

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Kapal adalah kendaraan pengangkut penumpang dan barang di laut (sungai dan sebagainya) seperti halnya kapal ferry Ro-Ro. Kapal ferry Ro-Ro adalah kapal yang bisa memuat kendaraan dan penumpang yang berjalan masuk ke dalam kapal dengan penggeraknya sendiri dan bisa keluar dengan sendiri juga, sehingga disebut *roll on-roll off* atau disingkat dengan Ro-Ro, untuk itu kapal jenis ini dilengkapi dengan pintu rampa (*ramp door*). *Ramp door* adalah pintu untuk memasukkan kendaraan ke dalam kapal Ro-Ro ataupun jenis kapal lain yang mengangkut kendaraan. Selain itu penggunaan *ramp door* sangat dibutuhkan untuk mempermudah proses bongkar muat kendaraan dari dermaga Penyeberangan ke kapal dan sebaliknya.

Mengingat pentingnya peranan kapal sesuai dengan salah satu implementasi dari ISO 450001 tentang sistem kesehatan dan keselamatan kerja adalah perhitungan kekuatan struktur untuk mencegah kerusakan tak terduga dari struktur tersebut. Selain itu, terdapat beberapa aturan yang perlu dipertimbangkan berdasarkan aturan BKI seperti tegangan dan material yang diizinkan yang digunakan dalam manufaktur *ramp door*. Dalam Kasus ini disesuaikan dengan ketetapan BKI Vol. II Sec. 6, H.

Kapal Penyeberangan Lintas Lembar – Padang Bai (NB196) merupakan kapal yang tengah dibangun di PT. Industri Kapal Indonesia (Persero). Kapal ini dirancang menggunakan *bow visor* dengan *ramp door* haluannya atau *bow ramp*-nya terlipat yang terbagi atas pintu pendarat utama yang melekat ke kapal dan pintu pendarat kedua yaitu pintu tambahan yang menghubungkan pintu utama dengan landasan *moveable bridge*.

Pada saat proses bongkar muat pin engsel *bow ramp door* nantinya akan menerima beban-beban seperti beban normal, percepatan akibat gelombang, dan percepatan gravitasi hal ini disebabkan karena cuaca pada saat proses bongkar muat tidak selalu baik. Pin engsel *bow ramp door* harus diketahui tegangan yang diizinkan dan bisa diterima oleh konstruksi tersebut serta memiliki kekakuan elastis yang cukup. Hal ini dikarenakan beban statis yang diterima akan menimbulkan masalah seperti deformasi dan keretakan, sedangkan beban dinamis yang terjadi secara terus menerus akan mengakibatkan kelelahan (*fatigue*).

Adapun metode yang digunakan adalah analisis metode elemen hingga (FEM) yang merupakan metode yang bisa digunakan untuk menyelesaikan defleksi dan tegangan pada struktur yang menerima beban tertentu pada kondisi batas yang sesuai.

Oleh karena itu perlu dilakukan “**Asesmen Kekuatan Bow ramp Pada Kapal Ferry Ro-Ro Menggunakan Finite Element Method. Studi Kasus: Pembangunan Kapal Penyeberangan Lintas-Lembar Padang Bai**”

(NB 196)” untuk mengkaji kerusakan *bow ramp door* akibat beban yang beban ekstrim yang mungkin terjadi

1.2 Teori

1.2.1 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)

Secara umum penggolongan tipe kapal ferry didasarkan menurut cara pemuatannya, hal ini dilakukan karena proses pemuatan kapal ferry erat kaitannya dengan beberapa aspek yang perlu diperhatikan dalam pemilihan kapal ferry yang sesuai dengan kondisi daerah operasi maupun dalam perencanaan kapal ferry itu sendiri. (Nugroho, 2014)

Konsep standar dari kapal ferry Ro-Ro adalah kapal dengan *ramp door* yang bisa digerakkan untuk proses loading dan offloading. Oleh karena itu, *ramp door* pada kapal ferry menjadi sasaran dari berbagai pembebanan dinamis maupun statis selama masa pakainya dan mungkin menyebabkan kerusakan akibat kelelahan. Saat tidak digunakan, *ramp door* bertindak sebagai bagian dari lambung dan berkontribusi pada struktur integritas kapal. Karena itu, *ramp door* juga dirancang untuk menahan tekanan laut akibat gelombang. (Aron, 2013)

1.2.2 Bow Ramp

Ramp door adalah sebuah platform berengsel yang berfungsi sebagai pintu akses dan juga lintasan yang memungkinkan proses loading/unloading dan juga sebagai lintasan perpindahan kendaraan antar deck pada kapal Ro-Ro (J. Babicz, 2015). Terdapat beberapa jenis *ramp door* yang sering dipakai pada kapal antara lain :

1. *Quarter Ramp door*
2. *Side Ramp door*
3. *Slewing Ramp door*
4. *Stern Ramp door*
5. *Foldable Stern Ramp door*
6. *Bow Ramp door*

Bow ramp door adalah pintu pendarat yang berada di haluan. Adapun mekanisme dari tipe pintu ini yaitu terlipat. Bagian utamanya melekat pada kapal dan bagian selanjutnya yaitu pintu tambahan menjadi

penghubungkan pintu utama dengan landasan *moveable bridge* atau landasan plengsengan.

