



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Kekuatan Struktur *Stern Ramp Door* KM.Gambolo dengan Variasi Beban Menggunakan Metode Elemen Hingga

Nur Fajar Hidayat¹⁾, Imam Pujo Mulyatno¹⁾, Hartono Yudo¹⁾

¹⁾Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email : nurfajarhidayat11@gmail.com pujomulyatno2@gmail.com hartonoyudo@gmail.com

Abstrak

KM. GAMBOLO adalah kapal type (*Ro – Ro Passanger Ship*) milik Direktorat Jendral Perhubungan Darat yang memiliki rute pelayaran dari Padang-Mentawai sejauh 110 mil. Kapal ini mampu mengangkut penumpang dan kendaraan yang relatif banyak. Untuk memudahkan proses membongkar dan memuat kendaraan dari dermaga penyeberangan ke kapal, maka KM. GAMBOLO dilengkapi dengan akses keluar masuk kendaraan maupun penumpang berupa pintu rampa (*ramp door*). Penelitian tentang kekuatan konstruksi *stern ramp door* perlu diperhatikan karena jika terjadi perubahan muatan dari truk sedang diganti truk besar (tronton) struktur *stern ramp door* akan menerima beban yang lebih besar dari truk besar (tronton), karena awalnya *stern ramp door* direncanakan untuk dilewati truk sedang dan sedan. Titik tumpu pembebananyang digunakan berdasarkan dari peraturan dari Departemen Perhubungan Direktorat Jendral Perhubungan Darat tahun 2008. Analisa yang digunakan adalah analisa beban statis untuk mengetahui karakteristik dan letak tegangan terbesar pada konstruksi *stern ramp door* berdasarkan beberapa variasi pembebanan yaitu saat *stern ramp door* mengalami kemiringan 15° dan tidak mengalami kemiringan. Hasil analisa menggunakan program berbasis Metode Elemen Hingga didapatkan hasil *stress* terbesar sedan sebesar $15,4 \text{ N/mm}^2$, truk sedang $43,3 \text{ N/mm}^2$, Truk tronton 112 N/mm^2 . Tegangan yang dihasilkan masih dalam kondisi aman, berdasarkan rules BKI yaitu 150 N/mm^2 . Untuk sedan sf sebesar 9,74 truk sedang sf sebesar 3,46 dan truk tronton sf sebesar 1,34, sehingga jika terjadi penggantian muatan dari truk sedang ke truk tronton konstruksi ramp door K.M GAMBOLO masih dalam kondisi aman.

Kata Kunci: kekuatan struktur, *stern ramp door*, metode elemen hingga

1. PENDAHULUAN

Fungsi dibuatnya kapal salah satunya adalah untuk alat transportasi. Sebagai alat transportasi, kapal dibuat untuk menjamin keamanan serta keselamatan daripada awak kapal, penumpang dan muatannya. Kekuatan struktur konstruksi merupakan salah satu aspek yang harus diperhatikan dalam pembuatan kapal, di samping kekakuan, biaya fabrikasi, keandalan, biaya pemeliharaan, dsb[1].

KM. GAMBOLO adalah kapal type (*Ro – Ro Passanger Ship*) milik Direktorat Jendral Perhubungan Darat dengan rute pelayaran dari Padang ke Mentawai sejauh 110 mil. Kapal ini mampu mengangkut penumpang maksimal 265 orang dan 21 kendaraan terdiri dari 12 truk sedang

dan 9 sedan.

Untuk proses bongkar muat kendaraan maupun penumpang dari dermaga penyeberangan ke kapal, KM. GAMBOLO dilengkapi dengan akses keluar masuk kendaraan maupun penumpang berupa pintu rampa (*ramp door*). Pada kapal ini terdapat 2 buah *ramp door*. *Ramp door* pada buritan KM. GAMBOLO menggunakan sistem *steel wire rope* (*stern ramp door*). Pada saat bongkar muat kendaraan maupun penumpang, *stern ramp door* dilalui oleh berbagai macam kendaraan. *Stern ramp door* pada KM. GAMBOLO direncanakan untuk dilewati truk sedang dan sedan, Penelitian tentang kekuatan konstruksi *stern ramp door* perlu diperhatikan karena jika terjadi perubahan muatan

dari truk sedang diganti truk besar tentunya struktur rampdor akan menerima beban yang lebih besar dari truk besar, dengan adanya hal tersebut mampukah *stern ramp door* menahan beban dari truk tronton yang masuk, yang awalnya hanya direncanakan untuk dilewati truk sedang.

Pada dasarnya perencanaan konstruksi *stern rump door* adalah untuk merencanakan konstruksi yang mempunyai tingkat tegangan pada batas yang diijinkan dan bisa diterima oleh konstruksi tersebut.

