



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Analisa Kekuatan Struktur *Stern Ramp Door* pada Kapal *Ferry Ro-Ro 1000 GT*

Slamet Haryo Samudro<sup>1)</sup>, Hartono Yudo<sup>1)</sup>, Ahmad Fauzan Zakki<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Laboratorium Konstruksi

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

<sup>\*</sup>e-mail : [haryosee@gmail.com](mailto:haryosee@gmail.com), [hartono.yudo@yahoo.com](mailto:hartono.yudo@yahoo.com), [ahmadfzakki@yahoo.com](mailto:ahmadfzakki@yahoo.com)

### Abstrak

Kapal ferry ro-ro adalah kapal yang bisa memuat kendaraan dan penumpang yang berjalan masuk ke dalam dan keluar kapal dengan penggerakannya sendiri, sehingga disebut sebagai kapal roll on – roll off atau disingkat dengan ro-ro. Oleh karena itu, kapal ini dilengkapi dengan rampa (Ramp). Dari sebuah kasus nyata yang terjadi pada tahun 2018, ramp door KMP. Nusa Putera SP Ferry patah pada bagian engsel ramp door. Hal tersebut menjadi latar belakang penelitian konstruksi stern ramp door lebih lanjut sampai bagian engselnya. Dengan tujuan mengetahui tegangan maksimum, komponen paling kritis, dan karakteristik tegangan yang terjadi. Metode yang digunakan menggunakan software berbasis metode elemen hingga. Pada penelitian ini pembebanan di stern ramp door menggunakan dua jenis kendaraan dan satu kendaraan paling berat sebagai perbandingan dari beban perencanaan. Yaitu truk 16ton (1-2), 19 ton (1-1-2) dan 24 ton (1-2-2) dengan variasi pembebanan awal, tengah dan akhir sesuai posisi roda kendaraan dan dibuat 3 model berbeda dengan kondisi stern ramp door normal, 11° (+1000 mm), dan 349° (-1000 mm). Tegangan paling maksimum dan kritis terjadi pada stern ramp door normal beban truk 19 ton, posisi beban akhir (roda bagian belakang) dengan nilai stress 141,280 Mpa, deformasi sebesar 3,749 mm, aman menurut kriteria BKI.

Kata Kunci : Kapal ferry ro-ro, Stern ramp door, Tegangan, Beban Truk, Metode elemen hingga

### 1. PENDAHULUAN

Kapal ferry ro-ro adalah kapal yang bisa memuat kendaraan dan penumpang yang berjalan masuk ke dalam kapal dengan penggerakannya sendiri dan bisa keluar dengan sendiri juga, sehingga disebut sebagai kapal roll on – roll off atau disingkat dengan ro-ro. Oleh karena itu, kapal ini dilengkapi dengan rampa (Ramp) [1]. Rampa adalah konstruksi baja besar yang terdiri dari longitudinal beams berlapis untuk menjadi lintasan kendaraan. External Ramp (stern ramp, side ramp, bow ramp) digunakan untuk memungkinkan kendaraan beroda melakukan perjalanan antara dermaga dan kapal ro-ro. Sedangkan internal ramp yang digunakan untuk akses antar deck [2].

Berdasarkan Analisa kekuatan struktur stern ramp door KM.Gambolo dengan variasi beban menggunakan metode elemen hingga, telah didapatkan

hasil tegangan maksimum stern ramp door saat dimuati kendaraan truk tronton yaitu saat beban berada di tengah stern ramp door [3]. lalu berdasarkan penelitian tugas akhir analisa kekuatan konstruksi stern ramp door sistem steel wire rope pada kapal penyeberangan penumpang ro-ro 500 GT akibat beban statis dengan menggunakan metode elemen hingga dapat dihasilkan letak komponen paling kritis pada konstruksi stern ramp door terjadi pada saat roda belakang kendaraan truk tronton berada ditengah stern ramp door dengan nilai tegangan yang terjadi pada node 719 dengan nilai  $1,50 \times 10^8$  Pa dan dengan nilai deformasi maksimal sebesar 0,390 cm [4]. Dan juga hasil dari analisa fatigue kekuatan stern ramp door akibat beban dinamis pada KM.KIRANA I dengan metode elemen hingga diskrit elemen segitiga plane stress menyebutkan hasil penelitian dengan letak kondisi paling kritis konstruksi ramp door terdapat pada bagian tengah (middle) yaitu

*NODE* 140, karena memiliki umur terpendek dengan 3110 siklus (analitik) dan 3186 siklus (*software*). Hasil tersebut berada dibawah siklus yang di rencanakan yaitu 3456 siklus [5].

