



TUGAS AKHIR (DC43340)

**ANALISIS REKONSTRUKSI *RAMPDOOR* KAPAL DENGAN
PERBANDINGAN KONSTRUKSI KONVENSIONAL DAN
HONEYCOMB BERDASARKAN KINERJA STRUKTURAL
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

MUHAMMAD ILHAM NURRAHIM DERMAWAN
NRP. 0122040097

DOSEN PEMBIMBING :
RUDDIANTO, S.T., M.T
MUHAMMAD AL HAZMAN, S.T., M.T

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PERANCANGAN DAN KONSTRUKSI KAPAL
JURUSAN TEKNIK BANGUNAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
2026



PPNS POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

TUGAS AKHIR (DC43340)

**ANALISIS REKONSTRUKSI *RAMPDOOR* KAPAL DENGAN
PERBANDINGAN KONSTRUKSI KONVENSIONAL DAN
HONEYCOMB BERDASARKAN KINERJA STRUKTURAL
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

MUHAMMAD ILHAM NURRAHIM DERMAWAN
NRP. 0122040097

DOSEN PEMBIMBING :
RUDDIANTO, S.T., M.T
MUHAMMAD AL HAZMAN, S.T., M.T

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PERANCANGAN DAN KONSTRUKSI KAPAL
JURUSAN TEKNIK BANGUNAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2026

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**ANALISIS REKONSTRUKSI RAMPDOOR KAPAL DENGAN PERBANDINGAN
KONSTRUKSI KONVENSIONAL DAN HONEYCOMB BERDASARKAN
KINERJA STRUKTURAL MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

Disusun Oleh:

**Muhammad Ilham Nurrahim Dermawan
0122040097**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan
Program Studi D4 – Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal
Jurusan Teknik Bangunan Kapal
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA**

**Disetujui oleh Tim penguji Tugas Akhir Tanggal Ujian : 15 Juli 2026
Periode Wisuda : Oktober 2026**

Menyetujui,

Dosen Penguji

1. Ruddianto, S.T., M.T.
2. Ir. Agung Praseto Utomo, S.Pd., M.T.
3. Imam Nur Rokhim, S.T., M.T.
4. Muhammad Rakif Panguale, S.I.K., M.Si.

NIDN/NUPTK

(0015106904)
(0714108804)
(0713109304)
(694477067113047)

Tanda Tangan

(.....)
(.....)
(.....)
(.....)

Dosen Pembimbing

1. Ruddianto, S.T., M.T.
2. Muhammad Al Hazman, S.T., M.T.

NIDN/NUPTK

(0015106904)
(3141773674130283)

Tanda Tangan

(.....)
(.....)

**Menyetujui
Ketua Jurusan,**




**Ir. Priyambodo Nur Ardi Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 198103242014041001**

**Mengetahui
Koordinator Program Studi,**



**Ir. Agung Prasetyo Utomo, S.Pd., M.T.
NIP. 198810142019031006**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

No. : F.WD I. 021
Date : 31 Agustus 2026
Rev. : 01
Page : 1 dari 1

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Ilham Nurrahim Dermawan

NRP. : 0122040097

Jurusan/Prodi : Teknik Bangunan Kapal / D4 – Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

Tugas Akhir yang akan saya kerjakan dengan judul :

ANALISIS REKONSTRUKSI RAMPDOOR KAPAL DENGAN PERBANDINGAN
KONSTRUKSI KONVENSIONAL DAN HONEYCOMB BERDASARKAN KINERJA
STRUKTURAL MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Adalah **benar karya saya sendiri** dan **bukan plagiat dari karya orang lain.**

Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ilmiah tersebut, maka saya bersedia menerima **sanksi** sesuai ketentuan peraturan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh tanggung jawab.

Surabaya, 31 Agustus 2026

Mengesahkan pernyataan,



(Muhammad Ilham Nurrahim Dermawan)
NRP. 0122040097

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat, karunia, serta kekuatan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Analisis Rekonstruksi Rampdoor Kapal dengan Perbandingan Konstruksi Konvensional dan Honeycomb Berdasarkan Kinerja Struktural Menggunakan Metode Elemen Hingga.”** Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat akademik untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T.) pada Program Studi Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

Dalam proses penyusunan tugas akhir ini, penulis menghadapi berbagai tantangan dan hambatan, baik teknis maupun nonteknis. Namun, dengan dukungan dan bantuan dari berbagai pihak, penulis mampu menyelesaikan tugas ini hingga tuntas. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- 1) Allah SWT yang selalu memberikan perlindungan, petunjuk, dan kekuatan selama proses pengerjaan tugas akhir ini.
- 2) Bapak Rachmad Tri Soelistijono, S.T., M.T., selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- 3) Bapak Priyambodo Nur Ardi Nugroho, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Bangunan Kapal.
- 4) Bapak Agung Prasetyo Utomo, S.Pd., M.T., selaku Koordinator Program Studi Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal.
- 5) Bapak Izzul Fikry, S.T., M.T., selaku Koodinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal.
- 6) Bapak Ruddianto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I, dan Bapak Muhammad Al Hazman, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi selama proses penyusunan tugas akhir ini.

- 7) Seluruh tim dosen penguji, dosen pengajar, dan staf Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang telah memberikan ilmu, pengalaman, serta inspirasi selama masa perkuliahan
- 8) Kedua orang tua tercinta, Ibu Padmi Harsi dan Bapak Kus Satria Dermawan yang selalu memberikan doa, kasih sayang dan dukungan tiada henti, serta adik tercinta Muhammad Hafiih atas segala motivasi dan semangatnya.
- 9) Sahabat seperjuangan yang selalu memberi semangat dan menemani dalam suka dan duka, terutama Ilyas, Mario, Deni, Trio, Prakas, Adit, Krisnanda, Faul, Fajar Afri, Andika, Yossie, dan Lala. Terima kasih atas canda tawa dan solidaritas selama masa perkuliahan.
- 10) Seluruh teman-teman kelas Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal Angkatan 2022 yang telah menjadi bagian dari perjalanan akademik penulis selama empat tahun terakhir.
- 11) Pembimbing OJT Brin (Bu Endah, Pak Marsono, dan Pak Baharuddin Ali, Mas Bagus, Mas Adit) yang telah memberikan ilmu dan pengalaman yang tidak penulis dapatkan selama mengenyam bangku perkuliahan.
- 12) Pembimbing OJT PAL (Pak Indrawan) yang telah memberikan ilmu dan pengalaman yang tidak penulis dapatkan selama mengenyam bangku perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki kekurangan dan keterbatasan. Oleh karena itu, penulis membuka diri terhadap kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa mendatang. Penulis berharap tugas akhir ini dapat memberikan manfaat sebagai referensi bagi penelitian atau pengembangan desain sejenis di masa yang akan datang.

Surabaya, 26 Juli 2026

Penulis

ANALISIS REKONSTRUKSI *RAMPDOOR* KAPAL DENGAN PERBANDINGAN KONSTRUKSI KONVENSIONAL DAN *HONEYCOMB* BERDASARKAN KINERJA STRUKTURAL MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Muhammad Ilham Nurrahim Dermawan

ABSTRAK

Kapal Roll-on/Roll-off (Ro-Ro) menggunakan pintu rampa tidak hanya untuk memudahkan bongkar muat kendaraan, tetapi juga sebagai komponen struktural yang menopang beban operasional. Desain pintu ramp konvensional memberikan kekuatan struktural yang memadai; namun, desain tersebut cenderung relatif berat, sehingga mengakibatkan efisiensi material yang lebih rendah dan biaya konstruksi yang lebih tinggi. Penelitian ini mendesain ulang pintu ramp menggunakan Metode Elemen Hingga (FEM) yang diimplementasikan dalam perangkat lunak ANSYS pada simulasi beban truk seberat 16 metrik ton. Desain ulang tersebut melibatkan modifikasi berulang terhadap sistem penguat dan geometri lokal hingga batas yang diizinkan untuk tegangan, deformasi, dan faktor keamanan terpenuhi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur sarang lebah bergerigi mencapai kinerja struktural yang sebanding dengan desain konvensional setelah penambahan braket, modifikasi bukaan sarang lebah, dan penerapan profil sarang lebah bergerigi berukuran 225×75 mm. Selain itu, desain yang direkonstruksi ini mengurangi berat struktural sebesar 19% dan biaya material sebesar 15% dibandingkan dengan desain konvensional, sekaligus memenuhi kinerja struktural yang disyaratkan. Secara keseluruhan, struktur sarang lebah bergerigi yang diusulkan menawarkan alternatif yang praktis dan efisien dalam penggunaan material untuk konstruksi pintu rampa.

Kata kunci: *Castellated Honeycomb*, Kapal *Roll-on/Roll-off* (Ro-Ro), Kinerja Struktural, Metode Elemen Hingga, Rampdoor.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

***ANALYSIS OF SHIP RAMP DOOR RECONSTRUCTION:
COMPARISON OF CONVENTIONAL AND HONEYCOMB
BASED ON STRUCTURAL PERFORMANCE USING THE
FINITE ELEMENT METHOD***

Muhammad Ilham Nurrahim Dermawan

ABSTRACT

Roll-on/Roll-off (Ro-Ro) ships use ramp doors not only to facilitate vehicle loading and unloading but also as structural components that support operational loads. Conventional ramp door designs provide adequate structural strength; however, they tend to be relatively heavy, resulting in lower material efficiency and higher construction costs. This study redesigned the ramp door using the Finite Element Method (FEM) implemented in ANSYS software under a simulated 16-metric-ton truck load. The redesign involved iterative modifications to the bracing system and local geometry until the allowable limits for stress, deformation, and safety factor were satisfied. The results indicate that the castellated honeycomb structure achieved structural performance comparable to that of the conventional design after the addition of brackets, modification of the honeycomb openings, and the application of a 225×75 mm castellated honeycomb profile. Furthermore, the reconstructed design reduced the structural weight by 19% and material cost by 15% relative to the conventional design while satisfying the required structural performance. Overall, the proposed castellated honeycomb structure offers a practical and material-efficient alternative for ramp door construction.

Keywords : Castelled Honeycomb, Finite Element Method, Ramp Door, Roll-on/Roll-off (Ro-Ro) ships, Structural Performance.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR (DC43340)	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	v
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terdahulu	7
2.1.1 Perbedaan pada Penelitian saat ini	9
2.2 Kapal Motor Penyebrangan	9
2.3 Pintu Rampa atau <i>Rampdoor</i>	10
2.3.1 Jenis Jenis <i>Rampdoor</i>	10
2.3.2 Penentuan Perhitungan <i>Rampdoor</i>	13
2.4 Material Baja Kapal	13
I. Material <i>Grade A</i>	15
II. Material Castelled Honeycomb	17
III. Konsep dan Karakteristik Struktur <i>Castelled Honeycomb</i>	18
2.5 Tegangan	19
2.5.1 Tegangan Normal	20
2.5.2 Tegangan Geser	20
2.5.3 Tegangan Lengkung	21
2.5.4 Tegangan Von Mises	22

2.5.5 Tegangan Ijin	22
2.6 Faktor Keamanan atau <i>Safety Factor</i>	23
2.7 Pembebanan pada Kapal.....	24
2.8 Metode Elemen Hingga	26
2.9 Software	27
2.9.1 AutoCAD	27
2.9.2 Ansys	27
BAB 3 METODE PENELITIAN	29
3.1 Diagram Alir	29
3.2 Identifikasi Masalah.....	30
3.3 Studi Literatur	30
3.4 Pengumpulan Data	30
3.4.1 Ukuran dan desain rampdoor Existing	31
3.4.2 Ukuran dan Berat Truk	32
3.4.3 Spesifikasi Material dan Konfigurasi <i>Castelled Honeycomb</i>	33
3.5 Perencanaan Ukuran Rampdoor	34
3.6 Pembuatan Model Rampdoor konvensional.....	36
3.6.1 Analisis Kekuatan Rampdoor Konvensional dengan Ansys.....	36
3.7 Variasi Konfigurasi <i>Castelled Honeycomb</i>	37
3.7.1 Pembuatan Model Rampdoor <i>Castelled Honeycomb</i>	38
3.7.2 Analisis Kekuatan Rampdoor <i>Castelled Honeycomb</i> dengan Ansys	38
3.8 Analisis Perbandingan Kinerja Struktural	38
3.9 Analisis Perbandingan Biaya Konstruksi Berdasarkan Volume dan Berat Material	39
3.10 Kesimpulan dan Saran	39
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1 Uraian Data kapal	41
4.1.1 Ukuran Utama Kapal	41
4.1.2 Muatan Kapal	42
4.2 Perancangan Rampdoor	42
4.2.1 Dimensi Rampdoor.....	42
4.2.2 Sudut Kemiringan Rampdoor	42

4.2.3 Perhitungan Beban Truk.....	44
4.3 Karakteristik Material, Batasan Geometri dan Kriteria Tegangan Izin.....	47
4.3.1 Batasan Geometri Ruang dan Pemilihan Profil Penegar Rekontruksi	47
4.3.2 Properti Mekanis Material Baja SS 400.....	48
4.3.3 Penyetaraan Material dan Faktor Koreksi BKI.....	48
4.3.4 Penetapan Batasan tegangan Izin	49
4.4 Geometri Model Rampdoor Existing	50
4.5 Geometri Model Penegar <i>Castelled Honeycomb</i>	51
4.6 Perhitungan Berat Konstruksi Rampdoor	52
4.6.1 Rampdoor Konvensional (Existing).....	52
4.6.2 Rampdoor Castelled Honeycomb	55
4.7 Analisis Perbandingan Kekuatan.....	57
4.7.1 Perhitungan Tegangan Izin BKI	57
4.7.2 Perhitungan Manual Rampdoor	58
4.7.2 Hasil Analisis <i>Rampdoor</i> konvensional	62
4.7.3 Proses Meshing	65
4.7.4 Pendefinisian Kondisi Batas	66
4.7.5 Pendefinisian Beban (Force)	67
4.7.6 Uji Konvergensi	68
4.8 Simulasi Pada Model.....	69
4.8.1 Hasil Simulasi Tegangan dan Deformasi Rampdoor Konvensional.....	69
4.8.2 Hasil Simulasi Tegangan dan Deformasi Rampdoor Castelled Honeycomb Belum Memenuhi SF.....	72
4.8.3 Hasil Simulasi Tegangan dan Deformasi Rampdoor Castelled Honeycomb Memenuhi SF	74
4.8.4 Ringkasan dan Perbandingan Kinerja	77
4.9 Analisis Perbandingan Biaya Konstruksi Berdasarkan Volume dan Berat material	78
4.9.1 Estimasi Biaya Konstruksi Rampdoor Konvensional	78
4.9.2 Estimasi Biaya Konstruksi Rampdoor Honeycomb.....	79
4.9.3 Perbandingan Biaya Material Rampdoor Konvensional dan Rampdoor Honeycomb	80

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	81
5.1 Kesimpulan	81
5.2 Saran	82
DAFTAR PUSTAKA.....	83
Lampiran.....	85
Lampiran 1. Load Scenario.....	85
Lampiran 2. Design Rampdoor.....	87
Lampiran 3. Data Teknis Produk	98

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu.....	7
Tabel 2. 2 Klasifikasi Baja Karbon	14
Tabel 2. 3 Sifat Mekanik Baja LR <i>Grade</i>	16
Tabel 2. 4 Material Properties LR Grade A.....	17
Tabel 3. 1 Ukuran Utama Rampdoor	31
Tabel 4. 1 Perbedaan Material Properties LR Grade A dan SS 400.....	53
Tabel 4. 2 Berat Plat Rampdoor	53
Tabel 4. 3 Berat Profil T.....	53
Tabel 4. 5 Berat Pade Eye	54
Tabel 4. 6 Total Berat Rampdoor Konvensional	54
Tabel 4. 7 Perbedaan Material Properties LR Grade A dan SS 400	55
Tabel 4. 8 Berat Plat Rampdoor	56
Tabel 4.9 Berat Profil <i>Castelled Honeycomb</i>	56
Tabel 4.11 Berat Profil T	56
Tabel 4. 14 Perbedaan Material Properties LR Grade A dan SS 400.....	63
Tabel 4. 15 Hasil Uji Konvergensi	68
Tabel 4. 17 Biaya kontruksi rampdoor existing	78
Tabel 4. 18 Biaya kontruksi rampdoor Honeycomb	79
Tabel 4. 19 perbandingan biaya material rampdoor.....	80

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Ramp Door</i> Kapal KMP. Marina Permata.....	10
Gambar 2. 2 <i>Quarter Ramp Door</i>	11
Gambar 2. 3 <i>Side Ramp Door</i>	11
Gambar 2. 4 <i>Slewing Ramp Door</i>	12
Gambar 2. 5 <i>Slewing Ramp Door</i>	13
Gambar 2. 6 Penguraian Intensitas Gaya	20
Gambar 2. 7 Tegangan Geser	21
Gambar 2. 8 Tegangan Lengkung	21
Gambar 2. 9 Beban Terpusat	25
Gambar 2. 10 Pembebanan Bidang Miring.....	26
Gambar 3. 1 Diagram Alir Metode Peneleitian.....	29
Gambar 3. 2 Design Rampdoor KMP. Marina Pratama.....	32
Gambar 3. 3 Ukuran Truk Ban <i>Double</i> Mitsubishi.....	32
Gambar 4.21 Tegangan Normal Material LR Grade A	70
Gambar 4.22 Gambar Tegangan Geser Material LR Grade A	70
Gambar 4.23 Tegangan <i>Von Mises</i> Material LR Grade A	70
Gambar 4.24 Tegangan Defirmasi Maksimum Material LR Grade A	71
Gambar 4.25 Tegangan Normal Material SS 400	72
Gambar 4.26 Tegangan Geser Material SS 400	72

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Rampdoor pada kapal Ro-Ro merupakan komponen struktural yang berfungsi sebagai akses utama kendaraan dan muatan saat proses bongkar muat. Struktur rampdoor harus mampu menahan beban kendaraan, beban dinamis selama operasi, serta pengaruh lingkungan laut, sehingga umumnya dirancang menggunakan konstruksi baja konvensional berupa pelat berpenegar dan harus memenuhi persyaratan kekuatan serta keselamatan sesuai ketentuan klasifikasi kapal (Biro Klasifikasi Indonesia, 2024). Namun, konstruksi konvensional tersebut cenderung memiliki berat yang relatif besar, yang dapat berdampak pada peningkatan berat total kapal dan menurunkan efisiensi operasional.

Seiring perkembangan teknologi struktur baja, diperkenalkan konsep balok berongga seperti honeycomb beam yang menawarkan efisiensi struktural lebih baik dibandingkan balok baja konvensional. Honeycomb beam merupakan hasil modifikasi balok baja dengan membentuk bukaan berulang pada badan balok (web), sehingga tinggi efektif penampang dan momen inersia meningkat tanpa penambahan massa struktur yang signifikan (Salmon, Johnson, & Malhas, 2009). Pengurangan massa struktur ini secara langsung berkontribusi terhadap penurunan berat struktur kapal, yang pada akhirnya berpotensi meningkatkan kapasitas muat efektif (deadweight tonnage/DWT) serta menurunkan kebutuhan daya dan konsumsi bahan bakar dalam operasinya.

Meskipun honeycomb beam telah banyak diaplikasikan pada struktur bangunan darat, penerapannya pada struktur perkapalan, khususnya rampdoor kapal Ro-Ro, masih terbatas dan memerlukan kajian lebih lanjut. Hal ini disebabkan oleh perubahan distribusi tegangan serta potensi konsentrasi tegangan lokal akibat bukaan pada web yang dapat memengaruhi kinerja struktural (Zaarour & Redwood, 2020). Selain itu, karakteristik beban dan

kondisi operasional pada struktur kapal berbeda dengan bangunan darat, sehingga diperlukan evaluasi khusus terhadap aspek kekuatan dan kekakuan struktur.

Berdasarkan kondisi tersebut penelitian ini dilakukan untuk menganalisis rekonstruksi struktur rampdoor kapal Ro-Ro dengan menggunakan honeycomb beam sebagai alternatif terhadap konstruksi konvensional berupa plat berpenegar. Analisis dilakukan melalui perbandingan kinerja struktural kedua konfigurasi, meliputi tegangan maksimum, deformasi total, faktor keamanan, serta massa total struktur. Pendekatan yang digunakan mencakup perhitungan manual dan analisis numerik menggunakan metode elemen hingga (Finite Element/FEA)

Analisis pembebanan mengacu beban kendaraan truk Golongan VI dengan berat total 16 ton sesuai Permenhub No. 33 Tahun 2018, dan mengacu pada ketentuan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) dan JIS G 101. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran kuantitatif mengenai pengaruh pengurangan berat struktur rampdoor terhadap kinerja struktural dan efisiensi desain secara keseluruhan.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dan teknis terhadap pengembangan desain rampdoor kapal yang lebih ringan dan efisien dan tetap memenuhi persyaratan keselamatan. Selain itu, hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi praktis bagi industri perkapalan dalam melakukan optimasi struktur rampdoor dengan mempertimbangkan kekuatan, kekakuan, tanpa mengorbankan faktor keselamatan maupun standar klasifikasi yang berlaku.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang belakang, maka permasalahan yang menjadi fokus pembahasan dalam tugas akhir ini sebagai berikut.

1. Bagaimana distribusi tegangan dan deformasi yang terjadi pada struktur rampdoor kapal RO-RO akibat pembebanan kendaraan truk seberat 16 ton?

2. Berapa ukuran *honeycomb* yang mempunyai kekuatan setara dengan rampdoor konvensional?
3. Bagaimana perbandingan berat total struktur rampdoor kapal antara konstruksi konvensional dan konstruksi *honeycomb* hasil rekonstruksi?
4. Bagaimana perbandingan biaya konstruksi rampdoor kapal antara konstruksi konvensional dan konstruksi *honeycomb* berdasarkan volume dan berat material struktur yang digunakan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dirumuskan sebelumnya, tugas akhir ini bertujuan untuk mencapai beberapa sasaran sebagai berikut.

