardianti** dan **Hamzah**)

One of the steps of ship production using the grand block system is erection, in this process the block that will be lifted can be up to millions of millinewtons weight. This research was aimed to examine the effect of the different angles of a sling on stress, strain, and deformation for the pad eye. The variations in the angle used in this research were 45°, 60°, 75°, and 90° with a tensile load from the crane of 55 tons or 539365,75 N. This research was using finite element method with the help of ANSYS software. The result showed that normal stress maximum for X-axis was obtained 57,85 MPa which occurred at the sling angle 45°, for the maximum normal stress for Y-axis was obtained 143,32 MPa which occurred at the sling angle of 90°, for shear stress XY-plane was obtained 51,712 MPa when the sling angle of 45°, and for Von-Mises stress obtained 151,47 which occurred at the angle of 90°. While for the shear strain maximum occurred at the angle of 45° and the value was $6,4 \times 10^{-4}$ and for the Von-Mises strain maximum occurred at the angle of 90° with value $7,4 \times 10^{-4}$. And for total deformation, the maximum value was $7,286 \times 10^{-2}$ mm at the sling angle of 45°. For each of the angle variations that have been used, the strength of the pad eye still fulfills the classification requirements because the value of results is still below the allowable value of stress. The difference in these results obtained after using variations in the angle of sling shows that the difference in the direction of sling has different effects on the strength of pad eye, like stress, strain, and deformation.

Keywords: *Pad Eye, Sling Angle, Finite Element Method, Stress, Deformation*

ABSTRAK

Mahendra Amir, Ihza. 2021. "Analisis Pengaruh Arah Sling Terhadap Kekuatan *Pad Eye*" (Dibimbing oleh **Andi Ardianti** dan **Hamzah**)

Salah satu tahapan dari produksi kapal menggunakan sistem *grandblock* adalah proses *erection*, di mana pada proses ini akan dilakukan pengangkatan blok yang beratnya bisa mencapai jutaan mN. Penelitian ini bertujuan untuk melihat apakah sudut *sling* yang digunakan pada proses pengangkatan blok akan menghasilkan tegangan, regangan, dan deformasi yang berbeda pada *pad eye*. Variasi sudut *sling* yang digunakan dalam penelitian ini ialah 45°, 60°, 75° dan 90° dengan beban tarik dari *crane* sebesar 55 Ton atau 539365,75 N. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga dan dibantu dengan *software ANSYS*. Berdasarkan hasil analisis diperoleh tegangan normal sumbu X maksimum sebesar 57,85 MPa yang terjadi pada saat sudut *sling* 45°, tegangan normal sumbu Y maksimum sebesar 143,32 MPa yang terjadi pada sudut *sling* 90°, tegangan geser XY maksimum sebesar 51,712 MPa yang terjadi pada sudut *sling* 45° dan tegangan *Von-Mises* sebesar 151,47 MPa yang terjadi pada sudut *sling* 90°. Sedangkan untuk regangan geser XY diperoleh regangan maksimum yang terjadi pada saat sudut 45° yaitu sebesar $6,4 \times 10^{-4}$ dan untuk regangan *Von-Mises* maksimum terjadi pada sudut 90° sebesar $7,4 \times 10^{-4}$. Dan nilai deformasi total maksimum diperoleh sebesar $7,286 \times 10^{-2}$ mm yang terjadi pada sudut *sling* 45°. Untuk setiap variasi sudut *sling* yang digunakan, kekuatan *pad eye* masih memenuhi persyaratan klasifikasi karena nilai yang dihasilkan masih berada di bawah nilai yang diizinkan. Perbedaan hasil yang didapatkan setelah menggunakan variasi sudut *sling* menunjukkan bahwa perbedaan arah tarikan dari *sling* memiliki pengaruh yang berbeda terhadap kekuatan *pad eye*, baik itu tegangan, regangan, maupun deformasi.

Kata kunci: *Pad Eye*, Sudut *Sling*, Metode Elemen Hingga, Tegangan, Deformasi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Saat ini semakin banyak galangan – galangan kapal berskala menengah hingga besar yang pada proses produksinya telah mengalami kemajuan. Contohnya dalam proses produksi kapal yang menggunakan sistem *grandblock*. Pembangunan dengan sistem ini akan memungkinkan pembangunan kapal dengan lebih cepat dibandingkan sistem lainnya. Pada sistem ini, proses *erection* terdiri atas proses penyusunan, penggabungan, pemindahan dan pengangkatan *grandblock*, yang beratnya bisa menjadi jutaan mN. Pada proses pengangkatan perlu adanya alat pendukung yaitu *crane*, *slings*, dan *pad eye*.

