



## Analisis Kekuatan Struktur *Forward Ramp Door* Pada Kapal *Ro-Ro* Jackwin Dengan Variasi Beban Menggunakan *Finite Element Method*

Ahmad Zamzami<sup>1)</sup>, Imam Pujo Mulyatno<sup>1)</sup>, Ari Wibawa Budi Santosa<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Laboratorium Teknologi Struktur Dan Kekuatan Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

<sup>\*</sup>[ahmadzamzami@students.undip.ac.id](mailto:ahmadzamzami@students.undip.ac.id), [imampujomulyatno@lecturer.undip.ac.id](mailto:imampujomulyatno@lecturer.undip.ac.id),

[ariwibawabudisantosa@lecturer.undip.ac.id](mailto:ariwibawabudisantosa@lecturer.undip.ac.id)

### Abstrak

Kekuatan struktur *forward ramp door* pada kapal *ro-ro* Jackwin 2919 GT perlu dianalisis karena mengalami perubahan variasi beban muatan berupa kendaraan. Penelitian ini menggunakan material KI-A36 dengan beban maksimal yang digunakan 16 Ton pada posisi beban *Front Wheel*, *All Wheel* dan *Rear Wheel* dalam sudut kemiringan  $-10^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $+10^\circ$  menggunakan *finite element method*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan maksimum terjadi pada saat *ramp door* diberi beban truk 16 ton dengan beban pada semua roda (*All Wheel*) dan sudut *ramp door*  $0^\circ$ , dengan nilai *von mises stress* sebesar 224,1 MPa dan defleksi 15,27 mm. Sebaliknya, tegangan minimum terjadi pada saat *ramp door* diberi beban truk 4 ton dengan beban terletak di roda depan (*Front Wheel*) dan sudut *ramp door*  $-10^\circ$ , dengan nilai *von mises stress* 46,62 MPa dan defleksi 2,910 mm. *Safety factor* yang di dapat struktur ini aman untuk operasi dengan beban hingga 12 Ton. Operasi optimal sebaiknya tidak melebihi beban 12 Ton karena Faktor keamanan pada beban 12 Ton berkisar 1,1 - 2,0, menunjukkan margin keamanan yang lebih kecil. Untuk beban yang lebih tinggi 16 Ton *safety factor* yang diperoleh dibawah 1, hal ini tidak memenuhi aturan tegangan ijin material sesuai pada BKI Volume II Section 2 sebesar 190 Mpa.

Kata Kunci : Kapal *Ro-Ro*, Kekuatan Struktur, *Forward Ramp Door*, *Finite Element Method*, *Safety Factor*.

### 1. PENDAHULUAN

Keberlanjutan sistem transportasi laut menjadi kunci untuk meratakan distribusi barang dan penduduk yang pada akhirnya berkontribusi pada peningkatan kesejahteraan masyarakat Indonesia. Dalam rangka menjaga keberlangsungan ini, berbagai jenis moda transportasi diperlukan. Oleh karena itu, moda transportasi air memiliki peran penting dalam menghubungkan moda transportasi darat antar pulau. Salah satu jenis kendaraan tersebut adalah kapal *ro-ro*.

Kekuatan struktur konstruksi menjadi salah satu faktor teknis yang berperan penting dalam menentukan tingkat keamanan kapal, baik saat berlayar di laut yang tenang, berombak, atau bahkan ketika berada di atas dok. Struktur konstruksi kapal akan menghadapi berbagai beban,

termasuk beban internal dari peralatan dan muatan di dalam kapal, serta beban eksternal seperti gelombang laut.

Kekuatan konstruksi pada *ramp door* kapal merujuk pada kemampuan struktur pintu penyeberangan (*Ramp Door*) untuk menahan beban dan tekanan yang mungkin terjadi selama proses penggunaan, seperti pemuatan dan pemindahan kendaraan dan muatan di kapal *ro-ro* [1]. *Ramp door* ini memiliki peran krusial dalam memastikan keamanan, kestabilan, dan kehandalan kapal *ro-ro*, yang dirancang khusus untuk memfasilitasi pemuatan dan pemindahan kendaraan secara efisien. Kekuatan konstruksi *ramp door* perlu mempertimbangkan beberapa aspek teknis, termasuk daya dukung maksimum, tahanan terhadap beban dinamis saat kendaraan masuk dan keluar, serta kemampuan untuk

menanggung tekanan air dan gelombang laut selama pelayaran. Oleh karena itu, material yang digunakan, desain struktur, dan metode pengencangan harus memenuhi standar keselamatan dan kekuatan untuk memastikan bahwa *ramp door* dapat berfungsi dengan baik dalam berbagai kondisi operasional kapal *ro-ro*.

Secara umum perencanaan pembuatan konstruksi ram door adalah membuat suatu konstruksi yang mempunyai tingkat tegangan pada batas yang diijinkan dan bisa diterima oleh konstruksi tersebut [2]. Perencanaan konstruksi *ramp door* harus dapat menjamin suatu struktur tingkat kelelahan material. Konstruksi *ramp door* yang dibuat harus menghindari elastic deformation yang berlebihan agar tidak terjadi perubahan bentuk geometri yang diakibat oleh beban yang di terima [3]. Desain pintu rampa harus dapat menjamin bahwa konstruksi berada di bawah tegangan yang diizinkan dan dapat diterima oleh konstruksi dan memiliki kekakuan elastis yang cukup, serta tidak menyebabkan deformasi elastis yang berlebihan [4].

Beberapa penelitian tugas akhir terkait telah dilakukan, termasuk analisis kekuatan dan umur lelah ramp mobil sedan pada kapal Ferry *Ro-Ro* 5000 GT menggunakan metode elemen hingga. Hasilnya menunjukkan bahwa tegangan maksimum pada konstruksi internal ramp ditemukan pada kasus beban 3 mobil sedan di antara girder, dengan nilai 52,143 MPa dan faktor keamanan sebesar 6,08. Tegangan minimum tercatat pada kasus beban girder atas 2 mobil sedan sebesar 34,199 MPa dengan faktor keamanan 10,38. Ini menyimpulkan bahwa ramp internal memenuhi persyaratan karena faktor keamanan (SF) lebih besar dari 1[5].

Dalam penelitian tugas akhir lain mengenai analisis kekuatan struktur pintu ramp kapal LCT Lady Primus 39,5 m akibat variasi sudut kemiringan dan beban, tegangan maksimum sebesar 82,31 MPa ditemukan pada panjang pengaku 3, tepatnya pada node 1249. Regangan maksimum sebesar 1,929 mm terletak pada pelat atas di node 20495. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi muatan dan sudut kemiringan *ramp door* pada kapal LCT Lady Primus 39,5 m telah memenuhi kriteria yang ditetapkan oleh Badan Klasifikasi Indonesia (BKI)[6].

Berdasarkan contoh kasus dan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai konstruksi *ramp door*. Penelitian ini akan dilakukan dengan variasi beban yang berbeda pada posisi beban yang berbeda dalam berbagai sudut kemiringan *ramp door* yang sudah ditentukan.

Berdasarkan penjelasan dari latar belakang masalah maka tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan tugas akhir ini adalah Mengetahui kemampuan konstruksi *ramp door* pada kapal *ro-ro* dalam menahan beban yang akan diterimanya serta dapat mengetahui karakteristik tegangan pada struktur *forward ramp door* setelah mengalami variasi beban.

