

Analisis kekuatan struktur *ramp door* haluan pada kapal *Ferry Ro-Ro 1500 GT* dengan variasi beban menggunakan *Finite Element Method*

Alamsyah^{1*}, Amalia Ika Wulandari², Muhammad Uswah Pawara³, Muhammad Yusuf Al-Hafidz⁴

^{1,2,3,4} Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Kalimantan

Jl. Soekarno Hatta NO.KM 15, Karang Joang, Kec. Balikpapan Utara, Kota Balikpapan, Kalimantan Timur 76127, Indonesia

*Corresponding author: alamsyah@lecturer.itk.ac.id

Abstract

Ramp Door is a door to put a vehicle into a Ro-Ro ship or any other type of ship that transports vehicles. The use of Ramp Door is needed to facilitate the process of unloading and loading vehicles from the crossing dock to the ship and vice versa. This study aims to analyze the strength of Ramp Door structure with load variations from various types of vehicles in order to compress the maximum stress results and safety factors. The method used is the FEM method with the help of an element-based application up to. The results of the study obtained the maximum stress value of Ramp Door Bow with MPV vehicle type at an even load is 43.26 MPa. In this type of SUV vehicle, the maximum stress with an even load is 50.37 MPa. In sedan vehicle type the maximum stress with an even load is 37.61 MPa. in commercial vehicle type the maximum stress with an even load is 45.70 MPa. In this type of small truck vehicle, the maximum stress with an even load is 81.53 MPa. In large truck vehicles the maximum stress with an even load is 302.48 MPa. In this type of vehicle, the maximum stress bus with an even load is 178.08 MPa. For the largest safety factor value is a type of Commercial vehicle with a value of 8.91. While the smallest safety factor value is the type of Big Truck vehicle with a safety factor value of 1.01.

Keywords : *Ramp Door, Stress, Safety Factor*

Abstrak

Ramp Door (Pintu Rampa) adalah pintu untuk memasukkan kendaraan ke dalam kapal Ro-Ro ataupun jenis kapal lain yang mengangkut kendaraan. Penggunaan Ramp Door sangat dibutuhkan untuk mempermudah proses membongkar dan memuat kendaraan dari dermaga penyeberangan ke kapal dan sebaliknya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kekuatan struktur Ramp Door dengan variasi beban dari berbagai jenis kendaraan agar mendapatkan hasil tegangan maksimum dan safety factor. Metode yang digunakan adalah metode FEM dengan bantuan aplikasi berbasis elemen hingga. Hasil penelitian didapatkan nilai tegangan maksimum Ramp Door Haluan dengan jenis kendaraan MPV pada beban merata adalah sebesar 43.26 MPa. Pada jenis kendaraan SUV tegangan maksimum dengan beban merata adalah sebesar 50.37 MPa. Pada jenis kendaraan Sedan tegangan maksimum dengan beban merata adalah sebesar 37.61 MPa. pada jenis kendaraan Commercial tegangan maksimum dengan beban merata adalah sebesar 45.70 MPa. Pada jenis kendaraan truk kecil tegangan maksimum dengan beban merata adalah sebesar 81.53 MPa. Pada jenis kendaraan Truk besar tegangan maksimum dengan beban merata adalah sebesar 302,48 MPa. Pada jenis kendaraan Bus tegangan maksimum dengan beban merata adalah sebesar 178.08 MPa. Untuk nilai safety factor terbesar adalah jenis kendaraan Commercial dengan nilai 8.91. Sedangkan nilai safety factor terkecil adalah jenis kendaraan Truk Besar dengan nilai safety factor 1.01.

Kata Kunci : *Ramp Door, Tegangan, Safety Factor*

Pendahuluan

Kekuatan kapal merupakan salah satu aspek menarik bagi seorang *naval architect*. Kapal yang dikonstruksikan terlalu padat berimplikasi pada *increasing* berat, akan lamban dan memerlukan cost yang besar. Berbanding terbalik dengan kapal yang dikonstruksikan secara jarang maka akan berimplikasi pada resiko tinggi untuk terjadinya kegagalan struktur. Pada kenyataannya struktur kapal akan mengalami pembebanan yang lebih dan sulit diprediksi ketika beroperasi. Bebannya berupa beban internal maupun external. Salah satu aspek utama dalam pembuatan kapal yakni susunan konstruksinya. Konstruksi harus kokoh kokoh dengan kalkulasi konstruksi yang efisien. Hal tersebut merupakan tugas seorang *naval architect*. Konstruksi yang menguntungkan adalah konstruksi yang tidak mudah mengalami perubahan bentuk (*deformasi*) atau kerusakan struktur pada saat menerima beban. Hal ini dipengaruhi oleh desain konstruksi dan pemilihan material yang sesuai.

Kapal penyeberangan jenis Kapal Penumpang Ro-Ro adalah kapal yang dioperasikan untuk menghubungkan 2 (dua) pelabuhan. Pada kapal Ro-Ro terdapat geladak mobil sebagai salah satu struktur konstruksi vital, karena digunakan untuk menopang beban kendaraan di atasnya [1]. Geladak feri ditempati dengan muatan yang berbeda; misalnya, geladak bawah menampung kendaraan dan kargo [2]. Dalam kajian perkembangan teknologi feri ro-ro, artikel yang paling banyak diulas berkaitan dengan keselamatan karena: feri ro-ro lebih rentan dibandingkan kapal dagang lainnya karena masalah berikut: (a) masalah stabilitas (b) freeboard rendah, (c) pintu akses kargo, (d) kurangnya sekat, (e) akses ke peralatan penyelamat (f) kerentanan cuaca buruk, (g) pengikatan kendaraan dan (h) proses pemuatan sehubungan dengan distribusi berat [3]. Salah satu diantara sekian banyak ukuran ferry ro-ro Ferry Ro-Ro 5000GT memiliki tiga tingkat dek mobil yang dihubungkan

oleh landai internal. Dua hal yang harus diperhatikan selama pengoperasian internal ramp adalah kapasitas kekuatan dan umur kelelahan desain struktur internal ramp [4]. Ukuran lainnya dengan tonase kotor sebesar 1500 GT, dimana kapal ini juga dilengkapi dengan pintu rampa (*Ramp Door*) yang dihubungkan dengan *movable bridge* atau dermaga apung ke dermaga yang berguna untuk proses bongkar muat kendaraan maupun penumpang dari dermaga penyeberangan ke kapal [5]. Secara umum perencanaan pembuatan konstruksi *Ramp Door* adalah membuat suatu konstruksi yang mempunyai tingkat tegangan pada batas yang diijinkan dan bisa diterima oleh konstruksi tersebut [6]. 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 [7]. Desain pintu ramp 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 [8]. Ada dua jenis sistem penggerak internal ramp: sistem hidrolik dan sistem tali kawat baja [9]. Ada beberapa jenis pintu ramp yang digunakan di kapal Ro-Ro, misalnya 1. Quarter Ramp Door; 2. Side Ramp Door; 3. Slewing Ramp Door; 4. Stern Ramp Door; 5. Foldable Stern Ramp Door [10].