Yang perlu diperhatikan dalam proses *lifting* adalah keamanan dari blok yang akan diangkat, serta peralatan dan perlengkapan dalam pengangkatan. Blok/struktur dan peralatan tersebut tidak boleh mengalami kerusakan selama proses *lifting*. Salah satu equipment yang penting dalam proses ini adalah *pad eye*. *Pad eye* merupakan alat bantu angkat yang terbuat dari logam dan dilas pada sebuah plat/blok. Jumlah *pad eye* yang digunakan tergantung dari besar dan berat dari blok. *Pad eye* yang digunakan biasanya berjumlah 4 buah untuk menjaga blok tetap. Penentuan letak *pad eye* pada balok adalah pada strong point area, untuk kapal biasanya di atas bulkhead,

transverse beam atau longitudinal beam. Salah satu yang mendasari pemilihan *pad eye* adalah sudut sling atau *sling angle*.

Sling merupakan alat bantu dalam pekerjaan lifting, terbuat dari material seperti rantai, kawat, baja atau bahan sintesis, yang diikat dan dieratkan pada benda atau beban yang akan diangkat dan dikaitkan pada hook crane saat proses lifting. Karakteristik dari sling ini adalah salah satu atau kedua ujungnya diterminasi atau dibuat menjadi mata untuk digunakan sebagai sarana mengikat aksesoris yang digunakan untuk membantu aplikasi pengangkatan seperti *hook*, *masterlink*, dan lain - lain. Selain itu sling ada berbagai macam jenis, tergantung fungsi, kondisi lapangan dan juga aplikasinya, seperti *Wire Rope Sling*, *Chain Sling*, *Webbing Sling*, dan *Round Sling*. Sudut sling terjadi apabila dua atau lebih sling dipakai pada satu kait *crane*, dan ada beberapa kemungkinan sudut yang dapat terjadi pada sling tersebut.

Analisis metode elemen hingga (FEM) merupakan metode matematis yang bisa 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 lemen – elemen hingga ini kemudian dirangkai menjadi sistem persamaan yang lebih besar yang memodelkan seluruh masalah. Dengan menggunakan

metode elemen hingga, dapat diperoleh tegangan yang terjadi pada konstruksi *pad eye*.

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka perlu dilakukan **“Analisis pengaruh arah sling terhadap kekuatan *pad eye*”** untuk mendapatkan gambaran tegangan pada konstruksi *pad eye* untuk beberapa sudut yang mungkin terjadi dikarenakan arah sling.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Rumusan masalah yang akan dibuat di dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah:

1. Berapa nilai tegangan dan regangan maksimum yang terjadi pada *pad eye* saat proses *lifting*?
2. Berapa nilai deformasi maksimum yang terjadi pada *pad eye* saat proses *lifting*?
3. Bagaimana perubahan tegangan, regangan, dan deformasi yang dialami oleh *pad eye* berdasarkan sudut sling yang digunakan?

1.3 BATASAN MASALAH

Adapun batasan masalah dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Tidak dilakukan analisa pada proses pengelasan yang terjadi.
2. Tidak dilakukan analisa pengaruh angin pada saat pengangkatan.

3. Analisis dilakukan dengan menggunakan *software* ANSYS.
4. Jenis sling yang digunakan diabaikan.
5. Hanya menggunakan *pad eye* dengan geometri non simetric.

1.4 TUJUAN

Berdasarkan rumusan masalah yang ada maka tujuan dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah:

1. Menentukan nilai tegangan dan regangan maksimum pada *pad eye* untuk setiap sudut yang digunakan.
2. Menentukan nilai deformasi maksimum pada *pad eye* untuk setiap sudut yang digunakan.
3. Menentukan perubahan tegangan, regangan, dan deformasi yang terjadi pada *pad eye* sebagai fungsi dari sudut.

1.5 MANFAAT

Kegunaan dan manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui sudut sling yang baik digunakan agar menghasilkan tegangan terkecil pada *pad eye*.
2. Sebagai referensi teknis untuk pengangkatan block pada pembangunan kapal baru yang aman dalam hal kekuatan.

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

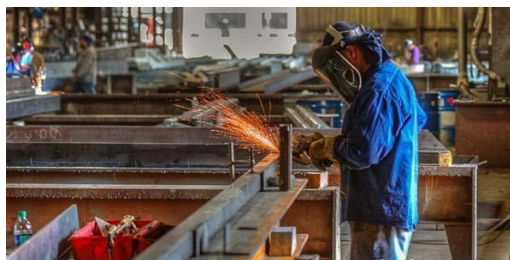
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pembuatan dan Perakitan Komponen Kapal

Bagian Produksi khususnya bagian konstruksi lambung kapal (Hull Construction) dalam proses manufakturing 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 dari 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 struktur baja
(sumber : www.builder.id)

2.1.2 Sub Assembly

Sub assembly 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 sub assembly ini adalah penggabungan antara merakit sekat, merakit web frame, merakit pelat dengan pelat (Djaya, 2008).

