

SKRIPSI

**ANALISIS KEKUATAN PIN ENGSEL PINTU PALKA
FERRY RO-RO**

Disusun Dan Diajukan oleh

**IRMAWATI
D031191069**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**ANALISIS KEKUATAN PIN ENGSEL PINTU PALKA FERRY
RO-RO**

Disusun dan diajukan oleh

Irmawati
D031191069

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 07 Februari 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



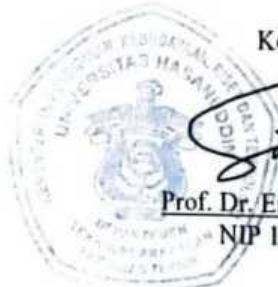

Hamzah, ST., MT.
NIP 19800618 200501 1 004

Pembimbing Pendamping,



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

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Eng. Suandar Basao, ST., MT.
NIP 19730206 200012 1 002



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Irmawati
NIM : D031191069
Program Studi : Teknik Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Analisis Kekuatan Pin Engsel Pintu Palka Ferry Ro-Ro}

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

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

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

Gowa, 07 Februari 2024

Yang Menyatakan



METERAL TEMPEL
A49ALX0R1087458



ABSTRAK

IRMAWATI. *Analisis Kekuatan Pin Engsel Pintu Palka Kendaraan Ferry Ro-Ro*
(dibimbing oleh Hamzah dan Ganding Sitepu)

Kapal Ferry Ro-Ro adalah kapal yang digunakan untuk mengangkut penumpang ataupun kendaraan yang berjalan masuk ke dalam kapal atau keluar dengan penggerakannya sendiri. Kapal Ro-Ro yang geladaknya lebih dari satu harus dilengkapi dengan *ramp door internal* antar deck dan ada penutup palka agar semua palka efektif digunakan sebagai tempat kendaraan. penutup palka ini dirancang menggunakan pin engsel sehingga pin engsel tersebut harus kuat menahan beban kendaraan dan juga berat strukturnya. Pintu palka Ro- Ro ini menggunakan lima pin engsel. pada pin engsel ini terjadi konsentrasi tegangan karena pintu palka kendaraan ini membawa beban yang berat pada saat kapal berlayar dikarenakan ada kendaraan di atas pintu palka Ro-Ro. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan *Software ANSYS Workbench*. Karena menggunakan baja biasa maka nilai *excentricitas* tidak boleh melebihi 14 mm karena melewati tegangan yang diizinkan oleh BKI. presentasi tegangan mengalami kenaikan secara proporsional. letak tagangan maksimum akibat beban truk terjadi pada pin engsel. dan jika kapal mengalami kemiringan akibat trim maka tegangan maksimum pada pintu palka yaitu pada sudut 0° . pada posisi pembebanan satu kendaraan sepenuhnya berada diatas pintu palka kemudian diikuti satu kendaraan yang hanya ban depan masih dibawah tegangan yang diizinkan oleh BKI akan tetapi jika posisi pembebanan satu kendaraan sepenuhnya berada diatas pintu palka kemudian diikuti satu kendaraan yang hanya ban belakang maka tegangannya melampaui tegangan yang diizin. sehingga di upayakan tidak melakukan posisi ban belakang kemudian ban depan.

Kata Kunci: Pin Engsel, Tegangan, Metode Elemen Hingga, *Ansys Workbench*



ABSTRACT

IRMAWATI. Analysis of Strength on Hinge Pin of Ro-Ro Ferry Vehicle Hatch Door (supervised by Hamzah and Ganding Sitepu)

Ro-Ro Ferry is a type of ship used to transport passengers or vehicles that can drive into or out of the ship under their own power. Ro-Ro ships with multiple decks must be equipped with internal ramp doors between decks and hatch covers to effectively utilize all decks as vehicle storage areas. These hatch covers are designed using hinge pins, so these pins must be strong enough to withstand the weight of vehicles and the structural load. Ro-Ro hatch doors use five hinge pins. Stress concentration occurs at these hinge pins because the hatch door of the vehicle carries a heavy load when the ship is sailing due to vehicles on top of the Ro-Ro hatch door. This analysis is conducted using the finite element method with the assistance of ANSYS Workbench software. Since ordinary steel is used, the eccentricity value must not exceed 14 mm to stay within the stress allowed by BKI. Stress distribution increases proportionally. The maximum stress due to truck loading occurs at the hinge pin. And if the ship tilts due to trim, the maximum stress on the hatch door is at a 0° angle. In the loading position, one vehicle is fully positioned on top of the hatch door, followed by another vehicle with only the front wheels below the stress allowed by BKI. However, if the loading position has one vehicle fully positioned on top of the hatch door, followed by another vehicle with only the rear wheels, then the stress exceeds the allowable stress. Therefore, it is advisable not to position the rear wheels first and then the front wheels.

Keywords: Hinge Pin, Stress, Finite Element Method, ANSYS Workbench



KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatu

Alhamdulillah segala puji dan syukur kepada ALLAH SWT. Atas limpahan berkat dan karunianya-nya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “Analisis Kekuatan Pin Engsel Pintu Palka Ferry Ro-Ro”. Yang disusun guna untuk memenuhi salah satu persyaratan bagi setiap mahasiswa untuk mendapatkan gelar sarjana teknik pada program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Dalam penyelesaian tugas akhir ini merupakan suatu kebanggaan tersendiri bagi penulis karena tantangan dan hambatan yang menghadang selama mengerjakan tugas akhir ini dapat teratasi dengan penuh kesabaran dan keikhlasan serta bantuan, bimbingan, kritikan dan saran dari berbagai pihak. penulis sangat menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna dan masih banyak kekurangan di dalamnya sehingga penulis sangat mengharapkan kritikan dan saran yang membangun demi kesempurnaan tulisan ini

Tidak lupa pula penulis mengucapkan terima kasih kepada banyak pihak yang sangat membantu dan terlibat dalam banyak hal semasa penulis menjalani pendidikan di Universitas Hasanuddin. Oleh sebab itu. Disini penulis menyampaikan rasa terima kasih sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak **Hamzah. ST., MT**, selaku Pembimbing I dan Bapak **Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl-Ing**, selaku pembimbing 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 dapat terselesaikan dengan baik.
2. Ayahanda **Superman** dan Ibunda **Sunarti**, orang tua tercinta yang senantiasa mencurahkan kasih sayang, doa dan dukungan serta motivasi yang tiada hentinya kepada penulis. Sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak **Prof. Dr. Eng. Suandar Baso. ST., MT.**, selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin. yang telah membantu dan memberikan arahan dalam penyelesaian tugas ini.