Namun dari sebuah contoh kasus nyata yang terjadi pada kamis (27/12) sore tahun 2018, ramp door yang di miliki KMP. Nusa Putera SP Ferry (kapal milik swasta) patah kejadian tersebut menyebabkan jatuhnya satu unit truk muatan kapal tersebut ke laut, dalam laporan kronologis yang dijelaskan oleh pihak PT ASDP Indonesia Ferry *La Mane*, patah yang terjadi ada pada bagian engsel ramp door yang diakibatkan oleh cuaca yang kurang kondusif [6]. Berdasarkan contoh kasus yang sudah diberikan, diperlukan adanya penelitian konstruksi *stern ramp door* lebih lanjut sampai bagian engselnya karena rentan terhadap kerusakan.

Berdasarkan penjelasan latar belakang diatas, adapun tujuan yang menjadi pokok bahasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai tegangan maksimum dan minimum pada konstruksi *stern ramp door* setelah diberi beban dan kondisi yang berbeda.
2. Mengetahui letak komponen paling kritis pada konstruksi *stern ramp door* setelah diberikan pembebanan.
3. Mengetahui karakteristik tegangan pada konstruksi *stern ramp door* setelah diberi beban dan kondisi yang berbeda.

## 2. METODE

### 2.1. Objek Penelitian

Kapal Ferry Ro-Ro atau kapal *roll on/roll off* adalah jenis kapal yang memuat penumpang dan kendaraan. Kapal Ferry Ro-Ro juga langsung terintegrasi dengan sistem transportasi darat dan jangka waktu bongkar muat yang cepat, dimana kendaraan masuk dan keluar kapal dengan penggeraknya sendiri [7]. Kapal ini memiliki pintu rampa (*Ramp Door*) sebagai lintasan atau penghubung kendaraan dan penumpang ke dermaga



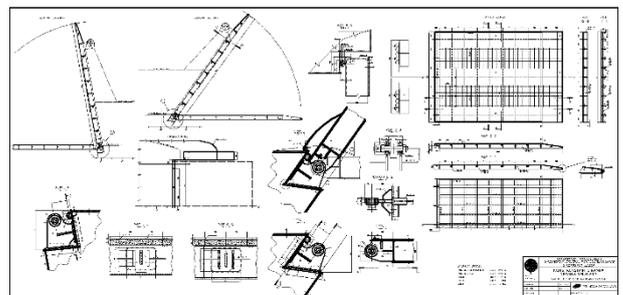
Gambar 1. Kapal Ferry Ro-Ro 1000 GT  
Ramp Door adalah sebuah platform berengsel yang berfungsi sebagai pintu akses dan juga lintasan

yang memungkinkan proses *loading/unloading* dan juga sebagai lintasan perpindahan kendaraan antar *deck* pada kapal Ro-Ro [2]. Menurut Karlsson (2004), ada 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. *Bow Door*

Ada beberapa persyaratan dalam pembuatan ramp door diantaranya adalah:

1. Kedap terhadap air laut dalam hal melalui pelayaran laut terbuka.
2. Kuat menahan beban kendaraan yang melewati pintu saat menaikkan dan menurunkan kendaraan.
3. Aerodinamis dalam hal melakukan perjalanan panjang [8].



Gambar 2. Konstruksi *Stern Ramp Door* Kapal Ferry Ro-Ro 1000 GT

1. Ukuran utama Ramp Door :
  - Panjang = 6055 mm
  - Lebar = 4300 mm
  - Tinggi = 200 mm
2. Tebal Plat
  - Bagian kanan dan kiri t = 8 mm
  - Bagian atas t = 10 mm
3. Profil
  - L = 75 x 75 x 7
  - T = 200 x 8 FL 100 x 10

### 2.2. Tegangan

Tegangan yang terjadi dapat menunjukkan kekuatan dari gaya yang bekerja dan menyebabkan suatu perubahan bentuk, tegangan bisa didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya yang bekerja pada suatu benda dengan luas penampang benda tersebut. [10] Secara matematis dapat dituliskan:

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

Dimana  $\sigma$  adalah tegangan dalam Pa, F adalah gaya yang bekerja (N), A adalah Luas penampang ( $m^2$ )

Perhitungan tegangan ijin pada *ramp door* menggunakan ketentuan BKI 2018 Vol II *Rules For Hull Section 6.H2* dimana persamaannya adalah sebagai berikut [9]:

$$\text{Bending Stress : } \sigma = \frac{120}{k} \text{ [Mpa]} \quad (2)$$

$$\text{Shear Stress : } \tau = \frac{80}{k} \text{ [Mpa]} \quad (3)$$

$$\text{Equivalent Stress : } \sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \frac{150}{k} \text{ [Mpa]} \quad (4)$$

Sedangkan untuk perhitungan lainnya adalah kriteria tegangan menurut *goodman* meliputi :

$$S_e = 0,5 \times S_u \quad (5)$$

$$S_m = \sigma_m = \frac{(\sigma_{max} + \sigma_{min})}{2} \quad (6)$$

$$S_a = \sigma_a = \frac{(\sigma_{max} - \sigma_{min})}{2} \quad (7)$$

$$n_f = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_u}} \quad (8)$$

Dimana ( $S_u$ ) adalah *stress ultimate*, ( $S_e$ ) adalah Nilai batas lelahan,  $\sigma_m$  adalah tegangan rata-rata,  $\sigma_a$  adalah tegangan amplitude,  $n_f$  adalah hasil dari kriteria *goodman*.