2.1.3 Assembly

Proses assembly adalah proses penggabungan part assembly yang telah di sub assembly menjadi sebuah blok. Blok yang dibangun diperhitungkan beratnya sesuai dengan kemampuan crane (Djaya, 2008). Contoh proses *assembly* dapat dilihat pada Gambar 2.2.

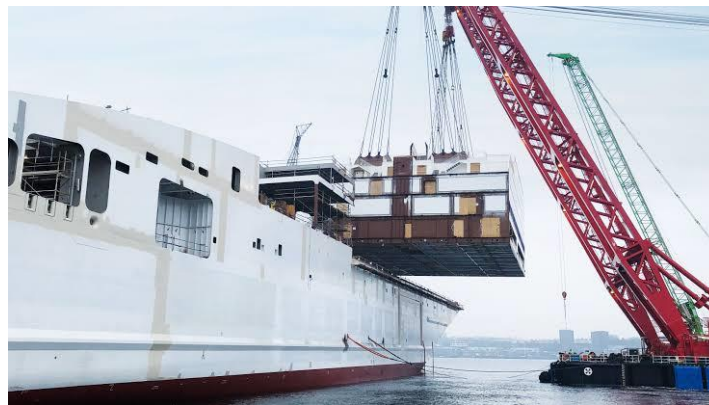


Gambar 2.2 Proses *assembly*

(sumber : tellyfahrul.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 2.3.



Gambar 2.3 Proses Erection

(sumber : brittanyferriesnewsroom.com)

2.2 Pengangkatan (*lifting*)

Proses *lifting* merupakan merupakan proses pengangkatan pada block kapal pada saat *Assembly* dan *Erection*. Dalam proses ini resiko kecelakaan yang relatif besar dapat terjadi (Irawan, 2017). Proses pengangkatan block dapat dilihat pada Gambar 2.4.

Adapun faktor yang dapat menyebabkan proses *lifting* mengalami kegagalan adalah :

- Perencanaan yang kurang baik
- Kegagalan peralatan
- SDM yang tidak memenuhi syarat
- Faktor yang dipengaruhi oleh alam seperti angin, cuaca, bencana alam dan lain-lain.

Berikut beberapa point pertimbangan untuk mengangkat block :

- Memperhatikan bentuk struktur block yang akan diangkat
- Memperhatikan posisi pusat gravitasi
- Memperhatikan posisi yang kuat dan anggota struktural lemah
- Memperhatikan sambungan antar frame block 1 dengan yang akan di join
- Memperhatikan metode angkat yang akan diterapkan



Gambar 2.4 Loading block

Sebelum loading block, dibuatkan garis tengah (Center Line) di lantai tepat di atas block tersebut berdiri/tempat joint erection. Fungsinya ketika block sudah ada diatas jig (tempat berdirinya block) mudah untuk melihat dari kelurusan blog tersebut (Irawan, 2017).

2.3 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* setiap section, hal ini bertujuan untuk menjaga stabilitas atau keseimbangan blok.

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

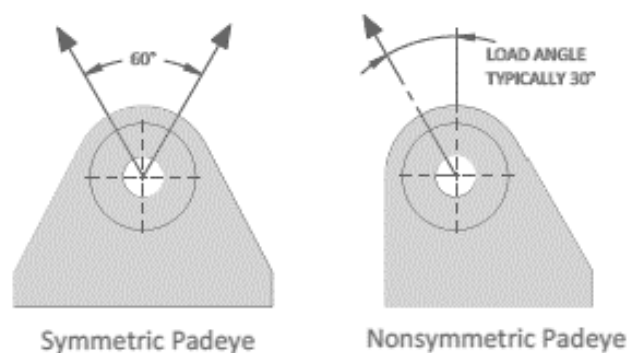
Penentuan dimensi *padeye* menurut DNV OSH205 (2014) adalah sebagai berikut:

1. Penentuan diameter luar main plate *padeye* tidak boleh kurang dari diameter *pin hole*
2. Tebal *padeye* pada area lubang tidak boleh kurang dari 75% lebar dalam dari shackle

3. Diameter lubang *padeye* harus secara hati-hati ditentukan agar fit dengan diameter *shackle pin*. Agar kuat, perbedaan jarak lubang *padeye* dan diameter pin sekecil mungkin
4. Direkomendasikan untuk diameter *shackle pin* tidak kurang 94% dari diameter lubang *padeye*.