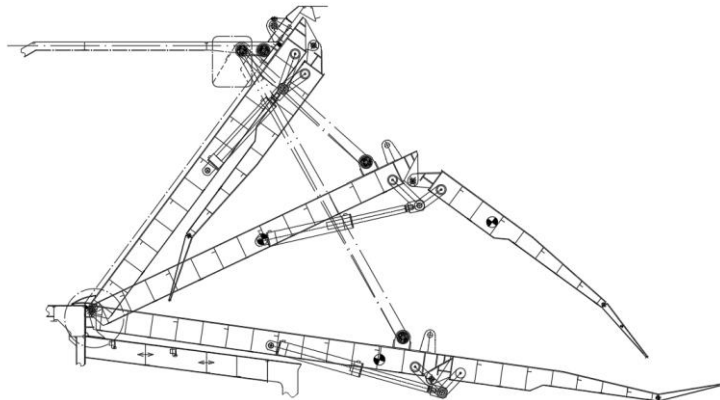
Adapun persyaratan dalam pembuatan *ramp door* diantaranya adalah: (Sarjito Jokosisworo, 2011)

1. Kedap terhadap air laut dalam hal melalui pelayaran laut terbuka.
2. Kuat menahan beban kendaraan yang melewati pintu saat menaikkan dan menurunkan kendaraan.

Aerodinamis dalam hal melakukan perjalanan panjang. Mekanisme penggerak pada *ramp door* dibagi menjadi dua penggerak yaitu:

1. Mekanisme penggerak dengan motor hidrolik
Motor hidrolik adalah sebuah aktuator mekanik yang mengkonversi aliran dan tekanan hidrolik menjadi torsi atau tenaga putaran. Alat ini menjadi satu bagian dari sebuah sistem hidrolik selain silinder hidrolik. Motor hidrolik berkebalikan fungsi dengan pompa hidrolik. Jika pompa hidrolik berfungsi untuk menghasilkan tekanan dan aliran tertentu pada suatu sistem hidrolik, maka motor hidrolik bertugas mengkonversi kembali tekanan hidrolik menjadi tenaga putar. Motor hidrolik dapat berkerja pada dua arah putaran motor sesuai dengan kebutuhan penggunaan.
2. Mekanisme Penggerak Dengan Motor Listrik
Motor listrik adalah alat untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Begitu juga dengan sebaliknya yaitu alat untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik yang biasanya disebut dengan generator atau dynamo. Pada motor listrik yang tenaga listrik di ubah menjadi tenaga mekanik. Perubahan ini dilakukan dengan mengubah tenaga listrik menjadi magnet yang disebut sebagai elektro magnet. (Pratama P.A, 2019)

Untuk *bow ramp door* ini menaik-turunkan pintu pendarat utama menggunakan winch, sling, dan roller serta dilengkapi rantai pengaman untuk menahan *ramp door* agar tidak jatuh ketika terjadi kondisi darurat. Sementara bagian utama dari *bow ramp door* depan menggunakan dua lengan hidrolik. Berikut ini penampakan dari konstruksi *bow ramp door*



Gambar 1 Konstruksi *Bow Ramp door*

1.2.3 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.

Engsel pada *ramp door* berfungsi sebagai pengait agar proses membuka atau menutup *ramp door* menjadi lebih mudah, jika fungsi tersebut bermasalah maka proses dalam membuka atau menutup *ramp door* menjadi terganggu. Kejadian tersebut mengakibatkan muatan kendaraan tidak dapat dimuat masuk ke dalam kapal atau dibongkar di pelabuhan sandar

1.2.4 Pembebanan Pada Struktur Kapal

Struktur adalah himpunan elemen-elemen bahan yang dapat meneruskan beban atau gaya muatan ke elemen-elemen bahan lain. Struktur bangunan dirancang untuk dapat menahan beban bangunan tersebut. Struktur bangunan umum termasuk kapal, gedung, jembatan, pesawat, mesin-mesin, dan bangunan kerangka pemikul beban lainnya, struktur bangunan dapat dipecah menjadi bagian-bagian yang merupakan satu kesatuan dalam analisis dan perancangannya. (Wang, diterjemahkan oleh Ismoyo, 1985).

