



Analisis Kekuatan Struktur *Stern Ramp Door* dengan Variasi Bentuk *Clevis* pada Kapal Ferry Ro-Ro 600 GT

Ardhani Bintang Novian¹⁾, Ahmad Fauzan Zakki¹⁾, Kiryanto¹⁾,
¹⁾Laboratorium Konstruksi

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*})e-mail :ardhanibintang@gmail.com, ahmadfzakki@gmail.com, kiryantodst@yahoo.com¹⁾,

Abstrak

Kapal ferry ro-ro merupakan kapal yang memuat kendaraan. Kapal ini dilengkapi dengan Ramp Door (Pintu Rampa) yang merupakan fasilitas dari kapal jenis ro-ro dengan tujuan menjembatani kendaraan dari car deck ke dermaga. Dari sebuah kasus insiden kecelakaan kapal yang diakibatkan karena konstruksi ramp door patah. Maka pada penelitian ini masih diperlukan penelitian pada konstruksi stern ramp door lebih lanjut dan akan ditambahkan penelitian dibagian clevis / kupingan guna untuk mengetahui seberapa kuat kekuatan dari clevis ramp door untuk digunakan saat bongkar muat. Objek dalam penelitian ini adalah kapal Ferry ro-ro 600 GT. Penelitian ini bertujuan mendapatkan tegangan maksimum dan minimum pada konstruksi stern ramp door, menganalisis karakteristik tegangan pada konstruksi stern ramp door, serta menganalisis karakteristik pada setiap desain clevis. Metode yang digunakan dalam penelitian ini berbasis metode elemen hingga. Beban yang digunakan dalam penelitian ini adalah beban kendaraan 4 ton, 8 ton dan 16 ton. Variasi yang diberikan berupa kondisi ramp door +10°, 0°, dan -10° dan posisi kendaraan diatas ramp door serta variasi model clevis. Dari hasil penelitian tersebut maka model dari setiap perlakuan variasi memenuhi kriteria BKI. Semua model bentuk clevis mempunyai safety factor diatas 1 yang artinya semua model clevis memenuhi kriteria dari BKI.

Kata Kunci : Kapal Ferry Ro-ro, Stern Ramp Door, Tegangan, Safety Factor, Clevis, Metode Element Hingga

1. PENDAHULUAN

Keberlangsungan sistem transportasi di Indonesia sangatlah bergantung pada letak geografis Indonesia itu sendiri, dimana Indonesia merupakan negara kepulauan. Hal tersebut diperlakukan demi pemerataan distribusi barang maupun orang guna meningkatkan kesejahteraan warga negara Indonesia itu sendiri. Dalam keberlangsungan tersebut, diperlukanlah beberapa ragam moda transportasi yang ada. Sehingga moda transportasi air sangatlah diperlukan untuk menghubungkan moda transportasi darat dari pulau ke pulau, salah satu jenis dari moda kendaraan tersebut ialah kapal ferry ro-ro.

Kapal ferry ro-ro merupakan kapal yang dapat memuat kendaraan yang dapat berjalan masuk ke dalam kapal dan berjalan keluar dari kapal dengan penggerakannya sendiri, sehingga sering disebut

dengan kapal *rool on – roll off* atau disingkat kapal ferry ro-ro[1].

Kapal ferry ro-ro biasanya digunakan untuk mengangkut kendaraan seperti mobil penumpang, sepeda bermotor, mobil, truk, dan bus serta penumpang pejalan kaki. Karena muatan yang ada dalam kapal adalah kendaraan maka kapal dilengkapi dengan adanya pintu rampa (Rampa) untuk akses keluar dan masuk kendaraan [2]. Ramp Door (Pintu Rampa) merupakan sebuah fasilitas dari kapal jenis Ro-Ro yang merupakan sebuah pintu yang secara umum terletak di buritan dan di haluan dengan tujuan sebagai menjembatani kendaraan dari *car deck* ke dermaga.

Pada hari Kamis 27 Desember 2018, terjadi sebuah insiden dimana Kapal Nusa Putra tepatnya di Dermaga III Pelabuhan Bakauheni, Lampung. Dijelaskan oleh Saifullahil Muslal Harahap selaku Humas PT ASDP cabang Bakauheni Lampung saat di konfirmasi[3]. Hal tersebut merugikan pada

Truk yang dikemudikan Dadang dengan nomor polisi B 9052 FN karena truk bermuatan penuh tersebut tercebur ke laut dan supir tersebut mengalami patah kaki. Insiden tersebut terjadi karena sistem ramp door pada kapal tersebut mengalami patah.

Beberapa penelitian tugas akhir yang telah dilakukan adalah mengenai analisa kekuatan konstruksi *side ramp door* sistem *steel wire rope* pada KM. Dharma Kencana II akibat beban statis dengan metode elemen hingga, telah didapat *maximum stress* pada muatan kendaraan truk. *Maximum stress* sebesar 93,91 N/mm² terletak pada gading nomor 1 bagian melintang dan gading nomor 8 bagian memanjang [4].

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 x 108 Pa dan dengan nilai deformasi maksimal sebesar 0,390 cm [5].

Berdasarkan contoh kasus dan penelitian yang sudah ada maka masih diperlukan penelitian pada konstruksi stern ramp door lebih lanjut dan dalam penelitian ini akan ditambahkan penelitian dibagian *clevis* / kupingan guna untuk mengetahui seberapa kuat kekuatan dari *clevis ramp door* untuk digunakan saat bongkar muat.

Berdasarkan penjelasan latar belakang diatas, adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan tugas akhir dalam menganalisa kekuatan stern ramp door ini adalah :

1. Mendapatkan tegangan maksimum dan minimum pada konstruksi *stern ramp door* setelah diberi variasi pembebanan dan kondisi yang berbeda
2. Menganalisis karakteristik tegangan pada konstruksi *stern ramp door* setelah diberi variasi pembebanan
3. Menganalisis karakteristik tegangan pada setiap desain *clevis*

2. METODE

2.1. Objek Penelitian

Kapal ferry ro-ro adalah salah satu jenis kapal penyeberangan yang dapat memuat kendaraan tanpa bantuan alat pemuat *cargo* seperti pada kapal jenis lainnya. Kapal jenis ini memiliki proses pemuatan kendaraan yang unik, karena kendaraan

yang akan dimuat masuk sendiri dan saat bongkar muat pun bisa keluar dengan sendiri juga, sehingga kapal *roll on – roll off* atau disingkat ro-ro. Oleh karena itu, kapal ini memiliki sepasang sistem pintu rampa atau istilah asingnya *ramp door system* yang dihubungkan dengan *moveble bridge* atau dermaga apung ke dermaga.