1. Menganalisis tegangan von Mises deformasi maksimum pada struktur rampdoor kapal RO-RO akibat pembebanan kendaraan menggunakan metode elemen hingga.
2. Membandingkan kinerja struktur rampdoor kapal antara konstruksi konvensional dan konstruksi *castelled honeycomb*.
3. Mengetahui perbandingan berat total struktur rampdoor kapal antara konstruksi konvensional dan konstruksi *castelled honeycomb* hasil rekonstruksi.
4. Menganalisis perbandingan biaya konstruksi rampdoor kapal antara konstruksi konvensional dan konstruksi *castelled honeycomb* beam berdasarkan volume dan berat material struktur.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Dalam konteks mahasiswa, tugas akhir ini berfungsi sebagai media pembelajaran analisis struktural menggunakan metode elemen hingga, serta meningkatkan pemahaman mengenai desain dan evaluasi kekuatan struktur rampdoor kapal.
2. Bagi akademik, diharapkan dapat digunakan sebagai referensi tambahan dalam pembelajaran khususnya mengenai penerapan

konstruksi *castelled honeycomb* sebagai alternatif konstruksi rampdoor kapal RO-RO.

3. Untuk industri, diharapkan menjadi masukan bagi industry perkapalan dalam merancang desain rampdoor kapal RO-RO yang lebih ringan, kuat memenuhi persyaratan dan aturan klasifikasi.
4. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai pengaruh penggunaan *castelled honeycomb* terhadap berat, volume material dan performa struktural rampdoor kapal.

1.5 Batasan Masalah

Agar membatasi ruang lingkup penelitian dan tidak melebar dari tujuan utama berupa batasan masalah di terapkan dalam penelitian ini.

1. Objek penelitian difokuskan pada rampdoor kapal jenis RO-RO dengan desain rampdoor eksiting yang telah disetujui oleh klasifikasi.
2. Penelitian ini mengabaikan analisis umur lelah (*fatigue life*), pembebanan siklik, serta pengaruh lingkungan.
3. Penelitian ini dibatasi pada analisis statik struktur rampdoor menggunakan metode elemen hingga. Beban dinamis akibat pergerakan kendaraan, beban kejut, pengaruh gelombang, gerakan kapal, serta interaksi struktur dengan lingkungan laut tidak diperhitungkan, sehingga hasil penelitian merepresentasikan respons struktur pada kondisi pembebanan statis.
4. Parameter yang dianalisis meliputi tegangan von Mises, deformasi maksimum, dan berat total struktur rampdoor pada desain konvensional dan *castelled honeycomb*.
5. Ukuran dan profil *castelled honeycomb* ditentukan berdasarkan pada referensi ukuran umum yang tersedia di pasaran.
6. Elemen rangka struktural yang sebelumnya menggunakan profil L dan T diganti menjadi profil *castelled honeycomb* (WF berlubang) untuk memperoleh perbandingan kinerja struktural yang lebih optimal.

7. Beban maksimum yang digunakan dalam analisis berasal dari kendaraan jenis truk dengan berat total 16 ton, mengacu pada golongan VI peraturan Menteri perhubungan No. 33 tahun 2018.
8. Analisis dilakukan secara numerik menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method*) dengan perangkat lunak ANSYS.
9. Perbedaan material pada rampdoor konvensional dan konstruksi *castelled honeycomb* tidak di jadikan variable utama penelitian, melainkan sebagai ketersediaan profil *castelled honeycomb*.
10. Analisis biaya dalam penelitian ini dibatasi pada estimasi biaya material struktur berdasarkan kebutuhan volume, berat, dan harga satuan material, tanpa memperhitungkan biaya fabrikasi, pengelasan, pengecatan maupun biaya konstruksi lainnya.
11. Seluruh analisis dilakukan dalam kondisi kering (*dry condition*) Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) dan JIS G 3101 SS 400 sebagai acuan teknis dan standar peraturan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Penulis, Tahun	Judul Penelitian	Variasi	Hasil Penelitian
1.	Situmorang., (2021)	<i>Comparative Analysis Of Cellular Beam And Honeycomb Beam With Anasys Program</i>	• Tegangan Von mises, Deformasi, Rasio bukaan web	Hasil penelitian menunjukkan bahwa honeycomb beam memiliki performansi struktural lebih efisien daripada cellular beam, dengan distribusi tegangan yang berbeda pada variasi bukaan web dan defleksi yang relatif lebih kecil.
2.	Feng Xu et al.,(2016)	<i>Finite-Element Analysis on Seismic Behavior of Hexagonal-Hole Variable Cross-Section Honeycomb Beam</i>	• Opening ratio heksagonal, kapasitas beban, Deformasi	Honeycomb beam dengan rasio bukaan tertentu menunjukkan penurunan kapasitas beban tetapi peningkatan rasio berat-kekuatan; FEM efektif dalam memprediksi perilaku linear.
3.	Pandey, D. & Rathour, T.S., (2021)	<i>Numerical Analysis and Validation with Experimental Method of Castellated Steel Beams with Hexagonal Web Opening.</i>	• Variasi kedalaman bukaan web heksagonal pada balok castellated dengan parameter panjang bentang dan rasio ekspansi balok yang tetap. Analisis dilakukan menggunakan metode analitik, simulasi elemen	Hasil penelitian menunjukkan bahwa balok castelled dengan bukaan web heksagonal mampu meningkatkan kapasitas lentur dan efisiensi struktural dibandingkan balok baja konvensional. Hasil simulasi FEA memiliki kesesuaian yang baik dengan hasil analisis

No	Penulis, Tahun	Judul Penelitian	Variasi	Hasil Penelitian
			hingga (FEA), serta validasi dengan data eksperimen.	analitik eksperimen, dengan perbedaan tegangan dan lendutan yang relative kecil.
4.	Wildhana Azhar Amiruddin., PPNS (2024)	Analisis perbandingan kekuatan dan fatigue life konstruksi rampdoor dengan material LR Grade A dan material LR Grade AH	• Dua material: LR grade A dan LR grade AH • Analisis kekuatan struktur • Analisis fatigue life	Penelitian menunjukkan bahwa kedua material menghasilkan tegangan maksimum 55,386 MPa dan memenuhi kriteria keselamatan berdasarkan standar BKI. Umur Lelah yang di peroleh tidak menunjukkan perbedaan, yaitu 35.75 tahun.
5.	Alamsyah., ITK (2022)	Analisis kekuatan struktur rampdoor haluan pada kapal ferry Ro-Ro 1500 GT dengan variasi Beban Menggunakan Finite Elemen Method	• Variasi jenis kendaraan • Variasi tipe pembebanan • Variasi posisi pembebanan	Hasil simulasi memperlihatkan bahwa rampdoor Haluan tetap aman terhadap seluruh variasi beban kendaraan, dengan tegangan maksimum tertinggi terjadi pada pembebanan truk besar namun masih berada di bawah batas izin material. Nilai <i>safety factor</i> berkisar antara 1,01 hingga 8,91 sehingga seluruh konfigurasi pembebanan dinilai memenuhi kriteria keamanan struktural.

Sumber Penulis (2026)

2.1.1 Perbedaan pada Penelitian saat ini

Penelitian terdahulu mengenai *castelled honeycomb* pada umumnya berfokus pada struktur bangunan sipil, dengan kajian terhadap peningkatan kapasitas lentur, geser, dan efisiensi material akibat variasi bukaan web dan parameter geometris balok. Sementara itu, penelitian yang secara khusus membahas rampdoor kapal Ro-Ro lebih menitikberatkan pada analisis kekuatan struktur konvensional dengan variasi material, jenis kendaraan, serta kondisi pembebanan, tanpa mengevaluasi penerapan struktur *castelled honeycomb* sebagai alternatif konstruksi.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini meneliti rekonstruksi struktur rampdoor kapal Ro-Ro dengan membandingkan kinerja struktural antara konstruksi konvensional dan *konstruksi castelled honeycomb* menggunakan metode elemen hingga. Analisis dilakukan berdasarkan parameter tegangan von Mises, deformasi maksimum, faktor keamanan, serta berat total struktur, dengan mengacu pada ketentuan BKI dan kondisi pembebanan kendaraan 16 ton. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi baru dalam penerapan struktur honeycomb beam pada komponen rampdoor kapal serta evaluasi efisiensi strukturalnya dalam konteks perkapalan.

2.2 Kapal Motor Penyebrangan

Kapal motor yang juga dikenal juga sebagai motor vessel, merupakan salah satu tipe kapal yang menggunakan mesin pembakaran dalam, umumnya mesin diesel sebagai sumber tenaga utama. Kapal ini memiliki beberapa jenis tipe berdasarkan karakteristik muatan serta fungsinya. Salah satu tipe kapal motor yang penting adalah kapal motor penyebrangan, yang disingkat KMP.

Kapal motor penyebrangan (KMP) memiliki peran utama sebagai sarana transportasi antar pulau yang bertugas mengangkut kendaraan, barang, dan penumpang secara simultan. Kapal jenis ini secara luas dikenal dengan istilah ferry ro-ro (*roll on-roll off ferry*) sebagai sarana penyebrangan memfasilitasi kendaraan untuk langsung memasuki dan meninggalkan dek kapal.

Dalam operasionalnya, kapal penyebrangan ini dilengkapi dengan dek kendaraan (*car deck*) yang berfungsi sebagai area parkir kendaraan selama proses penyebrangan berlangsung. Selain itu, pelaksanaan bongkar muat kendaraan di kapal fery ro-ro dilengkapi dengan *rampdoor* atau pintu rampa, yang menjadi penghubung antara kapal dan dermaga. Ketika kendaraan naik dan turun dari kapal.

2.3 Pintu Rampa atau *Rampdoor*

Pintu rampa atau *rampdoor* adalah bagian kapal yang di rancang khusus sebagai akses naik turun kendaraan atau muatan beroda. Fasilitas ini umumnya digunakan pada kapal yang memang membawa kendaraan, seperti kapal fery *Ro-Ro (Roll On Roll Off)*, kapal motor penumpang tertentu serta kapal jenis landing cradft seperti (LCU dan LCT). Berikut contoh *Rampdoor* dari Kapal KMP. Marina Permata.



Gambar 2. 1 Ramp Door Kapal KMP. Marina Permata
(Dokumentasi Pribadi, 2025)

2.3.1 Jenis Jenis *Rampdoor*

Penentuan jenis *ramp door* ini terbagi menjadi lima, diantar lima jenis jenis tersebut memiliki kegunaan yang berbeda beda. Disesuaikan dengan dmuatan dan pelabuhan yang menjadi tempat berlabuh kapal yang memiliki *ramp door* (Sartijo ddk ,2011) Berikut jenis jenis ramp door yang sering digunaka di kapal yaitu:

a. Quarter Ramp Door

Quarter *ramp door* adalah pintu rampa sudut yang dirancang sebagai multi panel untuk operasi Ro-Ro, berfungsi ganda sebagai jalur kendaraan dan sebagai pintu kedap air. Ketika tertutup selama pelayaran. Biasanya terdiri dari tiga segmen yang di hubungkan dengan engsel sehingga memungkinkan pelipatan dan penyesuaian saat pasang surut di dermaga. Karena kemampuan berlipat dan fungsi kedap airnya, *id* sering dipilih untuk meningkatkan efisiensi bongkar muat dan menyesuaikan operasi pada dermaga.



Gambar 2. 2 *Quarter Ramp Door* (www.macgregor.com)

b. Side Ramp Door

Side ramp door adalah jenis pintu rampa yang terletak di sisi kapal bagian kanan (*starboard side*) atau di sebelah kiri (*port side*). Jenis *ramp door* ini secara signifikan meningkatkan kapasitas permukaan dan pemakaian kapal, terutama di beberapa tingkat dek dimasukkan lebih tinggi di dalam kapal. Secara signifikan meningkatkan efisiensi dan pengurangan waktu dalam bongkar muat di pelabuhan.



Gambar 2. 3 *Side Ramp Door* (www.macgregor.com)

c. *Slewing Ramp Door*

Slewing ramp door secara konfiguratif, menampilkan keserupaan desain dengan *quarter ramp door*, namun dikembangkan melalui pendekatan rekayasa yang lebih spesifik untuk mendukung fleksibilitas operasi kapal saat melakukan proses berlabuh di sepanjang sisi dermaga. Implementasi mekanisme ini menjadi signifikan terutama pada kondisi operasional di mana dermaga tidak dilengkapi fasilitas sandar, sehingga *slewing ramp door* berperan sebagai sistem akses yang mempermudah keterbatasan infrastruktur Pelabuhan dan meningkatkan efisiensi manuver kapal.



Gambar 2. 4 *Slewing Ramp Door* (www.macgregor.com)

d. *Stern Bow Ramp Door*

Stern bow ramp door merupakan jenis pintu rampa yang ditempatkan pada bagian haluan (*bow*) maupun buritan (*stern*) kapal. Konfigurasi ini umum ditemukan pada kapal ferry ro-ro ataupun kapal motor penumpang karena mendukung proses naik turun kendaraan dan penumpang secara efisien.



Gambar 2. 5 *Slewing Ramp Door* (www.macgregor.com)

2.3.2 Penentuan Perhitungan *Rampdoor*

Pada penelitian ini, perhitungan struktur rampdoor dilakukan dengan merujuk pada standar yang diterbitkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI). Ketentuan tersebut tercantum dalam *BKI Volume II Rules for Hull, Section 6 Shell Plating*, khususnya Bagian J mengenai *Side Shell Doors and Stern Doors*. Regulasi ini mencakup prosedur penentuan dimensi struktur utama, ketebalan pelat, batas tegangan yang diizinkan, serta parameter perhitungan lainnya.

Selain itu, konstruksi *castellated honeycomb* dianalisis dengan mengacu pada standar material baja JIS G 3101 SS400 (*Japanese Industrial Standards*). Dalam proses perencanaannya, pemilihan dimensi profil *castellated honeycomb* mempertimbangkan karakteristik penampang, seperti modulus penampang (*section modulus*) dan momen inersia (*moment of inertia*), yang digunakan sebagai parameter dalam mengevaluasi kekuatan dan kekakuan struktur.

2.4 Material Baja Kapal

Baja merupakan salah satu material utama yang banyak di manfaatkan dalam bidang konstruksi saat ini. Dalam membangun kapal, terutama kapal besar baja kerap menjadi pilihan utama karena daya tahan fisik yang dimilikinya mampu menjaga struktur kapal terhadap tekanan gelombang laut. Umumnya, tiga jenis material baja yang sering dipakai di industri perkapalan, di antaranya:

a. Baja Karbon

Jenis baja ini terdiri dari unsur utama besi (Fe) yang dipadukan dengan karbon hingga kadar maksimal 2% (Gandy, 2007). Penambahan karbon tersebut memberikan sifat mekanik tertentu yang menjadikan baja jenis ini dikenal sebagai *carbon steel*. Selain karbon, ada pula penambahan unsur logam lain dalam kadar kecil, seperti silikon atau aluminium, yang bertujuan menunjang proses produksi dan meningkatkan sifat baja. Keunggulan utama baja karbon adalah harga lebih ekonomis serta ketersediaannya bahan yang melimpah, disertai ketahanan terhadap korosi serta kekuatan yang sesuai untuk kebutuhan pembuatan kapal laut. Baja karbon juga diklasifikasi berdasarkan kandungan karbonnya.

Tabel 2. 2 Klasifikasi Baja Karbon

Jenis Baja	% Karbon
Baja Karbon Rendah	0,02 – 0,20 %
Baja Karbon Sedang	0,02 – 0,50 %
Baja Karbon Tinggi	> 0,50 %

Contoh jenis material yang merupakan baja karbon adalah ASTM 36, Baja SS 400, JIS S50C, AISI 1050, LR Grade A.

b. Baja Paduan

Baja Paduan adalah material baja yang diperkaya dengan unsur logam yang ditambahkan antara 1,0% hingga 50,0% dari berat totalnya, dengan tujuan memperbaiki sifat mekanik baja itu sendiri (Hestiawan et al., 2019). Biasanya, unsur paduan seperti krom (Cr), molybdenum (Mo), dan unsur lain ditambahkan selama proses produksi. Secara garis besar, Baja Paduan menawarkan sifat mekanis yang lebih baik, seperti ketahanan terhadap deformasi, kelenturan serta kekuatan tarik yang tinggi. Jika dibandingkan dengan baja karbon, jenis baja ini memiliki harga yang lebih mahal, tetapi memberi kekuatan tarik yang lebih besar untuk ukuran yang sama, Contoh baja paduan yang sering digunakan ASTM A514 Grade 70, ASTM A710 Grade 50, dan beberapa material sejenis.

c. Baja Tahan Karat

Baja tahan karat merupakan jenis baja yang di desain dengan menambahkan kromium minimal 12% dalam kondisi dengan besi, yang berfungsi meningkatkan perlindungan dari korosi. Kehadiran unsur kromium tersebut mendorong terbentuknya lapisan tipis oksida kromium di permukaan baja, sehingga menahan laju proses oksidasi dan memperkuat struktur material dari serangan korosi. Secara umum, baja tahan karat memiliki kekuatan tarik relative mahal, sehingga pengguna umumnya terbatas pada komponen yang sangat membutuhkan sifat tahan korosi ekstra. Contoh yang sering di temukan di industri ialah ASTM A240 Grade 304 dan ASTM A240 Grade 316 dan lain lain.

I. Material *Grade A*

Baja untuk kebutuhan perkapalan harus memenuhi standar *marine use*, yaitu standar yang menjamin material mampu bertahan dan bekerja dengan baik di lingkungan laut. Salah satu jenis baja yang umum digunakan adalah LR grade A. Dalam klasifikasi LR, grade A merupakan baja dengan mutu dasar yang telah memenuhi kriteria *marine use*, sementara grade AH memiliki kualitas mekanik lebih tinggi, terutama dari sisi yield stress, sehingga termasuk ke dalam kategori berkekuatan lebih besar.

Berdasarkan *LR-Rule for manufactur, testing, and Certification of Material* (Juli 2022), LR menetapkan berbagai persyaratan sifat mekanik untuk setiap grade baja. Pada section 2 dijelaskan bahwa grade A, B, D, dan E harus memenuhi yield stress minimal 235 MPa serta memiliki *tensile strength* rentang 490-520 MPa. Klasifikasi lanjutan tiap grade juga mempertimbangkan besarnya *yield stress*.

Dengan mengacu pada standar ini, produsen dapat memastikan material baja yang di hasilkan memnuhi nilai kekuatan tarik dan kriteria mekanik yang di tetapkan LR.

Tabel 2. 3 Sifat Mekanik Baja LR *Grade*

No	Grade	Tensile strength (MPa)	Yield Strength (Mpa)	% Min Elengation In 2 inch	Impacting Test Temperature
1	LR A	400-520	235	22	20
2	LR AH32	440-590	315	22	0
3	LR AH36	490-620	355	21	0
4	LR AH40	510-650	390	20	0
5	LR AH42	530-680	420	20	0
6	LR AH46	570-720	460	19	0
7	LR AH50	610-770	500	18	0
8	LR AH55	670-830	550	18	0
9	LR AH62	720-890	620	17	0
10	LR AH69	770-940	690	16	0

Sumber: www.gneesteel.com, 2025

Pada tugas akhir ini, material yang di gunakan adalah LR Grade A. Pemilihan tersebut karena kedua jenis baja tersebut yang paling umum di gunkaan pada kontruksi lambung kapal, bangunan atas, maupun perlengkapan kapal yang tidak memerlukan kekuatan struktural khusus. LR Grade A setara dengan ASTM A36 Ketersediaanya yang melimpah serta sifatnya sebagai baja ber-grade rendah menjadikanya kedua pilihan yang tepat untuk penelitian ini. Informasi lebih rinci mengenai karakteristik materialnya dapat dilihat pada Tabel 2.4

Tabel 2. 4 Material Properties LR Grade A

Material Properties	LR Grade A
Yield Strength	235 MPa
Ultimate Tensile Strength	400 - 520 MPa
Density	7850 kg/cm ³
Young's Modulus	200 GPa
Poisson's Ratio	0.30
Elongation	Min 20%
Shear Modulus	76.9 GPa

II. Material Castelled Honeycomb

Dalam proses rekonstruksi rampdoor dengan menggunakan *castelled honeycomb*, pemilihan material menjadi faktor yang sangat penting karena struktur harus mampu bekerja secara aman dan tidak mengalami kegagalan selama operasi. Oleh karena itu, material yang digunakan harus memiliki kekuatan, keuletan, dan karakteristik mekanik yang memadai untuk menahan beban kerja yang diterima oleh rampdoor.

Pada penelitian ini digunakan profil *castelled honeycomb* beam dengan material baja struktural JIS G 3101 SS400. Baja SS400 merupakan baja karbon rendah yang umum diaplikasikan pada konstruksi dan komponen fabrikasi karena memiliki sifat mekanik yang stabil serta kemudahan dalam proses pengerjaan.

Selain itu, baja SS400 memiliki nilai elongation sebesar 17–21%, yang menunjukkan tingkat keuletan material yang baik. Karakteristik ini penting untuk mengantisipasi terjadinya konsentrasi tegangan lokal pada struktur *castelled honeycomb* akibat adanya bukaan pada badan balok. Dengan mempertimbangkan kekuatan, keuletan, serta kemudahan fabrikasi, baja SS400 dinilai layak digunakan sebagai material utama *castelled honeycomb* dalam penelitian ini. Pemilihan material ini juga

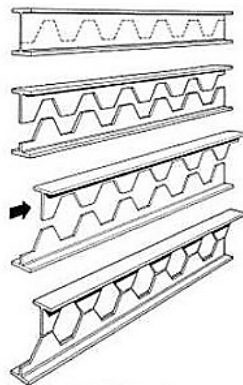
mempertimbangkan ketersediaan material di pasaran serta kesesuaiannya dengan praktik konstruksi baja yang umum digunakan.

Tabel 2.5 Sifat mekanik baja struktural JIS G 3101 SS 400

Material Properties	SS 400
Yield Strength	235 MPa
Ultimate Tensile Strength	400 -510 MPa
Density	7850 kg/cm ³
Young's Modulus	200 GPa
Poisson's Ratio	0.30
Elongation	Min 21%
Shear Modulus	79 GPa

III. Konsep dan Karakteristik Struktur *Castelled Honeycomb*

Castelled honeycomb merupakan pengembangan dari balok baja konvensional yang dimodifikasi dengan membentuk bukaan berulang pada badan balok, umumnya berbentuk heksagonal. Konsep struktur berongga ini bertujuan untuk meningkatkan tinggi efektif balok sehingga momen inersia penampang meningkat tanpa penambahan massa struktur yang signifikan. Bentuk dan konfigurasi dasar struktur *castelled honeycomb*, serta tahapan pembentukannya dari balok baja awal, ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.7 Struktur berongga (*castelled honeycomb*) pada konstruksi baja
Sumber: Diolah dari berbagai referensi

dilakukan melalui pemotongan badan balok mengikuti pola tertentu, kemudian bagian atas dan bawah balok disusun ulang dan disambung kembali sehingga terbentuk bukaan berulang pada web balok. Proses ini menghasilkan

balok dengan tinggi efektif yang lebih besar dibandingkan balok awal, sehingga meningkatkan kekakuan lentur struktur. Pola bukaan yang terbentuk juga memberikan keuntungan dari sisi pengurangan berat struktur tanpa mengurangi kapasitas lentur secara signifikan.