Berdasarkan latar belakang di atas maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik tegangan yang terjadi pada konstruksi *stern ramp door* KM. GAMBOLO dalam beberapa variasi pembebanan.
2. Mengetahui *safety factor* pada kontruksi *stern rump door* KM GAMBOLO.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kapal Ro Ro

Kapal jenis Ro-Ro adalah kapal yang dirancang untuk mengangkut kendaraan, dimana kendaraan yang dimuat dapat langsung berjalan dengan rodanya sendiri melalui rampa yang dipasang pada haluan, buritan atau sisi kapal [2]. Kapal Ro-Ro biasanya digunakan untuk menghubungkan antara dua dermaga yang berjarak pendek dan mempunyai jadwal penyeberangan yang sangat padat. Berkembangnya teknologi perkapalan membuat kapal Ro-Ro sering dipakai dalam penyeberangan jarak jauh. [3]

2.2. Ramp Door

Ramp Door adalah suatu konstruksi pintu rampa pada kapal yang berfungsi untuk akses keluar masuknya kendaraan ataupun muatan yang akan diangkut suatu kapal. Untuk sistem penggerak dari ramp door ada 2 jenis, yaitu dengan menggunakan sistem hidrolis atau dengan menggunakan sistem *steel wire rope*. 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. *Foldable Stern Ramp Door* [4]

Berikut ada beberapa persyaratan dalam pembuatan *ramp door* diantaranya adalah:

1. Kedap terhadap air laut saat melalui pelayaran laut terbuka.
2. Kuat menahan beban kendaraan yang melewati pintu saat dilewati kendaraan ataupun muatan.
3. Aerodinamis saat melakukan perjalanan panjang.

2.3. Tegangan (*Stress*)

Secara matematis tegangan didefinisikan sebagai berikut :

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

σ = tegangan

F = gaya yang bekerja tegak lurus terhadap potongan

A = merupakan luasan yang bersangkutan

Tegangan normal yang menghasilkan tarikan potongan dan mendorong potongan disebut tegangan tarik (*tensile stress*) dan tegangan tekan (*compressive stress*) [5].

2.4. Regangan (*Strain*)

Regangan adalah perbandingan antara penambahan panjang benda terhadap panjang mula mula benda tersebut [5].

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{L}$$

ε = Regangan

Δ = Panjang total

L = Panjang awal

2.5. Hubungan Tegangan dan Regangan

Hubungan antara tegangan dan regangan boleh dikatakan berbrntuk linier untuk semua bahan tetapi hanya berlaku sampai batas proporsional bahan dengan kata lain hukum Hooke hanya berlaku pada saat bahan dalam kondisi elastis. [6]

$$E = \frac{\text{tegangan}}{\text{regangan}} = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Tetapan *E* ini disebut dengan *modulus elastisitas* atau *modulus Young*. Nilai Modulus elastis merupakan suatu sifat yang pasti dari suatu bahan. Untuk kebanyakan baja, nilai *E* antara 200 dan 210 x 10⁹ N/m² atau *E* = 210 x 10⁶ kN/m²[5].

2.6. Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

Faktor keamanan adalah faktor yang digunakan untuk mengetahui aman tidaknya suatu material untuk digunakan setelah material tersebut mendapat gaya ataupun beban.

$$FS = \frac{\sigma_{Ultimate}}{\sigma_{ijin}}$$

$\sigma_{ultimate}$ = tegangan yang terjadi akibat gaya yang bekerja pada suatu benda

σ_{ijin} = tegangan batas yang diijinkan padasuatu benda

Dalam tugas akhir ini acuan yang di pakai untuk faktor keamanan adalah tegangan ijin dari klas. Badan Klasifikasi Indonesia sebesar 150 N/mm² [7].

2.7. . Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) merupakan salah satu metode numeris untuk penyelesaian masalah teknik dan fisika matematis. Masalah tersebut meliputi analisa struktur, *heat transfer*, aliran fluida, perpindahan massa, elektromagnetik, dan lain-lain[8].

Ada beberapa jenis analisa yang biasa digunakan dalam metode elemen hingga antara lain :

1. Analisa Linier Statis (*Linear Static Analysis*)
2. Analisa Non Linier Statis (*Non Linear Static Analysis*)
3. Analisa Dinamik

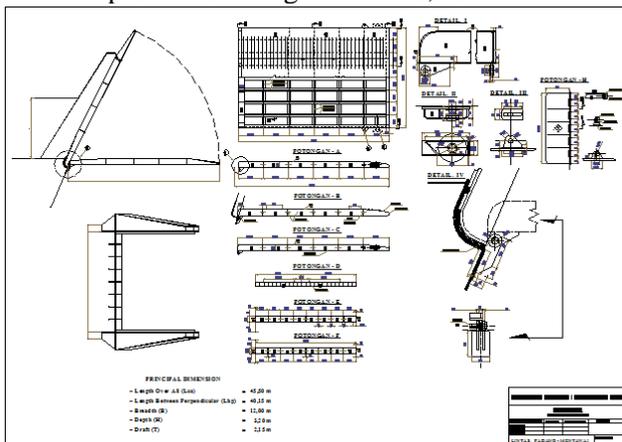
3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Pengumpulan Data

Pada tahap ini pengumpulan data sangat penting karena data data tersebut sebagai upaya menunjang selesainya penelitian.