Pada kapal ini terdapat 2 buah *Ramp Door*. *Ramp Door* pada haluan *FERRY Ro-Ro* menggunakan sistem steel wire rope dan system *Hidrolik*. Pada saat bongkar muat kendaraan maupun penumpang, *Ramp Door* dilalui oleh berbagai macam kendaraan. *Ramp Door* pada *FERRY RO-RO* direncanakan untuk dilewati truk sedang dan sedan. Penelitian tentang kekuatan konstruksi *Ramp Door* perlu diperhatikan karena jika terjadi perubahan muatan maka harus dilakukan dengan permodelan yang mendekati kondisi sesungguhnya dan

pemberian *load* sesuai pada tempatnya, maka hasil yang akan didapat mendekati kondisi sesungguhnya [6]. Pada perancangan konstruksi *Ramp Door* awalnya direncanakan untuk dilewati beberapa merk kendaraan yang ada di Indonesia. Dari merk yang ada dibagi menjadi jenis kendaraan MPV, SUV, Sedan, *Commercial*, Truk kecil, Truk besar dan Bus. Pada penelitian sebelumnya spesifikasi kendaraan memiliki peran penting yang menjadikan patokan nilai berat maksimum dari kendaraan tersebut agar pemberian beban mendekati yang sesungguhnya [11].

Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini objek penelitian adalah pada konstruksi *Ramp Door* haluan yaitu Analisa kekuatan konstruksi konstruksi *Ramp Door* haluan pada kapal *FERRY RO-RO* dengan metode elemen hingga. Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder. Data sekunder adalah data yang diperoleh atau dikumpulkan sendiri dari berbagai sumber yang telah ada, seperti buku, laporan, jurnal dan lain-lain yang berkaitan dengan masalah yang akan diteliti. Adapun data pada penelitian ini meliputi Data ukuran utama Kapal *FERRY RO-RO* 1500 GT, Gambar konstruksi *Ramp Door* haluan *FERRY RO-RO* 1500 GT dan Gambar konstruksi rumah geladak (penopang rampa haluan, samping dan pipa rantai) *FERRY RO-RO* 1500 GT.

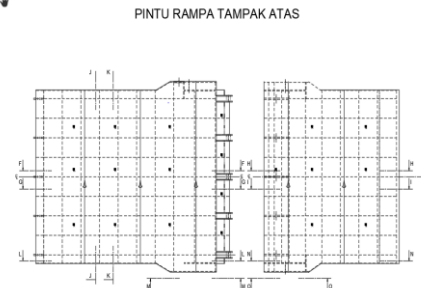
Kapal yang dianalisa merupakan kapal berjenis *Roll On - Roll Off* disingkat Ro-Ro, kapal tersebut memiliki data seperti yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data kapal *Ferry Ro-Ro* 1500 GT

<i>Particular</i>	Besaran	Satuan
<i>LOA</i>	62.25	m
<i>LPP</i>	61.675	m
<i>B</i>	14	m
<i>H</i>	4.1	m
<i>T</i>	2.8	m
<i>Gross Tonnage</i>	1500	GT

Pada tabel 1 dapat dilihat bahwa kapal yang digunakan memiliki panjang

keseluruhan 62,25 m dengan lebar 14 m, tinggi 4,1 m, sarat 2,8 m, dan *Gross tonnage* (GT) sebesar 1500 GT. Data detail konstruksi *Ramp Door* Haluan untuk pembuatan model pada *software*, konstruksi *Ramp Door* Haluan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Konstruksi *ramp door* haluan

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa *Ramp Door* terdiri atas dua bagian utama, yang dimana pada *Ramp Door* jenis ini merupakan jenis *Quarter Ramp Door* yang merupakan *Ramp Door* yang dapat dilipat. Dimensi *Ramp Door* haluan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Dimensi *ramp door* haluan

<i>Particular</i>	Besaran	Satuan
<i>L</i>	8500	mm
<i>B</i>	4400	mm
<i>H</i>	324	mm
Tebal Pelat	12	mm

Dalam penelitian ini, penentuan pembebanan dibagi berdasarkan beberapa merek kendaraan yang ada di Indonesia, kemudian dibagi menjadi 7 jenis kendaraan yaitu MPV, SUV, Sedan, *Commercial*, Truk kecil, Truk besar dan Bus. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data kendaraan meliputi, panjang kendaraan, lebar kendaraan, tinggi kendaraan, jarak sumbu kendaraan dan berat total kendaraan. Selanjutnya dilakukan perhitungan rata-rata pada setiap panjang, lebar, tinggi, jarak sumbu dan berat total kendaraan.

Pada penelitian ini berat total yang digunakan adalah berat maksimum sesuai dengan spesifikasi kendaraan, namun berat total pada keadaan sebenarnya bisa saja berbeda dengan spesifikasi kendaraan, hal ini dikarenakan berat muatan yang diberikan

sudah melebihi kapasitas muatan. Untuk melihat keadaan sebenarnya saat dipelabuhan dapat dilihat Gambar 2 sampai Gambar 4.



Gambar 2. Kendaraan truk dalam kondisi *overload*



Gambar 3. Kendaraan bus dengan muatan berlebih pada atap kendaraan



Gambar 4. Kondisi unloading kendaraan

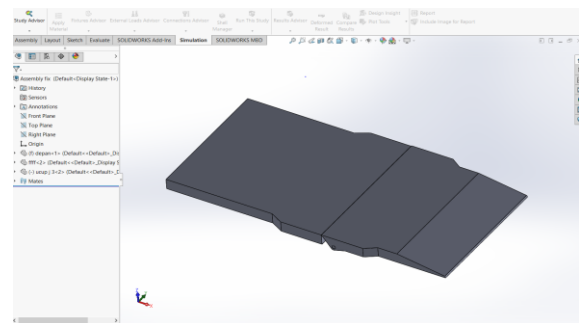
Pada Gambar 2 sampai Gambar 4 dapat dilihat bahwa beberapa kendaraan melewati tinggi maksimum serta membawa muatan berlebih. Hal inilah yang menyebabkan berat kendaraan melebihi kapasitas muatan, sehingga beban pada *Ramp Door* haluan menjadi sangat besar dan menyebabkan tegangan yang besar, sehingga dapat menyebabkan crack atau bahkan *Ramp Door* menjadi patah.