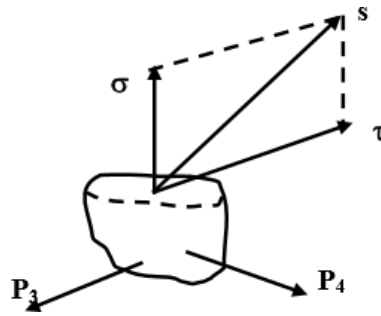
Keberadaan bukaan pada badan balok menyebabkan perubahan pola distribusi tegangan, khususnya tegangan geser yang cenderung terkonsentrasi pada bagian web di antara bukaan. Oleh karena itu, parameter geometris *castelled honeycomb* seperti tinggi balok, ketebalan web, diameter bukaan, serta jarak antar bukaan menjadi faktor penting dalam perancangan struktur untuk menghindari konsentrasi tegangan lokal yang berlebihan. Dalam penerapannya pada rampdoor kapal RO-RO, karakteristik struktur *castelled honeycomb* yang ringan namun memiliki kekakuan lentur yang memadai menjadikannya berpotensi sebagai alternatif pengganti konstruksi pelat berpenegar sesuai dengan ketentuan klasifikasi kapal.

2.5 Tegangan

Benda yang menerima gaya serta momen akan mengalami pembengkokan atau defleksi. Pembengkokan tersebut bergerak tegak lurus terhadap sumbu memanjang benda. Pada kondisi ini muncul tegangan normal dan tegangan geser pada setiap penampang melintang yang juga berada tegak lurus terhadap sumbu tersebut (Avianto et al., 2013). Tegangan menggambarkan kapasitas suatu benda atau struktur dalam menahan gaya yang bekerja padanya. Secara umum, tegangan dapat dipahami sebagai besarnya gaya yang diterapkan pada suatu luas bidang tertentu. Secara matematis, besaran ini dinyatakan melalui persamaan berikut.

$$\text{Tegangan } (\sigma) = \frac{\text{Gaya } (F)}{\text{Luas Area } (A)} \quad (2.1)$$

Sedangkan arah dari gaya pada tegangan digambarkan tegak lurus dan sejajar dengan irisan yang dianalisis seperti yang terlihat dari Gambar 2.6 dibawah ini.



Gambar 2. 8 Penguraian Intensitas Gaya

Ada beberapa macam tegangan yang terjadi pada suatu bidang yaitu:

2.5.1 Tegangan Normal

Tegangan normal merupakan respons material Ketika menerima gaya Tarik maupun gaya tekan. Besarnya tegangan ini bekerja tegak lurus terhadap permukaan benda dan muncul akibat pengaruh gaya aksial serta momen lentur (Sutikno, 2011). Kondisi tersebut menyebabkan material mengalami peregangan atau penekanan. Secara matematis, nilai tegangan normal dapat dituliskan sebagai berikut

$$\text{Tegangan geser } (\tau) = \lim_{\Delta A \rightarrow \infty} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (2.2)$$

Dimana:

σ = tegangan normal (N/m²)

F = gaya yang bekerja secara tegak lurus terhadap potongan (N)

A = luas bidang (m²)

2.5.2 Tegangan Geser

Tegangan geser (*shear stress*) adalah jenis tegangan yang muncul akibat adanya dua gaya yang arahnya berbeda atau tidak segaris pada suatu objek. Arah tegangan ini sejajar dengan bidang permukaan objek yang mengalami gaya geser

serta gaya puntir atau torsi (Sutikno., 2011). Secara matematis, nilai tegangan geser dapat dituliskan dengan notasi sebagai berikut.

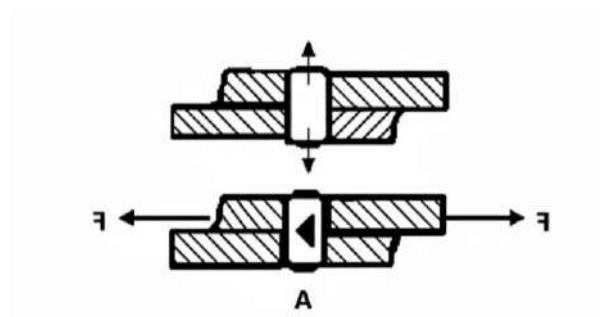
$$\text{Tegangan geser } (\tau) = \lim_{\Delta A \rightarrow \infty} \frac{\Delta V}{\Delta A} \quad (2.3)$$

Dimana:

τ = tegangan geser (N/m²)

V = gaya geser yang bekerja terhadap potongan (N)

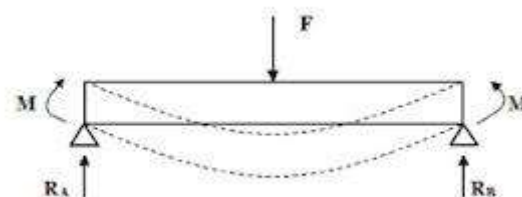
A = luas bidang (m²)



Gambar 2. 9 Tegangan Geser
(<https://123dok.com>)

2.5.3 Tegangan Lengkung

Bending stress adalah respons yang ditunjukkan suatu struktur ketika mendapatkan yang tidak merata. Pada komponen seperti poros atau roda bertumpu, variasi beban ini menghasilkan momen lengkung yang kemudian memicu timbulnya tegangan sepanjang bagian yang terpengaruh.



Gambar 2. 10 Tegangan Lengkung
(<https://anan-dk.blogspot.com/2010/02/macam-macam-tegangan.html>)

BKI Vol. II section 5, yang membahas kekuatan memanjang, mendefinisikan besar tegangan lengkung secara matematis. Besaran tersebut disajikan dalam notasi sebagaimana tercantum pada persamaan di bawah ini.

$$\text{Tegangan } (\sigma) = \frac{120}{k} (N/mm^2) \quad (2.4)$$

Dimana:

σ = Tegangan lengkung (N/mm^2)

k = material factor

Nilai 120/k bukan tegangan luluh, tapi tegangan aman

2.5.4 Tegangan Von Mises

Tegangan ini merupakan hasil gabungan antara tegangan normal dan tegangan geser yang bekerja pada tiga arah utama dan bertemu pada suatu titik di dalam material. Tegangan tersebut banyak digunakan untuk menentukan batas kemampuan material ulet serta memprediksi terjadinya keluluhan ketika material menerima beban (Avianto et al., 2013). Nilai tegangan maksimumnya dihitung dengan mengintegrasikan seluruh tegangan utama pada elemen material (Rohman, 2018). Besaran matematisnya disajikan dalam persamaan berikut.

$$\sigma_{vm} = \sqrt{(\sigma^2 + 3\tau^2)} \leq \frac{150}{k} (N/mm^2) \quad (2.5)$$

Dimana:

σ_{vm} = tegangan von mises

σ = tegangan normal

τ = tegangan geser

k = material factor

Dalam perancangan struktur kapal, nilai tegangan Von Mises yang diperoleh dari analisis numerik kemudian dibandingkan dengan tegangan izin yang ditetapkan dalam aturan klasifikasi untuk memastikan bahwa struktur bekerja dalam kondisi aman.

2.5.5 Tegangan Ijin

nilai tegangan gabungan atau tegangan von Mises maksimum yang diperbolehkan tidak boleh melampaui ketentuan berikut.

$$\sigma_{izin} = \frac{80}{k} (N/mm^2) \quad (2.6)$$

Dimana:

σ_{izin} = Tegangan izin

k = Faktor Material

Setiap jenis material memiliki nilai tegangan ijin yang berbeda beda, dan besarnya nilai tersebut ditentukan oleh factor material yang memiliki hubungan dengan tegangan ijin. Berdasarkan BKI Vol. II Sec. 2, faktor material ditetapkan dengan melihat nilai kekuatan luluh minimum (*yield stress*) dari material yang bersangkutan. Bila material yang digunakan bagian dari struktur lambung kapal memiliki factor $k=1$, maka material tersebut harus memenuhi syarat nilai yield minimal 235 MPa dan berada dalam rentang kekuatan tarik 400-520 MPa (Biro Klasifikasi Indonesia, 2024). Dalam kasus material yang nilai yield-nya berada di atas atau di bawah 235 MPa, perhitungan factor material harus disesuaikan menggunakan rumus berikut:

$$k = \frac{235}{Reh} \quad (2.7)$$

Dimana:

Reh = *yield stress* minimum material (MPa)

k = Faktor Material

2.6 Faktor Keamanan atau *Safety Factor*

Faktor keamanan (*safety factor*) merupakan parameter yang menunjukkan tingkat keamanan suatu struktur terhadap kemungkinan kegagalan. Sebuah konstruksi dinyatakan layak apabila kekuatan material penyusunnya lebih besar daripada kekuatan yang diperlukan untuk menahan beban yang bekerja. Perancangan konstruksi dengan kapasitas yang lebih tinggi dari kebutuhan atau kegagalan struktur. Nilai *safety factor* dapat dihitung menggunakan rumus matematis sebagai berikut

$$\text{Faktor keamanan} = \frac{\text{Kekuatan sebenarnya}}{\text{Kekuatan yang bekerja}} \quad (2.8)$$

Secara umum, faktor keamanan harus memiliki nilai lebih besar dari 1,0 untuk memastikan bahwa kekuatan aktual struktur tidak lebih kecil dibandingkan kekuatan yang dipersyaratkan. Berdasarkan ketentuan BKI Vol. II

Sec. 3, nilai safety factor keamanan yang digunakan secara umum adalah 1,1 sedangkan struktur yang hanya menerima beban lokal secara eksklusif digunakan nilai 1,2. Adapun pada struktur yang menerima kombinasi beberapa beban lokal. Struktur yang bekerja dibawah kombinasi beban yang independent secara statistic nilai faktor keamanan ditentukan berdasarkan persyaratan yang tercantum dalam peraturan BKI.

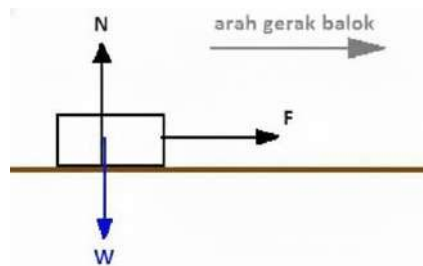
2.7 Pembebanan pada Kapal

Dalam desain konstruksi kapal, pembebanan menjadi aspek pembebanan yang harus dianalisis secara menyeluruh. Besar dan jenis beban yang diterima kapal sangat menentukan kekuatan material yang di perlukan serta bentuk konstruksi yang tepat untuk digunakan. Suatu struktur hanya dapat dikatakan aman apabila mampu menahan beban yang bekerja kegagalan dalam menahan beban tersebut dapat menyebabkan keruntuhan konstruksi. Kapal, sebagai moda transportasi yang bergerak dan mengapung di atas laut yang selalu dipengaruhi oleh gelombang, akan menghadapi beragam jenis pembebanan secara bersamaan. Seperti dijelaskan oleh (Rosyid, 2000) dalam bukunya Kekuatan Struktur Kapal, beban pada kapal dapat dibedakan ke dalam empat jenis utama.

a. Beban Statis

Beban statis adalah beban yang memberikan pengaruh secara berkelanjutan pada suatu konstruksi dan memiliki karakteristik titik kerja, intensitas, serta arah gaya yang tetap. Beban jenis ini umumnya digolongkan

Menjadi dua, yaitu beban terpusat dan beban merata. Beban terpusat menggambarkan kondisi di mana gaya bekerja pada satu titik tertentu dengan luas bidang kontak yang kecil, serta memiliki besar dan arah gaya yang definitif. Pada kapal, beban statis mencakup berat struktur kapal berat muatan yang dibawa, seluruh berat perlengkapan di dalamnya. serta gaya apung (*buoyancy*) yang diterima bagian lambung yang terendam dalam air.



Gambar 2. 11 Beban Terpusat
(<https://djukarna.wordpress.com/tag/kesetimbangan-gaya/>)

b. Beban Dinamis

Beban dinamis adalah beban yang bekerja pada suatu struktur dengan perubahan besar gaya yang terjadi secara tiba-tiba atau dalam durasi waktu relative singkat, berkisar antara beberapa detik hingga beberapa menit. Salah satu contohnya ialah beban siklis, yakni beban yang berlangsung berulang ulang. Pada kapal, beban dinamis ini tampak pada struktur rampdoor yang berulang kali menerima beban kendaraan yang melintasinya selama operasi.

c. Beban Dinamis Frekuensi Tinggi

Beban ini mengalami perubahan dengan frekuensi yang tinggi sehingga menyebabkan timbulnya getaran pada kapal. Salah satu contoh dari jenis beban tersebut adalah hidrodinamis yang berasal dari kerja propeller.

d. Beban Tumbuk

Beban ini di akibatkan oleh pukulan gelombang dan dapat mengakibatkan getaran transient pada lambung, yang disebut sebagai

whipping. Secara umum jika suatu objek yang berada pada bidang datar, nilai pembebanan yang bekerja dapat dihitung secara matematis dengan rumus berikut :

$$w = m \times g \times \cos \theta \quad (2.9)$$

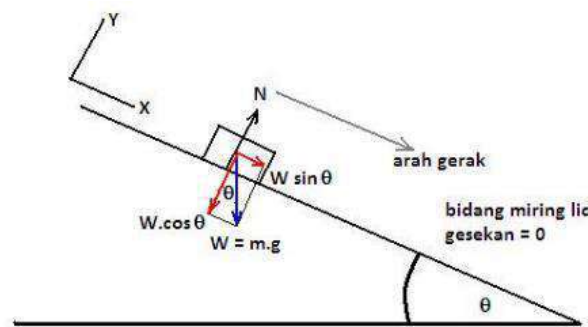
Dimana:

W = beban (N)

m = masa benda (kg)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

θ = sudut kemiringan bidang miring ($^\circ$)



Gambar 2. 12 Pembebanan Bidang Miring
(<https://djukarna.wordpress.com/tag/kesetimbangan-gaya/>)

2.8 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan pendekatan numerik yang di manfaatkan dalam analisis struktur sejak sekitar tahun 1940. Seiring berkembangnya teknik pemodelan dan kemampuan komputasi, metod ini tidak hanya digunakan untuk persoalan struktur, tetapi juga di terapkan pada kajian lain seperti aliran fluida, perpindahan panas, hingga analisis elastisitas material (Argo & Prasetyo). Prinsip utamanya adalah memecah suatu objek menjadi elemen elemen kecil yang jumlahnya terbatas. Setiap elemen saling terhubung melalui titik simpul atau *node* dan rangkaian node yang saling terkait tersebut membentuk *mesh* sebagai representasi geometri dari objek analisis.

Pada metode ini, langkah penyelesaiannya bergantung pada pendekatan melalui data yang berada pada titik simpul atau *node* dilakukan dengan memecah sistem menjadi bagian bagian kecil, lalu menggabungkanya Kembali

sehingga menghasilkan Solusi yang mencerminkan perilaku sistem secara keseluruhan (Rosyadi, 2021).

Proses penyelesaian menggunakan metode elemen hingga dibagi menjadi tiga tahapan. Tahap pertama adalah *preprocessing* yaitu mendefinisikan permasalahan melalui pemilihan material, pembuatan model 1D/2D/3D serta pembuatan *mesh* (Hoque, 2013). Setelah itu dilakukan tahap *solution* yang mencakup penetapan beban, tekanan, dan berbagai gaya yang bekerja pada objek. Tahap terakhir adalah *postprocessing*, di mana hasil simulasi dapat ditinjau lebih mendalam untuk melihat besaran tegangan yang timbul maupun mengidentifikasi bagian-bagian yang menunjukkan perilaku kritis (Hoque, 2013).

Dengan berkembangnya teknologi sudah terdapat berbagai *software* yang dapat menganalisis metode elemen hingga dengan praktis, salah satunya adalah *software* ANSYS. Pada penelitian ini *software* yang akan digunakan untuk menyelesaikan masalah adalah ANSYS 2024 R2 *Student Version*.

2.9 Software

2.9.1 AutoCAD

AutoCAD merupakan perangkat lunak yang digunakan sebagai alat bantu perancangan, atau yang dikenal sebagai *Computer Aided Design* (CAD). Melalui *software* ini, pengguna dapat membuat dan memodelkan berbagai objek dalam format 2D maupun 3D dengan memanfaatkan beragam fitur yang disediakan.

2.9.2 Ansys

Ansys merupakan *software* yang banyak digunakan dalam analisis teknik, khususnya dalam bidang *Computer Aided Engineering* (CAE). Kemampuan *software* ini dalam menjalankan metode elemen hingga membuatnya menjadi alat utama dalam pemodelan dan analisis berbagai objek teknik. *Ansys Workbench* sendiri menyediakan sejumlah fasilitas, antara lain:

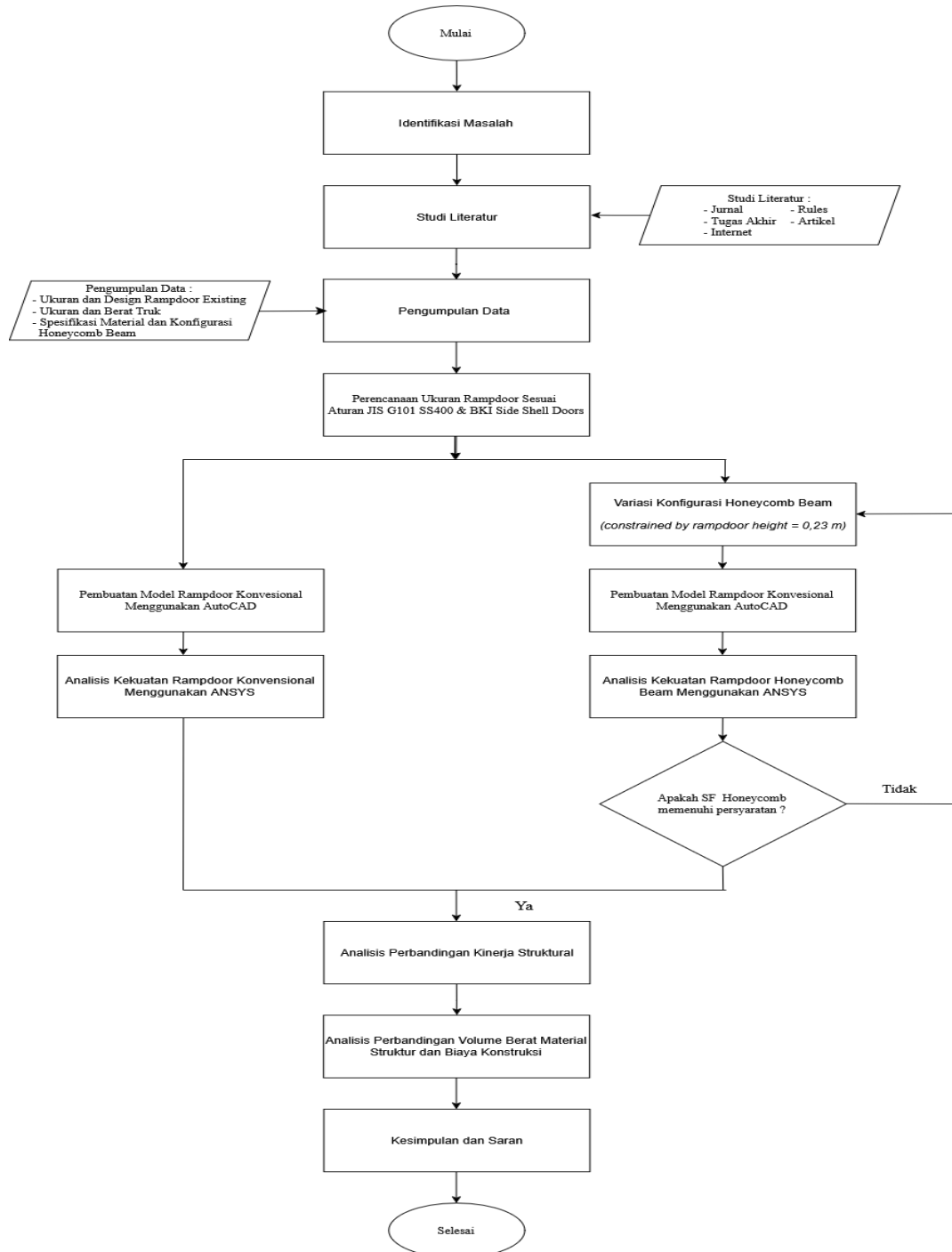
- a) *Engineering data*, sebagai *database* material lengkap dengan *properties*-nya.
- b) *Design modeler*, untuk membangun obyek atau model geometri yang akan dianalisis. Selain itu juga untuk memodifikasi gambar hasil *import* dari *software* lain.
- c) *BladeGen*, untuk membuat geometri bilah (*blade*).
- d) *Mechanical*, untuk analisis struktur dan perpindahan panas.
- e) *Fluid flow*, untuk analisis fluida atau *computational fluid dynamics* (CFD)
- f) *Meshing*, untuk proses pemecahan/pembagian menjadi elemen lebih kecil sebagai penyempurnaan hasil yang akan didapat

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan dalam diagram alir pada Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Metode Penelitian (Penulis, 2026)

Variasi konfigurasi *castelled honeycomb* pada penelitian ini dibatasi oleh tinggi rampdoor yang disetarakan dengan konstruksi konvensional sebesar 0,23 m. Perancangan dilakukan secara iteratif melalui pendekatan *trial-and-error design* dengan melakukan variasi parameter geometris *castelled honeycomb*, sementara tinggi keseluruhan struktur dipertahankan konstan. Proses iterasi ini ditunjukkan pada diagram alir penelitian melalui tahapan variasi konfigurasi honeycomb beam dan evaluasi faktor keamanan.