Sedangkan beban adalah gaya, deformasi, atau akselerasi yang diterapkan pada komponen struktur. Beban menyebabkan tegangan, deformasi, dan perpindahan dalam struktur (Avallone dan Baumeister, 1996).

a. Beban Statis

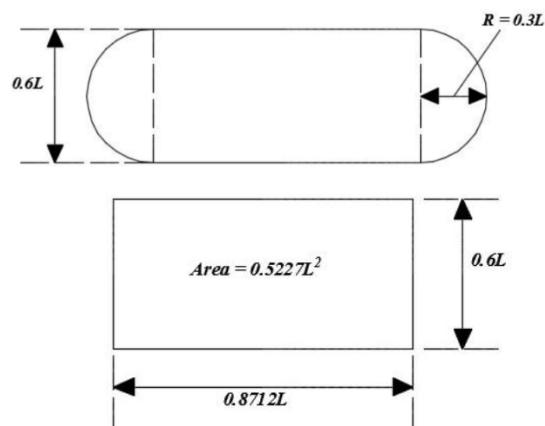
Beban-beban yang berubah hanya apabila berat total kapal berubah, sebagai akibat kegiatan bongkar-muat, pemakaian bahan bakar atau perubahan pada kapalnya sendiri. Ini terdiri dari: (Rosyid dan Setyawan, 2000)

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

b. 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 dan Setyawan, 2000)

Beban dinamis adalah semua beban yang terjadi akibat pemakaian suatu struktur atau bangunan, termaksud dari beban yang bekerja di atas lantai yang dapat berpindah-pindah atau bersifat sementara. Contohnya manusia, kendaraan dan peralatan yang dapat bergerak. Adapun beban yang bekerja pada *ramp door* diambil dari beban kendaraan yang melewatinya. Dimana beban kendaraan diasumsikan sebagai beban merata. Sedangkan untuk dimensi daerah kontak ban



Gambar 2 Dimensi Daerah Kontak Ban

1.2.4 Tegangan

Tegangan dan regangan adalah konsep yang penting dalam peninjauan kekuatan maupun kekakuan. Keduanya merupakan konsekuensi yang tidak dapat dipisahkan dari bekerjanya suatu beban terhadap suatu bahan struktur. Tegangan dapat dianggap sebagai suatu energi yang menahan beban, regangan adalah ukuran deformasi yang terjadi sebagai akibat tegangan. (Gross, 2011)

Dalam suatu elemen struktur, tegangan adalah gaya dalam dengan luas penampang dimana gaya itu bekerja. Oleh karena itu, tegangan adalah gaya dalam per satuan luas penampang, sebaiknya gaya dalam dapat dianggap sebagai efek bertumpuk dari tegangan. (Gross, 2011)

Hubungan antara tegangan (σ) yang dihasilkan oleh suatu gaya (F) yang bekerja pada setiap suatu luas (A) yang mengalami tegangan (σ) yaitu:

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (1)$$

Dimana:

σ = tegangan

F = beban

A = luas Penampang Ban

Tegangan yang terjadi pada pin engsel *bow ramp door* adalah tegangan geser. Tegangan geser terjadi pada suatu elemen jika gaya luar menyebabkan momen lentur bekerja di penampangnya. Besarnya tegangan lentur bervariasi dalam setiap penampang. Besarnya tegangan lentur di suatu titik dalam elemen tergantung empat faktor, yaitu momen lentur pada penampang dimana titik itu berada, ukuran penampang, bentuk penampang dan tempat titik itu di dalam penampang. (Gross, 2011)

$$\tau = \frac{V \cdot St}{I \cdot b} \quad (2)$$

Dimana :

τ = tegangan geser (N/mm²)

V = gaya lintang/gaya geser (N)

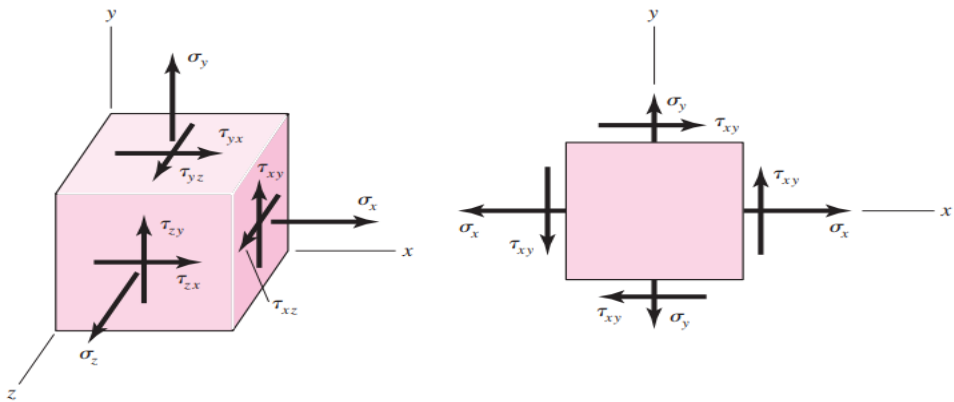
St = statis momen (mm³)

I = Inersia (mm⁴)

b = tebal (mm)

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 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)



Gambar 3 Tegangan yang bekerja pada suatu bidang
(Shigley's, 2004)