2.3.1 Deskripsi Pembebanan

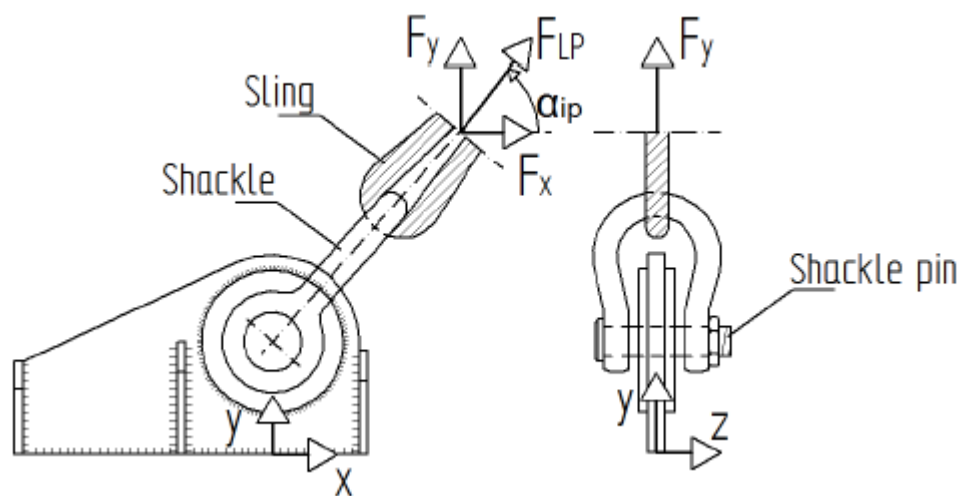
Pad eye digunakan untuk menghubungkan konstruksi yang akan diangkat dengan crane menggunakan sling. *Pad eye* yang digunakan di lapangan memiliki berbagai geometri tergantung tipe bebannya. Apabila bebannya berupa gaya vertikal maka geometri yang digunakan adalah simetris/*symmetric*. Sedangkan apabila gayanya membentuk sudut maka digunakan geometri asimetris/*nonsymmetric* (Oorebeek, 2016). Contoh *pad eye* dengan geometri simetris dan non simetris dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 *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 2.6 *Pad Eye* yang telah dipasang shackle

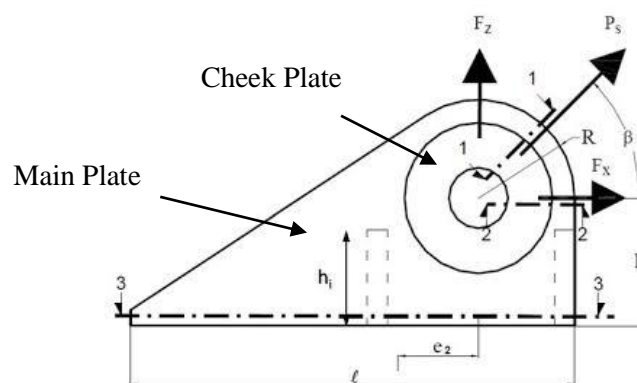
(sumber : Oorebeek, 2016)

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). Pada Gambar 2.6 dapat dilihat *shackle* yang telah terpasang pada *pad eye*.

2.3.2 Pad Eye Nonsymmetric

Pad Eye dengan geometri non simetris atau asimetris digunakan dalam *Heavy Lifting*, karena gaya bekerja di bawah sudut tertentu. Dalam banyak kasus, *spreaded bar* digunakan antara crane dan titik angkat. *Spreaded bar* ini digunakan untuk memastikan sling bekerja di bawah sudut dalam kisaran yang diizinkan.

Shackle menghubungkan *pad eye* dan *sling* yang bekerja pada sudut sling tertentu. Dikarenakan sling bekerja pada sudut, maka gaya pada lubang *pad eye* akan bekerja pada sudut yang sama. Oleh karena itu, gaya yang bekerja dapat dibagi menjadi komponen vertikal F_z dan komponen horizontal F_x . Arah komponen-komponen tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.7.