Dr. Eng. A. Ardianti, ST., MT, selaku dosen laboratorium struktur kapal



sekaligus dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran sehingga penulis dapat memperoleh gelar akademik di Departemen Teknik Perkapalan

5. Ibu **Wihdat Djafar, ST., MT., Mlogsup ChMgmt**, selaku penguji yang telah memberikan masukan dan saran sehingga penulis dapat memperoleh gelar akademik di Departemen Teknik Perkapalan.
6. Bapak/Ibu Dosen Fakultas Teknik Departemen Teknik Perkapalan atas bimbingan, arahan, didikan dan motivasi yang telah yang telah diberikan selama di Pendidikan strata satu.
7. staff Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas kemurahan hatinya membantu segala administrasi penulis, Selama berkuliah di Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
8. Senior Laboraturium Struktur atas kesediaannya dalam berdiskusi mengenai tugas akhir ini.
9. Teman seperjuangan laboraturium struktur (Tadika Struktur'19) Wawan, Yusril, Fuad, Nayah, Amanda, Anjali, Ifa, Pedep.
10. Teman-teman Teknik Perkapalan 2019 terutama Ita, Edok, Jeje, Pd, Rachel, Indra, Awan, Shelsi, Ines, Nadila, Rahma yang telah memberikan semangat selama berkuliah dan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
11. Teman-teman pondok kost as syarif. Bahrul, Ikbal, Henry, Alif, Fatin, Alfian, Raihan, Ippang, Aldi.
12. Seluruh pihak terkait yang telah hadir di kehidupan kampus penulis. Baik secara langsung maupun tidak langsung. Penulis ucapkan terima kasih.

Semoga pihak yang membantu dalam penulisan tugas akhir ini mendapatkan pahala oleh Allah SWT. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi semua pihak bagi yang berkenan membaca dan mempelajarinya.

Gowa, Februari 2024

Penulis



DAFTAR PUSTAKA 37
LAMPIRAN 38



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Hasil konvergensi tegangan berbagai ukuran meshing	23
Tabel 2 Berat kendaraan mobil truk	28
Tabel 3 Hasil Tegangan von-mises variasi excentricitas.....	31
Tabel 4 Hasil Tegangan von-mises variasi kemiringan (trim)	33



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. a) Pintu palka dalam keadaan tertutup, b) Pintu palka dalam keadaan terbuka, c) Ramp door internal.	5
Gambar 2. Ramp Door internal KM Dharma Kencana VIII.....	6
Gambar 3. Konstruksi Pin Engsel.....	6
Gambar 4. Konstruksi sambungan baut	7
Gambar 5. Detail pin engsel Ramp Door.....	8
Gambar 6 <i>Excentricitas</i> pada pin engsel.....	8
Gambar 7. Batang Prismatis yang mengalami tarik (b) diagram benda bebas dari segmen batang, (c) segmen batang setelah dibebani, (d) tegangan normal pada batang. 10	
Gambar 8. Sambungan dengan menggunakan baut dimana bautnya dibebani geser tunggal.....	12
Gambar 9. Diagram Tegangan-Regangan	14
Gambar 10 Sketsa geometri pin engsel pintu palka	21
Gambar 11 Frictional contact Engsel dan Pin Engsel	22
Gambar 12 Kurva konvergensi tegangan.....	23
Gambar 13 Model pintu palka dengan engselnya dengan mesh size 450 mm.....	24
Gambar 14 Jenis tumpuan fixed support sisi pin yang terhubung dengan kapal. .	24
Gambar 15 Pembebanan pada tapak ban truk satu kendaraan sepenuhnya berada diatas pintu palka kemudian satu kendaraan yang hanya ban depan	25
Gambar 16 Pembebanan pada tapak ban truk satu kendaraan sepenuhnya berada diatas pintu palka kemudian satu kendaraan yang hanya ban belakang .	25
Gambar 17 Model yang berhasil di running dengan tanda centang.....	26
Gambar 18. Alur Pikir Penelitian	27
Gambar 19 Truk Engkel 6.....	28
Gambar 20. Pin engsel yang mengalami <i>excentricitas</i>	30
Gambar 21. a) Engsel pintu palka b) Pin engsel pintu palka.	31
Gambar 22 Kurva hubungan antara tegangan dengan <i>excentricitas</i>	31
Gambar 23 Geometri pintu palka kendaraan untuk setiap variasi sudut.....	32
Gambar 24 Kurva hubungan antara tegangan maksimum dengan variasi kemiringan pintu palka kendaraan posisi satu truk ditambah ban depan	33
Gambar 25 Kurva hubungan antara tegangan maksimum dengan variasi kemiringan pintu palka kendaraan posisi satu truk ditambah ban depan	34



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar General Arrangement Kapal Ferry Ro-Ro.....	39
Lampiran 2. Gambar Konstruksi Pintu Palka Kendaraan	40



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
Q	Beban Merata (N/mm ²)
F	Gaya Berat atau Beban (N)
A	Luas Penampang (mm ²)
m	Berat truk (kg)
g	Percepatan gravitasi (m/s ²)
σ	Tegangan (N/mm ²)
ϵ	Regangan
ΔL	Pertambahan Panjang (mm)
L	Panjang mula-mula (mm)
{F}	Vektor gaya global pada titik simpul
[K]	Matriks kekakuan global struktur
{d}	Vektor perpindahan titik simpul



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kapal Ferry Ro-Ro adalah kapal yang digunakan untuk mengangkut penumpang ataupun kendaraan yang berjalan masuk kedalam kapal atau keluar dengan penggerakannya sendiri sehingga disebut sebagai kapal *Roll on roll off* disingkat Ro-Ro. oleh karena itu kapal Ro-Ro ini dilengkapi dengan pintu *rampdoor* untuk mempercepat proses bongkar muat. Kapal Ro-Ro yang geladaknya lebih dari satu harus dilengkapi dengan rampdoor internal antar deck dan ada penutup palka agar semua palka efektif digunakan sebagai tempat kendaraan.

Kapal Penyeberangan Lintas Lembar – Padang Bai memiliki dua geladak, kapal tersebut dilengkapi penutup palka untuk keluar masuknya kendaraan dari *deck* dua ke *deck* satu. Penutup palka ini dipasang di *deck* dua dan penutup palka tersebut dirancang untuk jadi deck kendaraan, penutup palka ini dirancang menggunakan pin engsel sehingga engsel tersebut harus kuat menahan beban kendaraan dan juga berat strukturnya.