## 2. METODE

### 2.1. Objek Penelitian

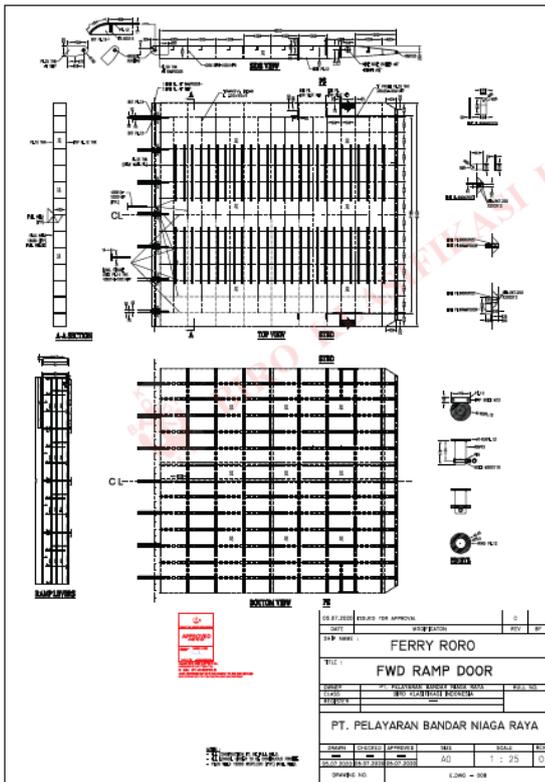
Kapal *Ro-Ro* merupakan jenis kapal yang didesain khusus untuk membawa kendaraan, di mana kendaraan yang diangkut dapat langsung bergerak dengan menggunakan roda mereka sendiri melalui *ramp door* yang terpasang di bagian depan, belakang, atau samping kapal [7]. Penggunaan *ramp door* sangat dibutuhkan untuk mempermudah proses membongkar dan memuat kendaraan dari dermaga penyeberangan ke kapal dan sebaliknya. *Ramp door* dihubungkan dengan moveable bridge pelengsengan yang ada di dermaga. Konstruksi *Ramp Door* harus dirancang menghindari elastic deformation yang berlebihan yang dapat mengakibatkan perubahan bentuk geometri akibat dari beban yang diterima.

Kapal *ro-ro* umumnya digunakan untuk transportasi kendaraan seperti mobil penumpang, sepeda motor, mobil, truk, dan bus, bersama dengan penumpang pejalan kaki yang digunakan untuk menghubungkan dua dermaga dengan jarak pendek, dan seringkali beroperasi dengan jadwal penyeberangan yang intens. Seiring dengan kemajuan teknologi perkapalan, kapal *Ro-Ro* kini juga sering dimanfaatkan untuk perjalanan laut dengan jarak yang lebih jauh[8].

Penelitian tentang Kapal Ferry *Ro-Ro* ini menggunakan kapal *ro-ro* Jackwin yang dirancang untuk menampung penumpang dan muatan dengan kapasitas 2919 GT. Ukuran utama kapal kapal *ro-ro* Jackwin dan ukuran utama struktur *forward ramp door* yang akan dilakukan analisis pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 1 dan gambar 1.

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal

| Ukuran Utama Kapal         |          |
|----------------------------|----------|
| Length OverAll (LOA)       | 93,768 M |
| Length Deck (Ldeck)        | 86,000 M |
| Length Waterline (LWL)     | 84,360 M |
| Length Perpendicular (LPP) | 81,605 M |
| Breadth (B)                | 24,500 M |
| Height (H)                 | 4,800 M  |
| Scantling Draft (Tsc)      | 3,500 M  |



Gambar 1. Struktur *Forward Ramp Door*

## 2.2. Variabel Penelitian

Penelitian ini berfokus pada variasi beban kendaraan, posisi beban kendaraan, dan sudut *ramp door*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kekuatan struktur *ramp door*.

### a. Variabel Tetap

- Data primer berupa ukuran utama *forward ramp door* kapal ro-ro Jackwin.

### b. Variabel Peubah

- Beban total kendaraan (4 ton, 12 ton dan 16 ton).
- Posisi pembebanan ketika posisi beban berada di roda depan (*front wheel*), semua roda (*all wheel*) dan roda belakang (*rear wheel*).
- Kondisi sudut *ramp door* ( $-10^\circ$ ,  $0^\circ$ , dan  $+10^\circ$ ).

## 2.3. Variasi Perlakuan

Beban yang bervariasi meliputi perubahan posisi *ramp door*, perbedaan beban atau tipe kendaraan yang melintasi pintu rampa, dan kondisi ban kendaraan yang berada di atas *ramp door*. Asumsi variasi sudut pintu rampa adalah sebagai berikut::

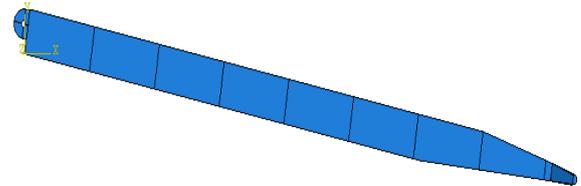
Ketika air laut surut, sudut *ramp door* adalah  $+10^\circ$ ; ketika air laut berada dalam kondisi normal, sudut *ramp door* adalah  $0^\circ$ ; dan ketika air laut pasang, sudut *ramp door* adalah  $-10^\circ$ . ini

menggambarkan bagaimana penelitian menguji kekuatan struktur *ramp door* dengan mempertimbangkan berbagai skenario pembebanan dan sudut kemiringan.

Variasi beban meliputi perbedaan jenis kendaraan dan kondisi bannya, sementara variasi sudut dipengaruhi oleh kondisi air laut, yang mensimulasikan kemiringan *ramp door* pada berbagai kondisi pasang surut. Variasi perlakuan meliputi:

### a. Kondisi *Ramp Door*

- Kondisi *Ramp Door*  $-10^\circ$



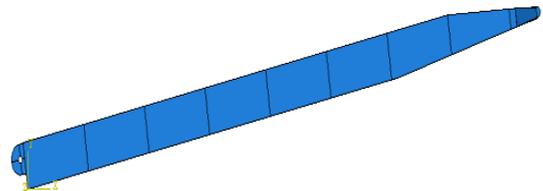
Gambar 2. Kondisi Sudut  $-10^\circ$

- Kondisi *Ramp Door*  $0^\circ$



Gambar 3. Kondisi Sudut  $0^\circ$

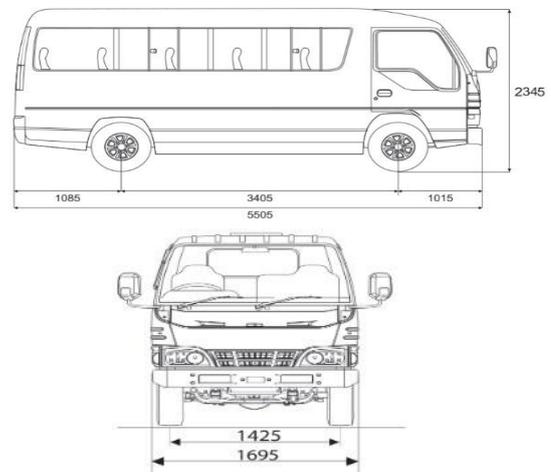
- Kondisi *Ramp Door*  $+10^\circ$



Gambar 4. Kondisi Sudut  $+10^\circ$

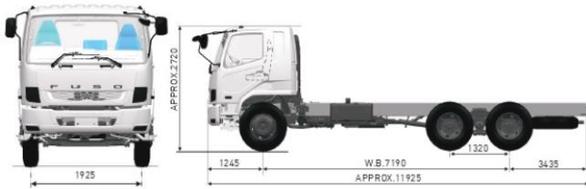
### b. Variasi beban (Muatan) dengan dimensi sebagai berikut