Sehingga didapat spesifikasi datanya sebagai berikut:

1. Ukuran utama :
 - Panjang = 6,00 m
 - Lebar = 4,00 m
 - Tinggi = 0,25 m
2. Tebal Pelat
 - Bagian depan, belakang, kanan, dan kiri $t = 10$ mm
 - Bagian atas dan bawah $t = 8$ mm
3. Profil
 - Profil yang digunakan adalah profil T dengan ukuran 250X 100X 8 mm
 - Jarak profil memanjang = 1,00 m
 - Jarak profil melintang = 0,50 m



Gambar 3.1 Konstruksi *stern ramp door*

3.2. Studi Literatur

Setelah melakukan pengumpulan data serta observasi lapangan, penulis melakukan pengkajian melalui referensi literatur baik dari buku maupun publikasi di internet antara lain tentang:

1. Buku dan jurnal-jurnal tentang Metode Elemen Hingga

2. Pedoman NASTRAN PATRAN
3. Majalah, artikel dan internet

3.3. Pengolahan Data

Tahap selanjutnya yakni pengolahan data dari hasil pengumpulan data. Data yang diperoleh selanjutnya diolah dengan software untuk membantu perhitungan dan analisa.

3.4. Pembuatan Model

Dari data awal yang telah diambil, kemudian dilakukan pembuatan model *stern ramp door* dengan bantuan software MSC. Patran.

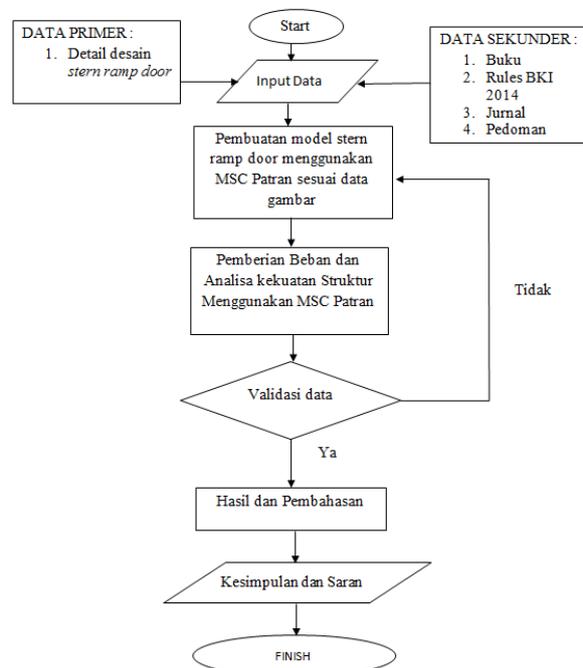
3.5. Analisa Model

Analisa model *stern ramp door* dengan menggunakan software berbasis metode elemen hingga (MSC. Nastran & MSC Patran) untuk menghitung tegangan dan penentuan letak tegangan kritisnya.

3.6. Kesimpulan Hasil dan Analisis Data

Langkah selanjutnya adalah mengolah dan menganalisa data hasil dari output proses analisa berupa nilai tegangan dan letaknya kemudian dihitung *safety factor*.

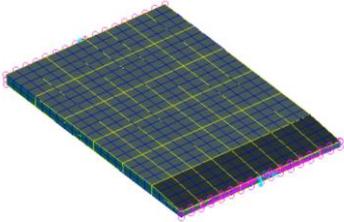
3.7. Diagram Alir Metodologi Penelitian



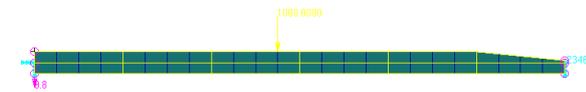
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pembuatan Model

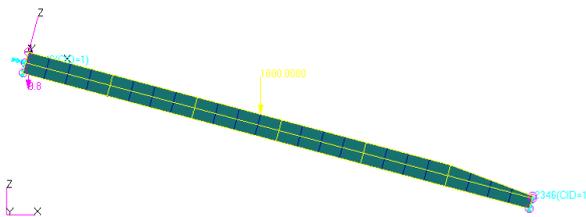
Stern ramp door K.M GAMBOLO dimodelkan dengan metode elemen hingga dan dibuat pemodelannya dalam Msc Patran kemudian dianalisa menggunakan program bantu Msc Nastran yang berbasis metode elemen hingga.