Kapal penyeberangan jenis ferry ro-ro yang dibangun di PT. Industri Kapal Indonesia yang berfungsi sebagai menutup lubang palka dengan kedap. Bagian atas pintu palka dapat digunakan untuk pemuatan kendaraan digeladak kendaraan. Yang mampu menahan beban kendaraan. Pada pintu palka ini terdapat lubang palka yang berfungsi sebagai tempat keluar masuknya kendaraan. Prinsip kerja pintu palka Ro-Ro ini menggunakan *system* hidrolik, pintu palka kendaraan ini dilengkapi dua lengan hidrolik dengan kekuatan dorong yang dapat menggerakkan pintu sehingga pintu palka kendaraan ini bisa naik dan turun.

Objek penelitian ini menggunakan lima pin engsel. pada pin engsel ini terjadi konsentrasi tegangan karena pintu palka di bebani kendaraan selama berlayarnya kapal dan pada saat pintu palka dinaik turunkan serta pada saat pintu palka mengalami kemiringan (*trim*) akibat gelombang pada saat kapal berlayar. serta beban pin bertambah besar jika terjadi *excentricitas*. maka dari itu pin engsel ini

di lakukan penelitian agar dapat diketahui konstruksi tegangannya. Oleh
dilakukan penelitian yang berjudul “**Analisis Kekuatan Pin Engsel Pintu
erry Ro-Ro**”



1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana karakteristik tegangan yang terjadi pada konstruksi pin engsel pintu palka dikaitkan dengan perubahan sumbu (*excentricitas*).
2. Bagaimana kondisi beban paling kritis yang diterima pintu palka pada saat mengalami kemiringan (*Trim*).

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai pada penulis ini adalah:

1. Mengetahui hubungan antara jarak *excentricitas* dengan tegangan pada pin.
2. Mengetahui hubungan antara kemiringan pintu palka dengan tegangan pada pin.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini di antaranya:

1. Sebagai bahan acuan Pustaka untuk skripsi selanjutnya yang memiliki hubungan dengan topik yang dibahas.
2. Sebagai bahan pertimbangan industri galangan kapal dalam mendesain dan membangun kapal.

1.5. Batasan Masalah

1. Desain pintu palka kendaraan kapal Ferry Ro-Ro Lintas lembar – Padang bai pada saat kondisi kapal *even keel* dan trim.
2. Perhitungan pembebanan saat pintu palka tertutup dan dengan beban truk.
3. Mobil terikat jadi mobil mengikuti dek jika mengalami kemiringan
4. Pin yang mengalami *excentricitas* hanya pin kedua.
5. Menggunakan baja biasa
6. Permodelan dan analisis dilakukan dengan metode elemen hingga menggunakan *software ANSYS*.



tematika Penulisan

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

BAB I PENDAHULUAN, dibahas latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA, berisi 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, berisi kesimpulan dari penelitian dan saran-saran.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kapal Ferry Ro-Ro

Kapal Ferry Ro-Ro adalah sarana angkutan penyeberangan yang dapat mengangkut penumpang, kendaraan, barang, maupun ternak dari satu daratan ke daratan yang lain. Kapal Ferry mempunyai peranan penting dalam sistem pengangkutan bagi banyak kota di pesisir pantai, membuat transit langsung antar kedua tujuan dengan biaya lebih kecil dibandingkan jembatan atau terowongan (Nugroho, 2014).

Ro-Ro adalah singkatan dari *Roll on roll off*, oleh karena itu kapal ini dilengkapi dengan pintu rampa atau *Ramp door* yang biasanya berada pada depan dan belakang kapal yang dihubungkan dengan *Moveble bridge* atau dermaga apung ke dermaga. Muatan kendaraan - kendaraan di tempatkan pada *car deck* sedangkan penumpang di tempatkan pada *passanger deck* Kapal ini biasanya dibuat landai untuk tempat kendaraan dari bagian haluan (depan) sampai bagian buritan (belakang).

Geladak kendaraan (*car deck*) merupakan suatu dek atau geladak pada kapal yang berguna untuk menampung muatan berupa kendaraan, biasanya terdapat pada kapal ferry. *car deck* adalah komponen struktur konstruksi yang vital karena perannya yang tidak hanya untuk menampung muatan kendaraan namun juga menopang dek yang ada di atasnya (A.H. Kalam, dkk, 2017).

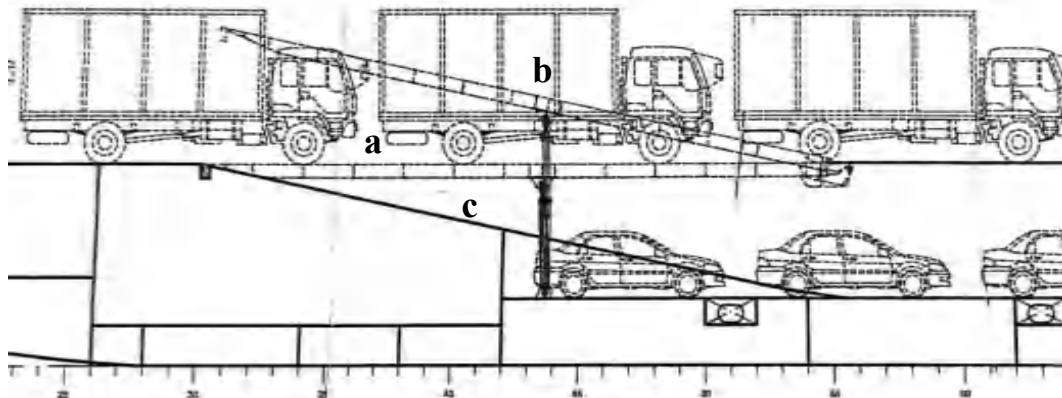
2.2. Pintu Palka

Kapal ferry Ro- ro yang dibangun di PT. Industri Kapal Indonesia dilengkapi 1 (satu) buah pintu palka di geladak kendaraan utama atau geladak kendaraan yang berfungsi untuk menutup lubang palka dengan kedap. Pada bagian atas pintu palka dapat digunakan untuk pemuatan kendaraan di geladak kendaraan. Pintu palka sedan yang dibangun di PT. Industri Kapal Indonesia menggunakan 5 pin engsel. Pintu palka digerakkan oleh dua lengan hidrolik dengan kekuatan dorong yang

ngerakkan pintu palka dari posisi tutup ke buka maksimum selama 60 n dilengkapi dengan dua pillar pengaman yang dapat dilipat dan kan dengan mudah. Penutup palka sedan memiliki panjang tiga belas



koma delapan dan lebar tiga koma dua meter, harus mampu menahan beban sumbu kendaraan sebesar dua belas ton yang merupakan beban total kendaraan dan muatannya. pada pintu palka terdapat lubang palka yang berfungsi untuk tempat keluar-masuk kendaraan dari dan dasar ganda di kompartemen palka sedan ke geladak kendaraan. palka sedan harus dilengkapi system automatic stop untuk menghentikan secara otomatis fluida hidrolik ketika peralatan geladak sudah mencapai posisi penyimpanan (*stowage*). System lengan hidrolik kapal harus dilengkapi dengan panel indikator dan alarm yang diletakkan di panel mesin geladak haluan. Dapat dilihat pada Gambar 1 menunjukkan a. Pintu palka dalam keadaan tertutup, b. Pintu palka dalam keadaan terbuka, c. *Ramp door internal*.