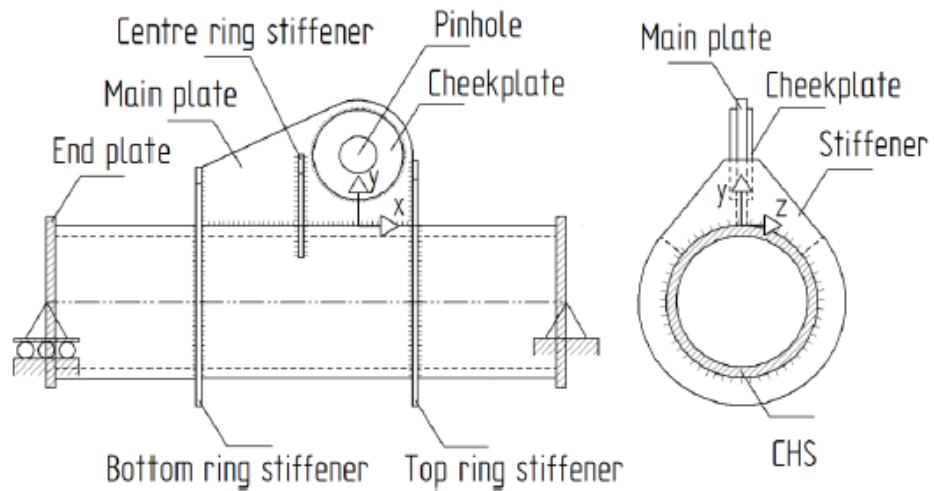


Gambar 2.7 Arah komponen gaya pada *pad eye*

2.3.3 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

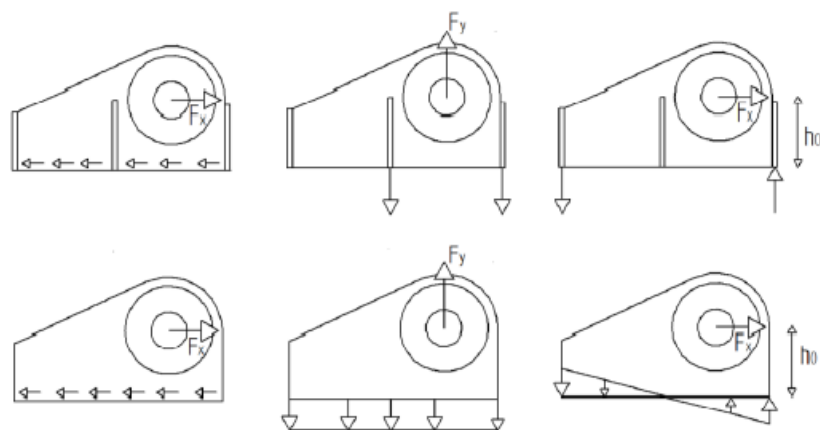
gaya radial dan lateral serta mencegah deformasi yang berlebihan (Oorebeek, 2016).



Gambar 2.8 Komponen *Pad Eye*

(sumber : Oorebeek, 2016)

Distribusi gaya pada *padeye* dengan tambahan *ring stiffeners* ditunjukkan pada gambar 2.8. Distribusi gaya tanpa *ring stiffeners* juga dapat dilihat pada gambar 2.9 dan dijelaskan di bawah.



Gambar 2.9 Distribusi gaya dengan dan 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 seperti yang dijelaskan di bawah ini: (Oorebeek, 2016)

- Komponen gaya horizontal F_x diterima oleh pengelasan antara pelat utama *pad eye* dan block/beban.
- Komponen gaya vertikal F_y didistribusikan di atas dasar pelat utama.
- Bending momen dalam bidang didistribusikan di atas pelat utama.

2.3.4 Kegagalan *Pad Eye*

Karena beban dan tegangan yang melewati struktur, beberapa mode kegagalan pada *padeye* 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 telah dapat dilihat pada gambar 2.8 untuk kasus beban *padeye* 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).

2.4 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. (<http://nusantaratraisses.co.id/responsiveweb>, diakses 2020).

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

2.4.1 Wire Rope Sling

Wire rope biasanya dibuat dari sejumlah untai kawat komposit primer yang dililitkan satu sama lain. Saat digunakan untuk mengangkat atau untuk penanganan material, sling dibuat dari tali kawat tersebut dengan membentuk lingkaran di kedua ujungnya (Crandall, 1961).

Wire rope sling, seperti pada Gambar 2.10, banyak digunakan di lapangan untuk aplikasi mengangkat barang (*lifting*), menarik (*towing*), menambat kapal (*mooring*), mengikat lashing (*choker*) dan juga masih banyak kelebihan lainnya.



Gambar 2.10 *Wire Rope Sling*

(sumber : www.lift-all.com)

2.4.2 Perawatan Sling

Saat tidak digunakan, semua sling harus digantung dengan baik pada kait atau braket khusus agar tetap lurus semaksimal mungkin. Semua sling harus diperiksa secara berkala dan tidak boleh digunakan lagi ketika sudah berpotensi tidak aman, seperti : (MacDonald, dkk, 2009)

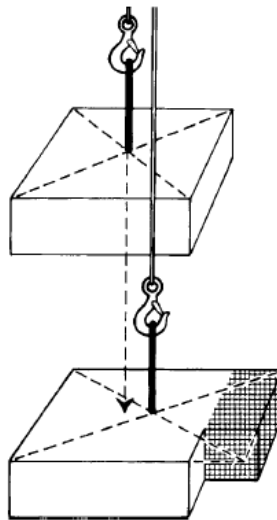
- 1) Pemakaian tidak normal
- 2) Terdapat serat bubuk di antara untaian
- 3) Serat/helai putus atau terpotong
- 4) Terdapat variasi ukuran untaian
- 5) Perubahan warna atau pembusukan (tali serat)
- 6) Distorsi perangkat keras

Sudut sling adalah sudut yang terjadi apabila dua atau lebih sling dipakai pada satu kait *crane*. Sling harus dilindungi dari sudut yang tajam dengan menggunakan balok kayu dan bantalan pada saat diangkut. Setiap akan digunakan, sling harus diperiksa dari ujung ke ujung dengan cermat untuk menentukan bahwa sling berada dalam kondisi baik (MacDonald, dkk, 2009).