Hasil dan Pembahasan

Setelah dilakukan permodelan *ramp door* Haluan. Sebuah aplikasi yang digunakan maka dilakukan *Convergensi*

Test, hal ini adalah salah satu cara yang direkomendasikan untuk menentukan jumlah elemen dengan akurasi solusi yang bisa diterima dalam suatu analisis elemen. Dimisalkan untuk analisis tegangan pada suatu komponen, analisis awal dilakukan dengan ukuran/jumlah elemen tertentu, solusi diperoleh dengan menyelesaikan model yang digunakan. Analisis kemudian diulang dengan jumlah elemen yang lebih besar, nilai tegangan pada lokasi tertentu dibandingkan dengan hasil analisis sebelumnya. Jika perbedaan nilai tegangan antara kedua analisis tersebut cukup besar, maka analisis diulang lagi dengan jumlah elemen yang lebih besar sampai perbedaan tersebut dianggap cukup kecil.

Permodelan *Ramp Door* Haluan menggunakan bantuan *software* analisis elemen hingga. Permodelan *Ramp Door* Haluan dilakukan berdasarkan data dari Gambar rancangan dari *Ramp Door* haluan itu sendiri, permodelan dilakukan secara 3D atau biasa disebut dengan *3D modelling*. Permodelan *Ramp Door* haluan pada *software* analisis elemen hingga dapat dilihat pada Gambar 5 sebagai berikut:



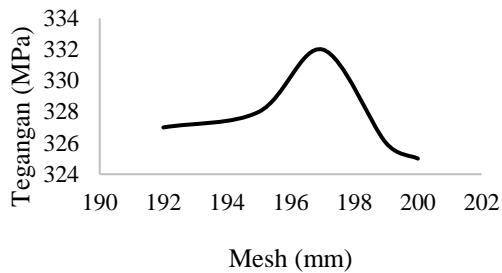
Gambar 5. Permodelan ramp door haluan

Pada Gambar 5 dapat dilihat bawah *Ramp Door* Haluan terdiri dari dua bagian yang terpisah, hal ini dikarenakan *Ramp Door* pada kapal ini berjenis *Quarter Ramp Door* yang merupakan *Ramp Door* yang dapat dilipat.

Berikut Tabel 3 merupakan hasil konvergensi *meshing elements* dari *Ramp Door* Haluan dengan beban jenis kendaraan Truk Besar terhadap perhitungan tegangan dan Gambar 6 merupakan grafik hasil konvergensinya.

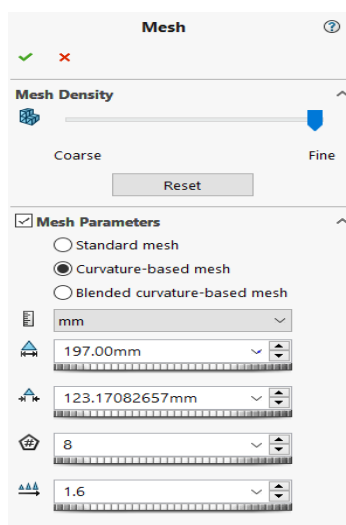
Tabel 3. Hasil tabulasi mesh terhadap tegangan dengan beban jenis kendaraan truk besar

Mesh (mm)	Nodes	Elements	Tegangan (MPa)
193	101689	58070	326.86
195	106365	61477	327.63
197	101411	57924	331.84
199	99690	56891	326.61
200	103362	59563	324.92



Gambar 6. Grafik hasil konvergensi mesh terhadap tegangan dengan jenis kendaraan truk besar

Dalam penelitian ini, model menggunakan size mesh 197 mm. Size mesh ini juga berpengaruh terhadap waktu lama atau tidaknya proses analisis pada model tersebut. Semakin banyak jumlah elemen yang di tinjau maka semakin lama waktu analisa yang dibutuhkan dan sebaliknya semakin sedikit jumlah elemen yang di tinjau maka semakin cepat waktu analisis pada model tersebut, detail size mesh pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 7 sebagai berikut:

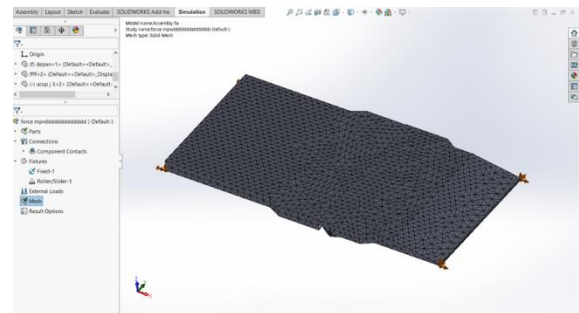


Gambar 7. Detail of mesh

Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa terdapat beberapa informasi detail pada meshing yang dilakukan, seperti action,

object, type, output ID list, element shape, mesher, topology, surface list, dan global edge length. Pada Gambar tersebut juga dapat dilihat bahwa pada element size yang digunakan adalah 0.197 m dengan total node sebanyak 84059 dan total elements sebanyak 48227.

Pada software yang digunakan terdapat dua macam mesh type yaitu quadrilateral dan triangular. Perbedaan keduanya yaitu pada bentuk meshing yang dihasilkan. Tentunya untuk type triangular akan menghasilkan elemen-elemen berbentuk segitiga, sedangkan untuk type quadrilateral akan menghasilkan elemen-elemen berbentuk persegi. Dalam analisis ini menggunakan size type quadrilateral. Tampilan Ramp Door haluan setelah dilakukan proses meshing dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Meshing ramp door haluan

Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa proses meshing telah berhasil dilakukan pada Ramp Door Haluan, dengan size mesh 197 mm.