Gambar 1. a) Pintu palka dalam keadaan tertutup, b) Pintu palka dalam keadaan terbuka, c) Ramp door internal.

(Sumber : PT. Industri Kapal Indonesia, 2019).

Pada kapal Ferry Ro-Ro ada yang *internal ramp* (jembatan dalam) merangkap sebagai pintu palka ada juga yang hanya sebagai pintu palka saja, prinsip kerjanya ramp door internal ini hampir sama dengan pintu palka namun *ramp door internal* ini diangkat dari bawah. Kedua ini memiliki prinsip yang sama yaitu memiliki engsel.

Internal ramp (jembatan dalam) adalah jembatan untuk menempatkan kendaraan dari *car deck* ke *second deck* dalam kapal Ro- Ro ataupun jenis kapal lain yang mengangkut kendaraan. Penggunaan internal ramp sangat dibutuhkan untuk mempermudah proses membongkar dan memuat kendaraan dari *second deck* ke *car deck* dan sebaliknya (Kristyson, 2014). Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.

or internal KM Dharma Kencana VIII (Kristyson, 2014).



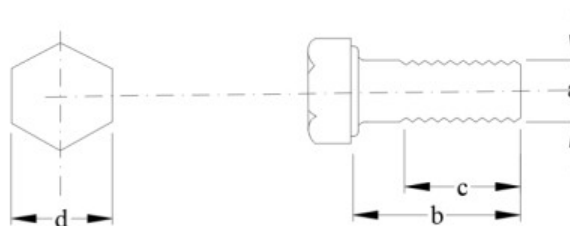


Gambar 2. Ramp Door internal KM Dharma Kencana VIII
(Sumber: Kristyson, 2014).

2.3. Konstruksi Pin Engsel

Sambungan antara elemen tarik sangat penting untuk menghindari keruntuhan, Spiegel dan Limbrunner (1991) menyatakan, sambungan berfungsi terutama untuk meneruskan beban dari suatu elemen ke elemen bertemu. Jenis paling umum dari sambungan baja struktural yang digunakan saat ini adalah sambungan yang menggunakan baut dan las.

Konstruksi pin engsel seperti halnya dengan mur baut. baut ini merupakan alat yang digunakan untuk memegang, mengencangkan, atau menyambung dua elemen atau lebih dengan batang bulat dan berulir, salah satu ujung dibentuk kepala baut umumnya bentuk kepala segi enam dan dipasang mur sebagai pengunci. Kelebihan dari alat penyambung ini adalah mudah untuk melepas dan memasang Kembali sehingga sambungan ini cocok untuk peralatan yang sering dilepas dan dipasang untuk peralatan yang sering dilepas dan dipasang untuk keperluan perawatan atau penggantian komponen. dapat dilihat pada Gambar 3 yang menunjukkan detail pin engsel:



Gambar 3. Konstruksi Pin Engsel
(Sumber: Irawan, A. P, 2009)

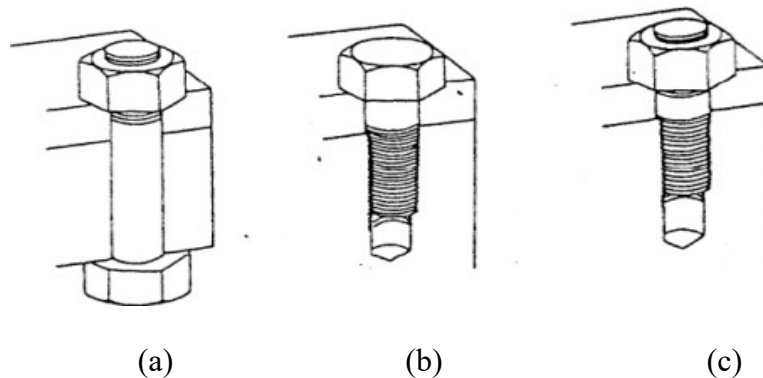


dimana,

- a. Diameter pin/ mur
- b. Panjang Pin
- c. Panjang Ulir
- d. Panjang kepala pin/mur

Baut dan mur adalah salah satu sambungan yang tidak tetap, artinya sambungan tersebut dapat dipasang dan dilepas tanpa merusak konstruksi. Baut dan mur adalah sambungan yang relatif murah serta banyak sekali penggunaannya. Ulir yang ada pada sambungan baut dan mur terbentuk dari suatu alur yang diputar pada permukaan silinder dengan kemiringan tertentu. Bagian dari suatu sambungan baut. Elemen-elemen yang Menyusun struktur baja harus digabungkan satu dengan yang lain dengan suatu sistem sambungan. Sambungan berfungsi menyatukan elemen-elemen dan menyalurkan beban dari satu bagian yang lain (Hidayat Umg, 2020).

Adapun jenis sambungan yang umum digunakan seperti terlihat pada Gambar 4. Menunjukkan a. sambungan baut mur, b. sambungan baut tap, c. sambungan baut tanam

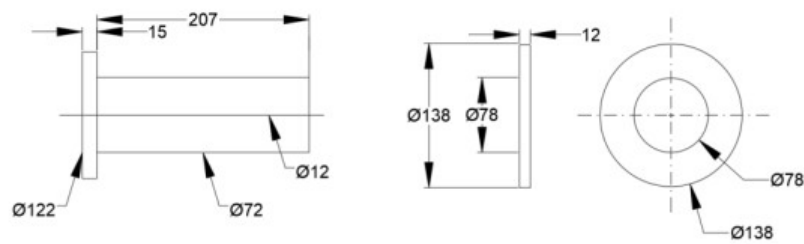


Gambar 4. Konstruksi sambungan baut
(Sumber: Irawan, A. P, 2009)

Pin engsel dibuat dengan menggunakan *Round bar* berdiameter 72 mm dengan Panjang 207 mm, pada salah satu bagian ujung pin harus diberi plat yang sama fungsinya sebagai penahan sedangkan pada bagian ujung lainnya dibuatkan lubang untuk tempat dari cotter pin (pasak) yang berfungsi sebagai penahan agar pin tidak lepas dari engsel. dapat dilihat pada Gambar 5. Menunjukkan Detail pin

ump Door.