Ada beberapa macam kapal ferry ro-ro yang sering beroperasi di perairan Indonesia, antara lain sebagai berikut:

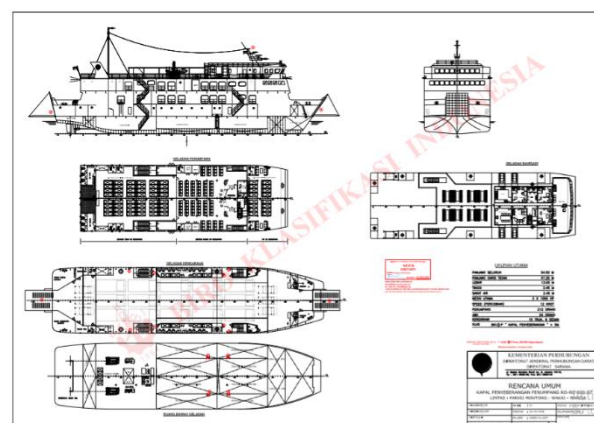
1. Kapal pengangkut truk dan mobil (*car ferries*)
2. Kapal penyeberangan (ferry)
3. Kapal general cargo yang beroperasi sebagai kapal Ro-Ro



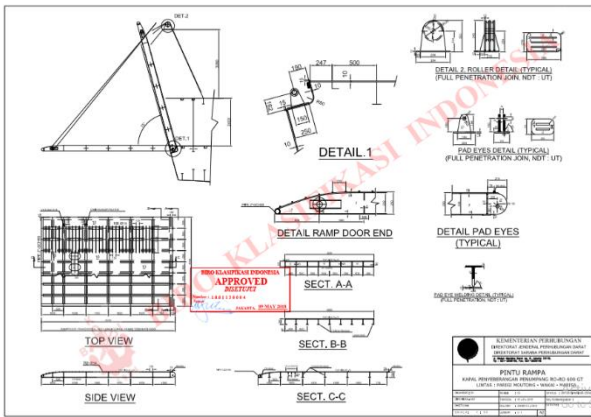
Gambar 1. KMP Teluk Singkil

Penelitian tentang Kapal Ferry Ro-Ro ini dirancang untuk menampung penumpang dan muatan dengan kapasitas 600 GT. Ukuran utama kapal tersebut adalah :

<i>Length Over All (LOA)</i>	54,50 m
<i>Length Between Perpendicular (LPP)</i>	47,25 m
<i>Breadth Moulded (B)</i>	13,00 m
<i>Height Moulded (H)</i>	3,45 m
<i>Depth Moulded (T)</i>	2,45 m



Gambar 2. General Arrangement Kapal Ferry Ro-Ro 600 GT



Gambar 3. Ramp Door Kapal Ro-Ro 600 GT

2.2. Parameter Penelitian

Penelitian ini difokuskan pada variasi beban kendaraan dan sudut posisi *ramp door* serta variasi bentuk dari *clevis* sebanyak 3 model. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan struktur *ramp door*.

- a. Parameter Tetap
 - Data primer berupa ukuran utama *ramp door* kapal Ferry ro-ro
- b. Parameter Peubah
 - Beban total kendaraan (4 ton, 8 ton dan 16 ton)
 - Kondisi sudut *ramp-door* (-10°, 0°, dan +10°).
 - Posisi pembebanan (roda bagian depan, semua roda, serta roda bagian belakang)
 - Bentuk *Clevis*

2.3. Variasi Perlakuan

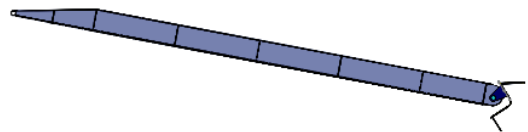
Variasi yang digunakan pada kasus penelitian tugas akhir ini berupa variasi pembebanan pada struktur *ramp door* dan variasi bentuk *clevis*. *Clevis* adalah bagian berbentuk U yang memiliki lubang di ujung tusuk untuk menerima pin *clevis*[6].

Variasi pembebanan meliputi variasi kondisi *ramp door*, variasi mobil/truk yang melewati *ramp door* dan variasi kondisi ban mobil/truk yang diberikan pada atas *ramp door*. Variasi sudut kondisi *ramp door* yang diberikan, diasumsikan bahwa ketika kondisi air laut surut maka kondisi *ramp door* -10°, ketika air laut normal maka kondisi *ramp door* 0° dan ketika air laut pasang maka kondisi *ramp door* +10°. Sehingga variasi perlakuan meliputi:

1. Kondisi Ramp Door
 - Kondisi Ramp Door +10 derajat
 - Kondisi Ramp Door 0 derajat
 - Kondisi Ramp Door -10 derajat

2. Variasi Muatan
 - Mobil 4 ton
 - Truk 8 ton
 - Truk 16 ton
3. Variasi Kondisi Roda
 - Awal (Roda depan diatas *Ramp Door*)
 - Tengah (Semua roda diatas *Ramp Door*)
 - Akhir (Ban belakang diatas *Ramp Door*)

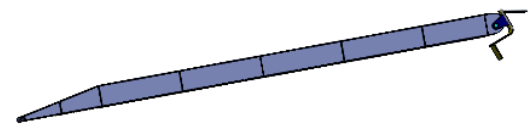
Untuk variasi bentuk *clevis* pada penelitian ini akan dibuat sebanyak 3 bentuk model *clevis* dan diberi gaya tegak lurus dengan posisi *ramp door* normal.