### 2.3. Regangan

Regangan (*Strain*) adalah hasil dari perbandingan antara pertambahan panjang suatu benda terhadap panjang awal benda tersebut [10]. Dimana regangan terjadi setelah benda tersebut deformasi plastis. Secara matematis regangan didefinisikan sebagai berikut:

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

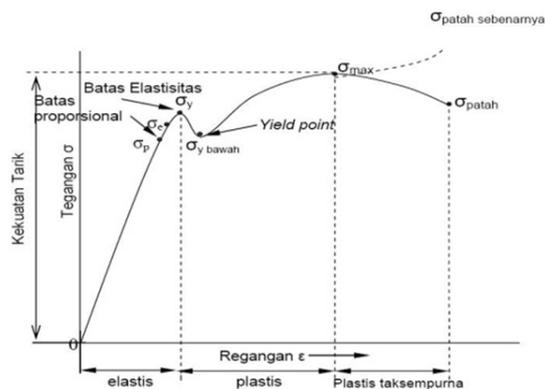
Dimana  $\epsilon$  adalah regangan,  $\Delta$  adalah panjang total dari objek (mm),  $L$  = Panjang mula-mula objek sebelum terjadi *stress* (mm).

### 2.4. Hubungan Tegangan -Regangan

Jika benda diberikan gaya tekan maka perpendekan akan terjadi, sebaliknya jika benda tersebut diberikan gaya tarik maka benda akan mengalami perpanjangan. [10]. Dalam bentuk lambang, hukum ini dinyatakan dengan persamaan:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (10)$$

Dimana  $E$  adalah modulus elastisitas/*modulus young*,  $\Sigma$  adalah tegangan dalam (Mpa), dan  $\epsilon$  adalah regangan



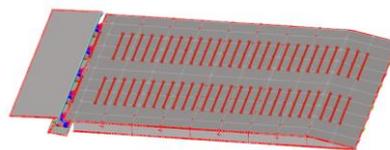
Gambar 3. Grafik Tegangan-Regangan plat baja struktural

### 2.5. Metode Elemen Hingga

Untuk menghitung kekuatan sebuah struktur dibutuhkan metode matematis yang rumit. Oleh karena itu untuk mempermudah perhitungan tersebut diciptakan sebuah metode baru yang disebut metode elemen hingga (*finite element method*) dapat disingkat FEM. Metode elemen hingga (*finite element method*) bisa dipandang sebagai perluasan dari metode perpindahan (untuk struktur rangka) ke masalah kontinum berdimensi dua dan tiga seperti pelat, struktur selaput (*shell*) dan benda pejal. Dalam metode ini, kontinum sebenarnya diganti dengan sebuah struktur ideal ekuivalen yang terdiri dari elemen-elemen unik (*discrete element*). Untuk masalah struktur, penyelesaian yang didapat adalah deformasi pada setiap titik (*nodes*) yang selanjutnya digunakan untuk mendapatkan besaran-besaran regangan (*strain*) dan tegangan (*stress*) [11].

### 2.6. Permodelan Altair Hypermesh

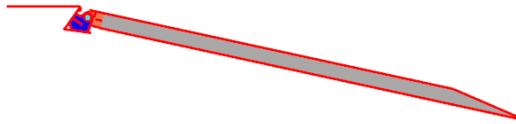
Dari gambar perencanaan struktur *stern ramp door* sudah di tentukan diantaranya ukuran – ukuran profil, jarak antara profil melintang dan juga profil memanjang, tebal pelat yang direncanakan serta bagian geometri lainnya yang sesuai dengan perencanaan.



Gambar 4. Model *stern ramp door* yang sudah di meshing

Dalam pembuatan model *stern ramp door* ini dibentuk geometri sesuai dengan gambar perencanaannya, lalu geometri itu akan di definisikan sebagai *surface* yang nantinya akan di meshing sesuai dengan ukuran elemennya. Proses meshing ini berfungsi membagi *surface* pada geometri menjadi *node* dan elemen. Untuk model *stern ramp door* ini, menggunakan meshing plat (2D) dengan jenis *mesh type Mixed mesh (Quads & Trias)*.

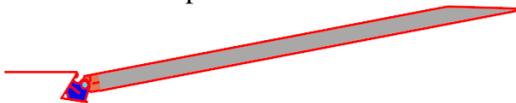
Pada proses selanjutnya dibuat 3 model berbeda dengan kondisi yang berbeda yaitu stern ramp door dengan kondisi normal, 11° (+1000 mm), dan 349° (-1000 mm) sesuai pada gambar 5-7.