3.2 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dilakukan berdasarkan hasil observasi lapangan selama kegiatan *On the Job Training*. Permasalahan yang diangkat berfokus pada upaya memperoleh konstruksi rampdoor yang lebih ringan namun tetap mempertahankan kekuatan strukturalnya. Dalam hal ini, rampdoor konvensional tetap menggunakan material baja kelas LR sebagai acuan. Penelitian tugas akhir ini kemudian membandingkan performa struktur, serta karakteristik material antara rampdoor berbahan LR *Grade A* dengan alternatif desain yang menggunakan struktur *castelled honeycomb*.

3.3 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperluas pemahaman penulis terkait cara penyelesaian permasalahan yang dikaji. Pada Tugas Akhir ini, studi literatur diperlukan untuk memperoleh pengetahuan mengenai konstruksi rampdoor, jenis pembebanan, analisis struktur, perhitungan kekuatan, *safety factor*. Sumber literatur mencakup jurnal ilmiah, tugas akhir buku serta aturan klasifikasi yang diperoleh melalui internet, perpustakaan, maupun dari Perusahaan tempat magang. Seluruh hasil studi literatur tersebut menjadi dasar dalam penyusunan dan penyelesaian Tugas Akhir ini.

3.4 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan agar pemodelan yang disusun dapat menghasilkan output yang akurat. Data tersebut diperoleh dari berbagai sumber pendukung lainnya. Informasi meliputi *general arrangement*, dimensi dan desain

rampdoor existing, ukuran serta berat truk 16 ton, *product specification castelled honeycomb* dan juga material yang diperlukan.

3.4.1 Ukuran dan desain rampdoor Existing

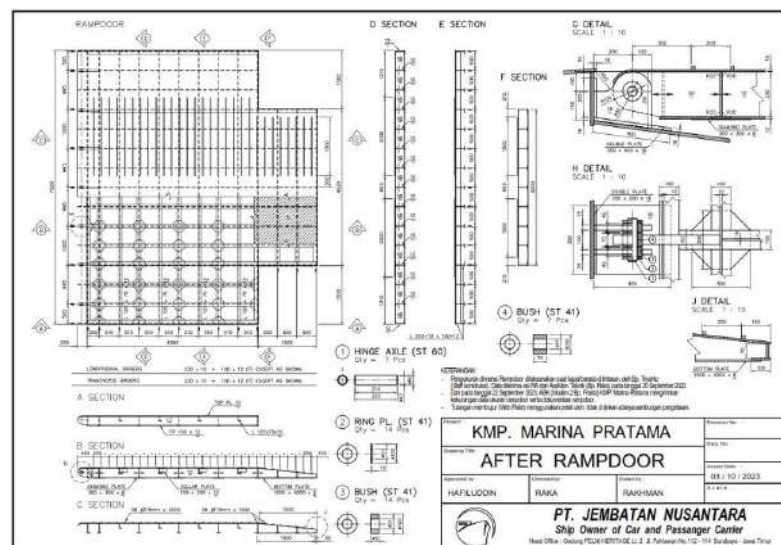
Ukuran dan desain rampdoor yang diinginkan didapatkan dari drafter PT. Jembatan Nusantara yang digunakan sebagai acuan dalam membangun konstruksi rampdoor dalam agenda docking *Special Survey* (SS) tahun 2023. Data yang dikumpulkan berupa Panjang rampdoor, lebar rampdoor, tebal rampdoor, posisi engsel, dan bentuk atau desain rampdoor. Data terkait dengan ukuran rampdoor dapat dilihat pada Tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3. 1 Ukuran Utama Rampdoor

No.	Data Ukuran Rampdoor	
1.	Panjang Rampdoor	7,20 m
2.	Lebar Rampdoor	6.13 m
3.	Tinggi Rampdoor	0.24 m
4.	Jumlah Engsel	7 Engsel

(Sumber: Ship Particular PT. Jembatan Nusantara, 2023)

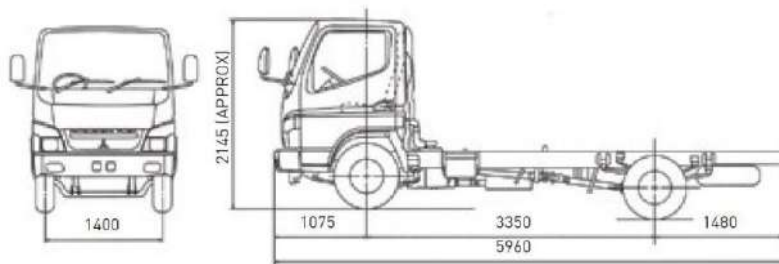
Sementara itu, untuk desain rampdoor penelitian ini menggunakan acuan pada desain rampdoor existing yang telah mendapatkan persetujuan klas saat proses docking tahun 2023. Desain rampdoor yang dimaksud di tampilkan pada Gambar 3.1 sebagai Gambaran umum objek penelitian, sedangkan detail konstruksi dan dimensi rampdoor secara lengkap disajikan pada lampiran 2.



Gambar 3. 1 Design Rampdoor KMP. Marina Pratama (PT. Jembatan Nusantara,2023)

3.4.2 Ukuran dan Berat Truk

Data terkait dengan ukuran truk di dapatkan dari data spesifikasi teknis truk dari katalog produk truk Mitsubishi 6 roda. Desain dan ukuran truk dapat dilihat pada gambar 3.3 dibawah ini.



Gambar 3.2 Ukuran Truk Ban *Double* Mitsubishi
(www.konsultan-mitsubishi.com, 2025)

Sementara untuk data berat truk mengacu pada berat 16 ton maksimal kendaraan yang diizinkan sesuai dengan Pemenhub No. 33 Tahun 2018 untuk kendaraan Golongan 6. Data berat truk sesuai dengan Permenhub No. 33 Tahun 2018 dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut ini.

GOLONGAN	TYPE KENDARAAN	BERAT
Golongan I	Sepeda	
Golongan I	Sepeda Motor dibawah 500 cc	
Golongan III	Sepeda Motor besar lebih dari 500 cc	
Golongan IV (Panjang maksimal 5 meter)	Mobil jeep, sedan, minicap, minibus, mikrolet, station wagon	3.500 kg
	Mobil pick up	3.500 kg
Golongan V (Panjang maksimal 7 meter)	Mobil bus sedang	8.000 kg
	Mobil barang (truk) / tangki (truk engkel)	12.000 kg
Golongan VI (Panjang maksimal 10 meter)	Mobil bus besar	16.000 kg
	Mobil barang (truk) / tangki (truk besar)	16.000 kg
Golongan VII (Panjang 10 – 12 meter)	Mobil barang (truk tronton) / tangki	22.000 kg
Golongan VIII (Panjang 12 - 16 meter)	Mobil barang (truk tronton) / tangki	40.000 kg
Golongan IX (Panjang lebih dari 16 meter)	Mobil barang (truk tronton) / tangki	40.000 kg

Gambar 3.3 Berat maksimal kendaraan sesuai golongan
Sumber : Permenhub No. 33 Tahun 2018)

3.4.3 Spesifikasi Material dan Konfigurasi *Castelled Honeycomb*

Pada penelitian ini, struktur rampdoor dimodelkan menggunakan *castelled honeycomb* sebagai elemen utama penahan beban. *castelled honeycomb* merupakan sebagai elemen utama penahan beban. *castelled honeycomb* merupakan hasil modifikasi struktur balok baja dengan membentuk bukaan berulang pada badan balok (web), sehingga tinggi efektif penampang dan momen inersia dapat meningkat tanpa penambahan berat struktur yang signifikan. Material yang digunakan adalah baja struktural JIS G 3101 SS 400. Pemilihan material ini didasarkan pada karakteristik mekanik yang stabil, tingkat keuletan yang memadai, serta mudah dalam proses fabrikasi struktur baja.

Konfigurasi geometris *castelled honeycomb* ditentukan berdasarkan parameter penampang utama yang terdiri dari *face plate* atas dan bawah, ketebalan web, serta dimensi dan jarak antar bukaan pada web balok. Bukaan pada web merupakan karakteristik utama *castelled honeycomb* mempengaruhi distribusi tegangan dan kekauan lentur struktur. Penentuan konfigurasi *castelled honeycomb* dilakukan secara bertahap melalui proses iteratif dibatasi tinggi rampdoor 0,23 meter berdasarkan kriteria faktor keamanan minimum struktur, sehingga diperoleh konfigurasi yang mampu menahan beban kerja rampdoor secara aman. Oleh karena itu, dimensi dan jarak antar bukaan ditentukan dengan mempertimbangkan keseimbangan antara pengurangan berat struktur dan kemampuan struktur dalam menahan beban kerja. Parameter geometris yang telah ditetapkan selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan konstruksi, baik untuk perhitungan manual maupun sebagai input pada analisis numerik menggunakan metode elemen hingga. Spesifikasi geometri profil *castellated honeycomb* yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini ditampilkan pada Gambar 3.4. Detail ukuran dan parameter profil secara lengkap disajikan pada lampiran 3.

Castellated Shape Honey Comb Product Specifications

Gambar 3.4 Spesifikasi geometris *castelled honeycomb* sebagai acuan pemodelan. Sumber: PT Gunung Garuda (diolah).

3.5 Perencanaan Ukuran Rampdoor

Perencanaan ukuran rampdoor dilakukan untuk menentukan dimensi profil penegar dan ketebalan pelat yang digunakan pada konstruksi rampdoor. Perhitungan konstruksi rampdoor konvensional mengacu pada Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) Volume II *Rules for Hull, Section 6 Shell Plating*, Bagian J *Side Shell Doors and Stern Doors* sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan kekuatan struktur. Sementara itu, perencanaan konstruksi *castellated honeycomb* mengacu pada standar material JIS G 3101 SS400 sebagai acuan sifat mekanik material yang digunakan. Hasil perhitungan tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan konfigurasi awal konstruksi sebelum dilakukan analisis menggunakan metode elemen hingga.

Pada konstruksi rampdoor eksisting digunakan profil T berukuran 230×10 + 100×12 mm sebagai penegar utama. Dalam penelitian ini, pemilihan profil *castellated honeycomb* tidak dilakukan secara langsung, melainkan diawali dengan menghitung karakteristik penampang profil T eksisting. Parameter yang digunakan sebagai dasar pemilihan adalah modulus penampang (*section modulus*), karena parameter tersebut merepresentasikan kapasitas penampang dalam menahan momen lentur. Oleh karena itu, terlebih dahulu dilakukan perhitungan modulus penampang profil T, kemudian hasilnya dibandingkan dengan data teknis yang terdapat pada *product guide castellated honeycomb*. Selain mempertimbangkan nilai modulus penampang, pemilihan profil juga memperhatikan batas tinggi maksimum konstruksi rampdoor sebesar 230 mm agar tetap sesuai dengan ruang pemasangan pada kapal.

Profil T eksisting memiliki dimensi $230 \times 10 + 100 \times 12$ mm. Berdasarkan karakteristik penampang profil, diperoleh nilai modulus penampang melalui Persamaan

$$A_w = 230 \times 10 = 2300 \text{ mm}^2$$

$$A_f = 230 \times 10 = 1200 \text{ mm}^2$$

$$A = A_w + A_f = 3500 \text{ mm}^2$$

Titik berat penampang diperoleh sebesar

$$\bar{y} = 85,5 \text{ mm}$$

Momen inersia diperoleh sebesar

$$I_x = 2,17 \times 10^7 \text{ mm}^4$$

Sehingga modulus penampang profil T adalah

$$Z = \frac{I_x}{c}$$

$$Z = \frac{2,17 \times 10^7}{156,5}$$

$$Z = 138,66 \text{ mm}^3$$

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai modulus penampang profil T sebesar $138,66 \text{ cm}^3$. Nilai tersebut selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam memilih profil *castellated honeycomb* yang memiliki kapasitas penampang

setara atau lebih besar. Perbandingan karakteristik penampang antara profil T eksisting dan profil *castellated honeycomb* ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 karakteristik penampang profil T dan castelled honeycomb

Parameter	Profil T	Castelled Honeycomb
Tinggi profil (mm)	230	225
Lebar profil (mm)	100	75
Modulus penampang (cm^3)	138,66	140,40

Berdasarkan Tabel 3.xx, profil *castellated honeycomb* berukuran 225×75 mm memiliki nilai modulus penampang sebesar $140,40 \text{ cm}^3$, sedikit lebih besar dibandingkan profil T eksisting sebesar $138,66 \text{ cm}^3$. Nilai tersebut menunjukkan bahwa profil *castellated honeycomb* mampu memenuhi kebutuhan kapasitas penampang sebagai pengganti profil T. Selain itu, tinggi profil sebesar 225 mm juga masih berada di bawah batas tinggi maksimum konstruksi rampdoor, yaitu 230 mm. Oleh karena itu, profil *castellated honeycomb* 225×75 mm dipilih sebagai konfigurasi awal dalam penelitian ini.

3.6 Pembuatan Model Rampdoor konvensional

Setelah perhitungan konstruksi ini dilakukan dan seluruh dimensi material telah di pastikan, tahap berikutnya adalah menyusun model menggunakan AutoCAD. Pemodelan dilakukan dalam bentuk 3D yang mengikuti ukuran aktual tiap profil konstruksi. Pada proses ini, titik maupun area pembebanan turut dimasukkan agar analisis tegangan dan *safety factor* di *Ansys* dapat dilakukan secara lebih terarah setelah model dinyatakan selesai, berkas kemudian di ekspor dalam format *iges* untuk mempermudah proses impor ke *Ansys*.

3.6.1 Analisis Kekuatan Rampdoor Konvensional dengan Software Ansys

Analisis kekuatan rampdoor konvensional dalam penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan struktur dalam menerima beban kerja sesuai dengan ketentuan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI). Evaluasi dilakukan untuk memastikan bahwa struktur rampdoor mampu menahan beban operasional tanpa mengalami kegagalan struktural yang dapat membahayakan keselamatan kapal maupun kendaraan yang melintas.

Pendekatan yang digunakan dalam analisis ini meliputi metode analitis berdasarkan teori mekanika struktur serta metode numerik menggunakan simulasi elemen hingga guna memperoleh hasil yang komprehensif dan saling memvalidasi.

Tahapan analisis diawali dengan studi literatur yang mencakup teori tegangan dan regangan, teori lentur balok, konsep keseimbangan statika, serta ketentuan klasifikasi terkait struktur rampdoor kapal jenis RO-RO. Selain itu, dilakukan pengumpulan data teknis berupa dimensi rampdoor, konfigurasi rangka, jenis dan sifat mekanik material, serta beban rencana kendaraan yang akan melintas. Perencanaan dimensi rampdoor mengacu pada aturan klasifikasi yang berlaku, sehingga model yang dianalisis merepresentasikan kondisi aktual yang telah memenuhi persyaratan desain awal.

Model geometrik tiga dimensi rampdoor konvensional kemudian disusun menggunakan perangkat lunak AutoCAD berdasarkan dimensi aktual yang telah ditentukan. Model tersebut mencakup pelat utama, profil penyangga memanjang dan melintang, serta sistem engsel sebagai tumpuan utama. Penyusunan model dilakukan secara detail agar mampu merepresentasikan perilaku struktur secara realistis ketika diberikan pembebanan. Hasil pemodelan ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam proses analisis baik secara analitis maupun numerik.

3.7 Variasi Konfigurasi *Castelled Honeycomb*

Variasi Konfigurasi geometris honeycomb beam ditentukan berdasarkan parameter penampang utama yang terdiri dari *face plate* atas dan bawah, ketebalan web, serta dimensi dan jarak antar bukaan pada web balok. Bukaan pada web merupakan karakteristik honeycomb beam mempengaruhi distribusi tegangan dan kekakuan lentur struktur. Penentuan konfigurasi honeycomb beam dilakukan secara bertahap melalui proses iteratif dibatasi tinggi rampdoor 0,23m berdasarkan kriteria faktor keamanan minimum struktur, sehingga diperoleh konfigurasi yang mampu menahan beban rampdoor secara aman.

3.7.1 Pembuatan Model Rampdoor *Castelled Honeycomb*

Setelah perhitungan konstruksi ini dilakukan dan seluruh dimensi material telah di pastikan, tahap berikutnya adalah menyusun model menggunakan AutoCAD. Pemodelan dilakukan dalam bentuk 3D yang mengikuti ukuran aktual tiap profil konstruksi. Pada proses ini, titik maupun area pembebanan turut dimasukkan agar analisis tegangan dan *safety factor* di *Ansys* dapat dilakukan secara lebih terarah setelah model dinyatakan selesai, berkas kemudian di ekspor dalam format *iges* untuk mempermudah proses impor ke *Ansys*.

3.7.2 Analisis Kekuatan Rampdoor *Castelled Honeycomb* dengan *Ansys*

Analisis kekuatan rampdoor dengan konstruksi *castelled honeycomb beam* bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan struktur dalam menerima beban kerja sesuai dengan ketentuan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI). Tahapan analisis diawali dengan studi literatur dan pengumpulan data teknis sebagai dasar dalam perencanaan dimensi dan konfigurasi struktur. Perencanaan dilakukan mengacu pada aturan BKI, kemudian disusun model geometrik tiga dimensi rampdoor menggunakan perangkat lunak AutoCAD dengan modifikasi profil struktur menjadi *castelled honeycomb*.

3.8 Analisis Perbandingan Kinerja Struktural

Penelitian ini bertujuan membandingkan kinerja struktur rampdoor konvensional dan rampdoor *honeycomb beam* pada kendaraan angkut melalui analisis numerik. Pemodelan tiga dimensi dilakukan menggunakan perangkat lunak CAD sesuai dimensi aktual, kemudian dianalisis dengan metode elemen hingga (FEM) pada ANSYS untuk mengevaluasi respons terhadap beban operasional bongkar-muat. Parameter yang dikaji meliputi tegangan, regangan, dan deformasi total, yang dibandingkan dengan tegangan izin berdasarkan seperti ketentuan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI), guna menentukan tingkat keamanan dan nilai faktor keselamatan (*safety factor*).

3.9 Analisis Perbandingan Biaya Konstruksi Berdasarkan Volume dan Berat Material

Analisis perbandingan biaya konstruksi dilakukan dengan pemodelan geometri tiga dimensi pada masing-masing tipe konstruksi menggunakan perangkat lunak AutoCAD untuk memperoleh data volume material. Volume yang diperoleh selanjutnya dikonversikan menjadi berat struktur dengan menggunakan nilai massa jenis baja sebesar 7850 kg/m^3 . Berdasarkan hasil perhitungan berat tersebut, dilakukan estimasi biaya konstruksi dengan mengalikan total berat material terhadap harga satuan per kilogram sebagai parameter evaluasi efisiensi ekonomis dari masing-masing desain.

Selanjutnya estimasi biaya material harga satuan baja diperoleh dari data sekunder yang dipublikasikan oleh PT Fatma Wijaya Steel. Analisis biaya pada penelitian ini dibatasi pada biaya material utama dan tidak mencakup biaya fabrikasi, pengelasan, pengecatan, maupun fabrikasi. Hasil perhitungan biaya material digunakan sebagai material digunakan sebagai parameter untuk membandingkan efisiensi ekonomi antara konstruksi rampdoor konvensional dan konstruksi honeycomb.

3.10 Kesimpulan dan Saran

Pada bagian akhir, disusun kesimpulan berdasarkan hasil pembahasan dan analisis perbandingan yang telah dilakukan. Selain itu, diberikan pula sejumlah saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya yang relevan dengan topik ini sebagai penutup.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Uraian Data kapal

Dalam penelitian ini, KMP Marina Pratama dipilih sebagai objek kajian. Kapal yang dioperasikan oleh PT Jembatan Nusantara ini melayani rute penyeberangan Pelabuhan Ketapang–Pelabuhan Gilimanuk, yang merupakan salah satu jalur strategis penghubung Pulau Jawa dan Bali. Tampilan umum kapal ditunjukkan pada Gambar 4.1 sebagai dasar identifikasi karakteristik kapal yang dianalisis.



Gambar 4.1 KMP. Marina Pratama
(Sumber : <https://jembatannusantara.com>)

4.1.1 Ukuran Utama Kapal

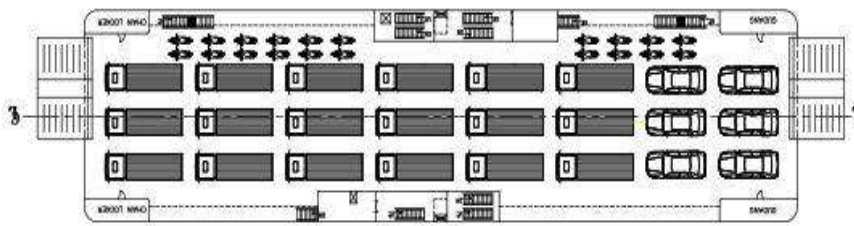
Berdasarkan data ship particular yang didapat dari owner kapal, kapal ini memiliki ukuran utama sebagai berikut :

- a) LPP = 51,84 m
- b) LOA = 54,50 m
- c) B = 14,00 m
- d) T = 3,60 m
- e) GT = 688 GT

4.1.2 Muatan Kapal

Kapal ini mampu mengangkat jumlah maksimal orang dan kendaraan dengan rincian sebagai berikut :

- a) Sepeda Motor = 20 kendaraan
- b) Mobil/Truk = 25 kendaraan
- c) Penumpang = 119 orang



Gambar 4.2 Layout Muatan pada *Cardeck*
(Sumber : Penulis, 2026)

4.2 Perancangan Rampdoor

Rampdoor pada penelitian ini merupakan rampdoor existing pada kapal KMP. Marina Pratama yang digunakan sebagai objek analisis. Analisis dilakukan untuk mengetahui kinerja struktural rampdoor terhadap pembebanan kendaraan. Selanjutnya dilakukan rekonstruksi struktur rampdoor dengan menggunakan konfigurasi *castelled honeycomb* guna mengevaluasi perbedaan kinerja struktural antara konstruksi konvensional dan konstruksi *castelled honeycomb*.

4.2.1 Dimensi Rampdoor

Rampdoor yang akan dibuat dirancang untuk mengganti rampdoor haluan kapal yang telah rusak dengan rancangan dimensi sebagai berikut:

- a. Panjang (P) = 6.13 m
- b. Lebar (L) = 7.20 m
- c. Tinggi (T) = 0.23 m

4.2.2 Sudut Kemiringan Rampdoor

Penentuan sudut kemiringan rampdoor pada penelitian ini dibatasi hingga maksimum 10° dengan mempertimbangkan ketentuan standar desain

yang berlaku. Pembatasan tersebut bertujuan untuk menjaga stabilitas dan keselamatan kendaraan selama proses embarkasi dan debarkasi. Ilustrasi kemiringan maksimum dalam bentuk persentase disajikan pada Gambar 4.4.