Tabel 4. Pehitungan dimensi rata-rata kendaraan

Jenis kendaraan	Panjang rata-rata kendaraan n (mm)	Lebar rata-rata kendaraan n (mm)	Tinggi rata-rata kendaraan n (mm)	Jarak sumbu rata-rata kendaraan n (mm)
MPV	4386.93	1677.41	1719.78	2695.07
SUV	4651.00	1927.67	1453.83	2700.83
Sedan	4539.09	1801.82	1745.45	2675.00
Commerci al	4728.89	1771.11	1873.33	2793.33
Truk kecil	6307.55	1954.64	2205.91	3484.09
Truk besar	8299.92	2467.08	2853.88	5750.60
Bus	11417.73	2406.73	2032.64	5951.82

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa kendaraan dengan dimensi terpanjang yaitu terdapat pada jenis kendaraan Bus dengan dimensi 11417,73 mm x 2406,73 mm x

2031,64 (P x L x T) dengan jarak sumbu 5951,82 mm, sedangkan kendaraan terpendek terdapat pada jenis kendaraan MPV dengan dimensi 4386,93 mm x 1677,41 mm x 1719,78 mm (P x L x T) dengan jarak sumbu 2695,07 mm.

Selanjutnya dilakukan perhitungan berat total dari tiap jenis kendaraan, berat total kendaraan meliputi berat penumpang rata-rata (kg) dan berat bagasi rata-rata (kg), perhitungan berat total kendaraan dapat dilihat Tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan berat total kendaraan

Jenis kendaraan	Kapasitas penumpang (orang dewasa)	Berat rata-rata penumpang (kg)	Berat rata-rata bagasi (kg)	Berat total (kg)
MPV	5 – 7	1358.85	70	1948.85
SUV	5 – 7	1678.18	70	2268.18
Sedan	4	1313.67	70	1693.67
Commercial	3	1747.67	70	2057.67
Truk kecil	3	7131.82	70	7341.82
Truk besar	3	270292.2	70	27239.2
Bus	25 – 35	16036.36	-	16036.36

Pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa berat total terbesar terdapat jenis kendaraan berjenis Truk besar dengan berat total 27239,2 kg dan kendaraan dengan berat total terkecil terdapat pada jenis kendaraan berjenis sedan dengan berat total 1693,67 kg. Kemudian pada jenis kendaraan truk kecil dan truk besar tidak dilakukan penambahan berat bagasi rata-rata, hal ini dikarenakan berat total jenis kendaraan tersebut sudah diketahui berdasarkan spesifikasi pabrik dari setiap kendaraan, Pada jenis kendaraan bus tidak dilakukan penambahan berat penumpang rata-rata dan berat bagasi rata-rata, hal ini dikarenakan berat total jenis kendaraan tersebut sudah diketahui berdasarkan spesifikasi pabrik dari bus tersebut.

Tabel 6. Perhitungan beban terpusat (force) pada kendaraan

Jenis kendaraan	Berat total (Kg)	$g (m/s^2)$	W (N)
MPV	1948.85		19098.75
SUV	2268.18		22228.18
Sedan	1693.67		16597.93
Commercial	2057.67	9.8	20165.13
Truk kecil	7341.82		71949.82
Truk besar	27239.2		266944.16
Bus	16036.36		157156.36

Pada Tabel 6 dapat dilihat bahwa gaya terbesar berada pada jenis kendaraan Truk besar dengan gaya sebesar 266944,16 N dan gaya terkecil berada pada jenis

kendaraan sedan dengan gaya sebesar 16597,93 N.

Tabel 7. Distribusi beban terpusat (force) pada roda 1-5 setiap kendaraan

Jenis kendaraan	1 (N)	2 (N)	3 (N)	4 (N)	5 (N)
MPV	4774.69	4774.69	4774.69	4774.69	-
SUV	5557.05	5557.05	5557.05	5557.05	-
Sedan	4149.48	4149.48	4149.48	4149.48	-
Commercial	5041.28	5041.28	5041.28	5041.28	-
Truk kecil	11991.64	11991.64	11991.64	11991.64	11991.64
Truk besar	26694.42	26694.42	26694.42	26694.42	26694.42
Bus	26192.73	26192.73	26192.73	26192.73	26192.73

Tabel 8. Distribusi beban terpusat (force) pada roda 6-10 setiap kendaraan

Jenis kendaraan	6 (N)	7 (N)	8 (N)	9 (N)	10 (N)
MPV	-	-	-	-	-
SUV	-	-	-	-	-
Sedan	-	-	-	-	-
Commercial	-	-	-	-	-
Truk kecil	11991.64	-	-	-	-
Truk besar	26694.42	26694.42	26694.42	26694.42	26694.42
Bus	26192.73	-	-	-	-

Keterangan :

- 1 = Gaya pada sumbu 1 pada bagian sebelah kanan roda depan kendaraan
- 2 = Gaya pada sumbu 1 pada bagian sebelah kiri roda depan kendaraan
- 3 = Gaya pada sumbu 2 pada bagian sebelah kanan roda belakang kendaraan
- 4 = Gaya pada sumbu 2 pada bagian sebelah kiri roda belakang kendaraan
- 5 = Gaya pada sumbu 2 pada bagian sebelah kanan dalam roda belakang kendaraan
- 6 = Gaya pada sumbu 2 pada bagian sebelah kiri dalam roda belakang kendaraan
- 7 = Gaya pada sumbu 3 pada bagian sebelah kanan roda belakang kendaraan
- 8 = Gaya pada sumbu 3 pada bagian sebelah kiri roda belakang kendaraan
- 9 = Gaya pada sumbu 3 pada bagian sebelah kanan dalam roda belakang kendaraan
- 10 = Gaya pada sumbu 3 pada bagian sebelah kiri dalam roda belakang kendaraan

Selanjutnya dilakukan variasi pada beban terpusat (force) yaitu dengan kondisi seperti berikut :

1. Pada setiap jenis kendaraan diberikan beban terpusat (force) yang kemudian

pada peletakan tiap roda kendaraan berada ditumpuan.

- Pada setiap jenis kendaraan kendaraan diberikan beban terpusat (*force*) yang kemudian peletakan tiap roda kendaraan berada tidak di tumpuan.

Tabel 9. Perhitungan beban terpusat (*force*) pada kendaraan kondisi ditumpu dan tidak ditumpu

Jenis kendaraan	Berat awal (kg)	Jumlah beban	Berat total (kg)	g (m/s ²)	W (N)
MPV	1948.85		3897.70		38197.50
SUV	2268.18		4536.36		44456.36
Sedan	1693.67	2	3387.33		33195.87
Commercial	2057.67		4115.33	9.8	40330.27
Truk kecil	7341.82		7341.82		71949.82
Truk besar	27239.20	1	27239.20		266944.16
Bus	16036.36		16036.36		157156.36

Pada Tabel 9 dapat dilihat bahwa gaya terbesar berada pada jenis kendaraan Truk besar dengan gaya sebesar 266944,16 N dan gaya terkecil berada pada jenis kendaraan sedan dengan gaya sebesar 33195,87 N. Selanjutnya dilakukan perhitungan distribusi beban terpusat (*force*) pada setiap roda kendaraan pada masing-masing jenis kendaraan. Distribusi beban terpusat (*force*) tersebut dapat dilihat pada Tabel 10 dan Tabel 11.