Gambar 5. Stern ramp door 349°



Gambar 6. Stern ramp door normal



Gambar 7. Stern ramp door 11°

## 2.7. Pendefinisian Material

Pada penelitian ini jenis material yang dipakai adalah baja standar BKI-KI A36 yang mempunyai nilai :

<i>Modulus Elastisity</i>	= 200 Gpa
<i>Shear Modulus</i>	= 79,3 Gpa
<i>Poisson Ratio</i>	= 0,3
<i>Density</i>	= 7850 kg/m <sup>3</sup>
<i>Yield</i>	= 250 Mpa
<i>Ultimate Stress</i>	= 400 Mpa

## 2.8. Perhitungan Pembebanan

Dalam pembebanan pada stern ramp door ini menggunakan dua jenis kendaraan dan satu jenis kendaraan sebagai bahan perbandingan.

Tabel 1. Berat masing-masing kendaraan

No	Kendaraan	Sumbu Roda	Beban (T)
1	Truck Sedang	(1-2)	16
2	Truck Tronton 1	(1-1-2)	19
	[Perbandingan]		
3	Truck Tronton 2	(1-2-2)	24

Data berat beban maksimal kendaraan yang digunakan berdasarkan peraturan dari Departemen Perhubungan Direktorat Jendral Perhubungan Darat tahun 2008 [12]

Tabel 2. Beban per-tumpuan kendaraan

Beban (T)	Beban Terdistribusi (Sumbu)		
	1	2	3
16	6	10	-
19	5	6	8
24	6	9	9

Tabel 3. Force per-sumbu kendaraan

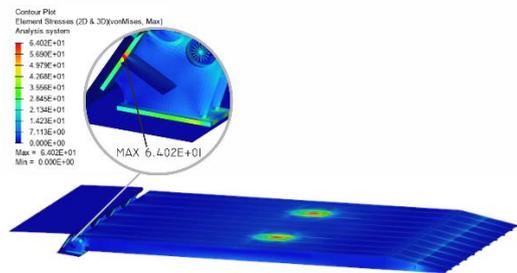
Beban (T)	Force pada roda per-Sumbu (N)		
	1	2	3
16	29400 x 2	24500 x 4	-
19	24500 x 2	29400 x 2	19600 x 4
24	29400 x 2	22050 x 4	22050 x 4

Pada tabel 2 menjelaskan tentang beban yang di terima per gandar (sumbu) sedangkan pada tabel 3 menjelaskan tentang *force* yang di terima per tumpuan yang di bagi atas jumlah roda pada setiap gandar (sumbu).

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

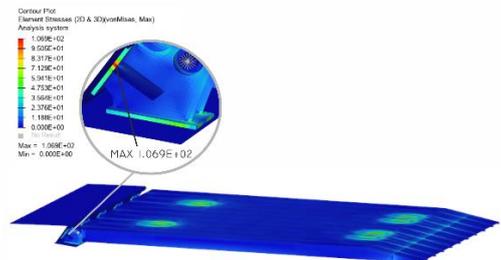
### 3.1. Hasil analisa *stern ramp door* pada kendaraan truk sedang 16 ton

#### a) Beban awal (roda bagian depan) normal



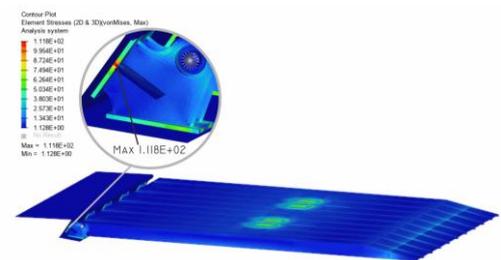
Gambar 8. *Stress* ketika beban awal

#### b) Beban tengah (semua bagian roda) normal



Gambar 9. *Stress* ketika beban tengah

#### c) Beban akhir (roda bagian belakang) normal



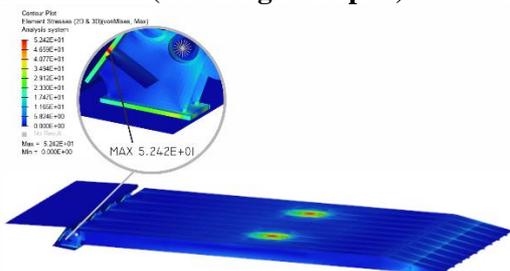
Gambar 10. *Stress* ketika beban akhir

Tegangan maksimal yang terjadi saat kondisi beban awal truk 16ton pada *konstruksi stern ramp door* normal adalah sebesar 64,016 Mpa, tegangan maksimal

yang terjadi saat kondisi beban tengah truk 16 ton pada *konstruksi stern ramp door* normal adalah sebesar 106,918 Mpa, sedangkan tegangan maksimal yang terjadi saat kondisi beban akhir truk 16 ton pada *konstruksi stern ramp door* normal adalah sebesar 111,846 Mpa. Tegangan maksimal pada ketiga konstruksi ini terjadi pada bagian engsel yang mendapat respon struktur beban *vertical* dari kondisi pembebanan kendaraan yang berbeda-beda diatas *stern ramp door* sehingga terjadi tegangan maksimal.