- Beban 4 Ton (Canter Bus)



Gambar 5. Dimensi Beban 4 Ton

- Beban 12 Ton (Truk FN 61 L)



Gambar 6. Dimensi Beban 12 Ton

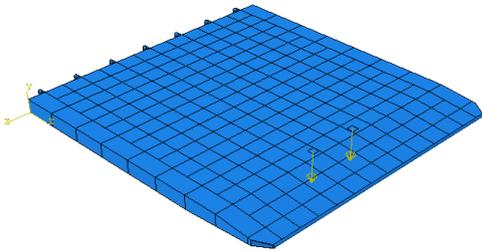
- Beban 16 ton (Truk FN 61 FL HD)



Gambar 7. Dimensi Beban 16 Ton

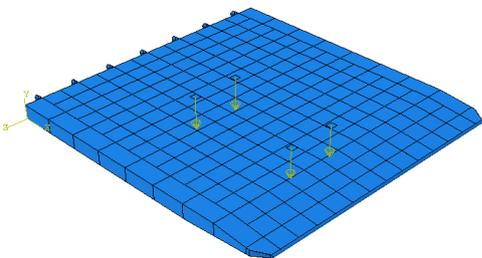
c. Variasi Kondisi roda pada beban (Muatan)

- Roda depan diatas *ramp door* (*Front Wheel*)



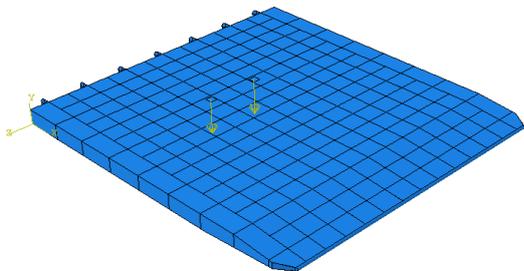
Gambar 8. Posisi Beban *Front Wheel*

- Semua roda diatas *ramp door* (*All Wheel*)



Gambar 9. Posisi Beban *All Wheel*

- Roda belakang diatas *ramp door* (*Rear Wheel*)



Gambar 10. Posisi Beban *Rear Wheel*

**2. 4 Perhitungan Pembebanan**

Perhitungan beban dilakukan dengan menggunakan prinsip-prinsip mekanika teknik.

Beban yang diterapkan pada model rampdoor berasal dari berat total kendaraan. Distribusi beban tersebut dibagi dengan proporsi 60% pada roda belakang dan 40% pada roda depan. Perhitungan ini didasarkan pada rumus-rumus mekanika teknik yang digunakan untuk menentukan distribusi beban tersebut.

$$F = m \times g \times \cos \alpha \quad (1)$$

Dimana F merupakan Gaya dalam satuan Newton (N), m menunjukkan massa dalam kilogram (Kg), dan g merupakan percepatan gravitasi yang diukur dalam meter per detik kuadrat (m/s<sup>2</sup>) [9].

**2.5 Perhitungan Defleksi**

Rumus defleksi dalam mekanika teknik dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$f = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad (2)$$

Dimana F merupakan Gaya dalam satuan Newton (N), L menunjukkan panjang model yang diukur (mm), E mewakili modulus elastisitas (MPa), dan I merepresentasikan Momen Inersia (mm<sup>4</sup>).

**2.6 Safety Factor**

Faktor keamanan (*safety factor*) adalah rasio antara beban maksimum yang dapat ditahan oleh suatu struktur atau sistem terhadap beban maksimum yang diperkirakan akan diterimanya dalam kondisi operasional normal. Faktor keamanan digunakan untuk memastikan bahwa suatu struktur atau sistem memiliki daya tahan yang cukup untuk mengatasi beban-beban yang mungkin melebihi yang telah diprediksi. Struktur *ramp door* dikatakan aman, apabila nilai Sf >1.

$$Safety\ factor = \frac{Kekuatan\ material}{Tegangan\ max} \quad (3)$$

Dimana tegangan maksimum merujuk pada tegangan yang muncul sebagai akibat dari gaya yang diaplikasikan pada sebuah objek, sementara tegangan material atau tegangan yang diizinkan mengacu pada batas tertinggi tegangan yang boleh bekerja pada objek tersebut.

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

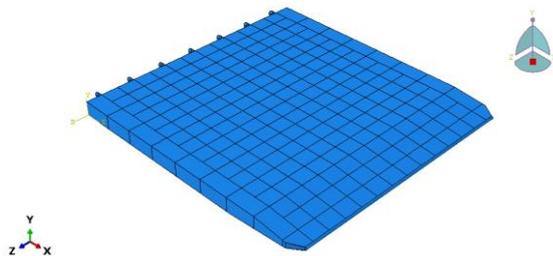
**3.1. Pembuatan Model**

Pemodelan adalah salah satu faktor yang sangat penting dan krusial dalam menganalisis kekuatan sebuah struktur. Saat membuat model,

setiap elemen yang ada harus memiliki ukuran-ukuran tertentu yang sesuai dengan ukuran yang asli. Hal ini harus dibuat seakurat mungkin mencerminkan kondisi nyata.

Rancangan struktur yang akan dikembangkan terdiri dari deck plate, side plate, profil T melintang dan memanjang serta profil L melintang. Tahap awal dalam proses perancangan dimulai dengan mengonversi gambar dari format PDF ke gambar 2D format CAD secara manual, menggunakan perangkat lunak berbasis CAD.

Pemodelan dan analisis struktur dilakukan dengan pemodelan 3D menggunakan software berbasis *finite element method*. Model yang digunakan untuk menganalisis kekuatan struktur *ramp door* pada kapal *ro-ro* Jackwin dapat dilihat seperti Gambar 3.1.



Gambar 11. Pemodelan Struktur Ramp Door

### 3.2. Pendefinisian Material

Properti yang digunakan dalam pemodelan elemen hingga pada model struktur *forward ramp door* kapal *ro-ro* Jackwin adalah sebagai berikut:

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Nama material         | : KI A36   |
| Modulus of Elasticity | : 200 GPa = 200.000 MPa                            |
| Yield Stress          | : 235 MPa  |
| Ultimate Stress       | : 400 MPa  |
| Density               | : 7,85 ton/m <sup>3</sup> = 7850 kg/m <sup>3</sup> |
| Shear Modulus         | : 80 GPa   |
| Poisson ratio         | : 0,3  |

Material yang digunakan dan yang dimasukkan dalam software berbasis *finite element method* dianggap *isotropik*, sehingga sifat-sifat material serta hubungan elastisitasnya sama atau konstan pada arah x, y, dan z..