Keterangan :

σ_x =Tegangan normal yang bekerja pada bidang x

σ_y =Tegangan normal yang bekerja pada bidang y

σ_z =Tegangan normal yang bekerja pada bidang z

σ_{xy} =Tegangan geser yang bekerja pada bidang normal x dalam arah y

σ_{yx} =Tegangan geser yang bekerja pada bidang normal y dalam arah x

σ_{xz} =Tegangan geser yang bekerja pada bidang normal x dalam arah z

σ_{zx} =Tegangan geser yang bekerja pada bidang normal z dalam arah x

Adapun persamaan untuk tegangan normal bidang tiga dimensi dirumuskan dengan persamaan 3, 4, dan 5 sebagai berikut :

$$\sigma_x = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [\epsilon_x (1 - \nu) + \nu(\epsilon_y + \epsilon_z)] \quad (3)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [\epsilon_y (1 - \nu) + \nu(\epsilon_x + \epsilon_z)] \quad (4)$$

$$\sigma_z = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [\epsilon_z (1 - \nu) + \nu(\epsilon_x + \epsilon_y)] \quad (5)$$

Adapun untuk persamaan tegangan geser pada bidang tiga dimensi dirumuskan pada persamaan 6, 7, dan 8 sebagai berikut :

$$\tau_{xy} = \frac{E}{2(1+\nu)} \gamma_{xy} = G \gamma_{xy} \quad (6)$$

$$\tau_{xz} = \frac{E}{2(1+\nu)} \gamma_{xz} = G \gamma_{xz} \quad (7)$$

$$\tau_{yz} = \frac{E}{2(1+\nu)} \gamma_{yz} = G \gamma_{yz} \quad (8)$$

1.2.5 Regangan

Regangan adalah perbandingan deformasi suatu struktur terhadap panjang mula-mula akibat gaya yang arahnya sejajar dengan perubahan panjang struktur tersebut (Van Vlack, 1991). Dengan beban yang sama dan suatu jarak ukur yang lebih panjang, suatu deformasi yang lebih besar dapat kita amati, atau sebaliknya. Karena itu lebih mendasar untuk memperhatikan perpanjangan per satuan alat ukur tersebut. Bila Δ adalah perpanjangan totak pada panjang ukur awal L yang ditinjau, maka perpanjangan per satuan panjang ϵ (epsilon) adalah

$$\epsilon = \frac{\Delta}{L} \quad (9)$$

Menghitung

ϵ = Regangan

Δ = Pertambahan Panjang (mm)

L = Panjang mula-mula (mm)

1.2.6 Elastisitas

Elastisitas didefinisikan sebagai sifat yang dimiliki material untuk mengalami tegangan tanpa mengakibatkan perubahan ukuran atau bentuk permanen setelah tegangan dihilangkan (Van Vlack, 1991). Apabila batas elastisitas tercapai dalam konstanta Young atau Modulus Young, maka benda akan mencapai batas deformasi yang tidak dapat kembali ke bentuk semula (disebut plastis). Elastisitas benda kemudian dinyatakan dalam tegangan, regangan, dan menjadi dasar fenomena benda yang disebut pegas sebagaimana Hukum Hooke. 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 , yaitu:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta L}{L}} \quad (10)$$

Menghitung :

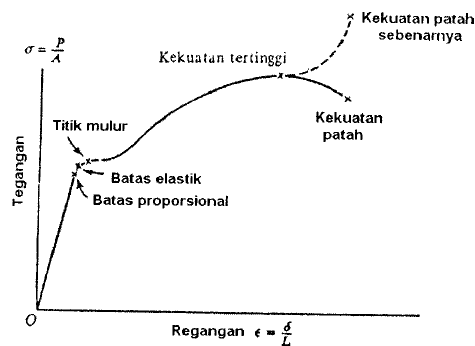
Δ = perubahan bentuk aksial total (m)

F = beban aksial total

L = panjang batang (m)
 A = luas penampang batang (m^2)
 E = modulus elastisitas bahan
 ϵ = regangan
 σ = tegangan (N/mm^2)

1.2.7 Hubungan Tegangan dan Regangan

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



Gambar 4 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 (lihat Gambar 4). Pada daerah ini berlaku hukum Hooke, bahwa tegangan sebanding dengan regangan. Kesebandingan ini tidak berlaku di seluruh diagram. Kesebandingan ini berakhir pada batas proporsional.
- 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.
- Titik mulur (*yield point*). Titik mulur adalah titik di mana bahan membujur mulur tanpa pertambahan 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.