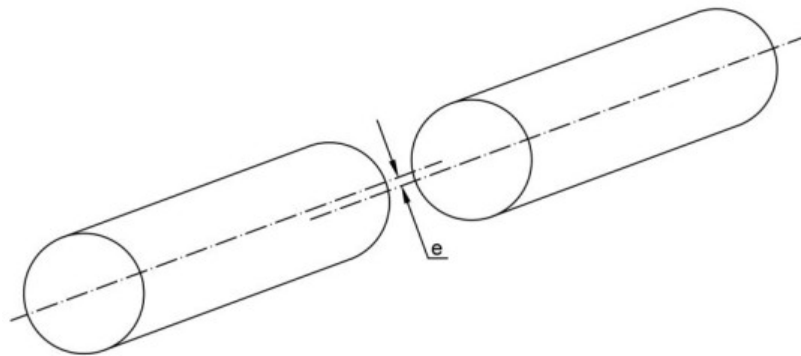




Gambar 5. Detail pin engsel Ramp Door
(Sumber: Smit, 2015)

2.4. *Ecentricitas*

Excentricitas merupakan ketidak segarisan antarpa lubang pin. *Excentricitas* terjadi akibat mis alignment antara sumbu engsel sehingga pin tidak bisa terpasang dengan baik. *Excentricitas* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 *Excentricitas* pada pin engsel

2.5. Pembebanan pada Struktur Kapal

Pada dasarnya pembebanan timbul akibat adanya gaya yang bekerja pada suatu struktur yang dapat mempengaruhi suatu konstruksi. Dimana beban ini adalah segala kekuatan yang bekerja pada suatu benda atau suatu struktur yang dibedakan berdasarkan bentuk dan lamanya pembebanan.

Pembebanan ialah gaya, deformasi atau akselerasi yang diterapkan pada struktur atau komponennya. Beban adalah jumlah berat yang harus dibawa oleh suatu struktur. Beban menyebabkan tegangan, deformasi dan perpindahan dalam struktur. Analisis struktur adalah perhitungan efek beban pada struktur fisik.

Beban dapat menyebabkan kegagalan struktur sehingga perlu adanya pertimbangan dalam desain dan konstruksi struktur (Putri, 2019).

Beban pada kapal ini terbagi menjadi dua yaitu beban global dan juga beban



lokal. beban yang bekerja pada tutup palka ro-ro ini merupakan beban lokal. Dimana Beban lokal ini memandang kapal sebagai balok. beban lokal ini adalah beban yang bekerja pada bagian-bagian tertentu pada konstruksi kapal, beban lokal ini ada yang sifatnya statis dan juga dinamis.

2.5.1 Beban Statis

Beban-beban yang berubah hanya apabila berat total kapal berubah, sebagai akibat kegiatan bongkar-muat, pemakaian bahan bakar atau perubahan pada kapalnya sendiri. Ini terdiri dari :

- 1) Berat kapal beserta seluruh isinya.
- 2) Gaya tekan ke atas statis saat diam.
- 3) Beban-beban suhu (*thermal*) akibat perubahan suhu *non-linier* dalam lambung.
- 4) Beban-beban terpusat akibat *dry dock* dan kandas (Rosyid & Setyawan, 2000).

2.5.2 Beban Dinamis

Beban-beban yang berubah besarnya dalam waktu dengan periode merentang dari beberapa detik sampai beberapa menit dan oleh karena itu terjadi dengan frekuensi-frekuensi yang cukup rendah yang bila dibandingkan dengan frekuensi-frekuensi getaran lambung kapal dan bagian-bagiannya tidak menyebabkan pembesaran resonansi yang berarti pada tegangan-tegangan yang terjadi pada struktur kapal. Beban-beban ini terutama disebabkan oleh gelombang selama kapal bergerak (Rosyid & Setyawan, 2000).

Beban dinamis adalah semua beban yang terjadi akibat pemakaian suatu struktur atau bangunan, termasuk dari beban yang bekerja di atas lantai yang dapat berpindah-pindah atau bersifat sementara. contohnya manusia, kendaraan dan peralatan yang dapat bergerak. Pembebanan pada pin engsel dirumuskan dengan Persamaan 1.

$$Q = \frac{F}{A} \quad (1)$$



= Beban merata (N/mm²)

= Gaya Berat Truk (N)

A = Luas Penampang ban yang menyentuh Pintu palka kendaraan
(mm^2)

F = $m \cdot g$ (2)

dimana,

F = Gaya Berat Truk (N)

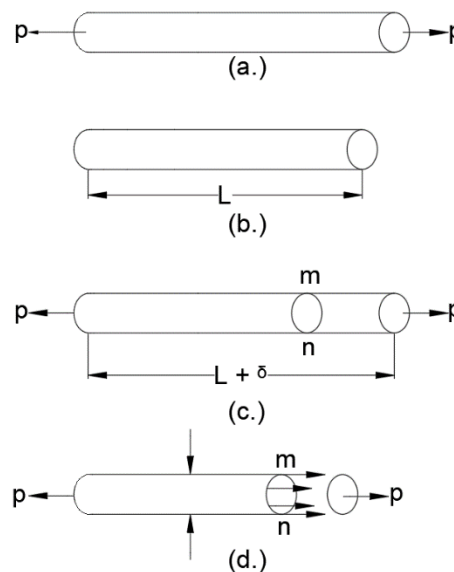
m = Berat Truk (kg)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

2.6. Analisis Tegangan, Regangan, dan Elastisitas

2.6.1 Tegangan

Setiap material adalah elastis pada keadaan alaminya. Karena itu jika gaya luar bekerja pada benda, maka benda tersebut akan mengalami deformasi. Ketika benda tersebut mengalami deformasi, molekulnya akan membentuk tahanan terhadap deformasi. Tahanan ini per satuan luas dikenal dengan istilah tegangan. Secara matematik tegangan bisa didefinisikan sebagai gaya per satuan luas. Konsep dasar dalam mekanika bahan adalah tegangan dan regangan. Dapat ditinjau pada sebuah benda berbentuk batang prismatic. Gambar 7. Menunjukkan (a) Batang Prismatic yang mengalami tarik (b) diagram benda bebas dari segmen batang, (c) segmen batang setelah dibebani, (d) tegangan normal pada batang.



7. Batang Prismatic yang mengalami tarik (b) diagram benda bebas dari segmen batang, (c) segmen batang setelah dibebani, (d) tegangan normal pada batang.

(Sumber: Gere & Timoshenko, 2000)



Dengan mengasumsikan bahwa tegangan terbagi rata (Gambar 7.d), dapat dilihat bahwa resultannya hams sama dengan intensitas σ dikalikan dengan luas penampang A dari batang tersebut. tegangan ini rumuskan dengan Persamaan 3 :

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3)$$

dimana,

σ = Tegangan (N/mm²).