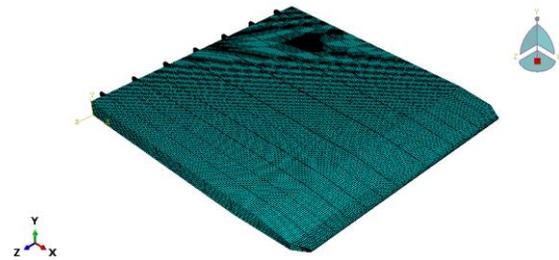
### 3.3. Proses Meshing

Proses *meshing* bertujuan untuk memecah permukaan geometri menjadi simpul-simpul (node) dan elemen-elemen. Dalam mengatasi permasalahan teknik, khususnya pada analisis struktur, software berbasis metode elemen hingga dipilih untuk menyederhanakan perhitungan matematis yang rumit [10].

*Meshing* adalah langkah untuk mendiskritisasi model menjadi elemen-elemen yang lebih kecil

sehingga memungkinkan perhitungan numerik. Hasil dari *meshing* ini mencakup tidak hanya geometri, tetapi juga massa, muatan, dan restrain.

Dalam proses penelitian ini, struktur model akan dipecah menjadi elemen-elemen yang lebih kecil yang saling terhubung melalui titik-titik nodal dan proses *meshing* yang digunakan adalah elemen *meshing* jenis *quad* dengan ukuran elemen *meshing* pada struktur *rampdoor* sebesar 50 mm. Hasil dari proses *meshing* dapat dilihat dari Gambar 12.

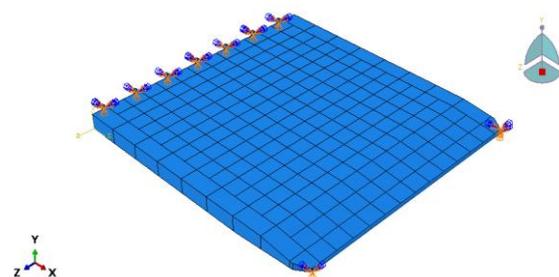


Gambar 12. Meshing Pada Struktur Ramp Door

### 3.4 Setup Boundary

Dalam analisis linear statis, salah satu tahap yang harus dilakukan adalah menetapkan *boundary conditions* atau kondisi batas dalam Metode Elemen Hingga. Hal ini merupakan tahap penentuan tumpuan sebelum model dianalisis. *Boundary conditions* berfungsi untuk menjaga agar setiap ujung benda tetap kaku (*rigid*) dan tidak bergerak selama analisis. Selama proses analisis, akan muncul gerakan yang sering terjadi pada saat proses analisis, yaitu berupa gerakan geser (*translational*) maupun gerakan perputaran (*rotational*). Jika model diasumsikan bergerak dalam hal ini berarti ujung-ujung struktur tidak dijepit, maka analisis tersebut masuk dalam kategori analisis dinamis.

Dalam analisis kekuatan struktur *ramp door* pada kapal *Ro-Ro* Jackwin, *boundary conditions* diterapkan pada ujung depan dan lubang clevis belakang model *ramp door*. Fungsinya adalah sebagai titik tumpu selama proses analisis, sehingga memungkinkan simulasi yang akurat mengenai bagaimana *ramp door* berinteraksi dengan elemen-elemen struktural lainnya saat menerima beban.



Gambar 13. Boundary Condition Ramp Door

Tabel 2. Kondisi Batas Translasi

| Lokasi                            | U1  | U2  | U3  |
|-----------------------------------|-----|-----|-----|
| Pada ujung depan <i>ramp door</i> | FIX | FIX | FIX |
| Pada lubang <i>clevis</i>         | FIX | FIX | FIX |

Tabel 3. Kondisi Batas Rotasi

| Lokasi                            | R1  | R2 | R3  |
|-----------------------------------|-----|----|-----|
| Pada ujung depan <i>ramp door</i> | FIX | -  | FIX |
| Pada lubang <i>clevis</i>         | FIX | -  | FIX |

Bagian-bagian yang diberi simbol fix diartikan sebagai bagian yang terkunci atau tidak dapat bergerak. Sebaliknya, bagian yang tidak diberi simbol fix dianggap masih memiliki kebebasan untuk bergerak, khususnya pada bagian seperti lubang *clevis*, yang dirancang untuk memungkinkan pergerakan

### 3.5 Persebaran Beban

*Forward ramp door* menerima beban dari kendaraan yang melewatinya. Diasumsikan bahwa beban kendaraan ini terpusat pada titik-titik di mana roda bersentuhan dengan dek *ramp door*. Penyebaran dan distribusi titik-titik pembebanan kendaraan dapat diuraikan sebagai berikut:

- a. Beban mobil 4 ton = 4 titik (2 titik pada roda depan dan 2 titik pada roda belakang).

Tabel 4. Berat Beban 4 Ton

| Posisi Roda   | Jumlah Titik | Beban per Titik (Kg) | Total Beban (Kg) |
|---------------|--------------|----------------------|------------------|
| Roda Depan    | 2            | 800                  | 1600             |
| Roda Belakang | 2            | 1200                 | 2400             |
| Total         |              |                      | 4000             |

- b. Beban truk 12 ton = 6 titik (2 titik pada rodan depan dan 4 titik pada roda belakang).

Tabel 5. Berat Beban 12 Ton

| Posisi Roda   | Jumlah Titik | Beban per Titik (Kg) | Total Beban (Kg) |
|---------------|--------------|----------------------|------------------|
| Roda Depan    | 2            | 2400                 | 4800             |
| Roda Belakang | 4            | 1800                 | 7200             |
| Total         |              |                      | 12000            |

- c. Beban truk 16 ton = 6 titik (2 titik pada rodan depan dan 4 titik pada roda belakang).

Tabel 6. Berat Beban 16 Ton

| Posisi Roda   | Jumlah Titik | Beban per Titik (Kg) | Total Beban (Kg) |
|---------------|--------------|----------------------|------------------|
| Roda Depan    | 2            | 3200                 | 6400             |
| Roda Belakang | 4            | 2400                 | 9600             |
| Total         |              |                      | 16000            |

Berikut adalah tabel variasi pembebanan setiap titik tumpu pada setiap beban yang digunakan:

Tabel 7. Variasi Pembebanan Setiap Titik Tumpu

| No | Beban  | Beban Roda Depan (N/m <sup>2</sup> ) | Beban Roda Belakang (N/m <sup>2</sup> ) |
|----|--------|--------------------------------------|---|
| 1  | 4 Ton  | 217778                               | 326667                                  |
| 2  | 12 Ton | 653334                               | 490000                                  |
| 3  | 16 Ton | 871112                               | 653334                                  |

### 3.6. Validasi

Untuk menguji keakuratan model yang telah dirancang, dilakukan validasi model. Salah satu pendekatan yang diterapkan dalam validasi ini adalah dengan melakukan perbandingan antara hasil yang diperoleh melalui perhitungan analitis dan hasil perhitungan numerik yang didapatkan dari model yang telah dibuat menggunakan *software* [11].