1.2.8 Tegangan Izin

Dalam membuat konstruksi rampdoor, ada beberapa aturan yang perlu diperhatikan menurut rules dari BKI, misalnya saja tentang tegangan ijin dan material yang digunakan dalam pembuatan *ramp door*. Dalam hal ini tegangan ijin yang digunakan yang sesuai dengan ketentuan BKI Vol. II. Menghitung persamaannya adalah sebagai berikut

Bending Stress

$$\sigma = \frac{120}{k} \quad (11)$$

Shear Stress

$$T = \frac{180}{k} \quad (12)$$

Equivalent Stress

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2} = \frac{180}{k} \quad (13)$$

Dimana :

k = Faktor Bahan

1.2.9 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga (Finite Elemen Method) 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 : (Susatio, 2004)

1. Analisis tegangan (stress), meliputi analisis truss dan frame serta masalah-masalah yang berhubungan dengan tegangan-tegangan terkonsentrasi.
2. Buckling
3. Analisis getaran

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)

Beberapa kelebihan dalam penggunaan metode ini adalah:

1. Benda dengan bentuk yang tidak teratur dapat dengan mudah dianalisa
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 dinamik

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 :

$$\epsilon_x = \frac{du}{dx} \quad (14)$$

- 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 elemen diperoleh, maka selanjutnya digabungkan dengan metode superposisi berdasarkan kesetimbangan gaya pada titik simpul. Persamaan

tersebut akan menghasilkan persamaan global. Persamaan global dapat dituliskan dalam matriks berikut :

$$\{F\} = [K] \{d\} \quad (15)$$

Menghitung :

$\{F\}$ = 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 berikut :

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \dots \\ F_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{21} & \dots & K_{n1} \\ K_{21} & \dots & & \dots \\ \dots & & & \\ K_{n1} & \dots & \dots & K_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \dots \\ D_n \end{Bmatrix} \quad (16)$$

- 7) Penyelesaian tegangan dan regangan elemen didapatkan dari persamaan pada tahap ke-3. Persamaan tersebut dimasukkan kedalam persamaan 17 pada tahapan ke-6, sehingga tegangan elemen dapat diperoleh.

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

1.2.10 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)

ANSYS merupakan *software* berbasis *finite element analysis* (FEA). Penggunaan ANSYS mencakup simulasi struktur, perpindahan panas, dinamika fluida, akustik, dan elektromagnetik. ANSYS merupakan *computer aided engineering* (CAE) yang dikembangkan oleh ANSYS, Inc. Secara umum tahapan penggunaan metode elemen hingga pada ANSYS sebagai berikut:

1. Pre-Processing, tahap ini merupakan pemodelan, definisi bahan material, dan meshing.

2. Solution, tahap ini merupakan pemberian beban, penentuan constrain, dan penyelesaian analisis.
3. General Post-Processing, tahap ini merupakan hasil dari analisis berupa tegangan (*stress*), regangan (*strain*), dan perpindahan (*displacement*).

1.3 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan sebelumnya, maka rumusan masalah pada penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana kekuatan pada pin engsel *bow ramp door* yang dikaitkan dengan berbagai beban ekstrim yang mungkin terjadi?
2. Bagaimana kekuatan yang terjadi pada konstruksi *bow ramp door* serta letak titik *hot spot stress* pada konstruksi *bow ramp door* ?

1.4 Tujuan penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini yaitu :

1. Untuk mengetahui kekuatan pada pin engsel *bow ramp door* yang dikaitkan dengan berbagai beban ekstrim yang mungkin terjadi.
2. Untuk mengetahui letak titik *hot spot stress* pada konstruksi *bow ramp door*

1.5 Manfaat penelitian

Adapun manfaat penelitian ini yaitu :

1. Sebagai bahan acuan Pustaka untuk skripsi selanjutnya yang memiliki hubungan dengan topik yang dibahas.
2. Sebagai acuan dalam memperbaharui dan mengoptimalkan desain dan kekuatan *bow ramp*

1.6 Batasan masalah

Agar penelitian ini terarah, maka penulis membatasi masalah pada :

1. Beban yang digunakan pada penelitian ini hanya beban kendaraan yang melewati rampdoor.
2. Kondisi stabilitas tidak dibahas.
3. Pin engsel
4. Pengujian dilakukan dengan *software* ANSYS untuk mengetahui letak tegangan maksimal pada konstruksi *ramp door*.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Jenis penelitian

Penelitian ini bersifat kuantitatif dengan melakukan simulasi numerik menggunakan metode elemen hingga melalui media software ANSYS *Workbench*.

2.2 Waktu dan lokasi penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan September sampai selesai di Laboratorium Struktur Kapal Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

2.3 Teknik pengumpulan data

2.3.1 Pengambilan data

Jenis data yang diperoleh adalah data sekunder yang sepenuhnya diperoleh dari file yang ada di PT. Industri Kapal Indonesia (Persero) di Makassar. Adapun data pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ukuran Utama Kapal
2. Gambar General Arrangement Kapal Penyeberangan Lintas Lembar-Padang Bai (NB 96)
3. Gambar Konstruksi *bow ramp*
4. Referensi Internet (e-book, kajian – kajian, dll.)