2.5 Titik Berat (*Centre 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 (<https://gurumuda.net/titik-berat.htm>). Pada Gambar 2.11 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 2.11 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 2.12.

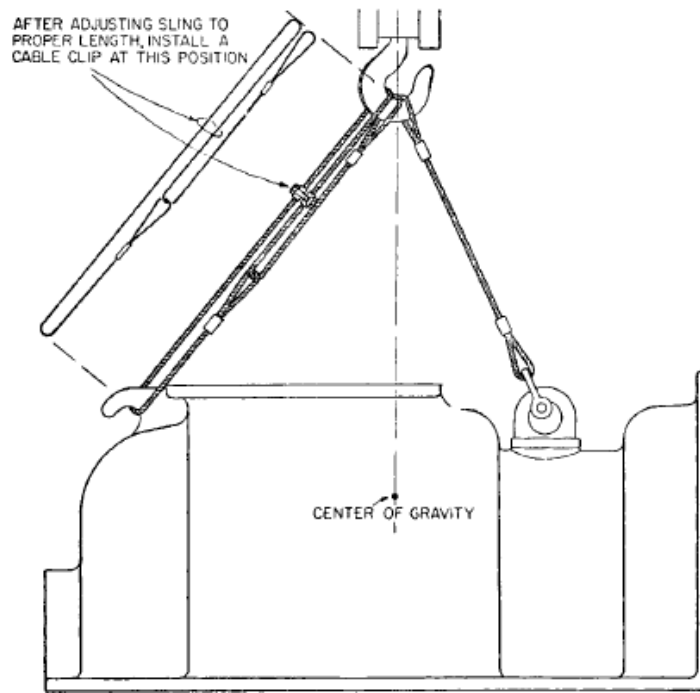


FIGURE 12.6 Center of gravity not midway between hitch points; unequal legs.

Gambar 2.12 Titik berat di atas titik teoretis

(sumber : MacDonald, dkk, 2019)

2.6 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 parker, 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

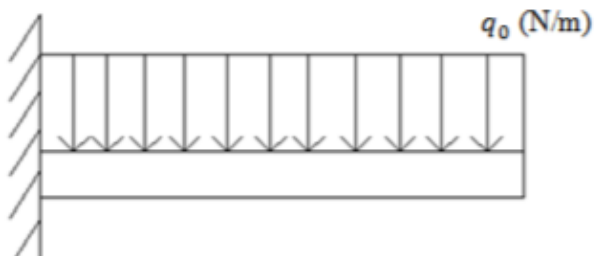
Beban terpusat adalah beban yang terkonsentrasi di suatu tempat.



Gambar 2.13 Beban terpusat

2. Beban Merata

Beban merata adalah beban yang tersebar secara merata baik ke arah memanjang maupun ke arah luas.



Gambar 2.14 Beban merata

2.7 Keseimbangan Benda Tegar

2.7.1 Definisi Keseimbangan Benda Tegar

Benda tegar adalah suatu benda yang tidak akan berubah bentuknya setelah diberikan suatu gaya pada benda itu (http://wikipedia.org/wiki/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 (Bahtiar, 2017).

Benda dikatakan berada dalam kesetimbangan apabila

1. Benda itu sebagai satu keseluruhan tetap diam atau bergerak menurut garis lurus dengan kecepatan konstan.
2. Benda itu tidak berotasi sama sekali atau berotasi dengan kecepatan tetap.

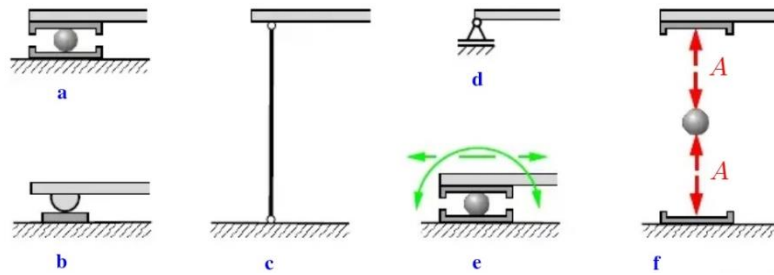
2.7.2 Tumpuan Struktur

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 2.15.

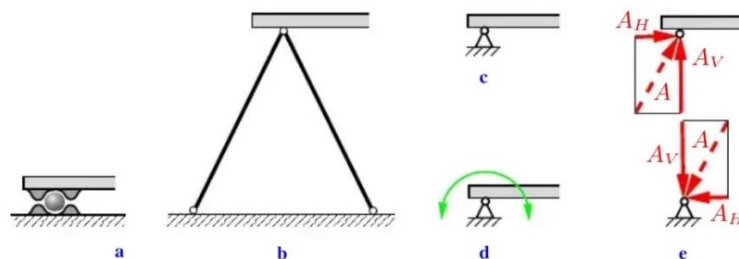


Gambar 2.15 Tumpuan rol

(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 2.16.