#### a. Perhitungan Analitik

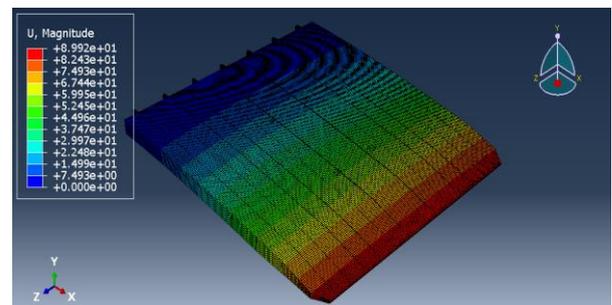
Perhitungan analitik dilakukan dengan menerapkan pendekatan formula defleksi dari ilmu mekanika teknik. Berikut adalah rumus yang digunakan untuk menghitung defleksi dalam mekanika teknik:

$$\text{Defleksi} = \frac{1000 \times 8500^3}{3 \times 200000 \times 1083006267} = 9,451 \times 10 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan analitik didapatkan nilai defleksi sebesar 9,451 x 10 mm.

#### b. Perhitungan Numerik

Perhitungan numerik dilakukan dengan menggunakan *software* berbasis Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*). Model yang telah dibuat kemudian dianalisis dengan perhitungan yang sebanding dengan metode analitik, Hasil defleksi yang diperoleh dari *software* adalah sebesar 8,992 x 10 mm.



Gambar 14. Hasil Perhitungan Numerik

Tabel 8. Perbandingan Validasi

| Analisis | Numerik   | Analitik   | Error |
|----------|-----------|------------|-------|
| Defleksi | 8,992 x10 | 9,451 x 10 | 4,86% |

Berdasarkan hasil perbandingan antara perhitungan analitik dan numerik yang ditunjukkan pada Tabel 5, didapatkan bahwa nilai kesalahan sebesar 4,86%. Hal ini menunjukkan bahwa model tersebut dapat dianggap valid karena nilai kesalahan berada di bawah batas toleransi yang ditetapkan sebesar 5%. Dengan demikian, hasil simulasi numerik yang digunakan dalam penelitian ini dapat dipercaya dan digunakan sebagai acuan untuk analisis lebih lanjut dalam menentukan kekuatan struktur secara lebih akurat.

### 3.7 Hasil Analisis

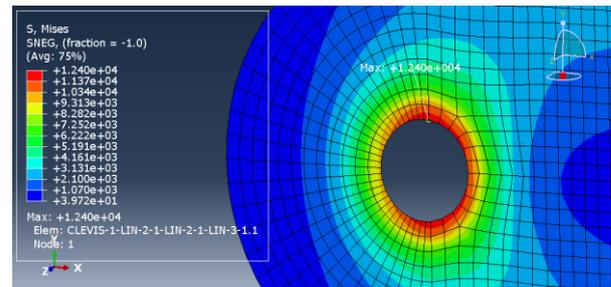
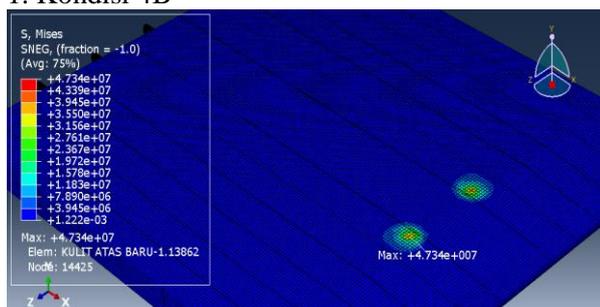
Berikut adalah hasil analisis yang disajikan dalam beberapa kondisi yang mewakili setiap perlakuan seperti yang tercantum dalam Tabel

Tabel 9. Deskripsi Kondisi Pembebanan

| Kondisi | Beban      | Posisi      | Sudut |
|---------|------------|-------------|-------|
| 4A      | Canter Bus | Front Wheel | -10°  |
| 4B      | Canter Bus | Front Wheel | 0°    |
| 4C      | Canter Bus | Front Wheel | +10°  |
| 4D      | Canter Bus | All Wheel   | -10°  |
| 4E      | Canter Bus | All Wheel   | 0°    |
| 4F      | Canter Bus | All Wheel   | +10°  |
| 4G      | Canter Bus | Rear Wheel  | -10°  |
| 4H      | Canter Bus | Rear Wheel  | 0°    |
| 4I      | Canter Bus | Rear Wheel  | +10°  |
| 12A     | FN 61 L    | Front Wheel | -10°  |
| 12B     | FN 61 L    | Front Wheel | 0°    |
| 12C     | FN 61 L    | Front Wheel | +10°  |
| 12D     | FN 61 L    | All Wheel   | -10°  |
| 12E     | FN 61 L    | All Wheel   | 0°    |
| 12F     | FN 61 L    | All Wheel   | +10°  |
| 12G     | FN 61 L    | Rear Wheel  | -10°  |
| 12H     | FN 61 L    | Rear Wheel  | 0°    |
| 12I     | FN 61 L    | Rear Wheel  | +10°  |
| 16A     | FN 61 FLHD | Front Wheel | -10°  |
| 16B     | FN 61 FLHD | Front Wheel | 0°    |
| 16C     | FN 61 FLHD | Front Wheel | +10°  |
| 16D     | FN 61 FLHD | All Wheel   | -10°  |
| 16E     | FN 61 FLHD | All Wheel   | 0°    |
| 16F     | FN 61 FLHD | All Wheel   | +10°  |
| 16G     | FN 61 FLHD | Rear Wheel  | -10°  |
| 16H     | FN 61 FLHD | Rear Wheel  | 0°    |
| 16I     | FN 61 FLHD | Rear Wheel  | +10°  |

### A. Hasil Analisis Canter Bus

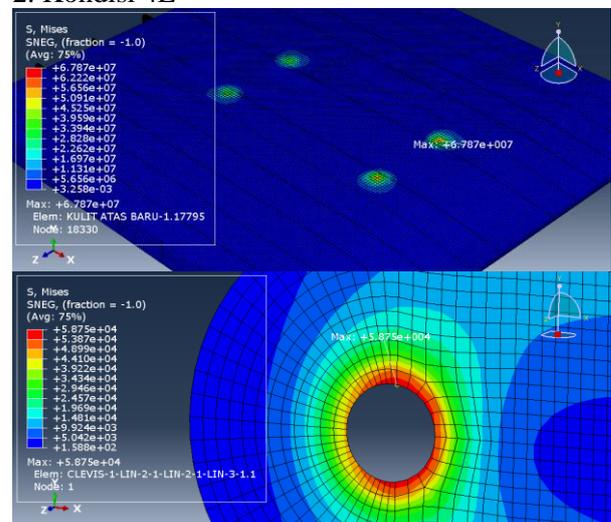
#### 1. Kondisi 4B



Gambar 15. Hasil Analisis Kondisi 4B

Pada beban Canter Bus dengan posisi beban berada di roda depan (*Front Wheel*) dan kondisi sudut  $0^\circ$  maka didapat *maximum stresses* sebesar 47,34 MPa pada node 14425 dan pada *clevis*-nya didapat sebesar 0,01240 MPa.