P = Gaya atau beban (N).

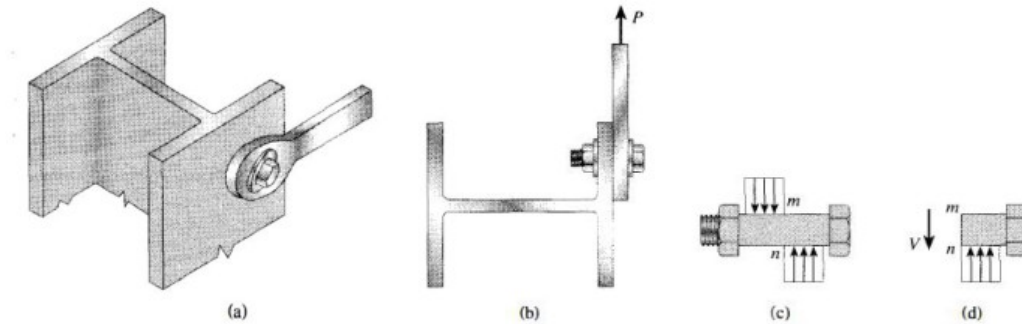
A = Luas penampang (mm²).

Persamaan 3 memberikan intensitas tegangan merata pada batang prismatis yang dibebani secara aksial dengan penampang sembarang. Apabila batang ini ditarik dengan gaya P , maka tegangannya adalah tegangan tarik (*tensile stress*); apabila gayanya mempunyai arah sebaliknya, sehingga menyebabkan batang tersebut mengalami tekan, maka terjadi tegangan tekan (*compressive stress*). Karena tegangan ini mempunyai arah yang tegak lurus permukaan potongan, maka tegangan ini disebut tegangan normal (*normal stress*). Jadi, tegangan normal dapat berupa tarik atau tekan. Apabila konvensi tanda untuk tegangan normal dibutuhkan, biasanya tegangan tarik didefinisikan bertanda positif dan tegangan tekan bertanda negatif (Gere & Temoshenco, 2000).

Bila arah bidang khayal memotong sebuah bagian struktur yang dipilih dengan bijaksana, maka tegangan yang bekerja pada potongan tersebut akan sangat penting dan mudah menentukannya. Keadaan penting seperti itu terdapat pada suatu pembebanan batang aksial lurus dalam gaya tarik, asal bidang dibuat tegak lurus terhadap batang. Tegangan tarik yang bekerja pada potongan tersebut merupakan tegangan maksimum, sedangkan potongan lain yang tidak tegak lurus pada sumbu batang akan mempunyai permukaan yang lebih luas untuk melawan gaya pakai. Tegangan maksimum merupakan yang paling penting karena cenderung akan menyebabkan kegagalan bahan tersebut (Popov, 1984).

Gaya pada benda menyebabkan perubahan ukuran benda. Pengaruh vector pada sumbu x menghasilkan besaran tensil *stress* dengan lambing σ_x . Index menyatakan arah vector gaya. pengaruh gaya terganggan geser/*shear stress*. ya tegangan yang bekerja pada suatu bidang dapat dilihat pada Gambar 8.





Gambar 8. Sambungan dengan menggunakan baut dimana bautnya dibebani geser tunggal.

(Sumber: Gere & Timoshenko, 2000)

Tegangan geser biasanya diberi notasi huruf Yunani τ (tau). Sambungan dengan menggunakan baut yang mengalami geser tunggal (atau satu irisan) ditunjukkan dalam Gambar 8.a, yang mana beban aksial P pada batang metal disalurkan ke flens kolom baja melalui sebuah baut. Potongan kolom Gambar 8.b menunjukkan hubungan ini secara rinci. Juga, sebuah sketsa baut Gambar 8.c menunjukkan distribusi tegangan tumpu yang diasumsikan yang bekerja pada baut. Sebagaimana telah disebutkan, distribusi aktual tegangan tumpu jauh lebih rumit dibandingkan yang terlihat dalam gambar tersebut. Selain itu, tegangan tumpu juga terjadi terhadap kepala baut dan terhadap mur. Jadi, Gambar 8.c bukanlah diagram benda bebas-hanya tegangan tumpu ideal yang ditunjukkan dalam gambar tersebut (Gere & Timoshenko, 2000).

Dengan memotong melalui baut di potongan mn kita memperoleh distribusi tegangan tumpu sebagaimana terlihat dalam Gambar 8.d. Diagram ini meliputi gaya geser V (sama dengan beban P) yang bekerja pada penampang melintang baut. Seperti telah disebutkan, gaya geser ini adalah resultan dari tegangan geser yang bekerja terhadap luas penampang melintang baut (Gere & Timoshenko, 2000)

Dalam pembahasan terdahulu tentang sambungan yang menggunakan baut, kita mengabaikan gesekan antara elemen-elemen yang berhubungan. Adanya gesekan berarti bahwa sebagian dari beban dipikul oleh gaya geser, sehingga mengurangi beban pada baut. Karena gesekan tidak dapat diandalkan dan sulit untuk diestimasi, maka biasanya di dalam praktek diabaikan dalam perhitungan.

tegangan geser penampang baut diperoleh dengan membagi gaya geser total V dengan luas A dari penampang melintang di mana gaya tersebut bekerja (Gere & Timoshenko, 2000).



Analisis menggunakan perangkat lunak elemen hingga memiliki kelebihan yaitu dapat menghasilkan nilai tegangan *Von Mises* atau tegangan *ekuivalen*, yaitu jenis tegangan yang mengakibatkan kegagalan pada struktur material yang dirumuskan oleh penemunya yang bernama *Von Mises*. Untuk penentuan tegangan *Von Mises*, terlebih dahulu menghitung tegangan utama yang bekerja pada struktur dengan menggunakan persamaan diatas, setelah tegangan utama ditemukan maka tegangan *Von Mises* bisa didapatkan dengan Persamaan 4 (Shigley, 2004):

$$\sigma = \left\{ \frac{[\sigma^1 - \sigma^2]^2 + [\sigma^2 - \sigma^3]^2 + [\sigma^3 - \sigma^1]^2}{2} \right\}^{1/2} \quad (4)$$

2.6.2 Regangan

Regangan dinyatakan sebagai pertambahan panjang per satuan panjang. Hukum Hooke menyatakan bahwa dalam batas-batas tertentu, tegangan pada suatu bahan adalah berbanding lurus dengan regangan. Dalam istilah teknik, regangan adalah ubah bentukan. Jika ubah bentukan total (*total deformation*) yang dihasilkan suatu batang dinyatakan dengan Δ (delta) dan panjang batang adalah L, maka ubah bentukan persatuan panjang yang dinyatakan dengan ε , maka regangan dirumuskan dengan Persamaan 5 sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (5)$$

dimana,

ε = regangan

ΔL = pertambahan panjang total (m)

L = panjang mula-mula (m)

2.6.3 Elastisitas

Elastisitas adalah sifat benda yang telah diberi gaya dan kemudian gaya dihilangkan tetap dapat Kembali ke bentuk semula. Apabila batas elastisitas tercapai dalam kostanta young atau modulus yaoung, maka benda akan mencapai batas deformasi yang berarti tidak dapat Kembali ke bentuk semula (disebut plastis).