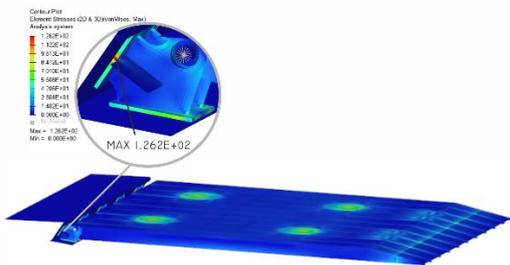
### 3.2. Hasil analisa *stern ramp door* pada kendaraan truk sedang 19 ton

#### a) Beban awal (roda bagian depan) normal



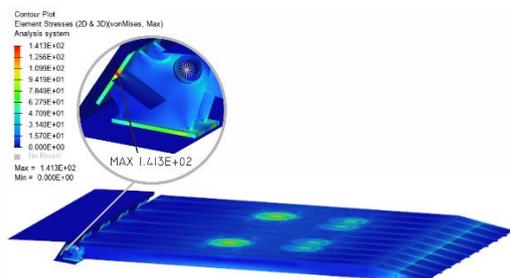
Gambar 11. *Stress* ketika beban awal

#### b) Beban tengah (semua bagian roda) normal



Gambar 12. *Stress* ketika beban tengah

#### c) Beban akhir (roda bagian belakang) normal



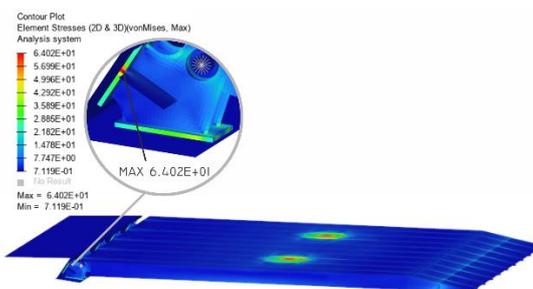
Gambar 13. *Stress* ketika beban akhir

Tegangan maksimal yang terjadi saat kondisi beban awal truk 19 ton pada *konstruksi stern ramp door* normal adalah sebesar 52,416 Mpa, tegangan maksimal yang terjadi saat kondisi beban tengah truk 19 ton pada *konstruksi stern ramp door* normal adalah sebesar 126,173 Mpa, sedangkan tegangan maksimal yang terjadi saat kondisi beban akhir truk 19 ton pada *konstruksi stern ramp door* normal adalah sebesar

141,280 Mpa. Tegangan maksimal pada ketiga konstruksi ini terjadi pada bagian engsel yang mendapat respon struktur beban *vertical* dari kondisi pembebanan kendaraan yang berbeda-beda diatas *stern ramp door* sehingga terjadi tegangan maksimal.

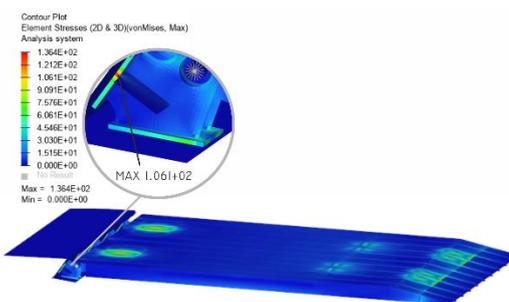
### 3.3. Hasil Analisa pada *stern ramp door* kendaraan truk sedang 24 ton (Perbandingan)

#### a) Beban awal (roda bagian depan) normal



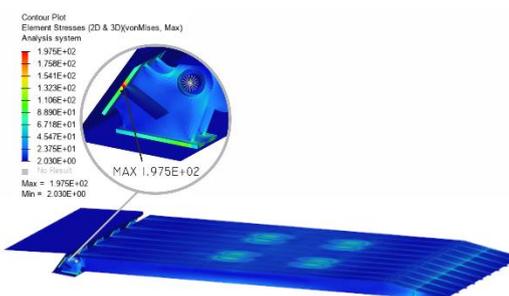
Gambar 14. *Stress* ketika beban awal

#### b) Beban tengah (semua bagian roda) normal



Gambar 15. *Stress* ketika beban tengah

#### c) Beban akhir (roda bagian belakang) normal



Gambar 16. *Stress* ketika beban akhir

Tegangan maksimal yang terjadi saat kondisi beban awal truk 24 ton pada *konstruksi stern ramp door* normal adalah sebesar 64,025 Mpa, tegangan maksimal yang terjadi saat kondisi beban tengah truk 24 ton pada *konstruksi stern ramp door* normal adalah sebesar 136,365 Mpa, sedangkan tegangan maksimal yang terjadi saat kondisi beban akhir truk 24 ton pada *konstruksi stern ramp door* normal adalah sebesar 197,487 Mpa. Sebagai bahan perbandingan tegangan maksimal pada ketiga konstruksi ini terjadi pada bagian

engsel yang mendapat respon struktur beban *vertical* dari kondisi pembebanan kendaraan yang berbeda-beda diatas *stern ramp door* sehingga terjadi tegangan maksimal diantara yang lainnya juga karena beban 24 ton sebagai perbandingan beban diatas beban yang direncanakan.