Gambar 4. Kondisi +10 derajat



Gambar 5. Kondisi 0 derajat



Gambar 6. Kondisi -10 derajat

2.4. Perhitungan Pembebanan

Perhitungan pembebanan menggunakan rumus mekanika teknik. Beban yang diberikan pada model rampdoor adalah berupa berat total kendaraan. Distribusi beban kendaraan tersebut adalah 60% roda bagian belakang dan 40% roda bagian depan. Rumus mekanika teknik sebagai berikut:

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

Dimana F adalah Gaya (N), m adalah massa (Kg) dan g adalah percepatan gravitasi (m/s²) [7]

2.5. Safety Factor

Faktor keamanan atau biasa disebut dengan *safety factor* adalah suatu faktor yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan teknik menerima beban dari luar, yaitu beban tekan maupun beban tarik. Suatu struktur dikatakan aman, apabila nilai $S_f > 1$.

$$FS = \frac{\sigma_{Ijin}}{\sigma_{Ultimate}} \quad (2)$$

dimana σ Ultimate adalah tegangan yang terjadi akibat gaya yang bekerja pada suatu benda, dan σ Ijin adalah tegangan batas yang diijinkan pada suatu benda.

2.6. Perhitungan Defleksi

Rumus defleksi mekanika teknik, adapun rumus perhitungan defleksi yaitu sebagai berikut:

$$\text{Defleksi} = \frac{F \times L^3}{3 \times E \times I} \quad (3)$$

Dimana F adalah Force (N), L adalah panjang model (mm), E adalah modulus elastisitas (Mpa), I adalah Inersia (mm⁴).

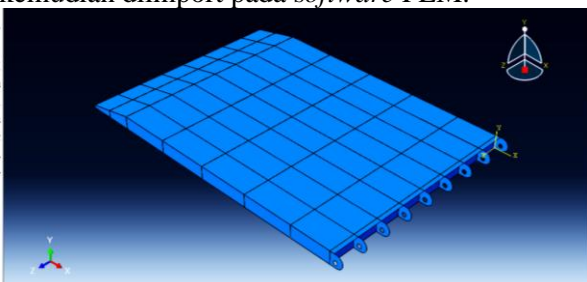
2.7. Pembuatan Model

Desain konstruksi yang akan dimodelkan mencakup *deck plate*, *side plate*, profil T memanjang, profil T melintang serta plat-plat tambahan yang sesuai dengan konstruksi yang telah ada.

Tahap pertama dalam proses desain dimulai dari penerjemahan gambar format PDF kedalam gambar 2D format CAD secara manual kemudian dilanjutkan dengan melakukan *modelling* menjadi gambar 3D menggunakan bantuan *software modelling*.

Pembuatan desain *stern ramp door* pada penelitian ini dibagi menjadi 2 bagian, yaitu bagian *deck rampdoor* dan bagian *clevis*. Hal ini dilakukan untuk memudahkan dalam penelitian khususnya dalam proses *meshing* karena perbandingan ukuran/dimensi *deck ramp door* dan *clevis* yang terlalu besar.

Geometri yang telah terbentuk seperti gambar 7 selanjutnya dikonversi dalam format ACIS dan kemudian diimport pada *software FEM*.



Gambar 7. Geometri Desain Ramp Door



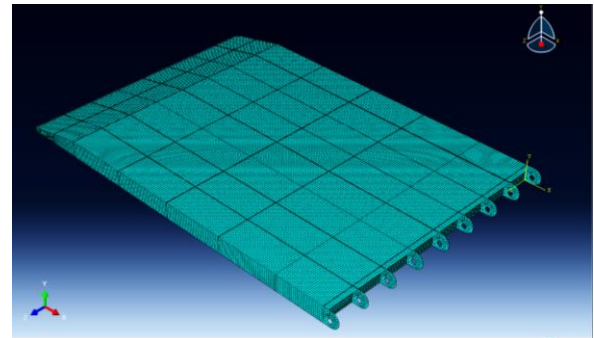
Gambar 8. Geometri Desain Clevis

2.8. Proses Meshing

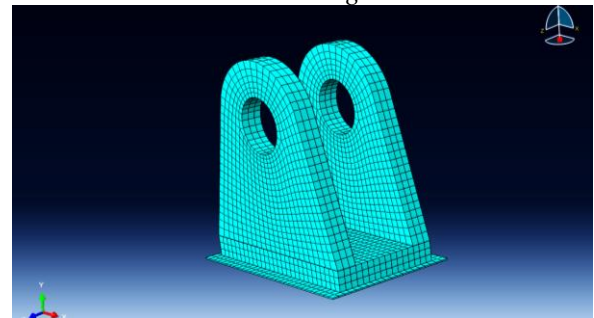
Proses *meshing* adalah proses yang berfungsi membagi *surface* pada geometri menjadi *node* dan elemen. Dalam proses penyelesaian masalah dunia *engineering* pada permasalahan *struktural analysis*, software berbasis metode elemen hingga dipilih untuk mempermudah perhitungan matematis yang tergolong rumit [8].

Meshing ini merupakan langkah dalam mendiskritisasi model menjadi diskrit-diskrit elemen yang lebih kecil agar dapat dilakukan perhitungan numerikal. *Meshing geometry* ini merupakan hasil dari diskritisasi. Hasil *meshing* ini tidak terbatas pada geometri saja namun juga massa, muatan dan restrain.

Proses *meshing* pada penelitian tugas akhir ini menggunakan jenis *element meshing quad* dan *triad*. Ukuran elemen *meshing* pada *deck rampdoor* sebesar 30 mm dan pada desain *clevis* sebesar 5 mm.



Gambar 9. Model Deck Rampdoor Setelah Meshing



Gambar 10. Model Clevis Setelah Meshing

Kemudian setelah model selesai di *meshing* maka perlu dilakukan pemeriksaan hasil *meshing* yang bertujuan mengetahui cacat *mesh* dan supaya model dapat dilakukan analisa dengan tepat.

2.9. Pendefinisian Material

Pendefinisian material pada analisa *stern ramp door* ini adalah menggunakan material Baja Notasi KI-A36. *Property material* yang terkandung adalah sebagai berikut:

Poisson Ratio	= 0,3
Modulus Elastisity	= 200 GPa
Density	= 7.850 kg/m ³

2.10. Lokasi Penelitian & Alat dan Bahan

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Perencanaan Kapal dibantu Komputer, Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang.