Gambar 4.1. Permodelan *stern ramp door* dengan MSC Patran



Gambar 4.2. Permodelan *stern ramp door* tidak mengalami kemiringan tampak samping



Gambar 4.3. Permodelan *stern ramp door* mengalami kemiringan 15° tampak samping

4.2. Perhitungan Gaya

Perhitungan besarnya gaya adalah beban dari berbagai jenis kendaraan yaitu

Tabel 4.1. Berat Kendaraan

No	Jenis kendaraan	Berat Maksimum
1	Sedan	1,6 ton
2	Truk sedang	12 ton
3	Truk tronton	24 ton

1. Kondisi dengan beban sedan

- a. Roda depan

$$F = m \times g$$

$$= 400 \times 9.8$$

$$= 3920 \text{ N}$$

- b. Roda belakang

$$F = m \times g$$

$$= 400 \times 9.8$$

$$= 3920 \text{ N}$$

2. Kondisi dengan beban truk sedang

- a. Roda depan

$$F = m \times g$$

$$= 3000 \times 9.8$$

$$= 29400 \text{ N}$$

- b. Roda belakang

$$F = m \times g$$

$$= 3000 \times 9.8$$

$$= 29400 \text{ N}$$

3. Kondisi dengan beban truk tronton

- a. Roda depan

$$F = m \times g$$

$$= 3000 \times 9.8$$

$$= 29400 \text{ N}$$

- b. Roda belakang

$$F = m \times g$$

$$= 4500 \times 9.8$$

$$= 44100 \text{ N}$$

4.3. Kondisi Pembebanan

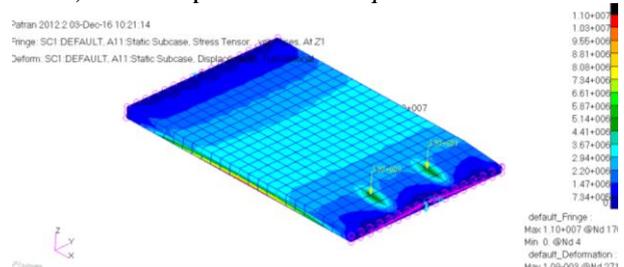
Kondisi pembebanan yang akan dilakukan penulis berjumlah 3 kondisi pada tiap jenis kendaraan saat *stern ramp door* tidak mengalami kemiringan dan *stern ramp door* mengalami kemiringan 15° yaitu :

1. Kondisi 1 saat ban depan berada di atas *stern ramp door*
2. Kondisi 2 saat ban depan dan belakang berada di atas *stern ramp door*
3. Kondisi 3 saat ban belakang berada di atas *stern ramp door*

4.4. Analisa Kekuatan

4.4.1. Analisa pada saat *Ramp Door* tidak mengalami kemiringan.

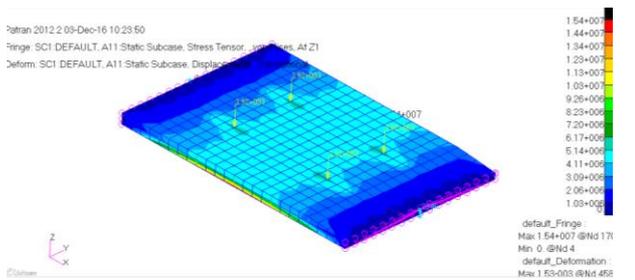
1. Beban Mobil Sedan
 - a) Ban depan di atas *ramp door*



Gambar 4.4 Kondisi ban depan di atas *ramp door*

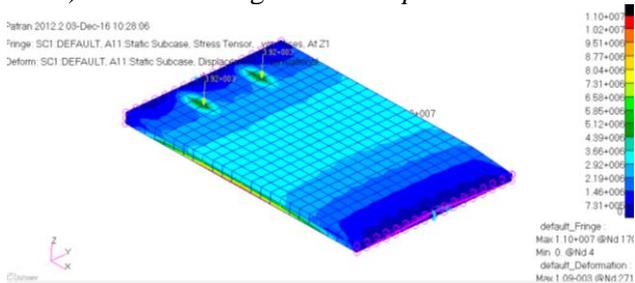
Tegangan terbesar terjadi pada node 170 dengan nilai $1,10 \times 10^7$ Pa dan nilai deformasi maksimal sebesar 0,109 cm.

- b) Ban depan dan belakang di atas *ramp door*



Gambar 4.5 Kondisi ban depan dan belakang di *ramp door*
Tegangan terbesar terjadi pada node 170 dengan nilai $1,54 \times 10^7$ Pa dan nilai deformasi maksimal sebesar 0,153 cm.

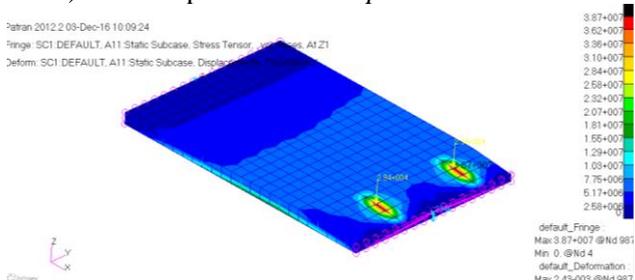
c) Ban belakang di atas *ramp door*



Gambar 4.6 Kondisi ban belakang di *ramp door*
Tegangan terbesar terjadi pada node 170 dengan nilai $1,10 \times 10^7$ Pa dan nilai deformasi maksimal sebesar 0,109 cm.