Tabel 10. Distribusi beban terpusat (*force*) pada roda 1-5 setiap kendaraan kondisi ditumpu dan tidak ditumpu

Jenis kendaraan	1 (N)	2 (N)	3 (N)	4 (N)	5 (N)
MPV	9459.37	9459.37	9459.37	9459.37	-
SUV	111114.0	111114.0	111114.0	111114.0	-
Sedan	8298.97	8298.97	8298.97	8298.97	-
Commercial	10082.57	10082.57	10082.57	10082.57	-
Truk kecil	11991.64	11991.64	11991.64	11991.64	11991.64
Truk besar	26694.42	26694.42	26694.42	26694.42	26694.42
Bus	26192.73	26192.73	26192.73	26192.73	26192.73

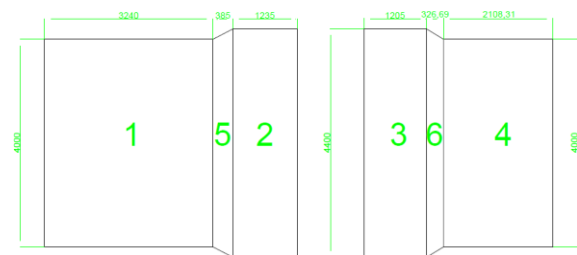
Tabel 11. Distribusi beban terpusat (*force*) pada roda 6-10 setiap kendaraan kondisi ditumpu dan tidak ditumpu

Jenis kendaraan	6 (N)	7 (N)	8 (N)	9 (N)	10 (N)
MPV	-	-	-	-	-
SUV	-	-	-	-	-
Sedan	-	-	-	-	-
Commercial	-	-	-	-	-
Truk kecil	11991.64	-	-	-	-
Truk besar	26694.42	26694.42	26694.42	26694.42	26694.42
Bus	26192.73	-	-	-	-

Pada Tabel 9 dan Tabel 10 dapat dilihat bahwa pada distribusi beban terpusat (*force*) terbesar berada pada jenis kendaraan Truk besar dengan distribusi beban sebesar 26694,42 N, sedangkan distribusi beban terpusat (*force*) terkecil berada pada jenis

kendaraan sedan dengan distribusi beban sebesar 8298,97 N.

Pada perhitungan beban merata (*pressure*) data yang dibutuhkan selanjutnya adalah luas *Ramp Door* Haluan, untuk memudahkan perhitungan luas *Ramp Door* Haluan, maka perhitungan luasan dibagi menjadi 6 bagian, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Top view ramp door haluan

Berdasarkan Gambar 9, bentuk *Ramp Door* Haluan yang terdiri dari 4 bagian berbentuk persegi Panjang dan 2 bagian berbentuk trapesium, maka dari itu perhitungan luasan dilakukan menjadi 6 bagian, kemudian dijumlahkan keseluruhan hasil perhitungan untuk mendapatkan luas sesungguhnya, luas *Ramp Door* Haluan dapat dilihat pada perhitungan sebagai berikut:

- Luas Persegi Panjang 1
 $L = p \times l$
 $= 3240 \text{ mm} \times 4000 \text{ mm}$
 $= 12.960.000 \text{ mm}^2$
- Luas Persegi Panjang 2
 $L = p \times l$
 $= 1235 \text{ mm} \times 4400 \text{ mm}$
 $= 5.434.000 \text{ mm}^2$
- Luas Persegi Panjang 3
 $L = p \times l$
 $= 1205 \text{ mm} \times 4400 \text{ mm}$
 $= 5.302.000 \text{ mm}^2$
- Luas Persegi Panjang 4
 $L = p \times l$
 $= 2108,31 \text{ mm} \times 4000 \text{ mm}$
 $= 8433.240 \text{ mm}^2$
- Luas Trapesium 1
 $L = \frac{1}{2} \times (ab + cd) \times t$
 $= \frac{1}{2} \times (4000 \text{ mm} + 4400) \times 385$
 $= 1.161.700 \text{ mm}^2$
- Luas Trapesium 2

$$L = \frac{1}{2} \times (ab + cd) \times t$$

$$= \frac{1}{2} \times (4000 \text{ mm} + 4400) \times 326,69$$

$$= 1.372.098 \text{ mm}^2$$

Setelah dilakukan perhitungan luasan *Ramp Door* Haluan menjadi 6 bagian, maka selanjutnya adalah menjumlahkan keseluruhan hasil luasan perbagian untuk mendapatkan luasan keseluruhan dari *Ramp Door* haluan, perhitungan luasan keseluruhan *Ramp Door* Haluan dapat dilihat pada perhitungan sebagai berikut:

$$L = 12.960.000 \text{ mm}^2 + 5.434.000 \text{ mm}^2 + 5.302.000 \text{ mm}^2 + 8433.240 \text{ mm}^2 + 1.161.700 \text{ mm}^2 + 1.372.098 \text{ mm}^2$$

$$= 336.630,38 \text{ cm}^2$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan penentuan beban secara merata, perhitungan beban secara merata menggunakan rumus tekanan (*pressure*) serta dilakukan pada tiap jenis kendaraan, perhitungan pembebanan secara merata pada kendaraan *MPV* dapat dilihat pada perhitungan sebagai berikut:

$$P = \frac{F}{A}$$

$$= \frac{\text{Beban kendaraan MVP}}{\text{luas ramp door haluan}}$$

$$= \frac{1.9358,58 \text{ kg}}{336.630,38 \text{ cm}^2}$$

$$= 5,75 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^2$$

$$= 5,67 \times 10^{-4} \text{ MPa}$$

Tabel 12. Perhitungan beban merata (*pressure*) pada kendaraan

Jenis kendaraan	Berat total (kg)	Luas permukaan <i>Ramp Door</i> (cm ²)	Beban merata kendaraan (kg/cm ²)	Beban merata kendaraan (Mpa)
<i>MPV</i>	1948.85	336630.38	5,78 x 10 ⁻³	5,67 x 10 ⁻⁴
<i>SUV</i>	2268.18		6,73 x 10 ⁻³	6,61 x 10 ⁻⁴
<i>Sedan</i>	1693.67		5,03 x 10 ⁻³	4,93 x 10 ⁻⁴
<i>Commercial</i>	2057.67		6,11 x 10 ⁻³	5,99 x 10 ⁻⁴
Truk kecil	7341.82		2,18 x 10 ⁻²	2,14 x 10 ⁻³
Truk besar	27239.20		8,09 x 10 ⁻²	7,94 x 10 ⁻³
Bus	16036.36		4,76 x 10 ⁻²	4,67 x 10 ⁻³