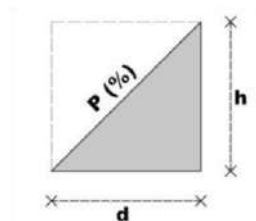
AREA	FUNCTION	SLOPE IN PERCENT	
		MAX.	MIN.
Streets & Drives		5%	1% ^a
		8%	.05%
Ramps		10%	1%
		15%	NA
Walkways Approaches and Entrances		4%	1% ^b
		5%	0.5% ^a
Service Areas and Collector Walks		8%	0.5% ^a
		10%	0.5% ^b
Terrace and Sitting Areas		2%	1%
		2%	0.5% ^b
Lawn Area and Playgrounds		3%	2% ^a
		4%	0.5% ^b
Swales		10%	1% ^a
Grassed Banks		33% (3:1) ^a	NA
		25% (4:1) ^b	NA
Planted Banks (unmowed vines or ground cover)		50% ^a	NA
		2:1 ^b	NA

^a Richard Untermyer, *Grade Easy* (Washington, D. C.: Landscape Architecture Foundation, 1973), p. 73.

^b Public Housing Design, National Housing Agency (Washington, D. C.: Federal Public Housing Agency, 1946).

Gambar 4.4 Standart Kemiringan Rampdoor
(Sumber : Landscape Architecture Foundation, 1973)

Gambar 4.4 diatas didapatkan standart aturan bahwa apabila sudut kemiringan rampdoor adalah $10^\circ - 15^\circ$. Untuk mengetahui apakah sudut rampdoor dan jarak ketinggian rampdoor yang dirancang tersebut memenuhi persyaratan berdasarkan ukuran panjang rampdoor, maka digunakan persamaan dibawah ini :



Gambar 4.5 Perhitungan Kemiringan Rampdoor
(Sumber : <https://www.archdaily.com/895487>, 2018)

$$P = \frac{h}{d} \times 100 \% \quad 4.1$$

Dimana :

P = Kemiringan yang dinyatakan dalam persentase (%)

d = Panjang rampdoor (m)
= 6.13 m

h = Jarak ketinggian rampdoor (m)
= 0,23 m

Sehingga:

$$P = \frac{h}{d} \times 100\%$$

$$P = \frac{0.23}{6.13} \times 100\%$$

$$P = 0.3752 \times 100\%$$

$$P = 3.752\% \text{ Memenuhi}$$

Jadi, berdasarkan dari perhitungan kemiringan sudut dengan menggunakan persamaan diatas sudut kemiringan yang terbentuk oleh rampdoor yang akan dirancang sudah memenuhi persyaratan yaitu dibawah 10°.

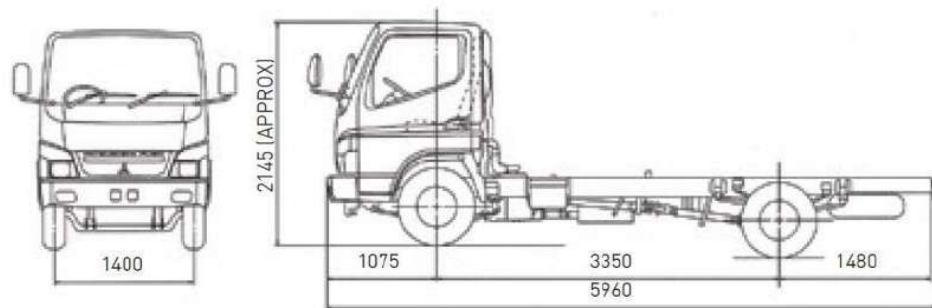
4.2.3 Perhitungan Beban Truk

Sebagai dasar dalam analisis pembebanan struktur rampdoor, digunakan kendaraan dengan golonga terbesar yang diizinkan masuk kedalam kapal. Pemilihan golongan kendaraan ini bertujuan untuk memperoleh kondisi pembebanan maksimum dalam perhitungan. Klasifikasi golongan kendaraan tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

GOLONGAN	TYPE KENDARAAN	BERAT
Golongan I	Sepeda	
Golongan I	Sepeda Motor dibawah 500 cc	
Golongan III	Sepeda Motor besar lebih dari 500 cc	
Golongan IV (Panjang maksimal 5 meter)	Mobil jeep, sedan, minicap, minibus, mikrolet, station wagon	3.500 kg
	Mobil pick up	3.500 kg
Golongan V (Panjang maksimal 7 meter)	Mobil bus sedang	8.000 kg
	Mobil barang (truk) / tangki (truk engkel)	12.000 kg
Golongan VI (Panjang maksimal 10 meter)	Mobil bus besar	16.000 kg
	Mobil barang (truk) / tangki (truk besar)	16.000 kg

Gambar 4.6 Golongan kendaraan sesuai Permenhub No. 33 Tahun 2018
(Sumber : Peraturan Menteri Perhubungan No 33 Tahun 2018)

Berdasarkan data golongan kendaraan yang telah diperoleh dan dikaji dengan mempertimbangkan kondisi muatan kapal dalam operasional harian, kendaraan yang digunakan sebagai dasar perhitungan kendaraan golongan VI. Golongan ini terdiri atas mobil barang (truk) atau truk tangki dengan panjang maksimum 10 m dan berat maksimum kendaraan yang diizinkan sebesar 16.000 kg (16 ton). Dimensi kendaraan kemudian ditetapkan dengan mengacu pada spesifikasi yang terdapat dalam katalog kendaraan truk mitsubishi.

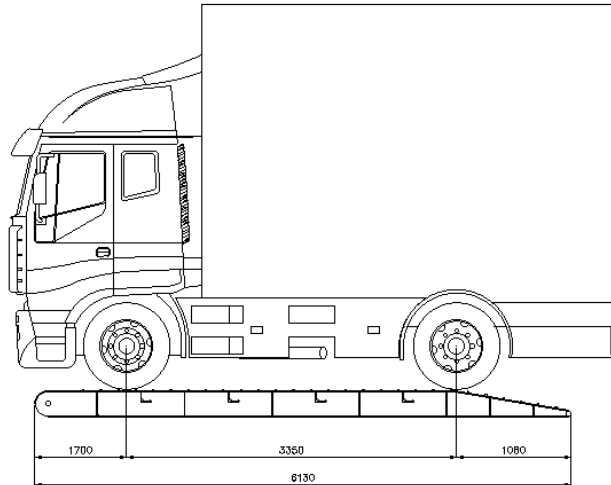


Gambar 4.7 Dimensi Truk Golongan VI
(Sumber : <http://www.konsultan-mitsubishi.com>, 2026)

- Berat = 16 ton
- Panjang (P) = 5,96 m
- Lebar (L) = 1,50 m

Berdasarkan dimensi kendaraan, jarak antara roda depan dan roda belakang masih memungkinkan seluruh roda berada di atas permukaan

rampdoor. Kondisi tersebut menghasilkan pembebanan maksimum karena seluruh berat kendaraan terdistribusi sepenuhnya pada rampdoor. Oleh karena itu, dalam perhitungan ini digunakan asumsi distribusi beban sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Gambar posisi truk melewati rampdoor
(Sumber : Penulis, 2026)

Pada analisis ini diasumsikan bahwa berat truk terdistribusi secara merata pada seluruh roda kendaraan. Dengan asumsi tersebut, total beban kendaraan dibagi secara proporsional pada enam roda truk. Tahapan perhitungan distribusi beban tersebut dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$W = m \times g$$

Dimana :

W = gaya berat (N)

M = massa benda (kg)

g = gravitasi bumi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

Sehingga berat truck tersebut nilainya :

$$W = 16000 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$W = 156,960 \text{ N}$$

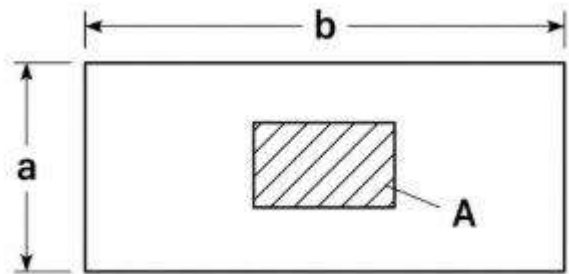
$$W = 156,96 \text{ kN}$$

Jumlah roda truk = 6 buah

$$W_{\text{roda}} = \frac{156,96}{6}$$

$$W \text{ roda} = 26,16 \text{ kN}$$

$$W \text{ roda} = 26160 \text{ N}$$



a = lebar bidang sentuh roda

$$a = 0,7 \text{ m}$$

b = Panjang bidang sentuh roda

$$b = 2,5 \text{ m}$$

A = Luas bidang sentuh roda

$$A = 1,75 \text{ m}^2$$

4.3 Karakteristik Material, Batasan Geometri dan Kriteria Tegangan Izin

4.3.1 Batasan Geometri Ruang dan Pemilihan Profil Penegar Rekontruksi

Sebagaimana telah dijelaskan pada Sub-bab 3.4.3, konfigurasi geomteris dalam rekonstruksi struktur penegar rampdoor ini sangat dipengaruhi oleh Batasan tinggi maksimum rampdoor yang di tetapkan sebesar 0,23 m atau 230 mm. Batasan ruang fisik yang rigid ini menjadi alasan utama mengapa dimensi penegar tidak dapat diperbesar secara bebas menggunakan profil pejal konvensional yang lebih tinggi.

Guna menyiasati keterbatasan ruang tersebut namun mampu meningkatkan momen inersia penampang secara optimal, Rekonstruksi beralih menggunakan profil *Castelled Beam 225 x 75 Product Guide*. Dengan ketinggian total profil sebesar 225 mm, profil ini berhasil memenuhi batasan geometris ruang rampdoor ($\leq 230 \text{ mm}$), sekaligus menawarkan peningkatan kekauan lentur struktur tanpa memicu penambahan berat signifikan.

4.3.2 Properti Mekanis Material Baja SS 400

Material struktur penyusun komponen rampdoor plat maupun profil penegar kastela komersial ini mengacu pada standar JIS G 3101 SS400. Merujuk pada spesifikasi resmi produk, profil kastela ukuran 225 x 75 memiliki ketebalan plat badan (*web thickness – t1*) sebesar 5 mm dan ketebalan plat sayap (*flange thickness – t2*) sebesar 7 mm. Berdasarkan ketentuan mekanis standar JIS G 3101 SS400, seluruh komponen baja structural memiliki kriteria ketebalan elemen dibawah atau sama dengan 16 mm (≤ 16 mm) ditetapkan memiliki ambang batass tegangan luluh minimum (*Yield Point / ReH*) asli pabrikan sebesar 245 N/mm^2 atau 245 MPa pada lampiran 3.

4.3.3 Penyetaraan Material dan Faktor Koreksi BKI

Meskipun pengujian mekanis produk profil komersial SS400 memberikan nilai *yield strength* asli sebesar 245 MPa, pelat dan konstruksi utama lambung kapal pada umumnya didesain menggunakan material baja kapal standar klasifikasi, yakni LR Grade A (atau sepadan dengan BKI Grade A). Karakteristik mekanis baja kapal tingkat normal (*Normal Strength Steel*) tersebut memiliki nilai batas tegangan luluh dasar sebesar 235 MPa.

Guna menjembatani hubungan kesetaraan antar-komponen sambungan material, menjaga konsistensi pembacaan parameter kekuatan batas di dalam perangkat lunak simulasi, serta menerapkan Pendekatan Konservatif (Batas Aman Bawah), maka nilai *yield strength* input untuk material SS400 di dalam software metode elemen hingga (FEM) ditetapkan dan diturunkan nilainya secara sengaja menjadi 235 MPa.

Melalui penetapan nilai *yield strength* input $ReH = 235 \text{ MPa}$, Evaluasi faktor material (*k*) yang mengacu pada aturan BKI Vol II (*Rules For Hull*) Bagian 1,4 menghasilkan nilai perhitungan yang presisi:

$$k = \frac{235}{ReH} = \frac{235}{235} = 1,0$$

Hasil nilai faktor material $k = 1,0$ ini membuktikan secara regulasi bahwa properti material penegar *castelled honeycomb* yang dimodelkan telah terkalibrasi secara seimbang (*matching*) dengan standar kekuatan material konstruksi lambung kapal normal umumnya.

4.3.4 Penetapan Batasan tegangan Izin

Karena dimensi tinggi profil telah dikunci akibat batasan geometri ruang pelipatan kapal, pembuktian kekuatan dialihkan melalui analisis elemen hingga (FEM) untuk memastikan apakah profil kastela 225 x 75 ini mampu menahan beban tanpa mengalami kegagalan.

Skenario pembebanan dinamis akibat aktivitas kendaraan yang melintas di atas konstruksi rampdoor direpresentasikan menggunakan skenari beban terpusat (*concentrated point load*). Nilai beban terpusat ini dihitung berdasarkan berat maksimum per roda kendaraan (W roda) yang kemudian diaplikasikan secara tegak lurus pada titik-titik luasan kontak roda *tire print* yang dinilai paling kritis di atas pelat rampdoor.

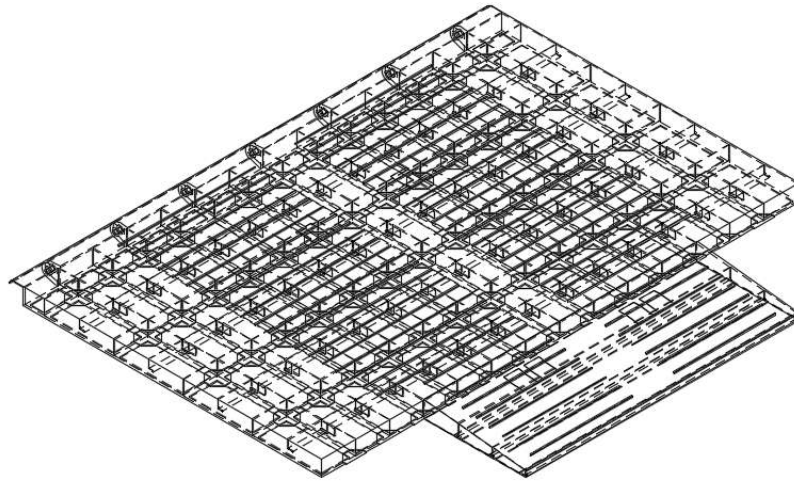
Kriteria aman atau penerimaan struktur (*acceptance criteria*) ditentukan berdasarkan batas tegangan izin (σ allowable stress) sesuai aturan BKI / IACS UR S21. untuk kondisi operasional kendaraan (Load Case B – E) yaitu:

- **Kondisi Lingkungan (Load Case A)**
 $\sigma_{allowable} = 0,8 \cdot ReH = 0,8 \times 235 \text{ MPa} = 188 \text{ MPa}$
- **Kondisi Muatan / kondisi operasional (Load Case B - E)**
 $\sigma_{allowable} = 0,9 \cdot ReH = 0,9 \times 235 \text{ MPa} = 211,5 \text{ MPa}$

Nilai tegangan izin inilah yang akan menjadi tolak ukur utama evaluasi pada simulasi elemen hingga. jika tegangan Von Mises maksimum akibat respons beban tersebut berada dibawah batas 211,5 MPa, maka konstruksi penegar *castelled honeycomb* maupun konvensional pada rampdoor dinyatakan berada dalam kondisi aman mutal secara structural.

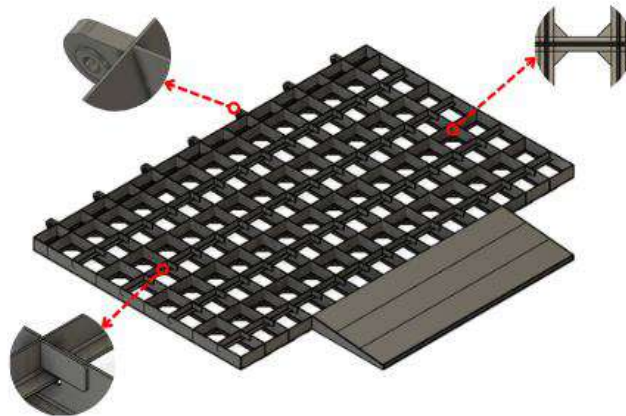
4.4 Geometri Model Rampdoor Eksisting

Model rampdoor eksisting pada penelitian ini mengadopsi sistem penegar konvensional berupa profil T sesuai dengan gambar rencana galangan yang telah memperoleh persetujuan klas pada saat proses *docking*. Pemodelan geometri dilakukan berdasarkan dimensi dan konfigurasi konstruksi pada gambar kerja tersebut. Visualisasi geometri disajikan dalam bentuk tampak isometri untuk memberikan gambaran mengenai konfigurasi penegar serta dimensi utama rampdoor, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.10. Detail dimensi dan konfigurasi konstruksi secara lengkap disajikan pada Lampiran 2.



Gambar 4.10 Geometri 2D Rampdoor Konvensional
(Sumber : Penulis, 2026)

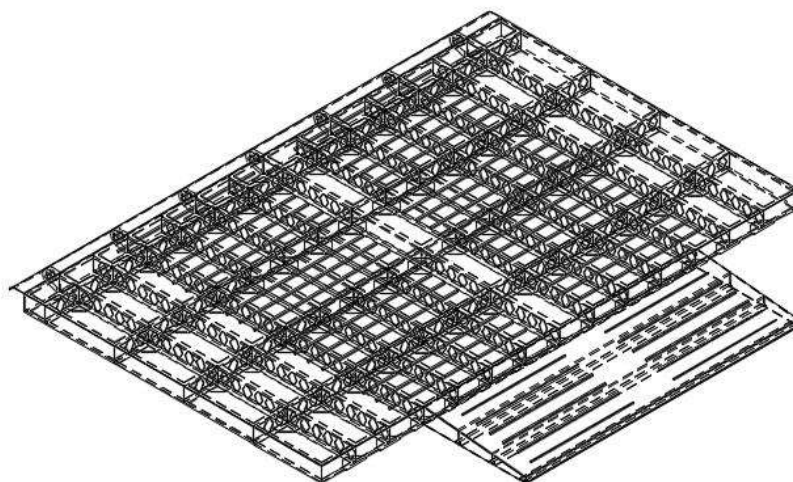
Model geometri rampdoor konvensional yang telah disusun berdasarkan gambar rencana galangan selanjutnya divisualisasikan dalam bentuk model tiga dimensi untuk memperlihatkan konfigurasi penegar, pelat, dan elemen struktur secara lebih jelas. Visualisasi model 3D tersebut disajikan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Geometri 3D Rampdoor Model Konvensional Eksisting
(Sumber : Penulis, 2026)

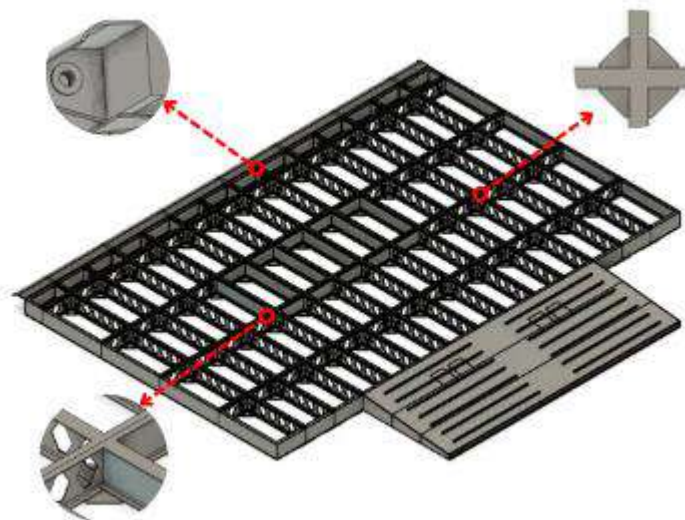
4.5 Geometri Model Penegar *Castelled Honeycomb*

Model rampdoor *castellated honeycomb* memiliki dimensi keseluruhan 7020×6130 mm (termasuk *pad eye*) sehingga tetap mempertahankan dimensi utama rampdoor eksisting. Berdasarkan hasil analisis awal, dilakukan rekonstruksi pada area kritis dengan menutup sebagian bukaan *castellated honeycomb* di sekitar *pad eye* serta menambahkan *bracket* pengaku berukuran $300 \times 300 \times 6$ mm pada bagian bawah profil untuk meningkatkan kekakuan struktur. Detail geometri hasil rekonstruksi disajikan pada Lampiran 2.



Gambar 4.12 2D Rampdoor Modifikasi Honeycomb 225 x 75
(Sumber : Penulis, 2026)

Gambar 4.13 menunjukkan visualisasi model tiga dimensi rampdoor *castellated honeycomb* hasil rekonstruksi. Pada model ini dilakukan modifikasi pada beberapa area kritis yang mengalami konsentrasi tegangan tinggi berdasarkan hasil analisis awal, yaitu melalui penutupan sebagian bukaan *castellated honeycomb* di sekitar *pad eye* serta penambahan *bracket* pengaku pada bagian bawah profil. Modifikasi tersebut bertujuan untuk meningkatkan kekakuan struktur dan mengurangi terjadinya *local yielding*. Detail konfigurasi hasil rekonstruksi disajikan secara lengkap pada Lampiran 2.



Gambar 4.12 Geometri 3D Rampdoor Modifikasi Castelled Honeycomb 225 x 75
(Sumber : Penulis, 2026)

4.6 Perhitungan Berat Konstruksi Rampdoor

4.6.1 Rampdoor Konvensional (Existing)

Perhitungan berat rampdoor dilakukan sebagai bagian dari evaluasi kuatitatif terhadap struktur, setelah dimensi setiap elemen konstruksi ditentukan. Pendekatan perhitungan didasarkan pada hubungan antara elemen dan massa jenis material, yang dinyatakan dalam persamaan.

Tabel 4. 1 Perbedaan Material Properties LR Grade A dan SS 400

Material Properties	LR Grade A	SS 400
Yield Strength	235 MPa	235 MPa
Ultimate Tensile Strength	400 - 520 MPa	400-510 MPa
Density	7850 kg/cm ³	7850 kg/cm ³
Young's Modulus	200 GPa	200 GPa
Poisson's Ratio	0.30	0.30
Elongation	Min 20%	Min 21%
Shear Modulus	76.9 GPa	79 GPa

Sumber: Penulis, 2026

Tabel 4.2 hingga Tabel 4.5 dibawah ini menunjukkan berat material rampdoor konvensional yang digunakan.