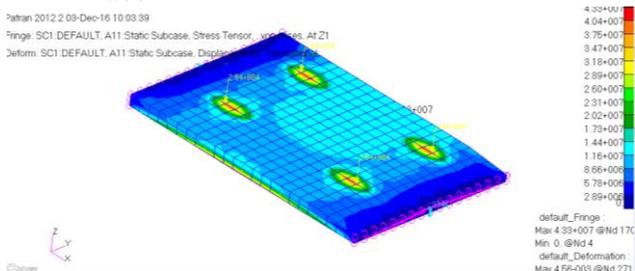
2. Beban truk sedang

a) Ban depan di atas *ramp door*



Gambar 4.7 Kondisi ban depan di atas *ramp door*
Tegangan terbesar terjadi pada node 987 dengan nilai $3,87 \times 10^7$ Pa dan nilai deformasi maksimal sebesar 0,243 cm.

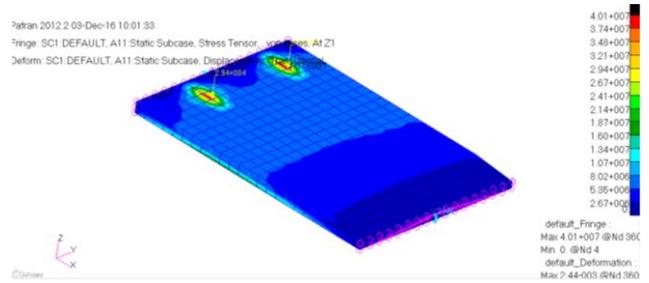
b) Ban depan dan belakang di atas *ramp door*



Gambar 4.8 Kondisi ban depan dan belakang di *ramp door*

Tegangan terbesar terjadi pada node 170 dengan nilai $4,33 \times 10^7$ Pa dan nilai deformasi maksimal sebesar 0,456 cm.

c) Ban belakang di atas *ramp door*

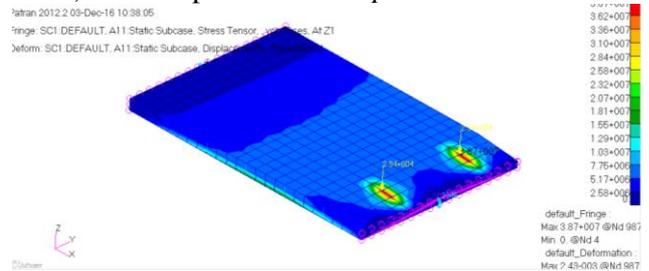


Gambar 4.9 Kondisi ban belakang di *ramp door*

Tegangan terbesar terjadi pada node 360 dengan nilai $4,01 \times 10^7$ Pa dan nilai deformasi maksimal sebesar 0,244 cm..

3. Beban truk tronton

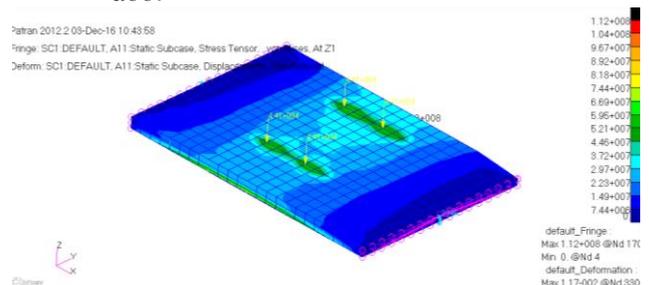
a) Ban depan di atas *ramp door*



Gambar 4.10 Kondisi ban depan di atas *ramp door*

Tegangan terbesar terjadi pada node 987 dengan nilai $3,87 \times 10^7$ Pa dan nilai deformasi maksimal sebesar 0,243 cm.

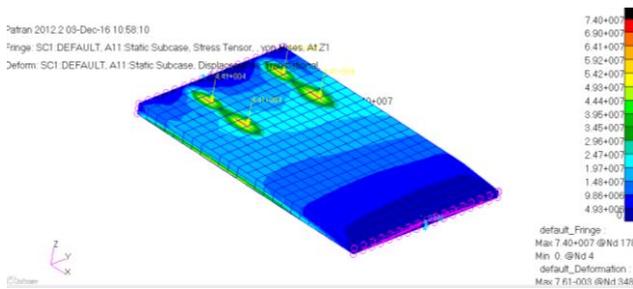
b) Ban belakang di tengah *ramp door*



Gambar 4.11 Kondisi ban belakang di tengah *ramp door*

Tegangan terbesar terjadi pada node 170 dengan nilai $1,12 \times 10^8$ Pa dan nilai deformasi maksimal sebesar 1,17 cm.