Tabel 13. Perhitungan beban merata (*force*) pada kendaraan

Jenis kendaraan	Berat Awal (Kg)	Jumlah beban	Berat Total (Kg)	Luas permukaan <i>ramp door</i> (cm ²)	Beban Merata kendaraan (mpa)
<i>MPV</i>	1948,85	2	3897,70	336630,38	1,14 x 10 ⁻³
<i>SUV</i>	2268,18		4536,36		1,32 x 10 ⁻³
<i>Sedan</i>	1693,67		3387,33		9,87 x 10 ⁻⁴
<i>Commercial</i>	2057,67		4115,33		1,20 x 10 ⁻³
Truk Kecil	7341,82	1	7341,82		2,14 x 10 ⁻³
Truk Besar	27239,20		27239,20		7,94 x 10 ⁻³
Bus	16036,36		16036,36		4,67 x 10 ⁻³

Analisis model *Ramp Door* dilakukan menggunakan bantuan *software* analisis elemen hingga, *software* tersebut dapat menganalisis dengan cakupan yang luas untuk berbagai jenis masalah. Pada penelitian ini penggunaan *software* analisis elemen hingga digunakan untuk mencari nilai *equivalent stress* dari masing-masing pembebanan.

Pada penelitian ini, material yang digunakan pada konstruksi *Ramp Door* Haluan adalah material yang sesuai dengan ketentuan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) yaitu menggunakan material BKI KI-A36, sesuai dengan rules BKI Vol. 5 Sec. 4, kemudian material tersebut di input pada *software* analisis elemen hingga sesuai dengan spesifikasinya. Spesifikasi material tersebut dapat dilihat pada Tabel 14.

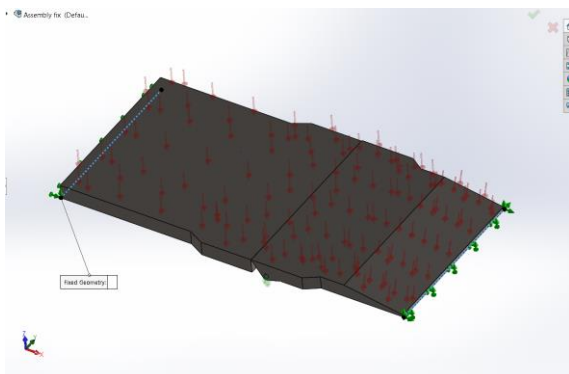
Tabel 14. Spesifikasi material BKI KI-A36

<i>Particular</i>	Besaran	Satuan
<i>Modulus elasticity</i>	200	GPa
<i>Ultimate stress</i>	400	MPa
<i>Yield</i>	335	MPa
<i>Shear modulus</i>	79.3	GPa
<i>Poisson ratio</i>	0.26	-
<i>Density</i>	7.85	ton/m ³

Pada tabel 14 dapat dilihat bahwa *ultimate stress* dari material KI-A36 adalah sebesar 400 MPa, nilai tersebut merupakan nilai yang akan digunakan sebagai acuan pada penelitian *Ramp Door* haluan, jika hasil analisis *software* analisis elemen hingga mendapatkan nilai diatas 400 MPa, maka potensi *Ramp Door* untuk mengalami kerusakan akan besar dan sebaliknya.

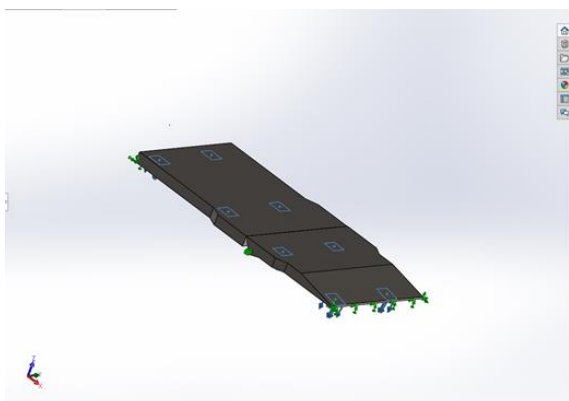
Pada penelitian ini, tumpuan yang digunakan mengikuti kondisi sebenarnya yaitu menggunakan tumpuan jepit (*fixed*)

geometry) dan tumpuan *roll/slider*, pemberian tumpuan *Ramp Door* Haluan dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Tumpuan jepit dan roll pada ramp door haluan

Pemberian beban terpusat (*force*) diberikan berdasarkan hasil perhitungan pada 10 Penempatan pemberian beban terpusat (*force*) menggunakan dimensi rata-rata dari setiap jenis kendaraan. Pemberian beban pada jenis kendaraan *MPV* pada *ramp door* Haluan dapat dilihat pada Gambar 11.

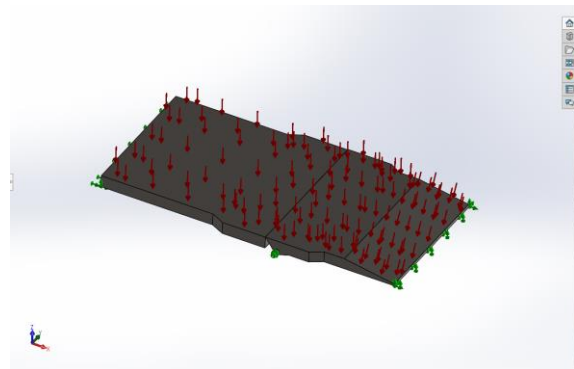


Gambar 11. Pemberian beban terpusat pada kendaraan MPV

Pada Gambar 11 dapat dilihat bahwa pada ramp door Haluan terdapat dua kendaraan berjenis *MPV*. Beban yang diberikan terdapat 8 beban terpusat (*force*) dengan masing-masing beban adalah sebesar 9549,37 N.