Tabel 4. 2 Berat Plat Rampdoor

No	Material	Qty	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Density (kg/m ³)	Berat (kg)
1	Top Plate I	1	4400	7020	10	7850	2424,708
2	Top Plate II	1	1500	4020	10	7850	473,355
3	Bottom plate	1	1500	4020	6	7850	284,013
4	Diamond plate I	52	7		6	7850	171,444
5	Diamond plateII	12	5		6	7850	28.26
6	Square bar (anti slip)	16	1500		19	7850	67,92
7	Square bar (anti slip)	42	2000		19	7850	237,72
8	Collar plate	52	200	100	10	7850	81.64
Total Berat Plat							3769,06

Sumber Penulis, 2026

Tabel 4. 3 Berat Profil T

No	Material	Qty	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Density (kg/m ³)	Berat (kg)
Profil T Memanjang I							
1	Web 230 x 10	4	5880	230	10	7850	424,654
	Face 100 x 10	4	5880	100	10	7850	221,558
Profil T Memanjang II							
2	Web 230 x 10	5	5330	230	10	7850	481,166
	Face 100 x 10	5	5330	100	10	7850	209,203
Profil T Memanjang III							

No	Material	Qty	Panjang	Lebar	Tebal	Density	Berat
			(mm)	(mm)	(mm)	(kg/m ³)	(kg)
3	Web 230 x 10	6	4380	230	10	7850	474,485
	Face 100 x 10	6	4380	100	10	7850	247,558
Profil T Melintang I							
4	Web 230 x 10	6	7020	230	10	7850	760,477
	Face 100 x 10	6	7020	100	10	7850	396,770
Berat profil T 230							
Profil T Melintang II							
5	Web 178 x 10	1	4020	178	10	7850	56,171
	Face 100 x 10	1	4020	100	10	7850	37,868
6	Web 124 x 10	1	4020	124	10	7850	39,131
	Face 100 x 10	1	4020	100	10	7850	37,868
7	Web 70 x 10	1	4020	70	10	7850	22,090
	Face 100 x 10	1	4020	100	10	7850	31,557
Total Berat Profil T							3488,708

Sumber Penulis, 2026

Tabel 4.4 Berat Profil L

No	Material	Qty	Panjang	Lebar	Tebal	Density	Berat
			(mm)	(mm)	(mm)	(kg/m ³)	(kg)
1	Web	4	7020	125	10	68,884	275,535
	Face	4	7020	75	10	41,330	165,321
Total Berat Profil L							440,856

Sumber Penulis, 2026

Tabel 4. 4 Berat Pade Eye

No	Material	Qty	Luas	Tebal	Density	Berat
			(mm ²)	(mm)	(kg/m ³)	(Kg)
1	Pade Eye	7	93396,02	25	7850	128,303

Sumber Penulis, 2026

Tabel 4. 5 Total Berat Rampdoor Konvensional

No	Material	Berat	Berat
		(Kg)	(ton)
1	berat plat	3769,060	3,769
2	berat profil T	3488,708	3,489
3	berat profil L	440,856	0,441
4	berat pade eye	128,303	0,128
Total berat rampdoor		7826,927	7,827

Sumber Penulis, 2026

Berdasarkan hasil perhitungan berat pada setiap profil struktur yang digunakan diperoleh total berat rampdoor sebesar 7826,927 Kg atau setara 7,83 ton. Perhitungan berat tersebut dilakukan menggunakan nilai densitas material sebesar 7850 (kg/m³)

4.6.2 Rampdoor Castelled Honeycomb

Perhitungan berat rampdoor dilakukan sebagai bagian dari evaluasi kuantitatif terhadap struktur, setelah dimensi setiap elemen konstruksi ditentukan. Pendekatan perhitungan didasarkan pada hubungan antara elemen dan massa jenis material, yang dinyatakan dalam persamaan:

Tabel 4. 6 Perbedaan Material Properties LR Grade A dan SS 400

Material Properties	LR Grade A	SS 400
Yield Strength	235 MPa	235 MPa
Ultimate Tensile Strength	520 MPa	510 MPa
Density	7850 kg/cm ³	7850 kg/cm ³
Young's Modulus	200 GPa	200 GPa
Poisson's Ratio	0.30	0.30
Elongation	Min 20%	Min 21%
Shear Modulus	76.9 GPa	79 GPa

Sumber Penulis, 2026

Tabel 4.7 hingga Tabel 4.12 dibawah ini menunjukkan berat material rampdoor *Castelled Honeycomb* yang digunakan.

Tabel 4. 7 Berat Plat Rampdoor

No	Material	Qty	Panjang	Lebar	Tebal	Density	Berat
			(mm)	(mm)	(mm)	(kg/m³)	(Kg)
1	Top Plate I	1	4400	7020	10	7850	2424,708
2	Top Plate II	1	1500	4020	10	7850	473,355
3	Bottom plate	1	1500	4020	6	7850	284,013
4	Diamond Plate	52	7000		6	7850	171,444
5	Diamond plate	12	5000		6	7850	28,26
7	Square bar (anti slip)	42	2000		19	7850	237.72
8	Collar Plate	52	200		100	7850	81.64
Total Berat Plat							284,013

Sumber Penulis, 2026

Tabel 4.8 Berat Profil *Castelled Honeycomb*

Tabel 4.8 Berat Profil Castelled Honeycomb					
No	Material	Qty	Panjang	Berat/m	Berat
			(mm)	(kg)	(kg)
Profil <i>Castelled Honeycomb</i> Memanjang					
1	225 x75	13	4,38	14	797,16
Profil <i>Castelled Honeycomb</i> Melintang					
2	225 x75	4	7,02	14	393,12
Total Profil Honeycomb					1190,28

Sumber Penulis, 2026

Tabel 4.9 Berat Profil IWF

Tabel 4.9 Berat Profil IWF					
No	Material	Qty	Panjang	Berat/m	Berat
			(mm)	(kg)	(kg)
Profil IWF Melintang					
1	150 x75	6	2,42	14	203,28
Profil IWF Melintang2					
2	150 x75	7	0,965	14	94,57
Profil IWF Memanjang					
3	150 x75	2	5,46	14	152,88
Total Profil IWF					450.73

Tabel 4.10 Berat Profil T

Tabel 4.10 Berat Profil T							
No	Material	Qty	Panjang	Lebar	Tebal	Density	Berat
			(mm)	(mm)	(mm)	(kg/m ³)	(kg)
Profil T Memanjang I							

No	Material	Qty	Panjang	Lebar	Tebal	Density	Berat
			(mm)	(mm)	(mm)	(kg/m ³)	(kg)
1	Web 225 x 10	2	4380	225	10	7850	154,724
	Face 100 x 10	2	4380	10	10	7850	68,766
Profil T Melintang I							
2	Web 225 x 10	2	7020	0,225	0,01	7850	247,982
	Face 100 x 10	2	7020	0,1	0,01	7850	110,214
Profil T Melintang II							
3	Web 178 x 10	1	4020	178	10	7850	56,171
	Face 100 x 10	1	4020	100	10	7850	31,557
4	Web 124 x 10	1	4020	124	10	7850	39,131
	Face 100 x 10	1	4020	100	10	7850	31,557
5	Web 70 x 10	1	4020	0,07	10	7850	22,090
	Face 100 x 10	1	4020	100	10	7850	31,557
Berat Total Profil T							793,748

Sumber Penulis, 2026

Tabel 4.11 Pade Eye

No	Material	Qty	Luas	Tebal	Density	Berat
			(mm ²)	(mm)	(kg/m ³)	(Kg)
1	Pade Eye	7	93396,02	25	7850	128,303

Sumber Penulis, 2026

Table 4.12 Total Berat Rampdoor *castelled honeycomb*

No	Material	Berat	Berat
		(kg)	(Ton)
1	Berat plat	3769,06	3,769
2	Berat profil Honeycomb	1190,28	1,190
3	Berat profil T	793,748	0,794
4	Berat pade eye	128,030	0,128
Total Berat Rampdoor		6331,85	6,33

Sumber Penulis, 2026

Berdasarkan hasil perhitungan berat pada setiap profil struktur yang digunakan diperoleh total berat rampdoor sebesar 6331,85 Kg atau setara 6,33 ton. Pehitungan berat tersebut dilakukan menggunakan nilai densitas material sebesar 7850 (kg/m³).

4.7 Analisis Perbandingan Kekuatan

4.7.1 Perhitungan Tegangan Izin BKI

Analisis perbandingan kekuatan dilakukan untuk mengevaluasi pebedaan karakteristik kekeuatan struktur *rampdoor* yang menggunakan material LR

Grade A dan SS 400 Perhitungan berat *rampdoor* dilakukan sebagai bagian dari evaluasi kuatitatif terhadap struktur, setelah dimensi setiap elemen konstruksi ditentukan. Pendekatan perhitungan didasarkan pada hubungan antara elemen dan massa jenis material, yang dinyatakan dalam persamaan:

- **Beban Kondisi Lingkungan (Load Case A)**

$$\sigma_{allowable} = 0,8 \cdot ReH = 0,8 \times 235 \text{ MPa} = 188 \text{ MPa}$$

- **Beban Kondisi Muatan / kendaraan Terpusat (Load Case B - E)**

$$\sigma_{allowable} = 0,9 \cdot ReH = 0,9 \times 235 \text{ MPa} = 211,5 \text{ MPa}$$

Nilai tegangan izin inilah yang akan menjadi tolak ukur utama evaluasi pada simulasi elemen hingga. jika tegangan Von Mises maksimum akibat respons beban tersebut berada dibawah batas 211,5 MPa, maka konstruksi penegar *castelled honeycomb* maupun konvensional pada *rampdoor* dinyatakan berada dalam kondisi aman mutal secara structural.

4.7.2 Perhitungan Manual Ramdoor

a. Penentuan berat merata *rampdoor*

$$\text{Berat rampdoor (w)} = 7.83 \text{ ton} \times 9,81 \text{ m}^2$$

$$= 76.783 \text{ kN}$$

$$q = \frac{w}{p}$$

Dimana:

q = berat merata *rampdoor* (kN/m)

w = berat *rampdoor* (kN)

P = Panjang *rampdoor* (m)

$$= 6.13 \text{ m}$$

Sehingga :

$$= \frac{w}{p}$$

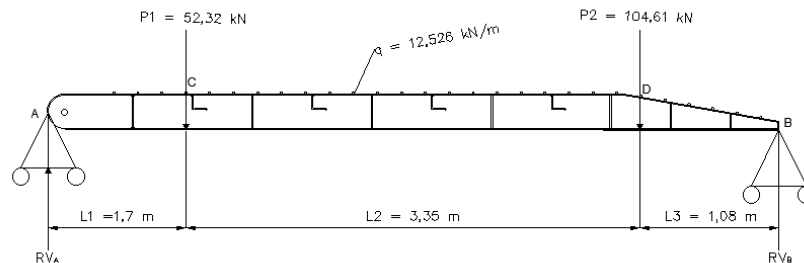
$$= \frac{76.783}{6.13}$$

$$= 12,526 \text{ kN/m}$$

b. Perhitungan Gaya geser dan Momen lentur

Perhitungan mekanika struktur untuk memperoleh nilai tegangan maksimum dilakukan dengan menyusun Free body diagram (FBD) yang menggambarkan kondisi pembebanan, momen dan reaksi tumpuan pada *rampdoor*. Beban

diterima struktur berasal dari roda kendaraan truk dibagi sesuai dengan hasil perhitungan distribusi beban. Ilustrasi Free Body Diagram rampdoor sebagai dasar analisis ditunjukkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.14 Free Body Diagram Rampdoor

Diketahui:

$$P1 = 26,16 \text{ kN} \times 2 \text{ roda} \quad P2 = 26,16 \text{ kN} \times 2 \text{ roda}$$

$$P1 = 52,32 \text{ kN} \quad P2 = 104,64 \text{ kN}$$

$$q = 12,526 \text{ kN/m}$$

Sehingga perhitungan menurut konsep keseimbangan mekanika maka diketahui nilainya sebagai berikut:

$$\Sigma M_A = 0 \text{ (semua gaya dipusatkan di A)}$$

$$(P1 \times L1) + (P2 \times (L1 + L2)) - (R_{VB} \times L) + (q \times L \times \frac{1}{2} L) = 0$$

$$\frac{(P1 \times L1) + (P2 \times (L1 + L2)) + (q \times L \times \frac{1}{2} L)}{L} = R_{VB}$$

$$\frac{(52,32 \times 1,7) + (104,64 \times (1,7 + 3,35)) + (12,526 \times 6,13 \times \frac{1}{2} \times 6,13)}{6,13} = R_{VB}$$

$$139,11 \text{ kN} = R_{VB}$$

$$\Sigma M_B = 0 \text{ (semua gaya dipusatkan di B)}$$

$$(P1 \times a1) + (P2 \times a2) + (q \times L \times \frac{1}{2} L) - (R_{VB} \times L) = 0$$

$$\frac{(P2 \times L3) + (P1 \times (L2 + L3)) + (q \times L \times \frac{1}{2} L)}{L} = R_{VA}$$

$$\frac{(104,64 \times 1,08) + (52,32 \times (3,35 + 1,08)) + (12,526 \times 6,13 \times \frac{1}{2} \times 6,13)}{6,13} = R_{VA}$$

$$94,64 \text{ kN} = R_{VA}$$

$\Sigma F_Y = 0$ (semua gaya dipusatkan di A)

$$(q \times L) + P_1 + P_2 - (R_{VB} + R_{VA}) = 0$$

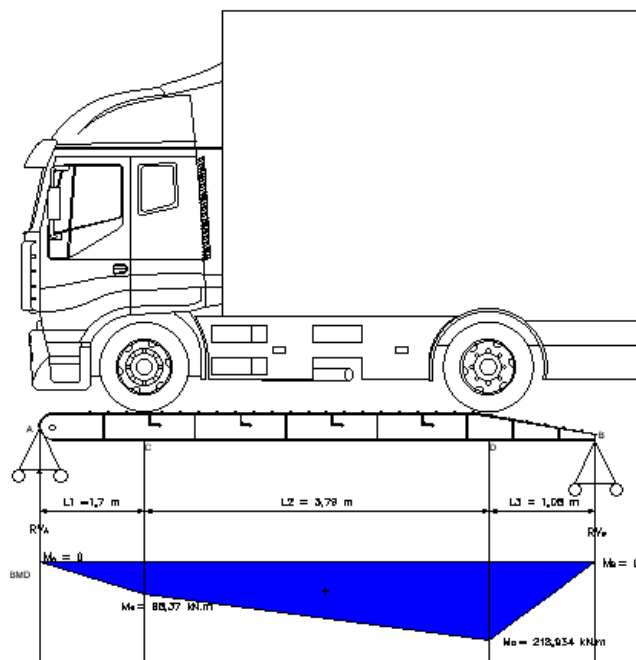
$$(12,526 \times 6,13) + 52,32 + 104,64 - = 0$$

$$(139,11 + 94,64)$$

$\Sigma M_B = 0$ (semua gaya dipusatkan di B)

$$R_{VA}L - P_1(L_2 + L_3) - P_2L_3 - qL\left(\frac{L}{2}\right) = 0$$

$$580,13 - 113,0 - 1231,78 - 235,34 = 0$$



Gambar 4.15 *Free Body Diagram Rampdoor* dengan kendaraan & beban merata

Berdasarkan hasil perhitungan reaksi tumpuan, selanjutnya dilakukan perhitungan gaya geser (*Shear Force Diagram/SFD*) untuk mengetahui distribusi gaya geser yang bekerja pada struktur rampdoor. Hasil perhitungan gaya geser pada setiap titik kritis disajikan sebagai berikut.

Gaya Geser (SFD)

Titik A =	R_{VA}	94,64 kN
Titik C =	$M_c = R_{VA} - P_1$	42,32 kN
Titik D (sebelum P_2) =	$R_{VA} - P_1 - (q \times 5,05)$	-20,94 kN

$$\text{Titik D (setelah } P_2) = V = -20,94 - P_2 \quad -125,58 \text{ kN}$$

$$\text{Titik B (sebelum reaksi)} = V = -125,58 - q(1,08) \quad -139,11 \text{ kN}$$

$$\text{Titik B (setelah reaksi)} = V = -139 + R_{VB} \quad 0$$

Berdasarkan distribusi gaya geser yang telah diperoleh, selanjutnya dilakukan perhitungan momen lentur (*Bending Moment Diagram/BMD*) untuk menentukan momen maksimum yang bekerja pada struktur. Hasil perhitungan momen lentur disajikan sebagai berikut.

Momen Lentur (BMD)

$$M_A = M_B = 0$$

$$\begin{aligned} M_C &= (R_{VA} \times L1) \\ &= (94,64 \times 1,70) \\ &= 160,884 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_D &= R_{VA} \times (L1 + L2) - (P1 \times L2) \\ &= 94,64 \times (1,7 + 3,35) - (3,35 + 52,32) \\ &= 302,648 \text{ kN.m} \\ &= 302648000 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh momen lentur maksimum sebesar 302,648 kN·m atau 302.648.000 N·mm. Nilai momen maksimum tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan tegangan lentur secara manual.

c) Perhitungan Tegangan Manual

Berdasarkan momen lentur maksimum yang diperoleh pada tahap sebelumnya, selanjutnya dilakukan perhitungan tegangan secara manual untuk mengetahui kondisi tegangan yang terjadi pada struktur rampdoor. Perhitungan meliputi tegangan lentur, tegangan geser, dan tegangan ekuivalen (Von Mises).

Tegangan Lengkung (Bending Stres)

$$\begin{aligned} (\sigma_b) &= \frac{M}{Z} \\ &= \frac{302648000 \text{ N.mm}}{3362756 \text{ mm}^3} \\ &= 90 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Tegangan Geser (τ)

$$\begin{aligned}(\tau) &= (V_{max} \times Q) / (I_x \times b) \\&= (139105 \times 51887875,88) / (3148727758,19 \times 140,99) \\&= 16,25 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Tegangan Ekuivalen (σ_{eq})

$$\begin{aligned}(\sigma_{eq}) &= \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau^2} \\&= \sqrt{90^2 + 3(16,25^2)} \\&= 94.30 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

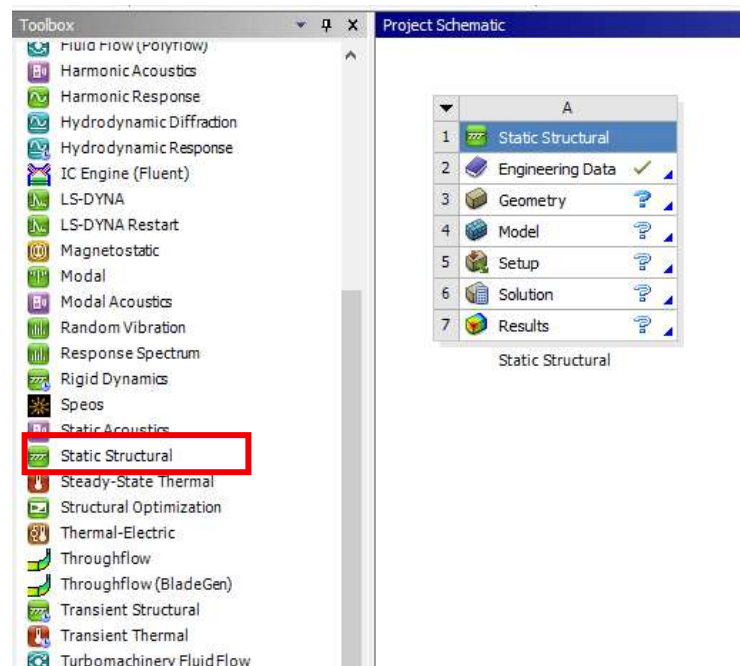
4.7.2 Hasil Analisis *Rampdoor* konvensional

a. Pemodelan Konstruksi Rampdoor pada *Software Ansys*

Pemodelan dari gambar konstruksi yang sudah dibuat dalam bentuk 2D selanjutnya dengan menggunakan software *AutoCAD* dibuat menjadi model 3D. File tersebut di export dengan jenis format IGES (.iges). Kemudian membuka software ANSYS Workbench dan tunggu sampai halaman depan ANSYS Workbench muncul.

b. Tipe Analisis

Pada proses simulasi menggunakan software ANSYS Workbench, tahapan awal yang dilakukan adalah menentukan jenis analisis yang akan digunakan dalam penelitian. Jenis analisis yang dipilih pada penelitian ini adalah *static structural* yang digunakan untuk menganalisis kekuatan struktur. Pemilihan tipe analisis tersebut dilakukan pada halaman awal perangkat lunak dengan memilih menu *static structural* yang tersedia pada *toolbox*, kemudian memasukkannya ke dalam *project schematic* melalui klik dua kali atau metode *drag and drop*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Tipe Analisis
(Sumber : Penulis, 2026)

c. Memasukkan Engineering Data

Tahap selanjutnya setelah pemilihan tipe analisis adalah memasukkan *engineering data* ke dalam sistem perangkat lunak. Data yang dimasukkan berupa sifat mekanis material yang digunakan dalam proses simulasi. Parameter material tersebut diinput secara manual pada software ANSYS Workbench. Pada penelitian ini digunakan dua jenis material yang berbeda, sehingga proses input data material dilakukan kembali pada setiap simulasi sesuai dengan material yang digunakan.