c) Ban belakang di atas *ramp Door*



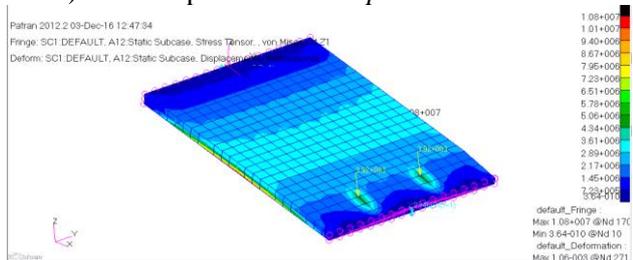
Gambar 4.12 Kondisi ban belakang di *ramp door*

Tegangan terbesar terjadi pada node 178 dengan nilai $7,43 \times 10^7$ Pa dan nilai deformasi maksimal sebesar 0,761 cm.

4.4.2. Analisa pada saat *Ramp Door* mengalami kemiringan 15°

1. Beban Mobil Sedan

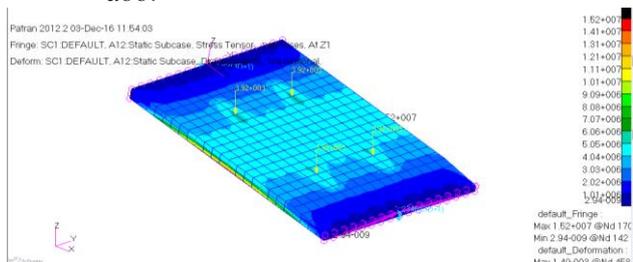
a) Ban depan di atas *ramp door*



Gambar 4.13 Kondisi ban depan di atas *ramp door*

Tegangan terbesar terjadi pada node 170 dengan nilai $1,08 \times 10^7$ Pa dan nilai deformasi maksimal sebesar 0,106 cm.

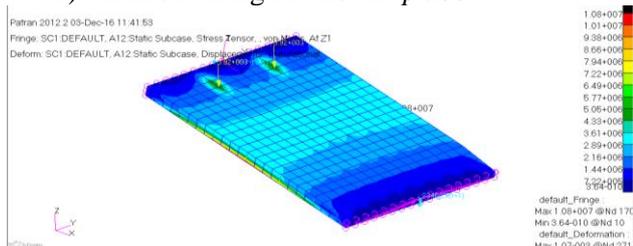
b) Ban depan dan belakang di atas *ramp door*



Gambar 4.14 Kondisi ban depan dan belakang di *ramp door*

Tegangan terbesar terjadi pada node 170 dengan nilai $1,52 \times 10^7$ Pa dan nilai deformasi maksimal sebesar 0,149 cm.

c) Ban belakang di atas *ramp door*

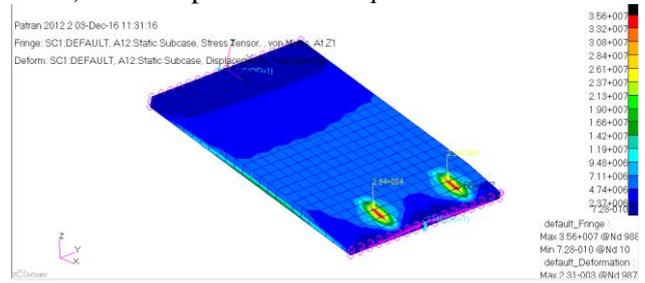


Gambar 4.15 Kondisi ban belakang di *ramp door*

Tegangan terbesar terjadi pada node 170 dengan nilai $1,08 \times 10^7$ Pa dan nilai deformasi maksimal sebesar 0,107 cm.

2. Beban truk sedang

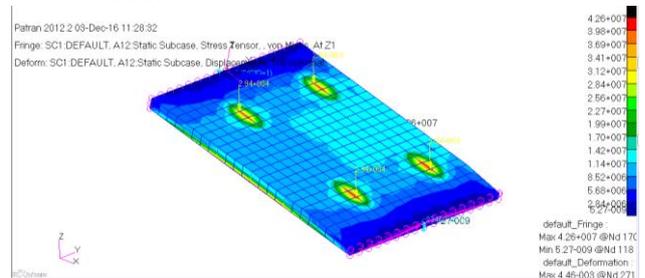
a) Ban depan di atas *ramp door*



Gambar 4.16 Kondisi ban depan di atas *ramp door*

Tegangan terbesar terjadi pada node 988 dengan nilai $3,56 \times 10^7$ Pa dan nilai deformasi maksimal sebesar 0,231 cm