Software yang digunakan untuk penelitian ini yaitu :

- Software permodelan 3D* untuk permodelan 3D pada kapal Ferry Ro-ro.
- Software FEM (Finite Elemen Metode)* untuk menganalisa kekuatan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Setup Boundary

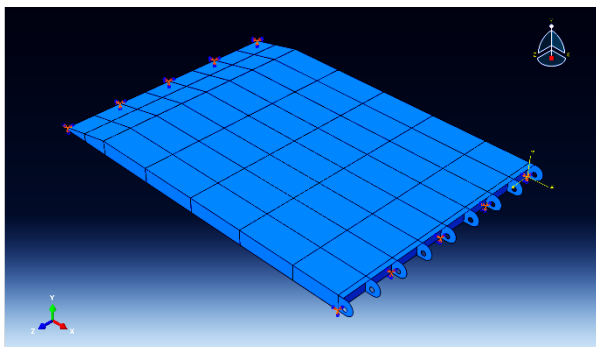
Setelah model 3D sudah di *meshing*, maka langkah selanjutnya yang dilakukan adalah *setup boundary* atau sering disebut dengan kondisi batas. Proses ini mendefinisikan kondisi batas yang berada pada model. Kondisi batas pada model *ramp door* diasumsikan sesuai dengan keadaan real atau sesungguhnya dilapangan dengan tujuan mendapat kondisi semirip mungkin. Pada penelitian ini *boundary condition* disesuaikan dengan penelitian sebelumnya, *boundary condition* berada pada ujung depan dan belakang model[9].

Tabel 1. Kondisi Batas Translasi

Lokasi	U1	U2	U3
Pada ujung depan ramp door	FIX	FIX	FIX
Pada ujung belakang ramp door	FIX	FIX	FIX

Tabel 2. Kondisi Batas Rotasi

Lokasi	R1	R2	R3
Pada ujung depan ramp door	FIX	FIX	FIX
Pada ujung belakang ramp door	FIX	FIX	FIX



Gambar 11. *Boundary Condition*

Set up boundary condition ditempatkan pada sisi-sisi yang telah ditentukan, dengan cara membuat *degree of freedom* pada *node* sesuai dengan permukaan sisi.

3.2. Setup Beban

Beban yang bekerja pada *stern ramp door* adalah beban dari kendaraan yang melewati *deck ramp door*. Beban kendaraan tersebut diasumsikan berada pada titik-titik roda yang berada diatas *deck ramp door*.

Persebaran Pembebanan kendaraan sebagai berikut:

- Beban mobil 4 ton = 4 titik (2 titik diasumsikan roda depan dan 2 titik roda belakang).
 - Roda depan sebesar 800 Kg untuk setiap titik.
 - Roda belakang sebesar 1200 Kg untuk setiap titik.
- Beban truk 8 ton = 6 titik (2 titik diasumsikan rodan depan dan 4 titik roda belakang)
 - Roda depan sebesar 1600 Kg untuk setiap titik.
 - Roda belakang sebesar 1200 Kg untuk setiap titik.
- Beban truk 16 ton = 6 titik (2 titik diasumsikan rodan depan dan 4 titik roda belakang)
 - Roda depan sebesar 3200 Kg untuk setiap titik.
 - Roda belakang sebesar 2400 Kg untuk setiap titik.

Tabel 3. Variasi Pembebanan Setiap Titik Tumpu

No	Jenis Kendaraan	Beban Roda Depan (N/m ²)	Beban Roda Belakang (N/m ²)
1	Mobil 4 ton	206221	309331
2	Truk 8 ton	331200	248400
3	Truk 16 ton	583145	437358

3.3. Validasi

Untuk mengetahui keakuratan suatu model yang telah dibuat, maka dilakukan validasi model[10]. Salah satu cara yang ditempuh untuk melakukan validasi yaitu dengan membandingkan hasil antara perhitungan analitik dan perhitungan analitik.

a. Perhitungan Analitik

Perhitungan secara analitik yaitu dengan menggunakan pendekatan rumus defleksi

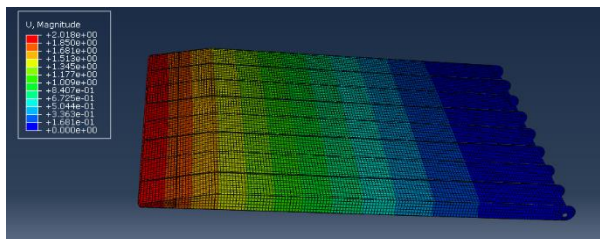
mekanika teknik, adapun rumus perhitungan defleksi yaitu sebagai berikut:

$$Defleksi = \frac{1000 \times 6000^3}{3 \times 200000 \times 172434774}$$

$$= 2.087 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan manual diatas defleksi yang terjadi sebesar 2.087 mm.

b. Perhitungan Numerik



Gambar 12. Perhitungan Numerik

Perhitungan secara numerik dilakukan dengan bantuan *software* berbasis FEM, model yang telah dibuat kemudian diinputan perhitungan sesuai dengan perhitungan secara analitik, pada gambar 15 didapat hasil defleksi sebesar 2.018 mm

Tabel 4. Hasil Validasi

Hasil Analitik	Hasil Numerik	Error
2,087 mm	2,018 mm	3,34 %

Bedasarkan perbandingan antara perhitungan analitik dan analitik pada tabel 2, didapatkan nilai *error* sebesar 1.15%. Sehingga Model dapat dikatakan valid karena *error* yang terjadi berada pada dibawah rentan 5%.

3.4. Hasil Analisa

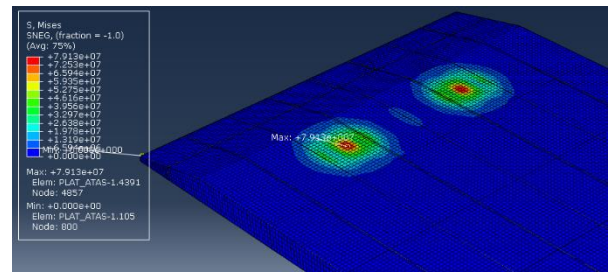
Dalam penyajian hasil analisa, hasil disajikan kedalam beberapa kondisi yang mewakili tiap tiap perlakuan sesuai pada Tabel 1.