### 3.4. Rangkuman hasil analisis struktur

Tabel 4. Hasil rangkuman analisa semua kondisi

No	Jenis Kendaraan	Kondisi Beban	$\sigma$ maks (Mpa)	$\delta$ maks (mm)
1	Truk 2 as 16 T	Awal	64,016	2,385
		Tengah	106,918	2,036
		Akhir	111,846	2,981
2	Truk 2 as 16 T 11°	Awal	59,924	2,246
		Tengah	90,772	1,798
		Akhir	104,000	2,285
3	Truk 2 as 16 T 349°	Awal	58,489	2,166
		Tengah	94,770	1,729
		Akhir	103,756	2,721
4	Truk 3 as 19 T	Awal	52,416	2,034
		Tengah	126,173	2,708
		Akhir	141,280	3,749
5	Truk 3 as 19 T 11°	Awal	49,582	1,928
		Tengah	105,474	2,336
		Akhir	123,951	3,360
6	Truk 3 as 19 T 349°	Awal	47,998	1,853
		Tengah	112,735	2,439
		Akhir	129,719	3,407
[Perbandingan]				
7	Truk 3 as 24 T Normal	Awal	64,025	2,385
		Tengah	136,365	1,893
		Akhir	197,487	3,945

Dari data pada tabel 4 didapat kondisi dengan tegangan paling tinggi dengan nilai 141,280 Mpa dengan deformasi sebesar 3,749 mm. Lalu dari hasil model dengan beban pembanding didapat nilai tegangan maks sebesar 197,487 Mpa dan deformasi sebesar 3,945. Kedua hasil tersebut terjadi pada saat kondisi beban akhir.

### 3.5. Safety Factor (Faktor keamanan)

Faktor keamanan (*Safety factor*) adalah faktor yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan teknik dari beban luar, yaitu beban tekan maupun tarik (sesuai dengan rumus).

Tabel 5. *Safety Factor* (Material) (Mpa)

No	Jenis Kendaraan	$\sigma$ maks	$\sigma$ ijin	Sf	Ket.
1	Truk 2 as 16 T Normal	111,846	250	Ok	Aman
2	Truk 2 as 16 T 11°	104,000	250	Ok	Aman
3	Truk 2 as 16 T 349°	103,756	250	Ok	Aman
4	Truk 3 as 19 T Normal	141,280	250	Ok	Aman
5	Truk 3 as 19 T 11°	123,951	250	Ok	Aman
6	Truk 3 as 19 T 349°	129,719	250	Ok	Aman
[Perbandingan]					
7	Truk 3 as 24 T Normal	197,487	250	Ok	Aman

Pada tabel 5 dilakukan perhitungan *safety factor* pada kondisi pembebanan paling kritis di setiap

variasi (beban akhir) dan didapatkan hasil *safety factor* paling kecil adalah 1,77 pada keadaan *stern ramp door* normal dengan beban truk 19 T lalu dilakukan perbandingan dengan truk 24 T dengan hasil *safety factor* 1,27, dimana *safety factor*-nya masih memenuhi ( $sf > 1$ ) namun sudah mendekati 1 (kritis).

Tabel 6. Kriteria menurut BKI (Mpa)

No	Jenis Kendaraan	$\sigma$ maks	$\sigma$ ijin	Ket.
1	Truk 2 as 16 T Normal	111.846	150	Memenuhi
2	Truk 2 as 16 T 11°	104.000	150	Memenuhi
3	Truk 2 as 16 T 349°	103.756	150	Memenuhi
4	Truk 3 as 19 T Normal	141.280	150	Memenuhi
5	Truk 3 as 19 T 11°	123.951	150	Memenuhi
6	Truk 3 as 19 T 349°	129.719	150	Memenuhi
[Perbandingan]				
7	Truk 3 as 24 T Normal	197.487	150	Tidak Memenuhi

Pada tabel 6 dilakukan perhitungan kriteria keamanan menurut BKI pada kondisi pembebanan paling kritis di setiap variasi (beban akhir) dan didapatkan hasil nilai kriteria keamanan paling kecil adalah 1,06 pada keadaan *stern ramp door* normal dengan beban truk 19 ton lalu dilakukan perbandingan dengan truk 24 ton dengan hasil nilai kriteria keamanan 0,75, dimana nilai kriteria keamanan pada keadaan *stern ramp door* normal dengan beban truk 19 ton sudah hampir 1 (1,06) yang menandakan sangat kritis namun masih memenuhi sedangkan untuk perbandingan dengan pembebanan mobil truk 24 ton, model *stern ramp door* sudah *failure* (patah) dengan nilai kriteria keamanan 0,75 ( $sf < 1$ ) yang artinya tidak memenuhi menurut standar BKI.