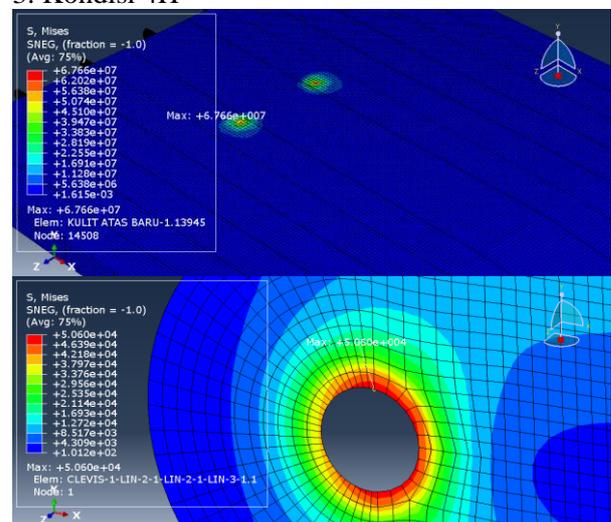
#### 2. Kondisi 4E



Gambar 16. Hasil Analisis Kondisi 4E

Pada beban Canter Bus dengan posisi beban di semua roda (*All Wheel*) dan kondisi sudut  $0^\circ$  maka didapat *maximum stresses* sebesar 67,87 MPa pada node 18330 dan pada *clevis*-nya didapat sebesar 0,05875 MPa.

#### 3. Kondisi 4H

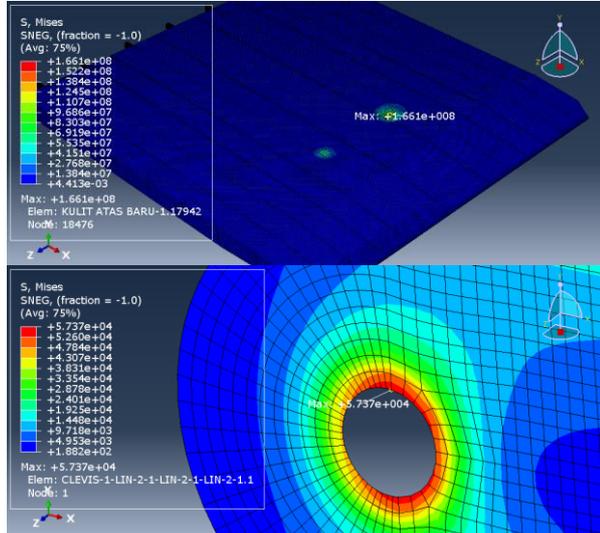


Gambar 17. Hasil Analisis Kondisi 4H

Pada beban Canter Bus dengan posisi beban di roda belakang (*Rear Wheel*) dan kondisi sudut  $0^\circ$  maka didapat *maximum stresses* sebesar 67,66 MPa pada node 14508 dan pada *clevis*-nya didapat sebesar 0,05060 MPa.

## B. Hasil Analisis FN 61 L

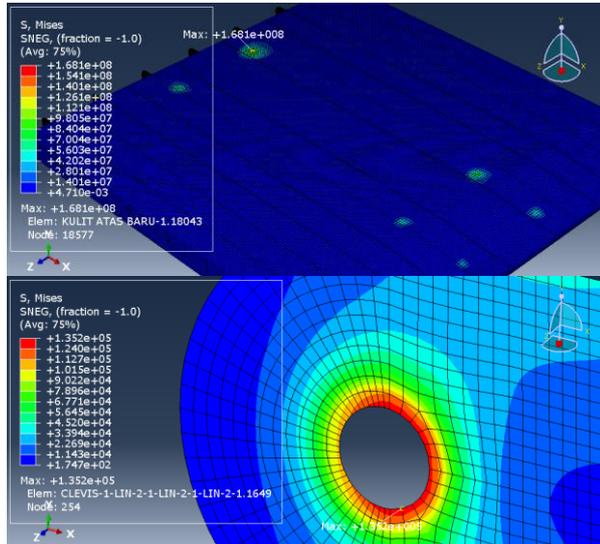
### 1. Kondisi 12B



Gambar 18. Hasil Analisis Kondisi 12B

Pada beban Truk FN 61 L dengan posisi beban di roda depan (*Front Wheel*) dan kondisi sudut  $0^\circ$  maka didapat *maximum stresses* sebesar 166,1 MPa pada node 18476 dan pada *clevis*-nya didapat sebesar 0,05737 MPa.

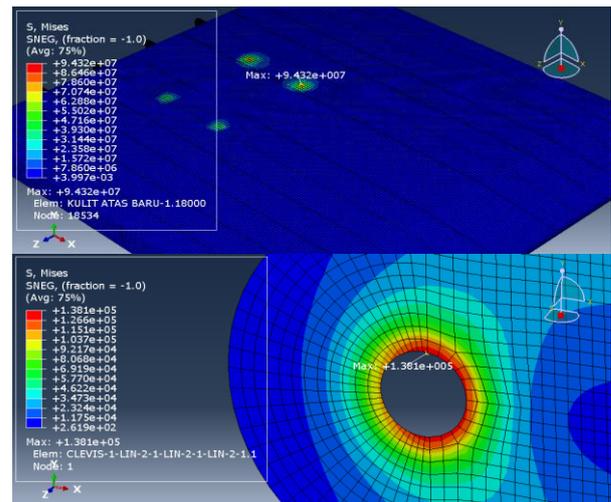
### 2. Kondisi 12E



Gambar 19. Hasil Analisis Kondisi 12E

Pada beban Truk FN 61 L dengan posisi beban di semua roda (*All Wheel*) dan kondisi sudut  $0^\circ$  maka didapat *maximum stresses* sebesar 168,1 MPa pada node 18577 dan pada *clevis*-nya didapat sebesar 0,1352 MPa.

### 3. Kondisi 12H

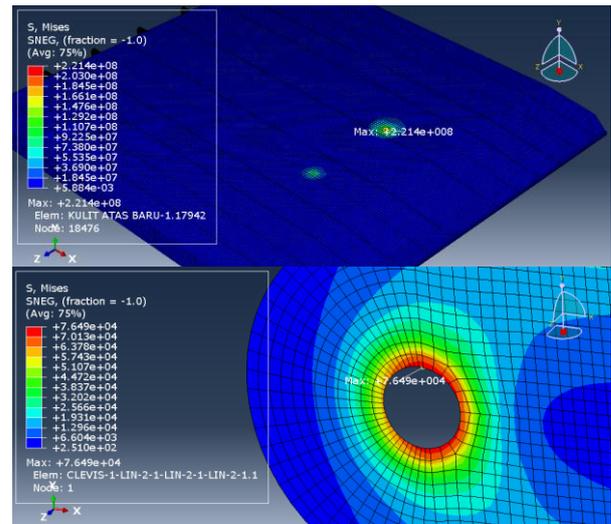


Gambar 20. Hasil Analisis Kondisi 12H

Pada beban Truk FN 61 L dengan posisi beban di roda belakang (*Rear Wheel*) dan kondisi sudut  $0^\circ$  maka didapat *maximum stresses* sebesar 94,32 MPa pada node 18534 dan pada *clevis*-nya didapat sebesar 0,1381 MPa.