Tabel 5. Keterangan Kondisi

No	Kondisi	Keterangan
1	Kondisi 1A	Kondisi 1A diasumsikan ketika desain stern <i>ramp door</i> diberi beban kendaraan mobil 4 ton,beban awal (roda bagian depan) dan kondisi stern <i>ramp door</i> +10 derajat.
2	Kondisi 1B	Kondisi 1B diasumsikan ketika desain stern <i>ramp door</i> diberi beban kendaraan mobil 4 ton,beban awal (roda bagian depan) dan kondisi stern <i>ramp door</i> 0 derajat.
3	Kondisi 1C	Kondisi 1C diasumsikan ketika desain stern <i>ramp door</i> diberi beban kendaraan mobil 4 ton,beban awal (roda bagian depan) dan kondisi stern <i>ramp door</i> -10 derajat.
4	Kondisi 1D	Kondisi 1D diasumsikan ketika desain stern <i>ramp door</i> diberi beban kendaraan mobil 4 ton,beban tengah

5	Kondisi 1E	(semua bagian roda) dan kondisi stern <i>ramp door</i> +10 derajat. Kondisi 1E diasumsikan ketika desain stern <i>ramp door</i> diberi beban kendaraan mobil 4 ton,beban tengah (semua bagian roda) dan kondisi stern <i>ramp door</i> 0 derajat.
6	Kondisi 1F	Kondisi 1F diasumsikan ketika desain stern <i>ramp door</i> diberi beban kendaraan mobil 4 ton,beban tengah (semua bagian roda) dan kondisi stern <i>ramp door</i> -10 derajat.
7	Kondisi 1G	Kondisi 1G diasumsikan ketika desain stern <i>ramp door</i> diberi beban kendaraan mobil 4 ton,beban akhir (roda bagian belakang) dan kondisi stern <i>ramp door</i> +10 derajat.
8	Kondisi 1H	Kondisi 1H diasumsikan ketika desain stern <i>ramp door</i> diberi beban kendaraan mobil 4 ton,beban akhir (roda bagian belakang) dan kondisi stern <i>ramp door</i> 0 derajat.
9	Kondisi 1I	Kondisi 1I diasumsikan ketika desain stern <i>ramp door</i> diberi beban kendaraan mobil 4 ton,beban akhir (roda bagian belakang) dan kondisi stern <i>ramp door</i> -10 derajat.
10	Kondisi 2A	Kondisi 2A diasumsikan ketika desain stern <i>ramp door</i> diberi beban kendaraan truk 8 ton,beban awal (roda bagian depan) dan kondisi stern <i>ramp door</i> +10 derajat.
11	Kondisi 2B	Kondisi 2B diasumsikan ketika desain stern <i>ramp door</i> diberi beban kendaraan truk 8 ton,beban awal (roda bagian depan) dan kondisi stern <i>ramp door</i> 0 derajat.
12	Kondisi 2C	Kondisi 2C diasumsikan ketika desain stern <i>ramp door</i> diberi beban kendaraan truk 8 ton,beban awal (roda bagian depan) dan kondisi stern <i>ramp door</i> -10 derajat.
13	Kondisi 2D	Kondisi 2D diasumsikan ketika desain stern <i>ramp door</i> diberi beban kendaraan truk 8 ton,beban tengah (semua bagian roda) dan kondisi stern <i>ramp door</i> +10 derajat.
14	Kondisi 2E	Kondisi 2E diasumsikan ketika desain stern <i>ramp door</i> diberi beban kendaraan truk 8 ton,beban tengah (semua bagian roda) dan kondisi stern <i>ramp door</i> 0 derajat.
15	Kondisi 2F	Kondisi 2F diasumsikan ketika desain stern <i>ramp door</i> diberi beban kendaraan truk 8 ton,beban tengah (semua bagian roda) dan kondisi stern <i>ramp door</i> -10 derajat.
16	Kondisi 2G	Kondisi 2G diasumsikan ketika desain stern <i>ramp door</i> diberi beban kendaraan truk 8 ton, beban akhir (roda bagian belakang) dan kondisi stern <i>ramp door</i> +10 derajat.

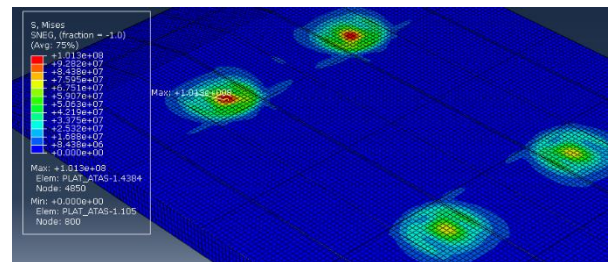
- | | | |
|----|------------|---|
| 17 | Kondisi 2H | Kondisi 2H diasumsikan ketika desain stern <i>ramp door</i> diberi beban kendaraan truk 8 ton, beban akhir (roda bagian belakang) dan kondisi stern <i>ramp door</i> 0 derajat. |
| 18 | Kondisi 2I | Kondisi 2I diasumsikan ketika desain stern <i>ramp door</i> diberi beban kendaraan truk 8 ton, beban akhir (roda bagian belakang) dan kondisi stern <i>ramp door</i> -10 derajat. |
| 19 | Kondisi 3A | Kondisi 3A diasumsikan ketika desain stern <i>ramp door</i> diberi beban kendaraan truk 16 ton, beban awal (roda bagian depan) dan kondisi stern <i>ramp door</i> +10 derajat. |
| 20 | Kondisi 3B | Kondisi 3B diasumsikan ketika desain stern <i>ramp door</i> diberi beban kendaraan truk 16 ton,beban awal (roda bagian depan) dan kondisi stern <i>ramp door</i> 0 derajat. |
| 21 | Kondisi 3C | Kondisi 3C diasumsikan ketika desain stern <i>ramp door</i> diberi beban kendaraan truk 16 ton,beban awal (roda bagian depan) dan kondisi stern <i>ramp door</i> -10 derajat. |
| 22 | Kondisi 3D | Kondisi 3D diasumsikan ketika desain stern <i>ramp door</i> diberi beban kendaraan truk 16 ton,beban tengah (semua bagian roda) dan kondisi stern <i>ramp door</i> +10 derajat. |
| 23 | Kondisi 3E | Kondisi 3E diasumsikan ketika desain stern <i>ramp door</i> diberi beban kendaraan truk 16 ton,beban tengah (semua bagian roda) dan kondisi stern <i>ramp door</i> 0 derajat. |
| 24 | Kondisi 3F | Kondisi 3F diasumsikan ketika desain stern <i>ramp door</i> diberi beban kendaraan truk 16 ton,beban tengah (semua bagian roda) dan kondisi stern <i>ramp door</i> -10 derajat. |
| 25 | Kondisi 3G | Kondisi 3G diasumsikan ketika desain stern <i>ramp door</i> diberi beban kendaraan truk 16 ton,beban akhir (roda bagian belakang) dan kondisi stern <i>ramp door</i> +10 derajat. |
| 26 | Kondisi 3H | Kondisi 3H diasumsikan ketika desain stern <i>ramp door</i> diberi beban kendaraan truk 16 ton,beban akhir (roda bagian belakang) dan kondisi stern <i>ramp door</i> 0 derajat. |
| 27 | Kondisi 3I | Kondisi 3I diasumsikan ketika desain stern <i>ramp door</i> diberi beban kendaraan truk 16 ton,beban akhir (roda bagian belakang) dan kondisi stern <i>ramp door</i> -10 derajat. |