...s beda kemudian dinyatakan dalam tegangan, regangan dan akan menjadi ...omena benda yang disebut pegas sebagaimana hukum hooke (Macdonald,



Sesuai dengan Hukum Hooke, tegangan sebanding dengan regangan. Hal ini berlaku di dalam batas elastis. Perbandingan tegangan satuan σ untuk regangan satuan ε dari setiap bahan yang diberikan dari hasil eksperimen, memberikan suatu ukuran kekuatannya, yaitu Elastisitas E. elastisitas ini dirumuskan dengan Persamaan 6.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta L}{L}} \quad (6)$$

dimana,

Δ = perubahan bentuk aksial total (m)

F = beban aksial total

L = panjang batang (m)

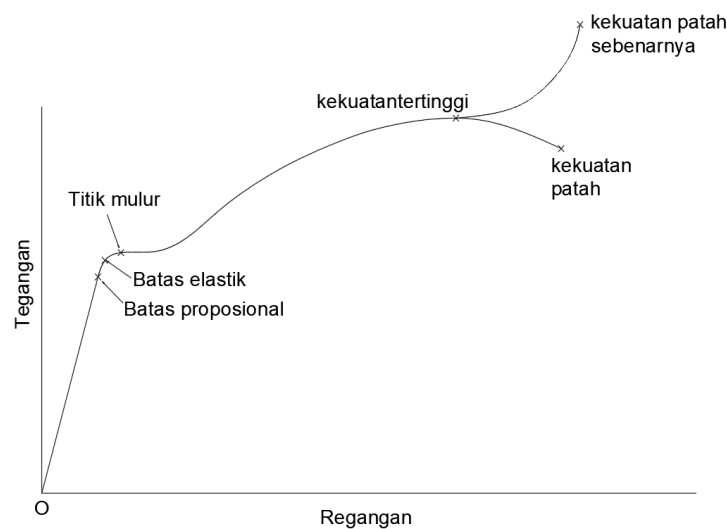
A = luas penampang batang (m²)

E = modulus elastisitas bahan

ε = regangan.

σ = tegangan (N/mm²)

2.6.4 Hubungan Tegangan dan Regangan



Gambar 9. Diagram Tegangan-Regangan
(Sumber: Zainuri, 2008).



batas proporsional (*proportional limit*). Dari titik asal O ke suatu titik yang disebut batas proporsional masih merupakan garis lurus dapat dilihat pada gambar 9. Pada daerah ini berlaku hukum Hooke, bahwa tegangan sebanding

dengan regangan. Kesebandingan ini tidak berlaku di seluruh diagram. Kesebandingan ini berakhir pada batas proporsional.

- b) **Batas elastis (*elastic limit*).** Batas elastis merupakan batas tegangan di mana bahan tidak kembali lagi ke bentuk semula apabila beban dilepas tetapi akan terjadi deformasi tetap yang disebut permanent set. Untuk banyak material, nilai batas proporsional dan batas *elastic* hampir sama. Untuk membedakannya, batas elastik selalu hampir lebih besar dari pada batas proporsional.
- c) **Titik mulur (*yield point*).** Titik mulur adalah titik di mana bahan membujur mulur tanpa penambahan beban. Gejala mulur khususnya terjadi pada baja struktur (*medium-carbon structural steel*), paduan baja atau bahan lain tidak memilikinya.
- d) **Kekuatan maksimum (*ultimate strength*).** Titik ini merupakan ordinat tertinggi pada kurva tegangan-regangan yang menunjukkan kekuatan tarik (*tensile strength*). Titik ini merupakan ordinat tertinggi pada kurva tegangan-regangan yang menunjukkan kekuatan tarik (*tensile strength*) bahan.
- e) **Kekuatan patah (*breaking strength*).** Kekuatan patah terjadi akibat bertambahnya beban mencapai beban patah sehingga beban meregang dengan sangat cepat dan secara simultan luas penampang bahan bertambah kecil.

Jika suatu benda ditarik maka akan mulur (*estension*), terdapat hubungan antara penambahan panjang dengan gaya yang diberikan. Jika gaya persatuan luasan disebut tegangan dan penambahan panjang disebut regangan maka hubungan ini dinyatakan dengan grafik tegangan dan regangan (*stress-strain graph*) (Zainuri, 2008).

2.7. Tegangan Izin

Tegangan izin adalah tegangan yang mengakibatkan suatu konstruksi mengalami lendutan yang besar dimana lendutan tersebut adalah batas sebuah konstruksi masih aman dalam mengatasi beban yang terjadi atau yang bekerja. Apabila tegangan izin dari suatu konstruksi lebih kecil dari tegangan maksimum, berdasarkan BKI Volume II tahun 2016 tentang Peraturan lambung mengenai dudukan bantalan dan bagian konstruksi lainnya dari engsel



yang mana tegangan izin berikut tidak dilampaui. Rumus tegangan izin dapat dilihat pada Persamaan 7.

Equivalent Stress

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2} = \frac{180}{k} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (7)$$

dimana,

σ = Tegangan (N/mm²)

σ_b = Tegangan lengkung (N/mm²)

τ = Tegangan geser (N/mm²)

2.8. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk memecahkan permasalahan teknik berupa persamaan matematis dengan menggunakan rumus integral dalam sistem aljabar linear dan non-linear dengan tingkat ketelitian yang cukup akurat. Tipe masalah teknis yang dapat diselesaikan menggunakan metode elemen hingga adalah analisis struktur yang meliputi analisis tegangan, buckling, dan analisis getaran. Selain itu metode elemen hingga juga bisa menyelesaikan masalah teknis non struktur seperti perpindahan panas dan massa, distribusi listrik dan magnet, mekanika fluida, dan lain sebagainya. Tipe-tipe permasalahan struktur meliputi : 1. Analisis tegangan (*stress*), meliputi analisis truss dan frame serta masalah-masalah yang berhubungan dengan tegangan-tegangan terkonsentrasi; 2. Buckling; dan 3. Analisis getaran (Susatio, 2004).