Tabel 7. Hasil  $\sigma_m$  dan  $\sigma_a$  (Mpa)

No	Jenis Kendaraan	$\sigma$ maks	$\sigma$ min	$\sigma_m$	$\sigma_a$
1	Truk 16 ton (Normal)	111,846	64,016	87,931	23,915
2	Truk 16 ton (11°)	104,000	59,924	81,962	22,038
3	Truk 16 ton (349°)	103,756	58,489	81,123	22,634
4	Truk 19 ton (Normal)	141,280	52,416	96,848	44,432
5	Truk 19 ton (11°)	123,951	49,582	86,767	37,185
6	Truk 19 ton (349°)	129,719	47,998	88,859	40,861
[Perbandingan]					
7	Truk 24 ton (Normal)	197,487	64,025	130,56	66,731

Pada tabel 7 dilakukan perhitungan  $\sigma_m$  (Tegangan rata-rata) dan  $\sigma_a$  (Tegangan amplitudo) dari hasil nilai  $\sigma$  maks dan  $\sigma$  min dari setiap kondisi pembebanan paling kritis di setiap variasi (beban akhir).

Tabel 8. Kriteria menurut Goodman (Mpa)

No	Jenis Kendaraan	$\sigma_a/se$	$\sigma_m/su$	$\frac{\sigma_a/se}{\sigma_m/su}$	Ket.
1	Truk 16 ton (Normal)	0,120	0,220	0,339	Aman
2	Truk 16 ton (11°)	0,110	0,205	0,315	Aman
3	Truk 16 ton (349°)	0,113	0,203	0,316	Aman
4	Truk 19 ton (Normal)	0,222	0,242	0,464	Aman
5	Truk 19 ton (11°)	0,186	0,217	0,403	Aman
6	Truk 19 ton (349°)	0,204	0,222	0,426	Aman
[Perbandingan]					
7	Truk 24 ton (Normal)	0,334	0,327	0,661	Kritis

Pada tabel 8 dilakukan perhitungan kriteria keamanan menurut Goodman pada kondisi pembebanan paling kritis di setiap variasi (beban akhir) dan didapatkan hasil nilai kriteria keamanan paling kecil adalah 2,15 pada keadaan *stern ramp door* normal dengan beban truk 19 ton lalu dilakukan perbandingan dengan truk 24 ton dengan hasil nilai kriteria keamanan 1,5, dimana nilai kriteria keamanan pada keadaan *stern ramp door* normal dengan beban truk 19 ton menjadi nilai yang paling kritis atau yang paling mendekati 1 dibandingkan model dan variasi yang lainnya walaupun nilainya 2,15 ( $sf > 1$ ) yang berarti masih memenuhi kriteria Goodman, sedangkan untuk perbandingan dengan pembebanan mobil truk 24 ton, model *stern ramp door* sudah mulai mendekati kritis dengan nilai kriteria keamanan 1,5 ( $sf > 1$ ) yang artinya memenuhi kriteria keamanan menurut Goodman.

### 3.6. Validasi

Validasi dari hasil perhitungan merupakan yang menunjukkan keakuratan perhitungan dari suatu pemodelan. Cara yang ditempuh untuk melakukan validasi adalah dengan melakukan perbandingan hasil perhitungan antara perhitungan *software* dengan perhitungan manual (sesuai dengan rumus). Perhitungan manual yang akan dilakukan dengan sebagai berikut:

#### a. Perhitungan manual

$$Defleksi = \frac{F \times L^3}{3 \times E \times I}$$

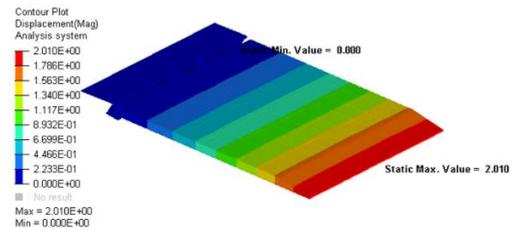
Dimana F adalah Force (N), L adalah Panjang Model (mm), E adalah Modulus Elastisitas (Mpa), dan I adalah Inersia (mm<sup>4</sup>) maka:

$$= \frac{1000 \times 6055^3}{3 \times 2 \times 10^5 \times 179906434,9}$$

$$= 2,05 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan manual diatas defleksi yang terjadi sebesar 2,05 mm.