Gambar 16. Tegangan Kondisi 1B

Tegangan maksimal pada kondisi 1B adalah sebesar 79.13 Mpa. Tegangan terbesar terjadi diantara *longitudinal beams* 3 dan 4 serta diantara *transversal beams* 3 dan 4. Ditunjukkan pada model yang berwarna merah.

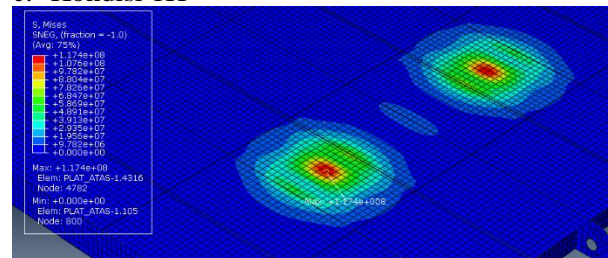
b. Kondisi 1E



Gambar 17. Tegangan Kondisi 1E

Tegangan maksimal pada kondisi 1E adalah sebesar 101.3 Mpa. Tegangan terbesar terjadi diantara *longitudinal beams* 3 dan 4 serta diantara *transversal beams* 3 dan 4. Ditunjukkan pada model yang berwarna merah.

c. Kondisi 1H



Gambar 18. Tegangan Kondisi 1H

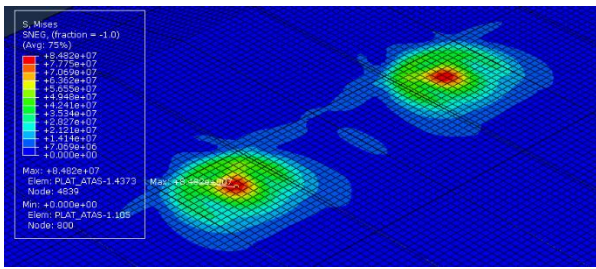
Tegangan maksimal pada kondisi 1H adalah sebesar 117.4 Mpa. Tegangan terbesar terjadi diantara *longitudinal beams* 3 dan 4 serta diantara *transversal beams* 6 dan 7. Ditunjukkan pada model yang berwarna merah.

3.6. Hasil Analisa Beban 8 Ton

a. Kondisi 2B

3.5. Hasil Analisa Beban 4 Ton

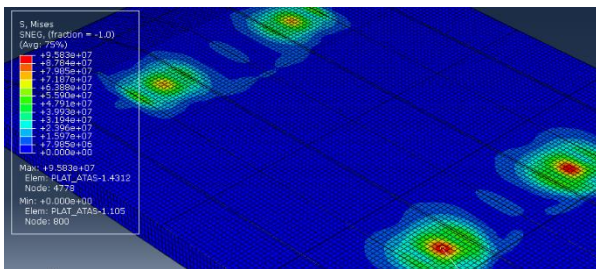
a. Kondisi 1B



Gambar 19. Tegangan Kondisi 2B

Tegangan maksimal pada kondisi 2B adalah sebesar 84.82 Mpa. Tegangan terbesar terjadi diantara *longitudinal beams* 3 dan 4 serta diantara *transversal beams* 4 dan 5. Ditunjukkan pada model yang berwarna merah.

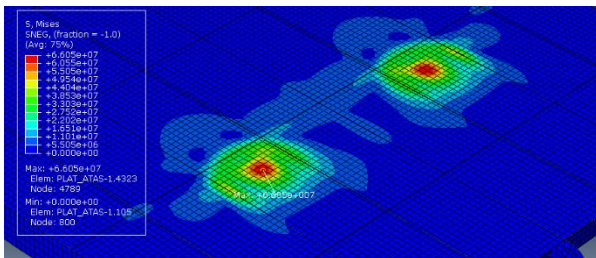
b. Kondisi 2E



Gambar 20. Tegangan Kondisi 2E

Tegangan maksimal pada kondisi 2E adalah sebesar 95.83 Mpa. Tegangan terbesar terjadi diantara *longitudinal beams* 3 dan 4 serta diantara *transversal beams* 6 dan 7. Ditunjukkan pada model yang berwarna merah.

c. Kondisi 2H

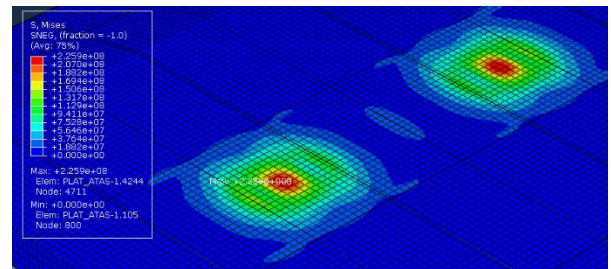


Gambar 21. Tegangan Kondisi 2H

Tegangan maksimal pada kondisi 2H adalah sebesar 66.05 Mpa. Tegangan terbesar terjadi diantara *longitudinal beams* 3 dan 4 serta diantara *transversal beams* 6 dan 7. Ditunjukkan pada model yang berwarna merah.