2.3.2 Jenis data dan sumber data

Jenis data yang diperoleh adalah data sekunder yang sepenuhnya diperoleh dari file yang ada di PT. Industri Kapal Indonesia (Persero). Adapun data pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ukuran Utama Kapal

Tipe Kapal	= Kapal Ferry RO-RO
LOA	= 77,72 m
B	= 14,00 m
H	= 4,60 m
T	= 3,30 m
2. Data *Ramp door*

Panjang bagian pertama	= 7,00 m
Panjang bagian kedua	= 5,50 m
Panjang Lidah	= 1,343 m
Lebar	= 4,80 m
3. Data Pin Engsel
 - a. Engsel *Ramp door* 1

Panjang Pin	= 70 mm
Diameter pin	= $\varnothing$ 66 mm
Jumlah Pin	= 5 buah

b. Engsel *Ramp door* 2

Panjang Pin = 148 mm
 Diameter pin = $\varnothing$ 66 mm
 Jumlah Pin = 5 buah

c. Engsel Lidah *Ramp door*

Panjang Pin = 144 mm
 Diameter pin = $\varnothing$ 30 mm
 Jumlah Pin = 5 buah

4. Data Pembebanan

Panjang antar ban = 4.67 m
 Lebar antar ban = 1.3 m

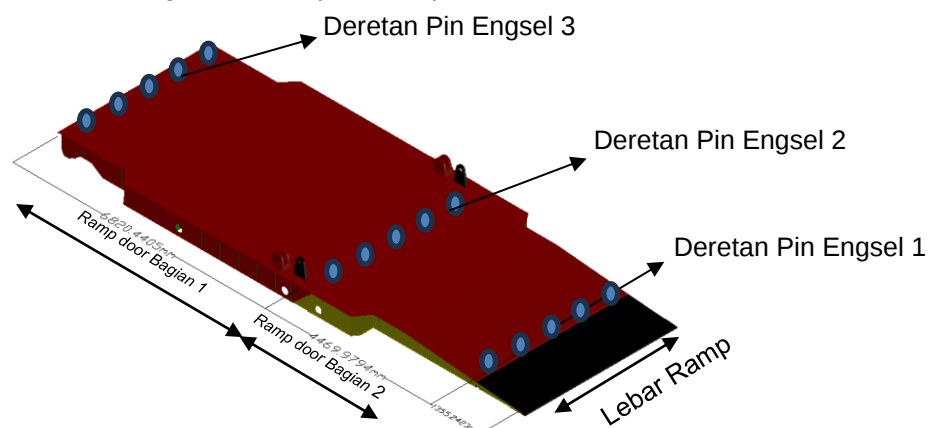
2.4 Prosedur Analisis Menggunakan Metode Elemen Hingga

Analisis metode elemen hingga (FEM) merupakan metode matematis yang bisa digunakan untuk menyelesaikan berbagai permasalahan seperti analisis tegangan. Pada analisis struktur, analisis FEM dapat digunakan untuk menyelesaikan defleksi dan tegangan pada struktur yang menerima beban tertentu pada kondisi batas yang sesuai. Pada prosedur penyelesaian dengan *software* elemen hingga langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut :

- *Preprocessing*

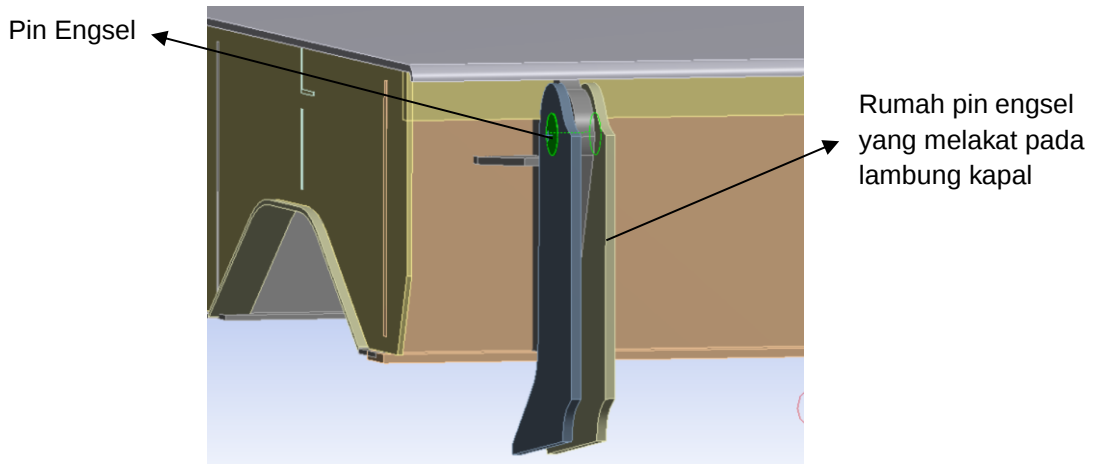
Tahap *Preprocessing* menjelaskan proses pembuatan geometri *ramp door*, penentuan jenis material yang digunakan, dan proses *meshing*.