Pemberian beban merata (*pressure*) diberikan berdasarkan hasil perhitungan pada sebelumnya, Pembebanan diasumsikan sebagai beban merata yang mengenai langsung pada pelat atas dari *Ramp Door* haluan, selanjutnya dilakukan perhitungan dari luas penampang pelat atas *Ramp Door*

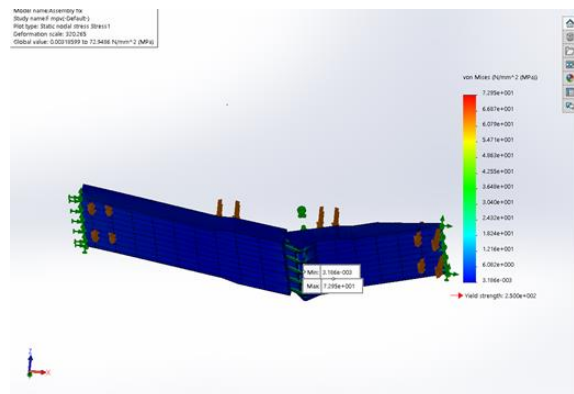
atau bagian yang akan diberikan beban secara merata, kemudian massa dari setiap jenis kendaraan dibagi dengan luas penampang tersebut agar mendapatkan beban merata yang tepat pada setiap jenis kendaraan. Pemberian beban merata (*pressure*) pada setiap jenis kendaraan dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Pemberian beban merata pada kendaraan MPV

Pada Gambar 11 dapat dilihat bahwa pada pada *Ramp Door* haluan terdapat dua jenis kendaraan berjenis *MPV* dengan letak beban merata (*pressure*) dengan beban sebesar $1,14 \times 10^{-3}$ MPa.

Analisis nilai tegangan pada beban terpusat (*force*) diberikan berdasarkan hasil perhitungan pada sebelumnya, kemudian dilakukan analisis pada dua kondisi yaitu beban terpusat (*force*) dengan letak beban ditumpu dan beban terpusat (*force*). Analisis nilai tegangan pada jenis kendaraan *MPV* dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Hasil analisis tegangan dengan beban terpusat pada jenis kendaraan MPV

Pada Gambar 13 dapat dilihat bahwa pada jenis kendaraan *MPV* memiliki nilai

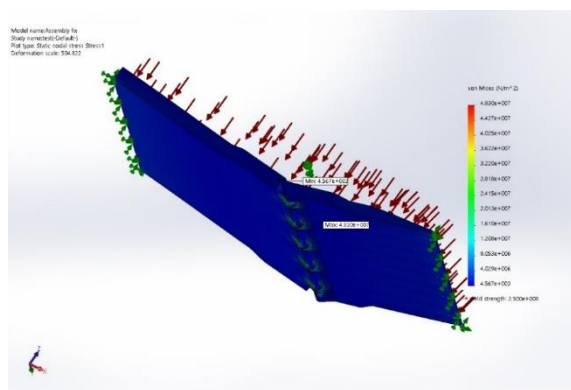
tegangan maksimum pada arah X adalah sebesar 72,94 MPa dan tegangan minimum sebesar $3,18 \times 10^{-3}$ Mpa, untuk nilai tegangan pada arah Y dan Z memiliki nilai tegangan yang kecil sehingga tidak terlalu memberikan efek kepada ramp door haluan. Tegangan maksimum ramp door haluan pada jenis kendaraan MPV berada pada node 94362.

Berikut ini adalah rekapitulasi nilai tegangan beban terpusat (Force) pada setiap jenis. Rekapitulasi analisis nilai tegangan maksimal, nilai tegangan minimum, dan Node pada setiap jenis kendaraan dapat dilihat pada Tabel 15.

Tabel 15. Rekapitulasi hasil nilai tegangan dengan beban terpusat

Jenis Kendaraan	Beban terpusat pada kendaraan (N)	Tegangan Minimum (Mpa)	Tegangan maksimum (Mpa)	Node
MPV	9549,37	$3,18 \times 10^{-3}$	72,94	94362
SUV	11114,09	$1,75 \times 10^{-2}$	97,65	94360
Sedan	8298,97	$9,05 \times 10^{-3}$	60,09	81065
Commercial	10082,57	$1,84 \times 10^{-2}$	88,48	94360
Truk Kecil	11991,64	$1,43 \times 10^{-2}$	74,90	94360
Truk Besar	26694,42	$2,82 \times 10^{-2}$	284,13	94360
Bus	26192,73	$2,09 \times 10^{-2}$	93,01	94368

Analisis nilai tegangan pada beban merata (pressure) diberikan berdasarkan hasil perhitungan, Analisis nilai tegangan pada jenis kendaraan MPV pada beban merata (pressure) dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Hasil analisis tegangan dengan jenis beban merata pada jenis kendaraan MPV

Pada Gambar 14 dapat dilihat bahwa jenis kendaraan MPV memiliki nilai tegangan maksimum pada arah X adalah sebesar 47,90 MPa dan tegangan minimum sebesar 5,92 MPa, untuk nilai tegangan pada arah Y dan Z memiliki nilai tegangan yang kecil sehingga tidak terlalu memberikan

efek kepada Ramp Door Haluan. Tegangan maksimum Ramp Door Haluan pada jenis kendaraan MPV berada pada node 94362

Berikut ini adalah rekapitulasi hasil nilai tegangan beban merata (pressure) pada setiap jenis kendaraan Rekapitulasi analisis nilai tegangan maksimal, nilai tegangan minimum, dan Node pada setiap jenis kendaraan dengan letak beban merata (pressure) dapat dilihat pada Tabel 16.

Tabel 16. Nilai tegangan dan node

Jenis kendaraan	Beban merata pada kendaraan (Mpa)	Tegangan minimum (Mpa)	Tegangan maksimum (Mpa)	Node
MPV	$1,14 \times 10^{-3}$	5,92	47,90	94362
SUV	$1,32 \times 10^{-3}$	6,72	50,37	94262
Sedan	$9,86 \times 10^{-4}$	4,43	41,47	94362
Commercial	$1,2 \times 10^{-3}$	7,27	37,59	94360
Truk kecil	$2,13 \times 10^{-3}$	10,69	89,44	94360
Truk Besar	$7,94 \times 10^{-3}$	39,27	331,84	94360
Bus	$4,67 \times 10^{-3}$	15,71	196,50	81080

Pada Tabel 16 dapat dilihat bahwa jenis kendaraan dengan tegangan maksimum terbesar adalah kendaraan berjenis truk besar dengan nilai tegangan maksimum 331,84 MPa dan kendaraan dengan tegangan maksimum terkecil adalah kendaraan bejenis Commercial dengan nilai tegangan maksimum 37,59 MPa. Pada semua jenis kendaraan tengangan maksimum yang terjadi di beberapa tempat yang berbeda tergantung ukuran beban merata yang diberikan.