### b. Perhitungan menggunakan *software*



Gambar 17. Validasi menggunakan *software*

Tabel 11. Hasil Validasi

Hasil Analisa	Hasil Perhitungan	Error
2,01 mm	2,05 mm	2,32 %

Berdasarkan hasil validasi, perhitungan defleksi menurut analisa *software* adalah 2,01mm dan perhitungan defleksi secara manual adalah 2,05 mm, sehingga hasil persentase *error* sebesar 2,32% dengan persentase koreksi sebesar 97,68%..

## 4. KESIMPULAN

Dari percobaan dan analisa yang sudah dilakukan pada model struktur *stern ramp door* kapal ferry ro-ro 1000 GT setelah diberi beban dan kondisi yang berbeda di dapatkan hasil Percobaan dan analisa yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa: 1) Tegangan paling maksimum yang terjadi pada kondisi *stern ramp door* normal dengan kendaraan truk 19 ton pada posisi beban akhir (roda bagian belakang) dengan nilai *stress* 141,280 Mpa dan deformasi sebesar 3,749 mm dan tegangan paling minimum terjadi pada kondisi *stern ramp door* 349° dengan kendaraan truk 19 ton pada posisi beban awal (roda bagian depan) dengan nilai *stress* sebesar 47,998 Mpa dan deformasi sebesar 1,853 mm. 2) Letak komponen kritis yang terjadi rata-rata pada bagian engsel *stern ramp door* di setiap variasi posisi pembebanan akhir (roda bagian belakang) dan yang paling kritis pada kondisi *stern ramp door* normal. 3) Karakteristik tegangan yang terjadi dengan beberapa parameter yaitu *safety factor* menurut bahan, kriteria keamanan menurut BKI dan kriteria keamanan menurut Goodman, dari ke-tiga kriteria tersebut, semua model dan variasi pembebanan memenuhi standar.

Dari percobaan perbandingan jika *stern ramp door* diberi beban truk sebesar 24 ton dengan sumbu 1-2-2, maka dapat dilihat bahwa nilai *stress* yang di dapat sudah melewati batas kriteria keamanan dari BKI yaitu 197,487 Mpa dengan nilai kriteria keamanan menurut BKI yang sangat kecil yaitu 0,75 ( $sf < 1$ ) yang artinya tidak memenuhi standar BKI.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Allah SWT yang selalu memberikan berkah dan rahmatnya, serta Orang Tua dan Keluarga yang selalu mendukung dan mendoakan penulis, dan juga kepada pembimbing 1 dan pembimbing 2, serta rekan-rekan yang sudah membantu dalam penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dokkum, V. Klaas, "Ship Knowledge – A Modern Encyclopedia", Dokmar, The Netherlands, 2003.
- [2] J. Babicz, Wäritsilä Encyclopedia of Ship Technology, 2015.
- [3] N.F. Hidayat, I. Pujo M, and H. Yudo, "Analisa Kekuatan Struktur Stern Ramp Door KM.Gambolo dengan Variasi Beban Menggunakan Metode Elemen Hingga", *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, Vol. 5, no.1, Jan 2017.
- [4] Johan, I.Pujo M, and G. Rindo, "Analisa Kekuatan Konstruksi Stern Ramp Door Sistem Steel Wire Rope Pada Kapal Penyeberangan Penumpang Ro-Ro 500 GT Akibat Beban Statis Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga", *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, Vol. 6, no.1, Jan 2018.
- [5] S. Jokosisworo and J. Sebastian, " Analisa Fatigue Kekuatan Stern Ramp Door Akibat Beban Dinamis Pada KM.KIRANA I Dengan Metode Elemen Hingga Diskrit Elemen Segitiga Plane Stress", *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, Vol. 8, no.3, Okt 2011.
- [6] H. Rekanza, "Ramp Door patah satu unit truk tercebur ke laut di bakauheni" [Online].<https://lampungpro.com/post/16728/ramp-door-patah-satu-unit-truk-tercebur-ke-laut-di-bakauheni/>(5.15 pm 28 maret)
- [7] A. F. Molland, "The Maritime Engineering Reference Book: A Guide to Ship Design, Construction and Operation," *Elsevier*. p. 920, 2011.
- [8] U. B. Karlsson and A. Ulfvarson, "Structural safety analysis of bow doors," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part M J. Eng. Marit. Environ.*, vol. 220, no. 1, pp. 1–12, 2006.
- [9] B. K. Indonesia, "Rules For Hull", *Rules Classif. Constr.*, vol. II, 2018.
- [10] E.P. Popov, "Mechanics of Materials", 2nd edition, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1994.
- [11] D.L. Logan, 2002. "A First Course in the Finite Element Method", 4 edition. Brooks/ Cole Thompson Learning, Boston.
- [12] Panduan Batasan Maksimum Perhitungan JBI dan JBKI untuk Mobil Barang, Kendaraan Khusus, Kendaraan Penarik berikut Kereta Tempelan/ Kereta Gandengan, Departemen Perhubungan Direktorat Jendral Perhubungan Darat SK-Tahun 2008.