a. Pemodelan geometri *ramp door* kapal



Gambar 5 Sketsa Geometri *Ramp door*

Sumber: Hasil Olahan AutoCAD (2025)



Gambar 6 Sketsa Geometri Pin Engsel Ramp door
Sumber: Hasil olahan Ansys (2025)

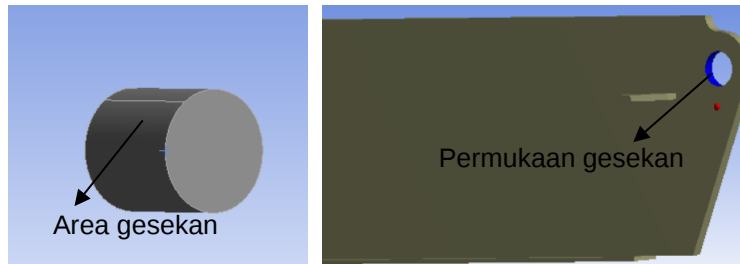
b. Proses *import* geometri ke software ANSYS workbench

Setelah pemodelan geometri menggunakan software Autodesk AutoCAD 2019 selesai, maka langkah selanjutnya adalah meng-import geometri *ramp door* yang telah disimpan dalam format “*iges*” ke software ANSYS Workbench.

c. Penentuan *Connection* Antar Geometri

Penentuan *connection* antar geometri bertujuan untuk mendefinisikan jenis *contact* yang menghubungkan geometri satu dengan yang lain. Dalam hal ini penting untuk memilih jenis *contact* yang tepat agar simulasi model di software ANSYS sesuai dengan sebenarnya. Beberapa jenis *contact* antara lain *bonded*, *no separation*, *frictionless*, *rough*, dan *frictional*.

Dalam analisis ini, dipilih jenis *contact frictional* untuk menghubungkan geometri engsel dengan pin engsel dengan koefisien *frictional* sebesar 0,2 sesuai dengan panduan ansys yang digunakan untuk melihat *contact frictional*. Jenis *contact frictional* merupakan jenis *contact* yang dapat membuat tegangan geser hingga besaran tertentu dipermukaan geometri sebelum kedua geometri yang saling *contact* ini mulai bergeser relatif satu sama lain. Adapun *contact* yang terjadi antar geometri dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 *Frictional contact* Engsel dan Pin Engsel
Sumber: Hasil olahan Ansys (2025)

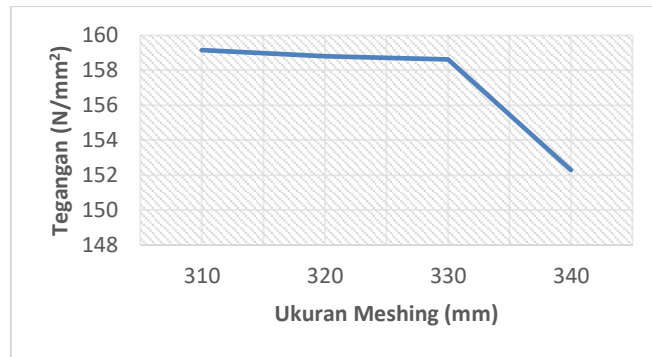
d. Pendefinisian *meshing*

Sebelum proses simulasi, terlebih dahulu dilakukan proses meshing pada geometri. Proses meshing ini membagi geometri menjadi bagian-bagian kecil yang akan membentuk geometri benda. Semakin kecil ukuran meshing maka hasilnya semakin akurat, tetapi membuat proses penyelesaian atau solving akan semakin lama dan ini tergantung pada kapasitas laptop.

Untuk menentukan ukuran meshing yang tepat, dilakukan konvergensi tegangan. Konvergensi adalah suatu cara untuk menentukan ukuran elemen yang tepat dalam pembuatan model elemen hingga sehingga hasil yang dihasilkan mendekati nilai sebenarnya (lebih valid). Konvergensi dilakukan dengan cara membandingkan beberapa hasil analisis tegangan sehingga mencapai hasil konstan dengan ukuran meshing yang berbeda. Setelah dilakukan konvergensi tegangan maka diperoleh ukuran meshing yang akan digunakan adalah 330 mm. Hasil konvergensi tegangan dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 8.