3.7. Hasil Analisa Beban 16 Ton

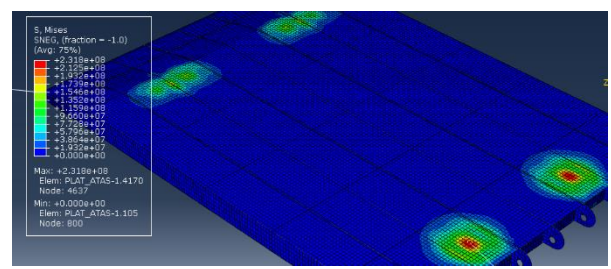
a. Kondisi 3B



Gambar 22. Tegangan Kondisi 3B

Tegangan maksimal pada kondisi 3B adalah sebesar 225.9 Mpa. Tegangan terbesar terjadi diantara *longitudinal beams* 3 dan 4 serta diantara *transversal beams* 4 dan 5. Ditunjukkan pada model yang berwarna merah.

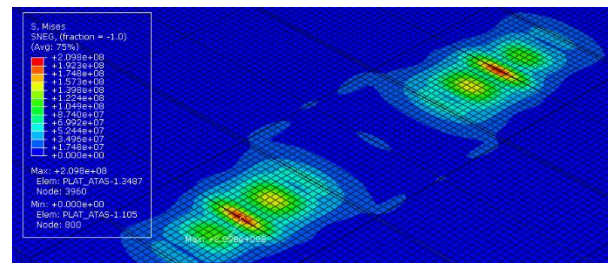
b. Kondisi 3E



Gambar 23. Tegangan Kondisi 3E

Tegangan maksimal pada kondisi 3E adalah sebesar 231.8 Mpa. Tegangan terbesar terjadi diantara *longitudinal beams* 3 dan 4 serta diantara *transversal beams* 7 dan 8. Ditunjukkan pada model yang berwarna merah.

c. Kondisi 3H

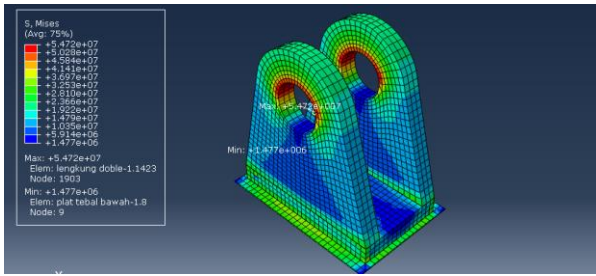


Gambar 24. Tegangan Kondisi 3H

Tegangan maksimal pada kondisi 3H adalah sebesar 209.8 Mpa. Tegangan terbesar terjadi diantara *longitudinal beams* 3 dan 4 serta diantara *transversal beams* 5 dan 6. Ditunjukkan pada model yang berwarna merah.

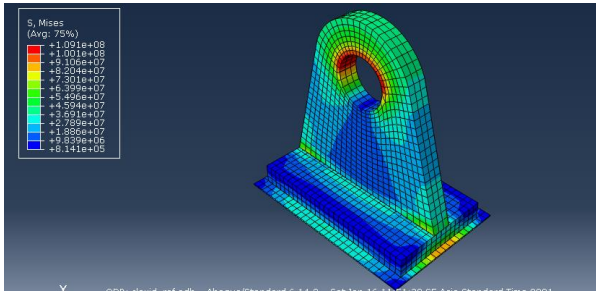
3.8. Hasil Analisa Clevis

a. Clevis Model 1



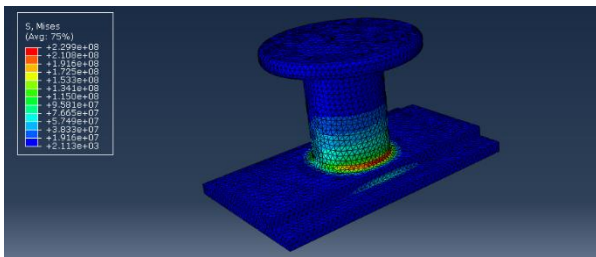
Tegangan maksimal pada model 1 adalah sebesar 54.72 Mpa.

b. *Clevis Model 2*



Tegangan maksimal pada model 2 adalah sebesar 109.1 Mpa.

c. *Clevis Model 3*



Tegangan maksimal pada model 3 adalah sebesar 229.9 Mpa.

3.9. Rekapitulasi Hasil Analisa *Deck Ramp Door*

Hasil *safety factor* menurut regulasi BKI. Hasil analisa *deck ramp door* dapat ditampilkan dalam tabel berikut:

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Analisa *Deck Ramp Door*

No	Kondisi	σ maks (Mpa)	δ maks (mm)	Safety Factor
1	Kondisi 1A	77.66	1.551	3.03
2	Kondisi 1B	79.13	1.587	2.97
3	Kondisi 1C	77.66	1.551	3.03
4	Kondisi 1D	100.2	1.983	2.35
5	Kondisi 1E	101.3	1.949	2.32
6	Kondisi 1F	100.2	1.983	2.35
7	Kondisi 1G	115	2.272	2.04
8	Kondisi 1H	117.4	2.328	2.00
9	Kondisi 1I	115	2.272	2.04
10	Kondisi 2A	84.06	1.623	2.80
11	Kondisi 2B	84.82	1.568	2.77

12	Kondisi 2C	84.06	1.623	2.80
13	Kondisi 2D	93.45	1.809	2.51
14	Kondisi 2E	95.83	1.75	2.45
15	Kondisi 2F	93.45	1.809	2.51
16	Kondisi 2G	69.02	1.431	3.40
17	Kondisi 2H	65.05	1.315	3.61
18	Kondisi 2I	69.02	1.431	3.40
19	Kondisi 3A	221.1	4.994	1.06
20	Kondisi 3B	225.9	4.094	1.04
21	Kondisi 3C	221.1	4.994	1.06
22	Kondisi 3D	228.3	4.079	1.03
23	Kondisi 3E	231.8	4.992	1.01
24	Kondisi 3F	228.3	4.079	1.03
25	Kondisi 3G	208.2	4.063	1.13
26	Kondisi 3H	209.8	3.812	1.12
27	Kondisi 3I	208.2	4.063	1.13

Hasil tegangan dan defleksi maksimal berada pada kondisi 3E yaitu kondisi ketika desain *stern ramp door* diberi beban kendaraan truk 16 ton, beban tengah (semua bagian roda) dan kondisi *stern ramp door* 0 derajat. Tegangan sebesar 231.8 Mpa serta defleksi sebesar 4.992 mm.