## C. Hasil Analisis Beban 16 Ton

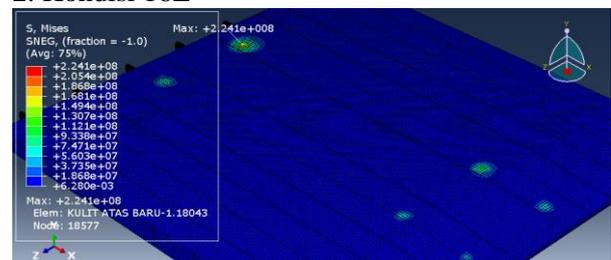
### 1. Kondisi 16B

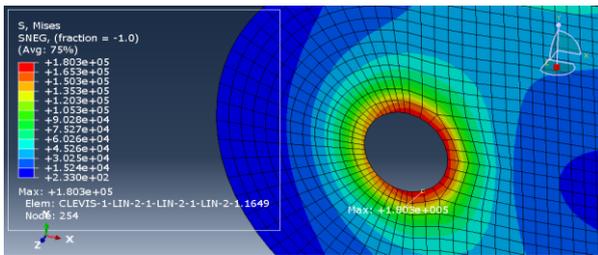


Gambar 21. Hasil Analisis Kondisi 16B

Pada beban Truk FN 61 FL HD dengan posisi beban di roda depan (*Front Wheel*) dan kondisi sudut  $0^\circ$  maka didapat *maximum stresses* sebesar 221,4 MPa pada node 18476 dan pada *clevis*-nya didapat sebesar 0,07649 MPa.

### 2. Kondisi 16E

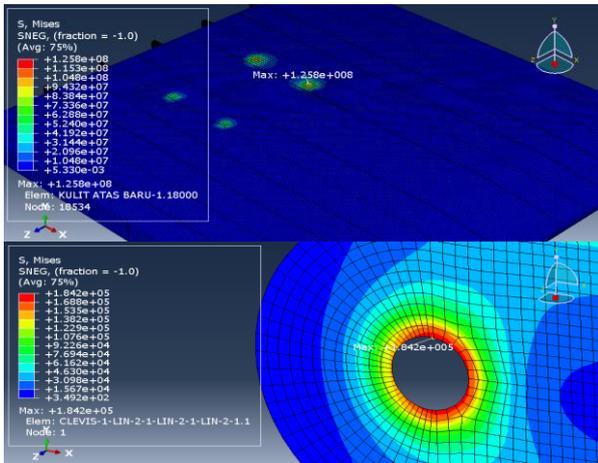




Gambar 22. Hasil Analisis Kondisi 16E

Pada beban Truk FN 61 FL HD dengan posisi beban di semua roda (*All Wheel*) dan kondisi sudut  $0^\circ$  maka didapat *maximum stresses* sebesar 224,1 MPa pada node 18577 dan pada *clevis*-nya didapat sebesar 0,1803 MPa.

### 3. Kondisi 16H



Gambar 23. Hasil Analisis Kondisi 16H

Pada beban Truk FN 61 FL HD dengan posisi beban di roda belakang (*Rear Wheel*) dan kondisi sudut  $0^\circ$  maka didapat *maximum stresses* sebesar 125,8 MPa pada node 18534 dan pada *clevis*-nya didapat sebesar 0,1842 MPa.

### 3.8 Rekapitulasi Hasil Analisis

Setelah analisis dilakukan pada setiap kondisi dengan mempertimbangkan semua keadaan pembebanan, diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 9. Rekap Hasil Analisis

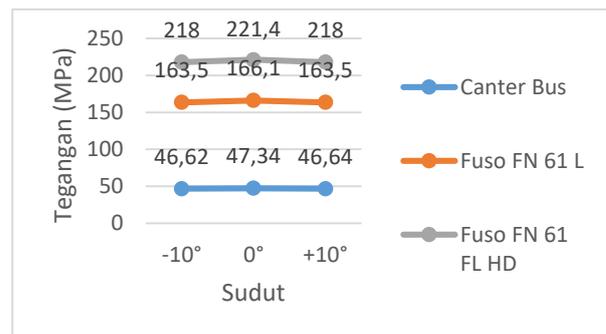
| No | Kondisi | $\sigma$ Maks (MPa) | $\delta$ Maks (mm) | Safety Factor |
|----|---------|---------------------|--------------------|---------------|
| 1  | 4A      | 46,62               | 2,910              | 4,07          |
| 2  | 4B      | 66,91               | 2,956              | 2,83          |
| 3  | 4C      | 66,69               | 2,916              | 2,84          |
| 4  | 4D      | 47,34               | 4,096              | 3,99          |
| 5  | 4E      | 67,87               | 4,156              | 2,79          |
| 6  | 4F      | 67,66               | 4,099              | 2,80          |
| 7  | 4G      | 46,64               | 3,711              | 4,07          |
| 8  | 4H      | 66,81               | 3,760              | 2,84          |
| 9  | 4I      | 66,60               | 3,705              | 2,85          |
| 10 | 12A     | 163,5               | 11,85              | 1,16          |

| No | Kondisi | $\sigma$ Maks (MPa) | $\delta$ Maks (mm) | Safety Factor |
|----|---------|---------------------|--------------------|---------------|
| 11 | 12B     | 165,6               | 12,03              | 1,14          |
| 12 | 12C     | 93,54               | 11,87              | 2,03          |
| 13 | 12D     | 166,1               | 11,28              | 1,14          |
| 14 | 12E     | 168,1               | 11,45              | 1,10          |
| 15 | 12F     | 94,32               | 11,28              | 2,01          |
| 16 | 12G     | 163,5               | 5,805              | 1,16          |
| 17 | 12H     | 165,6               | 5,737              | 1,14          |
| 18 | 12I     | 93,13               | 5,654              | 2,04          |
| 19 | 16A     | 218,0               | 15,80              | 0,87          |
| 20 | 16B     | 220,8               | 16,05              | 0,86          |
| 21 | 16C     | 124,7               | 15,82              | 1,52          |
| 22 | 16D     | 221,4               | 15,04              | 0,85          |
| 23 | 16E     | 224,1               | 15,27              | 0,84          |
| 24 | 16F     | 125,8               | 15,04              | 1,51          |
| 25 | 16G     | 218,0               | 7,740              | 0,87          |
| 26 | 16H     | 220,8               | 7,650              | 0,86          |
| 27 | 16I     | 124,2               | 7,539              | 1,52          |

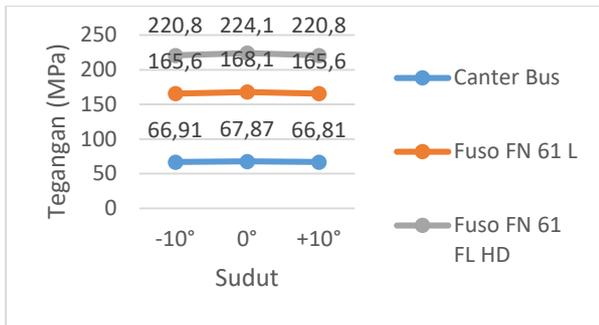
Tegangan dan defleksi maksimal tercatat pada saat *forward ramp door* diberi beban kendaraan Truk Fuso FN 61 FL HD, dengan beban berada di semua bagian roda (*All Wheel*), dan *ramp door* berada pada sudut  $0^\circ$ . Pada kondisi ini, tegangan mencapai 224,1 MPa dan defleksinya sebesar 15,27 mm. Sebaliknya, tegangan dan defleksi minimum terjadi pada kondisi di mana *forward ramp door* menerima beban kendaraan Canter Bus, dengan beban terletak di bagian roda bagian depan (*Front Wheel*), dan *ramp door* berada pada sudut  $-10^\circ$ . Pada kondisi tersebut, tegangan tercatat sebesar 46,62 MPa dan defleksinya sebesar 2,910 mm.