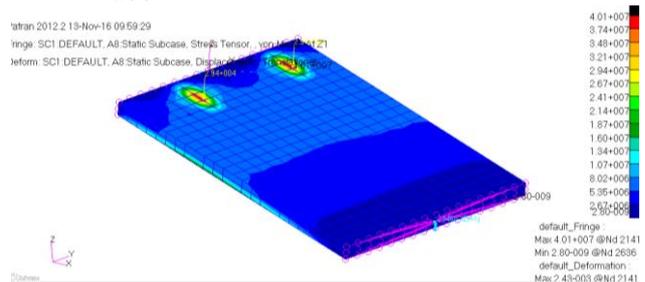
b) Ban depan dan belakang di atas *ramp door*



Gambar 4.17 Kondisi ban depan dan belakang di *ramp door*

Tegangan terbesar terjadi pada node 170 dengan nilai $4,26 \times 10^7$ Pa dan nilai deformasi maksimal sebesar 0,446 cm.

c) Ban belakang di atas *ramp door*

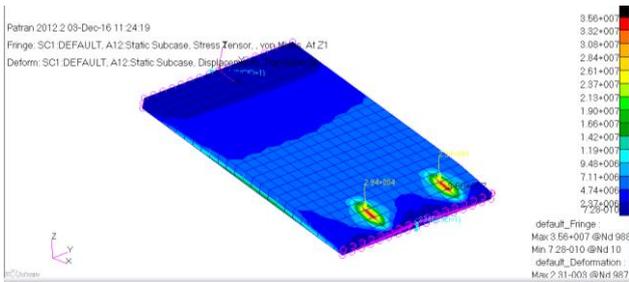


Gambar 4.18 Kondisi ban belakang di *ramp door*

Tegangan terbesar terjadi pada node 360 dengan nilai $3,94 \times 10^7$ Pa dan nilai deformasi maksimal sebesar 0,232 cm.

3. Beban truk tronton

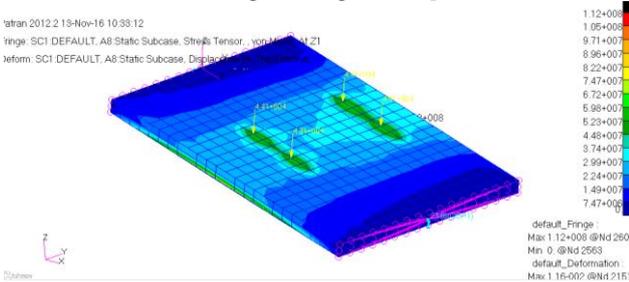
a) Ban depan di atas *ramp door*



Gambar 4.19 Kondisi ban depan di atas ramp door

Tegangan terbesar terjadi pada node 988 dengan nilai $3,56 \times 10^7$ Pa dan nilai deformasi maksimal sebesar 0,0231 cm.

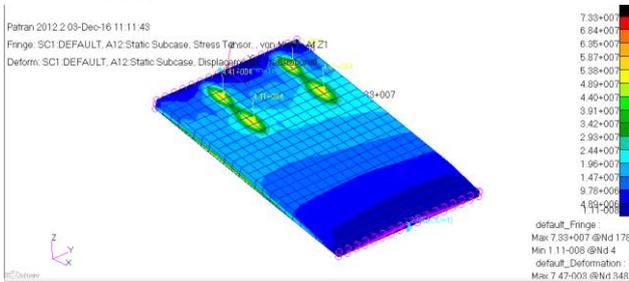
b) Ban belakang di tengah ramp door



Gambar 4.20 Kondisi ban belakang di tengah ramp door

Tegangan terbesar terjadi pada node 170 dengan nilai $1,09 \times 10^8$ Pa dan nilai deformasi maksimal sebesar 1,14cm.

c) Ban belakang di atas ramp door



Gambar 4.21 Kondisi ban belakang di ramp door

Tegangan terbesar terjadi pada node 178 dengan nilai $7,33 \times 10^7$ Pa dan nilai deformasi maksimal sebesar 0,747 cm.

4.5 Rekap Hasil Analisis

Setelah dilakukan analisa linear pada kedua kondisi dengan semua keadaan pembebanan yang ada, didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.2. Rekap Hasil Analisa Tegangan dan Deformasi Stern Ramp Door Tidak Mengalami Kemiringan

N o	Jenis kendaraan	Kondisi beban	Tegangan Maks (N/mm ²)	Deformasi maks (cm)
1	Sedan	Ban depan	11	0.109
		Ban depan dan belakang	15.4	0.153
		Ban belakang	11	0.109
2	Truk sedang	Ban depan	38.7	0.243
		Ban depan dan belakang	43.3	0.456
		Ban belakang	40.1	0.244
3	Truk tronton	Ban depan	38.7	0.243
		Ban belakang ditengah	112	1.17
		Ban belakang	74	0.761

1	Sedan	Ban depan	11	0.109
		Ban depan dan belakang	15.4	0.153
		Ban belakang	11	0.109
2	Truk sedang	Ban depan	38.7	0.243
		Ban depan dan belakang	43.3	0.456
		Ban belakang	40.1	0.244
3	Truk tronton	Ban depan	38.7	0.243
		Ban belakang ditengah	112	1.17
		Ban belakang	74	0.761