Hasil tegangan dan defleksi minimum berada pada kondisi 2H. Kondisi 2H adalah ketika desain *stern ramp door* diberi beban kendaraan truk 8 ton, beban akhir (roda bagian belakang) dan kondisi *stern ramp door* 0 derajat. Tegangan tersebut sebesar 65.05 Mpa dan defleksi sebesar 1,315 mm. Tegangan ijin material sesuai pada BKI Volume II Section 2 sebesar 235 MPa[11].

Pada uraian diatas, dapat ditarik sebuah kesimpulan bahwa model *stern ramp door* dikatakan aman karena $sf > 1$ dan memenuhi persyaratan regulasi klasifikasi yang berlaku.

3.10. Rekapitulasi Analisa *Clevis*

Hasil analisa *clevis* sebagai berikut:

Tabel 7. Rekapitulasi Hasil Analisa Model *Clevis*

No	Kondisi	σ maks (Mpa)	δ maks (mm)	Safety Factor
1	Model 1	54.72	0.289	4.294
2	Model 2	109.1	0.4747	2.153
3	Model 3	229.9	0.7401	1.0221

Hasil tegangan dan defleksi maksimal berada pada model 3 yaitu tegangan sebesar 229.9 Mpa serta defleksi sebesar 0.7401 mm. Sementara tegangan dan defleksi minimum terjadi pada model 3, yaitu tegangan sebesar 54.72 Mpa da defleksi sebesar 0.289 mm.

Tegangan ijin material sesuai pada BKI Volume II Section 2 sebesar 235 MPa[11].

Pada uraian diatas, dapat ditarik sebuah kesimpulan bahwa model *stern ramp door* dikatakan aman karena $sf > 1$ dan memenuhi persyaratan regulasi klasifikasi yang berlaku.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis kekuatan struktur *stern ramp door* dengan variasi bentuk *clevis* pada kapal ferry ro-ro 600 GT yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa Tegangan maksimum terjadi pada kondisi 3E yaitu kondisi ketika desain *stern ramp door* diberi beban kendaraan truk 16 ton, beban tengah (semua bagian roda) dan kondisi *stern ramp door* 0 derajat. Tegangan sebesar 231.8 Mpa serta defleksi sebesar 4.992 mm. Sementara tegangan minimum terjadi pada kondisi 2H. Kondisi 2H adalah ketika desain *stern ramp door* diberi beban kendaraan truk 8 ton, beban akhir (roda bagian belakang) dan kondisi *stern ramp door* 0 derajat. Tegangan tersebut sebesar 65.05 Mpa dan defleksi sebesar 1,315 mm.

Karakteristik tegangan yang terjadi dengan parameter *safety factor* didapat hasil bahwa semua variasi memenuhi regulasi kriteria BKI. Dengan nilai *safety factor* diatas 1.

Tegangan dan defleksi maksimal berada pada model 3 yaitu tegangan sebesar 229.9 Mpa serta defleksi sebesar 0.7401 mm. Tegangan dan defleksi minimum terjadi pada model 1, yaitu tegangan sebesar 54.72 Mpa dan defleksi sebesar 0.289 mm. *Clevis* model 1 direkomendasikan karena mempunyai tegangan minimum. Karakteristik tegangan pada variasi model *clevis* dengan parameter *safety factor* didapat hasil bahwa semua variasi model *clevis* memenuhi regulasi kriteria BKI. Dengan nilai *safety factor* diatas 1.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Tuhan Yang Maha Esa 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 pihak pihak yang sudah membantu dalam penelitian ini

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Van Dokkum, "Ship Knowledge--A modern encyclopedia," *Publ. by DOKMAR, PO Box 360, 1600 AJ Enkhuiizen, ISBN 90-806330-2-X, Copyr. 2003, DOKMAR, 2003.*
- [2] J. Babicz, "Wartsila Encyclopedia of Ship Technology. Wartsila Corporation." 2015.
- [3] 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 J. Ilmu Pengetah. dan Teknol. Kelaut.*, vol. 8, no. 3, pp. 119–125, 2011.

- [4] I. P. Mulyatno and A. Septiadi, "Analisa Kekuatan Konstruksi Side Ramp Door Sistem Steel Wire Rope Pada Km. Dharma Kencana II Akibat Beban Statis Dengan Metode Elemen Hingga," *KAPAL J. Ilmu Pengetah. dan Teknol. Kelaut.*, vol. 8, no. 3, pp. 141–150, 2011.
- [5] J. Johan, I. P. Mulyatno, and G. Rindo, "Analisa Kekuatan Konstruksi Stern Ramp Door Sistem Steel Wire Rope Pada Kapal Penyebrangan Penumpang Ro-Ro 500 GT Akibat Beban Statis Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 6, no. 1, 2018.
- [6] N. Kulkarni and P. Maid, "Structural Design and Analysis of Steering Clevis Joint of an ATV For Weight Reduction Steering Stability," *Int. J. New Technol. Res.*, vol. 3, no. 7, 2017.
- [7] E. P. Popov, S. Nagarajan, and Z. A. Lu, *Mekanika teknik:(Mechanics of materials)*. Penerbit Erlangga, 1986.
- [8] L. L. Daryl, "A first course in the finite element method," *p. C. Incl. Bibliogr. Ref. index*, 2007.
- [9] N. F. Hidayat, I. P. Mulyatno, and H. Yudo, "Analisa Kekuatan Struktur Stern Ramp Door KM. Gambolo dengan Variasi Beban Menggunakan Metode Elemen Hingga," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 1, 2017.
- [10] 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.
- [11] BKI, "Rules For Hull," *Rules Classif. Constr.*, vol. II, 2018.