Tabel 1 Hasil konvergensi tegangan berbagai ukuran meshing

Ukuran <i>Meshing</i> (mm)	Tegangan (N/mm ²)
310	159.16
320	158.81
330	158.29
340	152.29



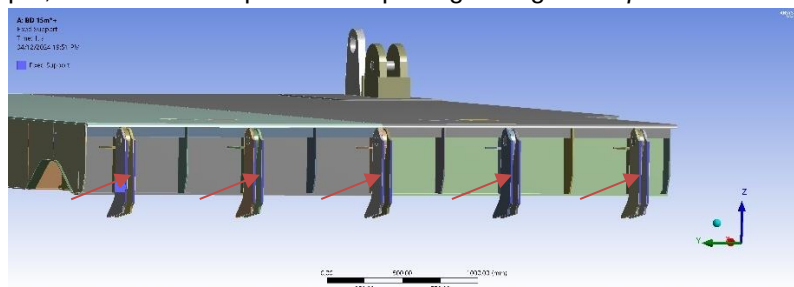
Gambar 8 Kurva konvergensi tegangan
Sumber: Hasil olahan Ansys, 2025

- Solution

Pada tahap ini *ramp door* dipecah menjadi tiga bagian yaitu *ramp door* bagian pertama, *ramp door* bagian kedua, dan lidah *ramp door* karena pin engsel memiliki diameter yang berbeda dipecahlah *ramp door* untuk mengetahui beban kelompok pin. Selanjutnya menentukan syarat batas model, yaitu penentuan jenis tumpuan yang digunakan pada geometri serta penentuan jenis dan besar pembebanan.

a. Rampdoor Bagian Pertama

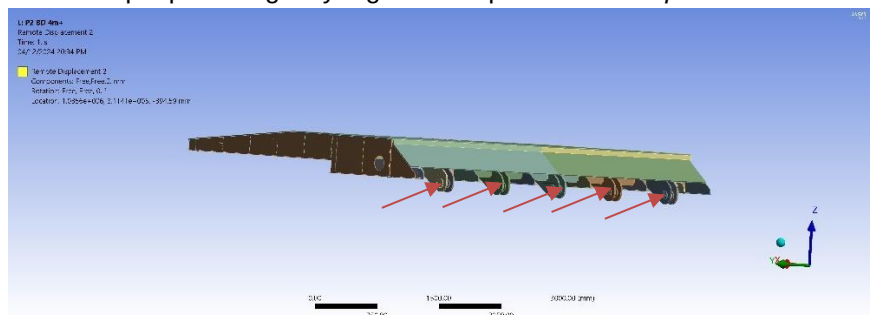
Jenis yang digunakan pada simulasi ini adalah jenis tumpuan *fixed support* yang menahan semua derajat kebebasan (*All degree of freedom*) baik secara translasi vertikal dan horizontal maupun rotasi. Tumpuan *fixed support* ini diaplikasikan pada bagian sisi pin yang kontak langsung dengan badan kapal, pada gantungan *ramp door* diberikan tumpuan sendi. Adapun jenis tumpuan pada geometri dilihat pada Gambar 9 *fixed support* sisi pin, Gambar 10 tumpuan sendi pada gantungan *ramp door*.



Gambar 9 Jenis tumpuan *fixed support* sisi pin yang terhubung dengan kapal

Sumber: Hasil olahan Ansys (2025)

Jenis yang digunakan pada simulasi ini adalah jenis tumpuan sendi. Tumpuan sendi mampu memberikan reaksi arah vertikal dan horizontal. Adapun jenis tumpuan pada geometri dilihat pada Gambar 11 tumpuan sendi sisi pin, Gambar 12 tumpuan sendi sisi pin pada bagian yang melekat pada lidah *ramp door*

[illegible]

Gambar 12 Jenis tumpuan sendi pada ujung *ramp door*
Sumber: Hasil olahan Ansys (2025)

Sedangkan jenis dan besar pembebanan pada simulasi analisis *ramp door* jenis beban merata (*pressure*) untuk arah sumbu poros (sumbu z) pada geometri akibat beban kendaraan yang lewat di atasnya. Beban yang bekerja pada *ramp door* adalah beban yang berasal dari berat kendaraan yang dimuat oleh kapal penyeberangan.

- *Postprocessing*

Setelah penentuan jenis tumpuan dan pembebanan pada geometri, langkah selanjutnya adalah proses solving, yaitu proses menjalankan simulasi model dengan aplikasi elemen hingga. Pada proses solving inilah dapat diketahui apakah simulasi model yang dijalankan terdapat suatu masalah melalui pesan *error* yang ditampilkan. Pada proses simulasi *ramp door* ini tidak terjadi masalah, hal ini dapat dilihat pada Gambar 13, sehingga dari model *ramp door* yang didapatkan result atau hasil simulasi melalui logo centang disamping keterangan.

A	
1	Static Structural
2	Engineering Data ✓
3	Geometry ✓
4	Model ✓
5	Setup ✓
6	Solution ✓
7	Results ✓

Gambar 13 Model yang berhasil di running dengan tanda centang

2.5 Kerangka Alur Penelitian

Untuk lebih memudahkan dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, maka dibuat suatu kerangka analisis yang menggambarkan prosedur atau tahapan-tahapan pengerjaan dalam penulisan ini.

Kerangka penelitian tersebut dapat digambarkan dengan menggunakan diagram alur (*flow chart*) :