Tabel 4.3. Rekap Hasil Analisa Tegangan dan Deformasi Stern Ramp Door Mengalami Kemiringan 15°

N o	Jenis kendaraan	Kondisi beban	Tegangan Maks (N/mm ²)	Deformasi maks (cm)
1	Sedan	Ban depan	10.8	0.106
		Ban depan dan belakang	15.2	0.149
		Ban belakang	10.8	0.107
2	Truk sedang	Ban depan	35.6	0.231
		Ban depan dan belakang	42.6	0.446
		Ban belakang	39.4	0.232
3	Truk tronton	Ban depan	35.6	0.231
		Ban belakang ditengah	109	1.14
		Ban belakang	73.3	0.747

4.6. Perhitungan Safety Factor dan Tegangan Izin

Faktor keamanan adalah factor yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan teknik terhadap beban luar, yaitu beban tekan maupun tarik. Gaya yang diperlukan agar terjadi tingkat optimal bahan dalam menahan beban dari luar sampai akhirnya menjadi pecah disebut dengan beban *ultimate (ultimate load)*.

Sebelum menghitung *safety factor*, dicari terlebih dahulu nilai tegangan ijin sesuai dengan ketentuan BKI Vol II Sec 6, H.2.

Tegangan ijin = $\frac{150}{k}$, dimana k adalah faktor material.

$$SF = \frac{\text{Tegangan Maksimum}}{\text{Tegangan ijin}}$$

$$SF = \text{Safety Factor} \geq 1$$

Setelah mengetahui hasil tegangan yang terjadi pada 2 kondisi *stern ramp door* maka diambil tegangan terbesar untuk menghitung *safety factor*.

Tabel 4.4. Perhitungan *Safety Factor* Menurut Tegangan Ijin

No	Jenis kendaraan	Tegangan Maks (N/mm ²)	Tegangan Ijin (N/mm ²)	Safety Factor	Ket
1	Sedan	15.4	150	9.74026	ok
2	Truk sedang	43.3	150	3.4642	ok
3	Truk tronton	112	150	1.33929	ok

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan percobaan dan simulasi yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Tegangan maks *stern ramp door* saat dimuati beban sedan 15,4 N/mm², truk sedang 43,3 N/mm², Truk tronton 112 N/mm² yaitu saat beban berada di tengah *stern ramp door*.
2. Hasil perhitungan nilai *safety factor* berdasarkan rules BKI untuk sedan 9,74, truk sedang 3,46 dan truk tronton 1,34. Nilai *safety factor* dalam beberapa kondisi pembebanan telah memenuhi rules BKI, sehingga jika terjadi penggantian muatan dari truk sedang ke truk tronton konstruksi ramp door K.M GAMBOLO masih dalam kondisi aman.

5.2. Saran

Hasil penelitian yang dilakukan penulis masih banyak yang dapat dilanjutkan. Sehingga saran penulis untuk penelitian lebih lanjut (*future research*) antara lain :

1. Sedapat mungkin permodelan dilakukan seperti kondisi sesungguhnya, sehingga pemberian load sesuai pada tempatnya. Dengan demikian hasil yang akan didapat mendekati kondisi sesungguhnya.
2. Perlu dilakukan kajian *fatigue* dari struktur *stern ramp door* dengan beban dinamis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Doni Setyawan,dkk. 1999. *Kekuatan Struktur Kapal*. Jakarta : Pradnya Paramita
- [2] Khusna Djaya, Indra. 2008. *Teknik Konstruksi Kapal Baja*. Jilid 1.
- [3] Dokkum, van Klaas. 2003. “*Ship Knowledge – A Modern Encyclopedia*”, Dokmar, The Netherlands.
- [4] Karlson, Ulf. 2004. “ Structural Safety Analysis of Bow Doors “. Chalmers University Of Technology, Sweden
- [5] Popov, E. P., 1978, *Mechanics of Material, 2nd edition*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- [6] Ferdinand, P. B. et al. 2012. *Mechanics of Material, sixth edition*, McGraw-Hill.
- [7] Biro Klasifikasi Indonesia, PT. Persero.2014. “Rules for Hull Volume II”. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- [8] Logan, D.L. 2002. “A First Course in the Finite Element Method”, 4 edition. Brooks/ Cole Thompson Learning, Boston.
- [9] 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 th 2008.
- [10] Febriaty K, Samuel. 2014. *Analisa Kekuatan Konstruksi Internal Ramp Sistem Steel Wire Rope pada KM. DHARMA KENCANA VIII dengan Metode Elemen Hingga*.
- [11] Imam Pujo Mulyatno dan Ardi Septiadi. 2011. *Analisa Kekuatan Konstruksi Side Ramp Door System Steel Wire Rope pada K.M DHARMA KENCANA II Akibat Beban Statis dengan Metode Elemen Hingga*, Program Studi S1 Teknik Perkapalan, Undip, Semarang.