Dalam persoalan-persoalan yang menyangkut geometri yang rumit, seperti persoalan pembebanan terhadap struktur yang kompleks, pada umumnya sulit dipecahkan melalui matematika analisis. Hal ini disebabkan karena matematika analisis memerlukan besaran atau harga yang harus diketahui pada setiap titik pada struktur yang dikaji. Penyelesaian analisis dari suatu persamaan differensial suatu geometri yang kompleks, pembebanan yang rumit, tidak mudah diperoleh. Formulasi dari metode elemen hingga dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan ini (Susatio, 2004).

Salah satu kelebihan dalam penggunaan metode ini adalah:

1. Dapat menganalisis masalah dengan bentuk yang tidak teratur dapat dengan mudah dianalisis.



2. Tidak terdapat kesulitan dalam menganalisa beban pada suatu struktur.
3. Pemodelan dari suatu benda dengan komposisi materi yang berlainan dapat dilakukan karena tinjauan yang dilakukan secara individu untuk setiap elemen.
4. Dapat menangani berbagai macam syarat batas dalam jumlah yang tak terbatas.
5. Variasi dalam ukuran elemen memungkinkan untuk memperoleh detail analisa yang diinginkan.
6. Dapat memecahkan masalah-masalah dinamika.

Langkah-langkah penyelesaian metode elemen hingga berdasarkan metode kekakuan adalah sebagai berikut :

- 1) Pembagian dan pemilihan jenis elemen pada tahap ini, struktur material akan dipecah menjadi suatu sistem elemenelemen hingga. Penentuan jenis elemen dilakukan agar model yang dibuat dapat mewakili bentuk dan sifat benda sebenarnya. Pemilihan jenis elemen bergantung pada kondisi benda dan pembebanannya.
- 2) Pemilihan fungsi perpindahan pada elemen ditentukan menggunakan nilai atau koordinat titik simpul elemen. Fungsi perpindahan elemen 2 dimensi ditentukan dengan fungsi koordinat dalam elemen tersebut.
- 3) Tentukan hubungan *strain/displacement* dan *stress/strain* Hubungan *strain/displacement* dan *stress/strain* penting dalam penurunan persamaan tiap-tiap elemen hingga. Untuk kasus deformasi dalam arah sumbu x hubungan *strain* (regangan) ϵ_x dengan displacement dinyatakan dengan rumus Persamaan 8.

$$\epsilon_x = \frac{du}{dx} \quad (8)$$

- 4) Penurunan matriks dan persamaan kekakuan elemen Matriks dan persamaan kekakuan elemen diturunkan dari konsep koefisien pengaruh kekakuan yang digunakan dalam analisis struktur.
- 5) Penggabungan persamaan elemen untuk mendapatkan persamaan global total dan penetapan syarat batas. setelah persamaan diperoleh, maka selanjutnya digabungkan dengan metode superposisi berdasarkan kesetimbangan gaya pada

simpul. persamaan tersebut akan menghasilkan persamaan global. persamaan global dapat dituliskan dalam matrik dirumuskan dengan persamaan 9.

$$\{F\} = [K] \{d\} \quad (9)$$



dimana,

$\{F\}$ = vektor gaya global pada titik simpul

$[K]$ = matriks kekakuan global struktur.

$\{d\}$ = vektor perpindahan titik simpul.

- 6) Penyelesaian persamaan global dengan menerapkan syarat batas diperoleh persamaan simultan yang ditulis dalam matriks dapat dilihat pada Persamaan 10.

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \dots \\ F_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{21} & \dots & K_{n1} \\ K_{21} & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{n1} & \dots & \dots & K_{nn} \end{bmatrix} = \begin{Bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \dots \\ D_n \end{Bmatrix} \quad (10)$$

- 7) Penyelesaian tegangan dan regangan elemen didapatkan dari persamaan pada tahap ke-3. Persamaan tersebut dimasukkan kedalam persamaan 10 pada tahapan ke-6, sehingga tegangan elemen dapat diperoleh.
- 8) Interpretasi hasil pada langkah terakhir adalah menginterpretasikan atau menganalisis hasil yang didapat untuk digunakan dalam proses perancangan selanjutnya. 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. Kemudahan penggunaan tersebut tergabung pada satu program komputer serbaguna, yaitu dengan menyediakan data seperti jenis, geometri, kondisi batas, elemen, dan sebagainya. Ada beberapa *software* untuk analisis menggunakan elemen hingga diantaranya STAAD-PRO, GT-STRUDEL, NASTRAN, dan ANSYS.

2.9. ANSYS

Untuk mengetahui kemampuan struktur menerima beban yang dialaminya, maka diperlukan analisa beban yang bekerja pada struktur. Analisa beban struktur dapat berupa analisa beban statis maupun analisa beban dinamis. (Pinem, 2013).

Dalam menganalisa struktur ada beberapa alternatif metode yang dapat

digunakan. Dalam hal ini metode yang digunakan adalah program analisa struktur ANSYS. Selain ANSYS, *software* FEA yang juga bisa digunakan dalam analisa struktur adalah MOSES, NAPA, dan sebagainya.



ANSYS adalah program program paket yang dapat memodelkan elemen hingga untuk penyelesaian masalah yang berhubungan dengan mekanika, termasuk didalamnya masalah statik, dinamik, analisis struktur (baik linier maupun non linear), masalah perpindahan panas, fluida dan juga masalah yang berhubungan dengan elektromagnetik. Adapun output yang dihasilkan oleh ANSYS adalah gaya aksial, gaya geser, gaya lentur, momen, dan displacement.

Secara umum penyelesaian elemen hingga menggunakan ANSYS dapat dibagi menjadi tiga tahapan yaitu :

1) *Preprocessing*: pendefinisian masalah

Langkah umum dalam preprocessing terdiri dari :

- (i) Mendefinisikan *keypoint/ lines/ areas/ volume*
- (ii) Mendefinisikan tipe elemen dan bahan yang digunakan/ sifat geometric
- (iii) *Mesh lines/ areas/ volumes* sebagaimana dibutuhkan. Jumlah detil yang dibutuhkan akan tergantung pada dimensi daerah yang dianalisis, ie., 1D, 2D axisymmetric dan 3D.

2) *Solution*: *assigning loads, constraints, and solving*

Di sini, perlu menentukan beban, constraints (translasi dan rotasi) dan kemudian menyelesaikan hasil persamaan yang telah diset.

3) *Postprocessing*: *further processing and viewing of the results*

menampilkan hasil dari diagram kontur tegangan (*stress*), regangan (*strain*), dan perpindahan titik simpul (*displacement*).