Dari data *safety factor* yang di dapat struktur ini aman untuk operasi dengan beban hingga 12 Ton pada semua posisi dan sudut. Operasi optimal sebaiknya tidak melebihi beban 12 Ton karena Faktor keamanan pada beban 12 Ton berkisar 1,1 - 2,0, menunjukkan margin keamanan yang lebih kecil. Untuk beban yang lebih tinggi, perlu pertimbangan khusus terutama dalam penguatan struktural.

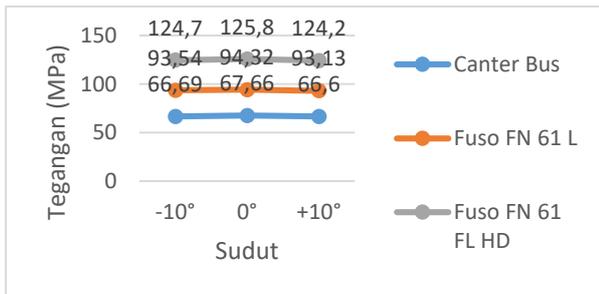
### 3,9 Dampak Perubahan Variabel



Gambar 24. Pada Posisi Beban *Front Wheel*



Gambar 25. Pada Posisi Beban All Wheel



Gambar 26. Pada Posisi Beban Rear Wheel

Data keseluruhan yang didapatkan dari hasil analisis yang kemudian akan disajikan dalam bentuk grafik untuk menggambarkan bagaimana setiap variabel mempengaruhi tegangan pada ramp door.

#### 4. KESIMPULAN

1. Tegangan pada ramp door meningkat seiring dengan meningkatnya beban yang diberikan. Kendaraan Truk Fuso FN 61 FL HD dengan berat total 16 Ton menghasilkan tegangan yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan Truk Fuso FN 61 L dengan berat total kendaraan 12 Ton dan Canter Bus dengan berat total kendaraan 4 ton pada semua posisi roda (*Front Wheel*, *All Wheel*, *Rear Wheel*). Tegangan maksimum terjadi pada kondisi ketika desain *forward ramp door* diberi beban kendaraan Truk Fuso FN 61 FL HD, dengan beban berada di semua bagian roda (*All Wheel*), dan kondisi *forward ramp door* berada pada sudut 0°. Tegangan yang didapatkan sebesar  $2,241 \times 10^8$  Pa atau 224,1 Mpa serta defleksinya sebesar 15,27 mm. Sementara tegangan minimum terjadi pada kondisi ketika desain *forward ramp door* diberi beban kendaraan Canter Bus, dengan beban terletak di bagian roda bagian depan (*Front Wheel*), dan kondisi *forward ramp door* pada sudut 10°. Tegangan tersebut sebesar  $4,662 \times 10^7$  Pa atau 46,62 MPa dan defleksinya sebesar 2,910 mm.
2. Struktur ini aman untuk operasi kendaraan Canter Bus dan Truk Fuso FN 61 L dengan beban hingga 12 Ton pada semua posisi dan sudut. Operasi optimal sebaiknya tidak

melebihi beban 12 Ton karena Faktor keamanan pada beban 12 Ton berkisar 1,1 - 2,0, menunjukkan margin keamanan yang lebih kecil.

3. Berdasarkan analisis faktor keamanan dari data yang diberikan, Struktur yang dianalisis menunjukkan respons yang berbeda terhadap variasi beban yang diterapkan. Pada kendaraan Canter Bus dengan berat total 4 Ton, struktur menampilkan tingkat keamanan yang sangat tinggi. Faktor keamanan yang melebihi 2,8 untuk semua posisi beban menunjukkan bahwa struktur memiliki kapasitas yang jauh melebihi beban operasional pada level ini. Ketika kendaraan Truk Fuso FN 61 L dengan berat total 12 Ton, struktur masih berada dalam batas aman, namun dengan margin keamanan yang berkurang secara signifikan. Faktor keamanan yang lebih besar dari 1,1 untuk semua posisi beban menunjukkan bahwa struktur masih mampu menahan beban ini dengan aman, tetapi telah mendekati batas kapasitasnya. Peningkatan beban lebih lanjut pada kendaraan Truk Fuso FN 61 FL HD dengan berat total 16 Ton menunjukkan batasan kritis dari struktur, mengindikasikan kondisi yang tidak aman dan risiko kegagalan struktural.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.I. Wulandari, N.W.D.Rahmasari, L.P.Adnyani, Alamsyah RJI. Fatigue Analysis Of 5000 GT Ferry Ro-Ro s Car Deck Using Finite Element Method. KAPAL J Mar Sci Technol. 2021;18(3):160–70.
- [2] N.F.Hidayat, I.P.Mulyatno H.Yudo. Analisa Kekuatan Struktur Stern Ramp Door KM.Gambolo dengan Variasi Beban Menggunakan Metode Elemen Hingga. Tek Perkapalan. 2017;5(1):181–8.
- [3] Alamsyah, A.I.Wulandari, M.U.Pawara, M.Y.Al-Hafidz. “Analisis kekuatan struktur ramp door haluan pada kapal Ferry Ro-Ro 1500 GT dengan variasi beban menggunakan Finite Element Method” Jurnal Teknik Mesin UM metro 2022.
- [4] Johan, I. P. Mulyatno and GR. Strength Analysis of Stern Ramp Door Construction of Steel Wire Rope System on Ro-Ro 500 GT Passenger Crossing Vessels Due to Static Loads Using the Finite Element Method. Tek Perkapalan. 2018;6(1):111–21.
- [5] Alamsyah, S.D. Nurcholik, Suardi, M.U. Pawarah, Jumalia. “The Strength and Fatigue

Life analysis of Sedan Car Ramp of The Ferry Ro-Ro 5000 GT Using Finite Element Method” *Kapal : Journal Of Marine Science and Technology*.18(2)(2021):101-111.

- [6] H. Yudo, Kiryanro, A.F. Adha, R. Wibowo “Strength Analysis of LCT Lady Primus 39.5 m Ramp Door Structure Due to Changes in Tilt Angle Variations and Load Variations” *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, Vol. 8(2), Jun. 2023. 124-132.
- [7] Khusna. D, Indra. 2008. *Teknik Konstruksi Kapal Baja*. Jilid 1.
- [8] Dokkum, van Klaas. 2003. “Ship Knowledge – A Modern Encyclopedia”, Dokmar, The Netherlands.
- [9] E. P. Popov, S. Nagarajan, and Z. A. Lu, *Mekanika teknik:(Mechanics of materials)*. Penerbit Erlangga, 1986.
- [10] L. L. Daryl, “A first course in the finite element method,” p. C. Incl. Bibliogr. Ref. index, 2007.
- [11] S. H. Samudro, H. Yudo, and A. F. Zakki, “Analisa Kekuatan Struktur *Stern Ramp Door* pada Kapal Ferry *Ro-Ro* 1000 GT,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 7, no. 4, 2019.
- [12] BKI, “Rules For Hull,” *Rules Classif. Constr.*, vol. II, 2018.