Tabel 4. 13 Perbedaan Material Properties LR Grade A dan SS 400

Material Properties	LR Grade A	SS 400
Yield Strength	235 MPa	245 MPa
Ultimate Tensile Strength	520 MPa	510 MPa
Density	7850 kg/cm ³	7850 kg/cm ³
Young's Modulus	200 GPa	200 GPa
Poisson's Ratio	0.30	0.30
Elongation	Min 20%	Min 21%
Shear Modulus	76.9 GPa	79 GPa

Sumber Penulis, 2026

Properties of Outline Row 4: LR A			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Density	3850	kg m ⁻³
3	Isotropic Elasticity		
4	Derive from	Young's Modulus...	
5	Young's Modulus	200	GPa
6	Poisson's Ratio	0,3	
7	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa
8	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa
9	Tensile Yield Strength	245	MPa
10	Compressive Yield Strength	245	Pa
11	Tensile Ultimate Strength	520	Pa
12	Compressive Ultimate Strength	0	Pa

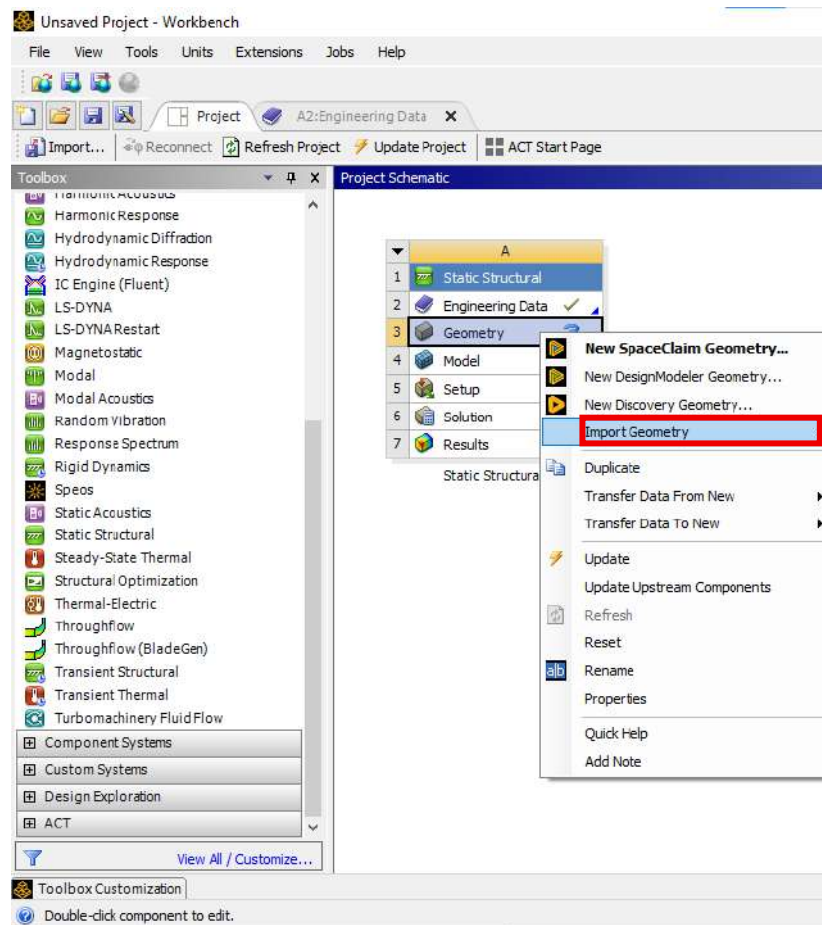
Gambar 4.17 Input Engineering Data Material LR Grade A
(Sumber : Penulis, 2026)

Properties of Outline Row 4: ss400			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Density	7850	kg m ⁻³
3	Isotropic Elasticity		
4	Derive from	Young's Modulus...	
5	Young's Modulus	200	GPa
6	Poisson's Ratio	0,3	
7	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa
8	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa
9	Tensile Yield Strength	245	MPa
10	Compressive Yield Strength	245	MPa
11	Tensile Ultimate Strength	510	MPa
12	Compressive Ultimate Strength	0	Pa

Gambar 4.18 Input Engineering Data Material SS 400 LR Grade A
(Sumber : Penulis, 2026)

d. Memasukkan Gometry pada Ansys

Setelah Tahap penginputan engineering data selesai dilakukan, proses berikutnya adalah memasukkan geomteri struktur yang telah dimodelkan sebelumnya menggunakan software AutoCAD. Model geometri tersebut diekspor dalam format IGES (.iges) untuk mempermudah integrasi dalam software simulasi. Tahap import geometri dilakukan melalui menu *Geometry* pada project schematic static structural dengan cara klik kanan dan memilih opsi Import Geometry sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.19.

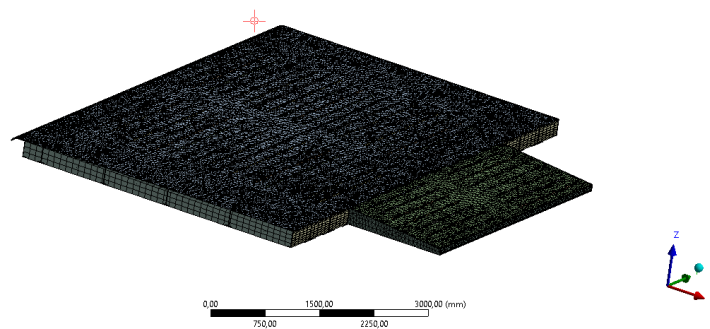


Gambar 4.19 Memasukkan Geomtery pada Ansys
(Sumber : Penulis, 2026)

4.7.3 Proses Meshing

Tahap meshing merupakan salah satu tahapan fundamental dalam simulasi numerik karena menentukan proses diskretisasi model geometri menjadi elemen-elemen kecil yang dapat dianalisis oleh software. Dalam penelitian ini digunakan metode automatic mesh yang menghasilkan elemen tetrahedron dan hexahedron. Elemen tetrahedron memiliki kemampuan adaptasi yang baik terhadap geometri tiga dimensi yang kompleks maupun tidak beraturan, sedangkan elemen hexahedron cenderung memberikan hasil analisis yang lebih akurat pada geometri dengan bentuk yang lebih terstruktur.

Kualitas mesh menjadi parameter penting karena berkaitan langsung dengan kemampuan elemen dalam merepresentasikan kondisi geometri model secara aktual. Oleh sebab itu, kontrol kualitas mesh pada penelitian ini dilakukan menggunakan size metrics yang meliputi parameter ukuran elemen seperti panjang, lebar, dan ketebalan. Pengaturan tersebut bertujuan untuk memperoleh distribusi mesh yang optimal sehingga tercapai keseimbangan antara tingkat akurasi hasil simulasi dan efisiensi proses komputasi.



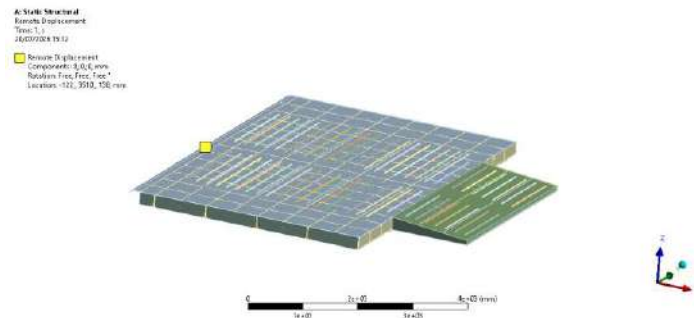
Gambar 4.20 Meshing
(Sumber : Penulis, 2026)

4.7.4 Pendefinisian Kondisi Batas

Pendefinisian kondisi batas yang sesuai dengan kondisi aktual sangat penting dalam proses simulasi agar hasil analisis yang diperoleh dapat merepresentasikan kondisi operasional rampdoor. Pada penelitian ini, kondisi batas yang digunakan berupa *remote displacement*. Kondisi batas tersebut diterapkan pada bagian dalam engsel (*pad eye*) yang berfungsi sebagai penghubung antara rampdoor dan struktur kapal. Selain itu, *remote displacement* juga diterapkan pada bagian *bottom plate* di ujung depan rampdoor yang berfungsi sebagai tumpuan pada dermaga saat rampdoor berada pada posisi terbuka dan digunakan untuk aktivitas keluar-masuk kendaraan.

Pada bagian *pad eye*, perpindahan translasi pada arah sumbu x, y, dan z dibatasi untuk merepresentasikan sambungan rampdoor dengan kapal. Sementara itu, pada bagian *bottom plate*, hanya perpindahan vertikal yang ditahan, sedangkan perpindahan dan rotasi pada arah lainnya tetap

diperbolehkan. Pendekatan ini digunakan agar kondisi tumpuan pada model numerik dapat menggambarkan kondisi operasional rampdoor secara lebih realistis. Penerapan kondisi batas pada simulasi ini ditunjukkan pada permukaan (*face*) dan garis (*edge*) yang berwarna biru pada Gambar 4.21.

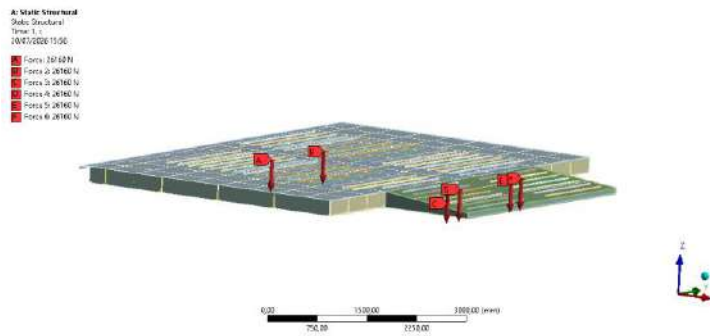


Gambar 4.21 Remote Displacement
(Sumber : Penulis, 2026)

4.7.5 Pendefinisian Beban (Force)

Tahapan berikutnya setelah pendefinisian kondisi batas dalam analisis static structural adalah melakukan pendefinisian gaya pembebanan yang bekerja pada struktur rampdoor. Proses pendefinisian pembebanan dilakukan untuk merepresentasikan kondisi pembebanan aktual yang diterima struktur selama proses operasional berlangsung. Besarnya pembebanan yang diterapkan pada model simulasi dalam penelitian ini diperoleh berdasarkan hasil perhitungan distribusi beban roda kendaraan truk yang telah dilakukan sebelumnya.

Pembebanan diberikan pada enam titik yang merepresentasikan posisi roda kendaraan. Pada posisi 1 yang merupakan roda depan kiri diberikan gaya sebesar 26160 N, sedangkan pada posisi 2 yang merupakan roda depan kanan juga diberikan gaya sebesar 26160 N. Selanjutnya, posisi 3 dan posisi 4 yang merepresentasikan roda belakang kanan 1 dan roda belakang kanan 2 masing-masing menerima pembebanan sebesar 26160 N. Selain itu, pada posisi 5 dan posisi 6 yang merupakan roda belakang kiri 1 dan roda belakang kiri 2 juga diberikan gaya sebesar 26160 N. Posisi masing-masing titik pembebanan pada struktur rampdoor ditunjukkan pada Gambar 4.22.



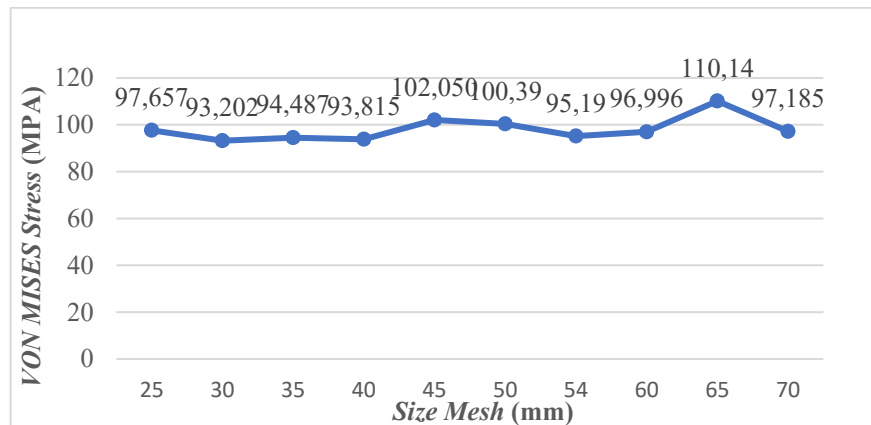
Gambar 4.22 Pembebanan Rampdoor
(Sumber : Penulis, 2026)

4.7.6 Uji Konvergensi

Uji konvergensi merupakan metode yang digunakan untuk menentukan ukuran elemen (mesh size) yang tepat dalam proses meshing dengan tujuan untuk mendapatkan hasil analisis yang akurat. Pengujian ini dengan memberikan beberapa variasi ukuran elemen pada model yang sama, kemudian membandingkan hasil output yang diperoleh dari masing masing variasi tersebut. Tujuan dari uji konvergensi adalah kestabilan, yaitu saat perubahan ukuran mesh tidak lagi memberikan perbedaan hasil yang signifikan. Dengan demikian, ukuran mesh yang dipilih dapat menghasilkan keseimbangan antara tingkat akurasi analisis dan efisiensi proses komputasi.

Tabel 4. 14 Hasil Uji Konvergensi

No	Size Mesh	Unit	Deformasi	Unit	Von Mises Stress	Unit	Selisih	
1	25	mm	0,88620	mm	97,657	Mpa	4,455	%
2	30	mm	0,88022	mm	93,202	Mpa	1,285	%
3	35	mm	0,87886	mm	94,487	Mpa	0,672	%
4	40	mm	0,87927	mm	93,815	Mpa	8,235	%
5	45	mm	0,879990	mm	102,05	Mpa	1,660	%
6	50	mm	0,87757	mm	100,39	Mpa	5,201	%
7	54	mm	0,87852	mm	95,19	Mpa	1,807	%
8	60	mm	0,87701	mm	96,996	Mpa	13,144	%
9	65	mm	0,87786	mm	110,14	Mpa	12,955	%
10	70	mm	0,87672	mm	97,185	Mpa	12,955	%



Gambar 4.23 Grafik Konvergensi Rampdoor
(Sumber : Penulis, 2026)

Perbandingan hasil perhitungan manual dengan metode elemen hingga (FEM) dilakukan untuk mengevaluasi tingkat kesesuaian hasil analisis numerik. Hasil perhitungan manual dibandingkan dengan hasil analisis FEM pada parameter tegangan ekuivalen (Von Mises). Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa hasil kedua metode memiliki kecenderungan yang sama dengan selisih yang relatif kecil, sehingga hasil analisis numerik dapat dinyatakan cukup representatif dalam menggambarkan respons struktur rampdoor terhadap pembebanan yang diberikan.

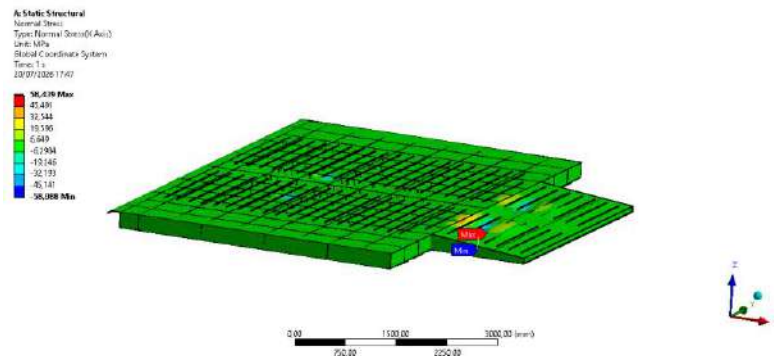
Tabel 4. 15 Perbandingan Hasil Pehitungan Manual

Parameter	Perhitungan Tegangan Manual (MPa)	Analisis Fem (MPa)	Selisih (MPa)	Presentase Selisih
Tegangan <i>Von Mises</i>	94,30	94,48	0,44	0.46 %

4.8 Simulasi Pada Model

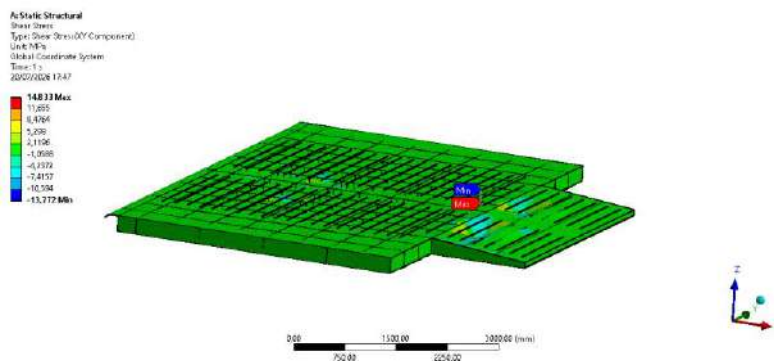
4.8.1 Hasil Simulasi Tegangan dan Defromasi Rampdoor Konvensional

Pada penelitian ini model rampdoor konvensional yang menggunakan material LR Grade A diterapkan beban total sebesar 156,960N. Beban tersebut didistribusikan ke enam roda truk. Setiap roda memberikan gaya sebesar 26160 N. Berdasarkan hasil simulasi dari *software* menunjukkan tegangan normal yang ditampilkan pada Gambar 4.21.



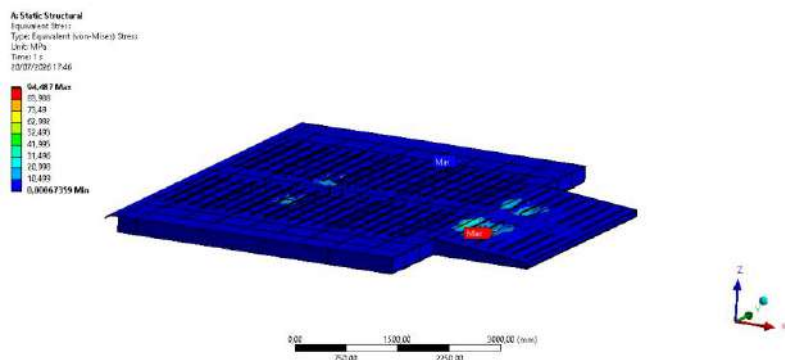
Gambar 4.21 Tegangan Normal Material LR Grade A
(Sumber : Penulis, 2026)

Pada gambar di atas menunjukkan tegangan normal makasimal sebesar 58,439 MPa. Berikut adalah hasil simulasi tegangan geser yang ditampilkan pada Gambar 4.22.



Gambar 4.22 Gambar Tegangan Geser Material LR Grade A
(Sumber : Penulis, 2026)

Pada gambar di atas menunjukkan tegangan geser makasimal sebesar 14,833 MPa. Berikut adalah hasil simulasi tegangan *Von Mises* yang ditampilkan pada Gambar 4.23.



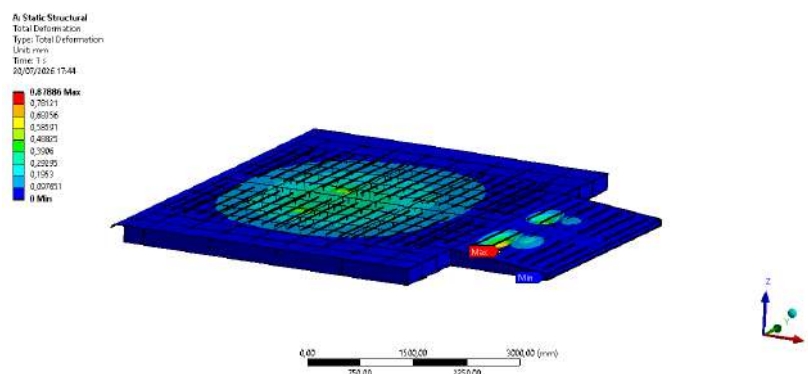
Gambar 4.23 Tegangan *Von Mises* Material LR Grade A
(Sumber : Penulis, 2026)

Pada gambar di atas menunjukkan tegangan *von-Mises* maksimal sebesar 94.487 MPa. Batas tegangan *von-Mises* maksimal tidak melebihi tegangan izin berdarakn rules BKI sebesar 211,5 MPa Berdasarkan hasil tersebut, maka desain yang dibuat ini bisa digunakan tanpa perlu melakukan redesain lagi. Berikut merupakan perhitungan *safety factor* Rampdoor konvensional.

Selanjutnya dilakukan pehitungan *safety factor* untuk model rampdoor dengan Material LR Grade A

$$\begin{aligned} SF &= \frac{\sigma_{yield}}{\sigma_{actual}} \\ &= \frac{235}{94,487} \\ &= 2,487 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan *safety factor* pada konstruksi rampdoor eksisting berbahan LR A diperoleh sebesar 2,487. Nilai tersebut menunjukkan bahwa struktur rampdoor eksisting memenuhi kriteria aman yang disyaratkan, karena kapasitas kekuatan yang di syaratkan, mengingat kapasitas kekuatan matarialnya masih mampu menahan beban operasional kendaraan miliki lebih besar daripada kekuatan yang diperlukan selama proses operasional. Selain itu, nilai *safety factor* yang diperoleh juga berada dalam rentang 2-3 yang umumnya direkomendasikan untuk struktur dengan pembebanan dinamis. Hasil simulasi deformasi maksimal pada model rampdoor berbahan LR Grade A yang dianalisis menggunakan Ansys yang ditampilkan pada Gambar 4.24.

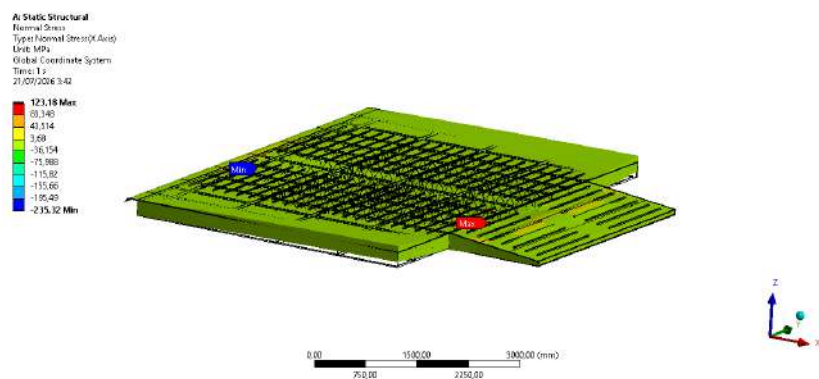


Gambar 4.24 Tegangan Defirmasi Maksimum Material LR Grade A
(Sumber : Penulis, 2026)

Pada gambar di atas menunjukkan bahwa nilai tegangan deformasi maksimum 0,879 mm

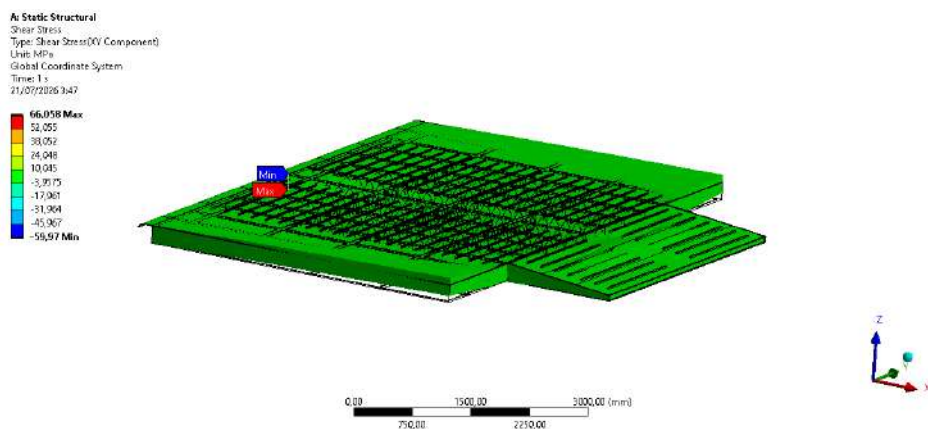
4.8.2 Hasil Simulasi Tegangan dan Defromasi Rampdoor Castelled Honeyomb Belum Memenuhi SF

Pada penelitian ini model rampdoor konvensional yang menggunakan material SS 400 diterapkan beban total sebesar 156,960N. Beban tersebut didistribusikan ke enam roda truk. Setiap roda memberikan gaya sebesar 26160 N. Berdasarkan hasil simulasi dari softwre menunjukka ntegangan normal yang ditampilkan pada Gambar 4.25.