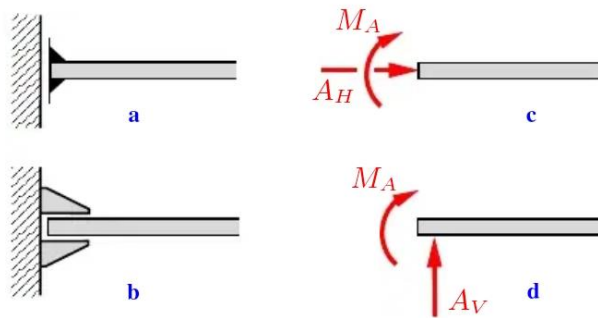
Gambar 2.16 Tumpuan engsel

(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 (DOF), baik itu gaya translasi vertikal, horizontal, maupun momen (Gross,dkk,2013).

Tumpuan jepit dapat dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Tumpuan jepit

(sumber : Gross, dkk, 2013)

2.8 Tegangan dan Regangan

2.8.1 Tegangan (*Stress*)

Tegangan adalah besaran yang menunjukkan gaya internal antar partikel dari suatu bahan terhadap partikel lainnya. Apabila *pad eye* ditarik dengan gaya, 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*). Jadi tegangan normal dapat berupa tarik atau tekan. Sedangkan Tegangan geser adalah tegangan yang bekerja dalam arah *tangensial* terhadap permukaan bahan (Gere dan Timoshenko, 2000).

Ada berbagai jenis tegangan yang dapat terjadi pada *pad eye*:
(TheNavalArch, 2020)

1. Tegangan tarik (*Tensile Stress*), tegangan tarik adalah tegangan internal yang dikerahkan oleh material untuk menahan aksi dari gaya luar yang tegak lurus dengan luas penampang. *Tensile stress* pada *pad eye* dapat dilihat pada Gambar 2.18. Berikut rumus untuk mencari nilai tegangan.

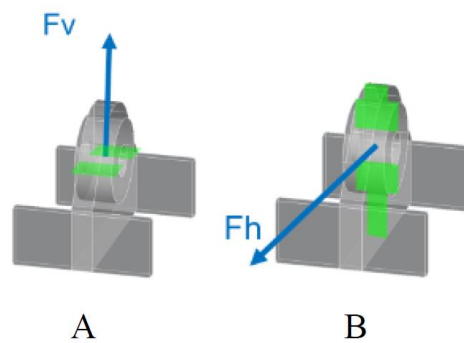
$$\text{Tensile Stress Vertical } \sigma = \frac{Fv}{A} \quad [2.1]$$

$$\text{Tensile Stress Horizontal } \sigma = \frac{Fh}{A} \quad [2.2]$$

Dimana:

Fv dan Fh = Gaya yang bekerja

A = Luas Area



Gambar 2.18 (A) *Tensile stress* sumbu vertikal, (B) *Tensile stress* sumbu horizontal

2. Tegangan geser (*Shear Stress*), beban menimbulkan efek tarikan di sepanjang permukaan pipi dan pelat utama yang menyebabkan geser pada *pad eye* dan dapat menyebabkan deformasi. *Shear stress* pada *pad*

eye dapat dilihat pada Gambar 2.19. Berikut rumus untuk mencari nilai tegangan geser.

$$\text{Shear Stress } \tau = \frac{F_Q \times S}{b \times I} \quad [2.3]$$

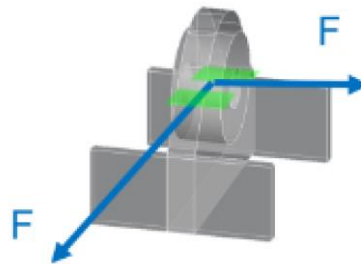
Dimana:

F_Q = Gaya geser

S = Momen statis luasan

b = Lebar penampang

I = Momen inersia



Gambar 2.19 *Shear stress*

3. Tegangan Von Mises (*Von Mises Stress*), tegangan Von Mises Stress juga dihitung sebagai gabungan tegangan (*combined body stress*) pada *pad eye*.

2.8.2 Regangan

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).