Material yang digunakan adalah pelat baja A36 dan perhitungan safety factor mengacu pada sertifikat material berdasarkan BKI Vol II 2019 Sec 4 B 6.5. Perhitungan safety factor (SF) dilakukan dengan membandingkan hasil tegangan simulasi dengan tegangan yield sertifikat material seperti pada persamaan berikut,

$$SF = \frac{\text{Tegangan Yield Material}}{\text{Tegangan Simulasi}}$$

Sehingga didapatkan hasil perhitungan safety factor seperti pada Tabel 17.

Tabel 17. Perhitungan safety factor menurut sertifikasi BKI

Jenis kendaraan	Tegangan maksimum simulasi (Mpa)	Tegangan Ultimate Material (Mpa)	Tegangan yield material (Mpa)	Safety factor	Keterangan
MPV	47,90	400	335	6,99	Aman
SUV	50,37			6,65	Aman
Sedan	41,47			8,08	Aman
Commercial	37,59			8,91	Aman
Truk Kecil	89,44			3,75	Aman
Truk Besar	331,84			1,01	Aman
Bus	196,50			1,70	Aman

Didapatkan nilai safety factor seperti pada Tabel 17 yang berarti nilai tersebut diatas standar keamanan material yaitu 1. Sehingga dapat dikatakan bahwa status konstruksi kapal adalah aman untuk dilewati beberapa jenis kendaraan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil Analisa pada bab sebelumnya, maka diperoleh kesimpulan bahwa nilai tegangan maksimum pada *Ramp Door* Haluan dengan jenis kendaraan *MPV* pada beban terpusat adalah sebesar 72,94 MPa dan dengan beban merata adalah sebesar 43,26 MPa. Pada jenis kendaraan *SUV* tegangan maksimum dengan beban terpusat adalah sebesar 97,65 MPa dan dengan beban merata adalah sebesar 50,37 MPa. Pada jenis kendaraan *Sedan* tegangan maksimum dengan beban terpusat adalah sebesar 60,09 MPa dan dengan beban merata adalah sebesar 37,61 MPa. pada jenis kendaraan *Commercial* tegangan maksimum dengan beban terpusat adalah sebesar 88,48 MPa dan dengan beban merata adalah sebesar 45,70 MPa. Pada jenis kendaraan truk kecil tegangan maksimum dengan beban terpusat adalah sebesar 74,90 MPa dan dengan beban merata adalah sebesar 81,53 MPa. Pada jenis kendaraan *Truk besar* tegangan maksimum dengan beban terpusat adalah sebesar 284,13 MPa dan dengan beban merata adalah sebesar 302,48 MPa. Pada jenis kendaraan *Bus* tegangan maksimum dengan beban terpusat adalah sebesar 93,01 MPa dan dengan beban merata adalah sebesar 178,08 MPa. *Safety Factor* yang dihasilkan dari perbandingan tegangan *yield material* terhadap tegangan maksimal simulasi menyatakan bahwa konstruksi yang dilewati beberapa jenis kendaraan yang digunakan adalah aman untuk konstruksi kapal. Nilai *safety factor* terbesar adalah jenis kendaraan *Commercial* dengan nilai 8,91. Sedangkan nilai *safety factor* terkecil adalah jenis kendaraan *Truk Besar* dengan nilai *safety factor* 1,01.

Ucapan Terima Kasih

Penulis ingin berterima kasih kepada Program Studi Teknik Perkapalan karena telah memfasilitasi penelitian terkait. Terimakasih pula kepada tim reviewer yang tidak diketahui namanya yang telah memberikan saran dan masukan yang membangun sehingga paper ini layak untuk dipublikasi.

Referensi

- [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] M. Z. M. Alie, and S. I. Latumahina. Progressive collapse analysis of the local elements and ultimate strength of a Ro-Ro Ship. Int J Technol. 2019;10(5):1065–79.
- [3] M. Z. M. Alie, G. Sitepu, A. M. N. Wahyuddin and A. The influence of Superstructure on the longitudinal ultimate strength of a RO-RO ship. In: Proceedings of the Annual International Offshore and Polar Engineering Conference. 2016. p. 1022–9.
- [4] Alamsyah, S.D. Nurcholik, Suardi, M.U.Pawarah J. The Strength and Fatigue Life analysis of Sedan Car Ramp of The Ferry Ro-Ro 5000 GT Using Finite Element Method. KAPAL J Mar Sci Technol. 2021;18(2):101–11.
- [5] Alamsyah, A.B.Mapangandro, A.I.Wulandari MUP. Fatigue Life Analysis of Ramp Door Ferry Ro-Ro GT 1500 Using Finite Element Method. MIPI. 2021;15(1):42–9.
- [6] N.F.Hidayat, I.P.Mulyatno HY. Analisa Kekuatan Struktur Stern Ramp Door KM.Gambolo dengan Variasi Beban Menggunakan Metode Elemen Hingga. Tek Perkapalan. 2017;5(1):181–8.
- [7] J. Sebastian and S.Jokosisworo.

- Analisa Fatigue Kekuatan Stern Ramp Door Akibat Beban Dinamis Pada Km. Kirana I Dengan Metode Elemen Hingga Diskrit Elemen Segitiga Plane Stress. *Tek Perkapalan*. 2012;8(3):119–25.
- [8] 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.
- [9] I. P. Mulyatno, A. Trimulyono and SFK. Strength Analysis of Internal Ramp Construction for Steel Wire Rope System at KM. Dharma Kencana VIII Using the Finite Element Method. *KAPAL J Mar Sci Technol*. 2014;11(2):85–93.
- [10] U. Karlsson. Structural Safety Analysis of Bow-Doors. Göteborg, Sweden: Chalmers University Of Technology; 2004.
- [11] A.B. Mapangandro. Analysis of Fatigue Construction of Bow Ramp Door due to Dynamic Loads at KMP. Bahtera Nusantara with the Finite Element Method. Kalimantan Institute of Technology; 2020.
- [12] Budiyo, E., & Yuono, L. D. *Proses Manufaktur*. Eko Budiyo.
- [13] Budiyo, E., Chiron, M. A., & Darmadi, D. B. (2016). Hardening baja AISI 1045 menggunakan gel aloe vera sebagai media pendingin. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 7(2), 55-64.
- [14] Budiyo, E., Yuono, L. D., & Rohman, F. (2020). Analisa proses produksi part number D574-50081-201 menggunakan mesin milling CNC di PT DI. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 9(2).
- [15] Budiyo, E. (2020). *Pengujian Material*. Laduny Alifatama.