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad [2.5]$$

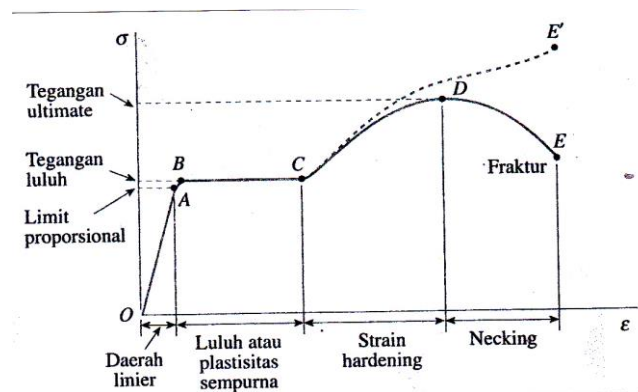
Dimana : ε = regangan
 ΔL = pertambahan panjang (mm)
 L = panjang mula-mula (mm)

2.8.3 Kurva Tegangan-Regangan

Setelah melakukan uji tarik atau tekan dan menentukan tegangan dan regangan pada berbagai taraf beban, kita 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 2.20.

Dimana diagram dimulai dengan garis lurus dari pusat sumbu O 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 2.20 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 pertambahan 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 pertambahan 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 pertambahan 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).

2.8.4 Tegangan Ijin

Tegangan ijin 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 ijin menentukan perhitungan dan pemeriksaan ukuran dari struktur.

Ketika material baja dengan *yield stress* (tegangan luluh) minimum ReH selain 235 N/mm^2 yang digunakan di kapal, *hull scantling* ditentukan dengan 24 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

2.9 Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*)

Metode elemen hingga adalah prosedur numerik untuk memecahkan masalah mekanika kontinum. Metode elemen hingga dapat dipakai untuk memecahkan berbagai masalah. Daerah yang dianalisis dapat mempunyai bentuk, beban, dan kondisi batas yang sembarang. Jaring-jaringnya bisa terdiri dari elemen dengan jenis, bentuk, dan ukuran yang berbeda. Kemudian penggunaan tersebut tergabung pada satu program computer serbaguna, yaitu dengan menyediakan data seperti jenis, geometri, kondisi batas, elemen, dan sebagainya (Cook, 1990).

Prinsip Metode Elemen Hingga adalah membagi domain permasalahan 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 nodal dan antarmuka (*interface*) elemen (Isworo dan Pathur, 2018).

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

1. Diskritisasi Domain

Pada tahap ini kita tentukan jenis elemen yang akan kita gunakan. Elemen-elemen ini bisa berupa elemen linear ataupun non-linear. Elemen-elemen berukuran kecil dapat digunakan pada daerah dengan gradiasi nilai yang besar.

2. Penentuan Bentuk Fungsi

Pada tahap ini bentuk dari fungsi interpolasi ditentukan. Fungsi yang umum digunakan adalah fungsi polinomial. Tingkat polinomial ini ditentukan oleh jumlah node pada setiap elemen dan syarat kontinuitas yang diperlukan pada batas elemen.

3. Perhitungan 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.

4. Pembentukan Sistem Persamaan Linear

Matriks-matriks elemen yang terbentuk kemudian digabung menjadi matriks global. Ukuran matriks elemen adalah jumlah node per elemen dikalikan jumlah derajat kebebasan (*degree of freedom*) setiap node. Jadi untuk elemen segitiga dengan 3 node dan 1 *dof*, ukuran dari matriks elemennya adalah 3x3. Seandainya setiap node mempunyai 2 *dof* maka ukuran matriks elemennya adalah 6x6.

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 kita gunakan.

6. Post Process Hasil

Setelah solusi 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).

2.10 Penyelesaian Software ANSYS

ANSYS adalah program paket yang dapat memodelkan elemen hingga untuk menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan mekanika, termasuk di dalamnya masalah static, dinamik, analisis structural (baik linier maupun non linier), masalah perpindahan panas, masalah fluida dan juga masalah yang berhubungan dengan akustik dan elektromagnetik.

Langkah - langkah dasar *finite element analysis* menggunakan ANSYS adalah sebagai berikut:

1. *Processing Phase*

- a. Membuat dan menentukan daerah yang akan diselesaikan menggunakan elemen hingga, kemudian menguraikan masalah menjadi nodal – nodal dan elemen – elemen.
- b. Mengasumsikan bentuk fungsi untuk menggambarkan sifat fisik dari sebuah elemen, yang merupakan pendekatan fungsi kontinu yang diasumsikan untuk menggambarkan solusi dari sebuah elemen.
- c. Menyelesaikan persamaan untuk sebuah elemen.

- d. Menyatukan elemen – elemen untuk menghadirkan keseluruhan masalah. Membentuk matrik kekakuan global *discretize*.
- e. Terapkan kondisi batas, kondisi awal dan bemebebanan.

2. *Solution Phase*

Memecahkan satu set persamaan aljabar linier atau non linier secara cepat untuk mendapatkan hasil nodal seperti nilai perpindahan atau nilai temperatur pada nodal – nodal yang berbeda dalam masalah perpindahan panas.

3. *Postprocessing Phase*

Pada sesi ini didapatkan informas penting lainnya. Seperti nilai tegangan (*stress*) dalam analisa static, distribusi kecepatan mekanika fluida, distribusi temperatur dan lain – lain.