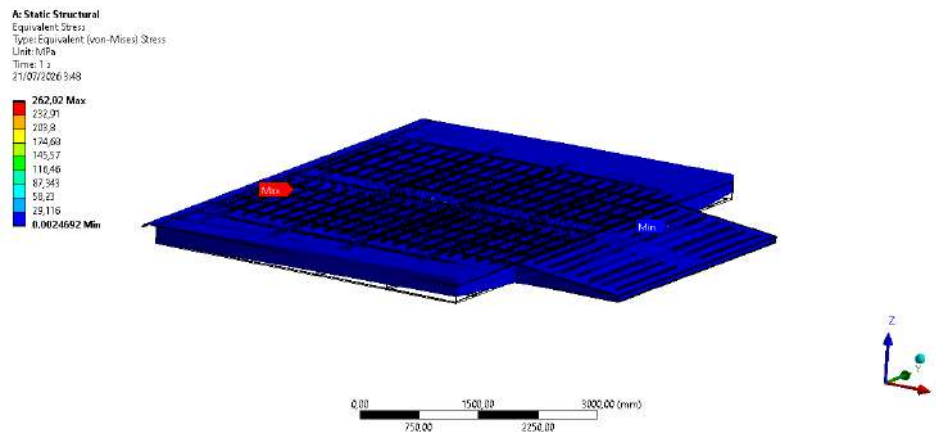
Gambar 4.25 Tegangan Normal Material SS 400
(Sumber : Penulis, 2026)

Pada gambar di atas menunjukkan tegangan normal makasimal sebesar 123,18 MPa. Berikut adalah hasil simulasi tegangan geser yang ditampilkan pada Gambar 4.26.



Gambar 4.26 Tegangan Geser Material SS 400
(Sumber : Penulis, 2026)

Pada gambar di atas menunjukkan tegangan geser makasimal sebesar 66,058 MPa. Berikut adalah hasil simulasi tegangan *Von Mises* yang ditampilkan pada Gambar 4.27.



Gambar 4.27 Tegangan Von Mises Material SS 400
(Sumber : Penulis, 2026)

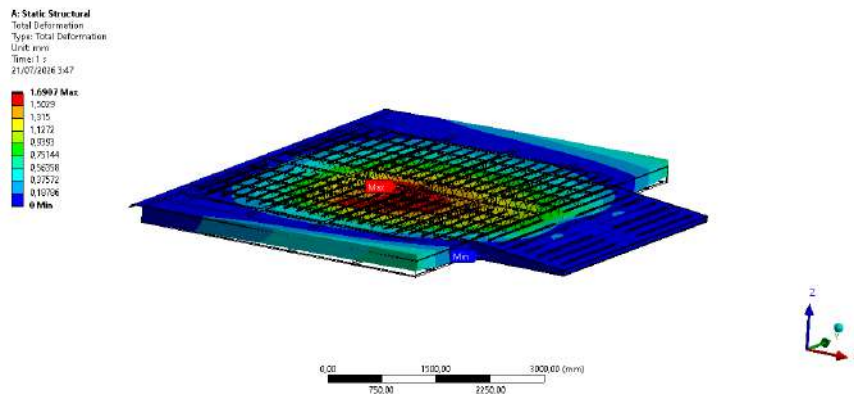
Pada gambar di atas menunjukkan tegangan *von-Mises* maksimal sebesar 262,02 MPa. Batas tegangan *von-Mises* maksimal melebihi tegangan izin berdasarkan rules BKI sebesar 211,5 MPa Berdasarkan hasil tersebut, maka desain yang dibuat ini bisa digunakan perlu melakukan redesain lagi. Berikut merupakan perhitungan *safety factor* Rampdoor *castelled honeycomb*.

Selanjutnya dilakukan pehitungan *safety factor* untuk model rampdoor dengan Material SS 400

$$\begin{aligned} SF &= \frac{\sigma_{yield}}{\sigma_{actual}} \\ &= \frac{235}{262,02} \\ &= 0,90 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai *safety factor* pada konstruksi rampdoor diperoleh sebesar 0,90. Meskipun nilai tersebut menunjukkan bahwa kekuatan struktu lebih besar daripada kekuatan yang dibutuhkan, nilainya masih berada dibawah rentang *safety factor* 2-3 yang umumnya digunakan sebagai acuan untuk struktur dengan pembeban dinamis. Dengan demikian tingkat keamanan struktut belum memenuhi rekomendasi yang ditetapkan untuk kondisi

pembebanan tersebut. Hasil simulasi deformasi maksimum pada rampdoor castelled honeycomb material SS 400 ditunjukkan pada Gambar 4.28



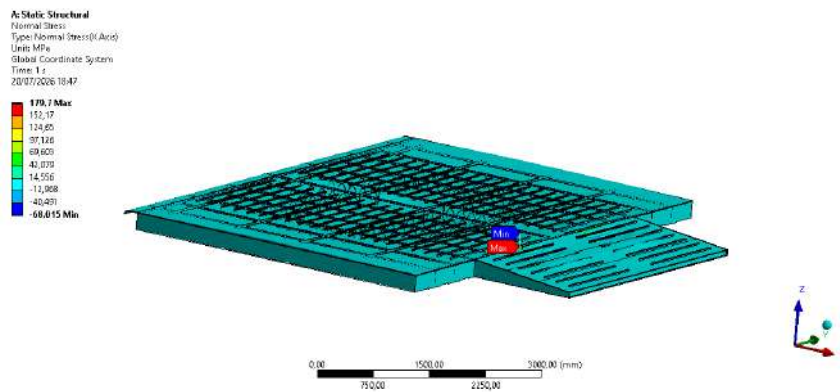
Gambar 4.28 Tegangan Deformasi Maksimum Material SS 400
(Sumber : Penulis, 2026)

Pada gambar di atas menunjukkan tegangan deformasi maksimum 1,691 mm

4.8.3 Hasil Simulasi Tegangan dan Defromasi Rampdoor Castelled Honeyomb Memenuhi SF

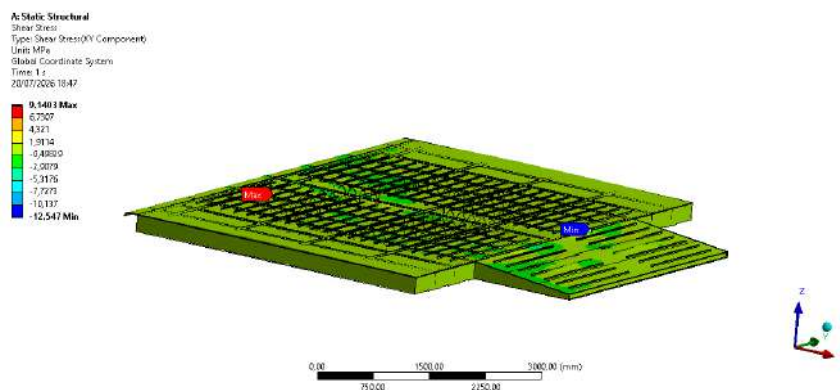
Pada hasil simulasi konfigurasi awal tidak memenuhi persyaratan kekuatan dan keamanan. Oleh karena itu rekonstruksi desain deilakukan secara bertahap dengan megubah sistem penegar dan geomtri lokal pada area kritis. Rekonstruksi ini termasuk penambahan bracket, penutupan sebagian daerah dengan konsentrasi tegangan tinggi dan penggunaan penggunaan profil penegar castelled honeycomb 225 x 75. Rekonstruksi dilakukan berulang kali hingga konfigurasi struktur memenuhi persyaratan tegangan, deformasi, dan *safety factor*.

Pada konfigurasi akhir tersebut model rampdoor *castelled honeycomb* yang menggunakan material SS 400 diberikan pembeban total sebesar 156,960 kN yang merepenstrasikan beban kendaraan truk. Beban tersebut didistribusikan secara merata ke enam roda truk. Sehingga setiap roda memberikan gaya sebesar 26160 N. Berdasarkan hasil simulasi dari software menunjukkan tegangan normal yang ditunjukkan pada Gambar 4.29.



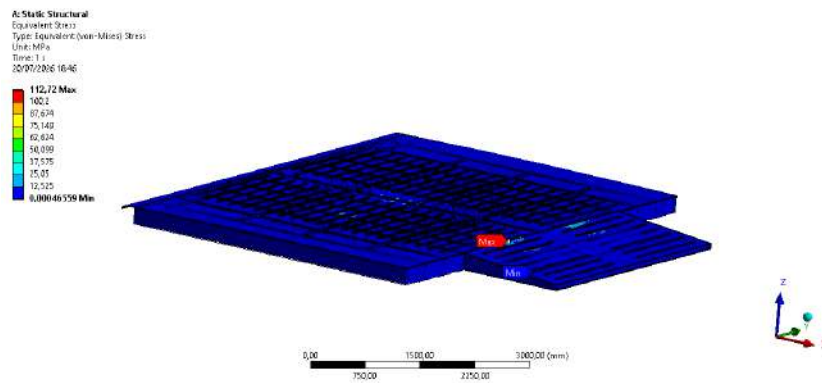
Gambar 4.29 Tegangan Normal Material SS 400
(Sumber : Penulis, 2026)

Pada gambar di atas menunjukkan tegangan normal makasimal sebesar 179,7 MPa. Berikut adalah hasil simulasi tegangan geser yang ditampilkan pada Gambar 4.26.



Gambar 4.30 Tegangan Geser Material SS 400
(Sumber : Penulis, 2026)

Pada gambar di atas menunjukkan tegangan geser makasimal sebesar 66,058 MPa. Berikut adalah hasil simulasi tegangan *Von Mises* yang ditampilkan pada Gambar 4.31.



Gambar 4.31 Tegangan Von Mises Material SS 400
(Sumber : Penulis, 2026)

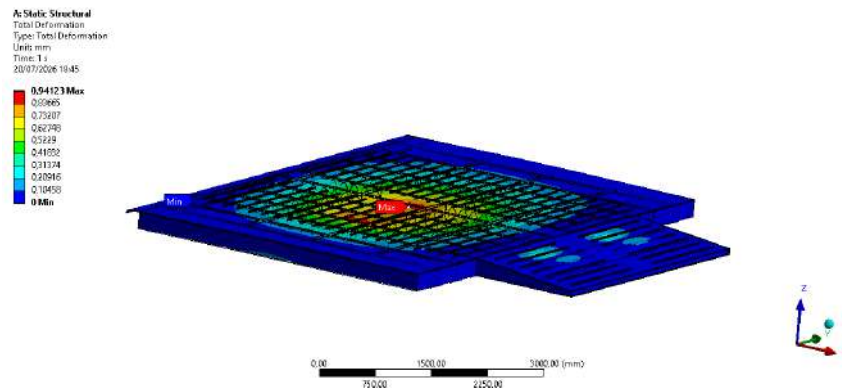
Pada gambar di atas menunjukkan tegangan *von-Mises* maksimal sebesar 112.72 MPa. Batas tegangan *von-Mises* maksimal tidak melebihi tegangan izin berdasarkan rules BKI sebesar 211,5 MPa Berdasarkan hasil tersebut, maka desain yang dibuat ini bisa digunakan tanpa perlu melakukan redesain lagi. Berikut merupakan perhitungan *safety factor* Rampdoor konvensional.

Selanjutnya dilakukan perhitungan *safety factor* untuk model rampdoor dengan Material LR Grade A

$$\begin{aligned} SF &= \frac{\sigma_{yield}}{\sigma_{actual}} \\ &= \frac{235}{112,72} \\ &= 2,085 \end{aligned}$$

Sebagai bentuk komparasi, pengujian serupa dilakukan pada model rampdoor dengan material SS 400 Berdasarkan hasil perhitungan *safety factor* pada konstruksi rampdoor eksisting berbahan SS 400 diperoleh sebesar 2,085. Meskipun nilai *safety factor* untuk variasi SS 400 lebih kecil daripada material LR A, capaian tersebut mengindikasikan bahwa penggunaan baja komersial SS 400 secara structural tetap memenuhi. Struktur masih mampu menahan beban perasional dengan aman tanpa memicu terjadinya kegagalan material ataupun deformasi permanen (*yielding*), Karena nilainya tetap dalam rentang dinamis 2-3.yang umumnya direkomendasikan untuk struktur dengan pembebanan dinamis. Hasil simulasi deformasi maksimal pada model rampdoor berbahan LR

Grade A yang dianalisis menggunakan Ansys yang ditampilkan pada Gambar 4.32.



Gambar 4.32 Tegangan Deformasi Maksimum
(Sumber : Penulis, 2026)

Pada gambar di atas menunjukkan tegangan deformasi maksimum 0.941 mm. Evaluasi terhadap model existing design melalui simulasi elemen hingga menghasilkan data perbandingan terkait tegangan maksimum yang dialami oleh struktur rampdoor. Untuk mempermudah analisis rangkuman komparasi nilai tegangan tersebut pada 4.8.3.

4.8.4 Ringkasan dan Perbandingan Kinerja

Penyajian ini bertujuan untuk mempermudah evaluasi dan perbandingan kinerja antara rampdoor konvensional dan rampdoor *castellated honeycomb*.

Tabel 4. 16 Ringkasan dan perbandingan kinerja

Parameter	Konvensional	Honeycomb	Honeycomb
Tegangan <i>Von Mises</i> (Mpa)	94.487	262.02	112.272
Tegangan Izin (Mpa)	211,5	211,5	211,5
Deformasi (mm)	0.879	1.691	0.941
<i>Safety Factor</i>	2.487	0,90	2.085
Status	Memenuhi	Belum Memenuhi	Memenuhi

Berdasarkan Tabel 4.16, model rampdoor konvensional menghasilkan tegangan *Von Mises* maksimum sebesar 94,49 MPa dengan deformasi maksimum 0,879 mm dan *safety factor* sebesar 2,49 sehingga memenuhi kriteria tegangan izin yang ditetapkan. Sementara itu, model rampdoor *castellated honeycomb* awal dengan dimensi profil 225 × 75 mm menunjukkan tegangan *Von Mises* maksimum sebesar 260,22 MPa dan *safety factor* sebesar 0,90, sehingga belum memenuhi kriteria penerimaan struktur. Kondisi tersebut

disebabkan oleh terjadinya *local yielding* pada beberapa area di sekitar *pad eye* akibat konsentrasi tegangan yang tinggi.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dilakukan rekonstruksi desain tanpa mengubah dimensi utama profil *castellated honeycomb* 225×75 mm. Modifikasi dilakukan dengan menutup sebagian bukaan *honeycomb* pada area kritis dan menambahkan *bracket* pengaku berukuran $300 \times 300 \times 6$ mm pada bagian bawah profil *castellated honeycomb*. Penambahan elemen pengaku tersebut bertujuan untuk meningkatkan kekakuan struktur serta mengurangi konsentrasi tegangan di sekitar sambungan.

Hasil rekonstruksi menunjukkan bahwa tegangan *Von Mises* maksimum menurun menjadi 112,27 MPa dengan deformasi maksimum sebesar 0,941 mm dan *safety factor* meningkat menjadi 2,09. Meskipun nilai deformasi model hasil rekonstruksi sedikit lebih besar dibandingkan model rampdoor konvensional, nilainya masih berada di bawah batas yang diizinkan. Dengan demikian, model rampdoor *castellated honeycomb* hasil rekonstruksi dinyatakan telah memenuhi kriteria kekuatan struktur tanpa mengubah dimensi utama profil yang digunakan.

4.9 Analisis Perbandingan Biaya Konstruksi Volume dan Berat material

4.9.1 Estimasi Biaya Konstruksi Rampdoor Konvensional (Existing)

Tabel 4. 17 Biaya konstruksi rampdoor existing

No	Material	Berat (kg)	Biaya/(kg)	Total Harga
1	Berat plat	3285,343	13.200	Rp43.366.528
2	Berat profil T	3488,708	Rp9.000	Rp31.398.372
3	Berat profil L	440,856	Rp9.000	Rp3.967.704
4	Berat pade eye	128,303	Rp13.200	Rp1.693.600
5	Berat bottom plate	284,013	Rp13.900	Rp3.947.781
6	Diamond plate I	171,444	Rp13.900	Rp2.383.072
7	Diamond plate II	28,26	Rp13.900	Rp392.814
Total Berat (kg)		7826,93	Total Biaya	Rp87.149.869

Sumber Harga dari, PT Fatma Wijaya Steel 2025

Berdasarkan Tabel 4.17, estimasi biaya material rampdoor konvensional dihitung berdasarkan total berat komponen struktur yang dikalikan dengan harga satuan material per kilogram. Harga satuan material diperoleh dari data PT

Fatma Wijaya Steel. Hasil perhitungan total biaya material rampdoor konvensional sebesar Rp 87.149.869. Komponen plat merupakan biaya terbesar karena memiliki berat paling besar dibandingkan dengan komponen struktur lainnya.

4.9.2 Estimasi Biaya Konstruksi Rampdoor Honeycomb

Tabel 4. 18 Biaya konstruksi rampdoor Honeycomb

No	Material	Berat (kg)	Biaya/(kg)	Total Harga
1	Berat plat	3285,343	Rp13.200	Rp43.366.528
2	Berat profil Honeyomb	1190,280	Rp9.000	Rp10.712.520
3	Berat profil T	793,748	Rp9.000	Rp7.143.732
4	Berat pade eye	128,030	Rp13.200	Rp1.689.996
5	Berat profil IWF	450,730	Rp9.000	Rp4.056.570
6	Berat bottom plate	284,01	Rp13.900	Rp3.947.781
7	diamond plate I	171,444	Rp13.900	Rp2.383.072
8	diamond plate II	28,26	Rp13.900	Rp392.814
Total Berat (kg)		6331,85	Total Biaya	Rp73.693.012

Sumber Harga dari, PT Fatma Wijaya Steel 2025

Berdasarkan Tabel 4.18, estimasi biaya material rampdoor castelled honeycomb diperoleh berdasarkan total berat komponen struktur yang dikalikan dengan harga satuan material per kilogram. Harga satuan material diperoleh dari data PT Fatma Wijaya Steel. Perhitungan dilakukan menggunakan harga baja yang sama dengan konvensional sehingga perbedaan biaya hanya dipengaruhi oleh perbedaan kebutuhan material. Total biaya material rampdoor castelled honeycomb sebesar Rp 73.693.012 nilai tersebut menunjukkan besarnya kebutuhan biaya material untuk konstruksi rampdoor dengan konfigurasi castelled honeycomb.

4.9.3 Perbandingan Biaya Material Rampdoor Konvensional dan Rampdoor Honeycomb

Tabel 4. 19 perbandingan biaya material rampdoor

Parameter	Konvensional	Honeycomb
Total Berat Material (kg)	7826.93 kg	6331.85 kg
Selisih Berat Material (kg)	1495,08 kg	
Pengurangan Berat (%)	19%	
Total Biaya Material (Rp)	Rp87.149.869	Rp73.693.012
Selisih Biaya (Rp)	Rp13.456.857	
Penghematan (%)	15%	

Sumber penulis 2026

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.19, konstruksi castelled honeycomb menunjukkan efisiensi yang lebih baik dibandingkan konstruksi rampdoor konvensional, baik dari aspek berat maupun biaya material. Berat total material berkurang sebesar 1495,08 kg (19%) sedangkan total biaya menurun sebesar Rp.13.456.857 (15%). Penurunan tersebut dipengaruhi oleh berkurangnya volume dan berat material baja yang digunakan pada struktur castelled honeycomb. Dengan demikian rekonstruksi yang diterapkan tidak hanya mampu memenuhi persyaratan kekuatan struktur, tetapi juga memberikan efisiensi penggunaan material dan penghematan biaya konstruksi.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagaimana disajikan berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis metode elemen hingga (FEM) menggunakan Ansys terhadap pembebanan kendaraan truk seberat 16 ton, distribusi tegangan dan deformasi maksimum yang terjadi masih berada dibawah tegangan luluh material SS400, sedangkan deformasi yang dihasilkan masih dalam batas yang diizinkan. Selain itu, nilai *safety factor* yang diperoleh telah memenuhi kriteria keamanan sehingga struktur rampdoor dinyatakan aman untuk menerima pembebanan operasional yang dianalisis.
2. Konstruksi *castelled honeycomb* dengan dimensi 225 x75 mampu mencapai yang setara dengan rampdoor konvensional setelah dilakukan proses rekonstruksi desain. Rekonstruksi dilakukan modifikasi sistem penegar dan geometri local, meliputi penambahan *bracket* penutupan Sebagian bukaan honeycomb pada daerah yang mengalami konsentrasi tegangan tinggi, serta penggunaan profil penegar *castelled honeycomb* 225 x 75 yang disesuaikan dengan batasan tinggi maksimum rampdoor 230 mm. Modifikasi tersebut berhasil meningkatkan kekauan struktur sehingga memenuhi persyaratan tegangan, deformasi, dan *safety factor*.
3. Hasil perbandingan berat menunjukkan bahwa penggunaan konstruksi *castelled honeycomb* menghasilkan berat total struktur sebesar 6331,85 kg lebih ringan dibandingkan konstruksi rampdoor konvensional sebesar 7826,93 kg dengan demikian rekonstruksi menggunakan struktur *castelled honeycomb* mampu mengurangi berat struktur sebesar 1495,08 kg atau 19% tanpa mengurangi struktur dalam menahan beban operasional.
4. Berdasarkan estimasi biaya konstruksi yang dihitung berdasarkan volume dan berat material, konstruksi rampdoor *castelled honeycomb* hasil rekonstruksi memiliki biaya sebesar Rp73.693.012 sedangkan konstruksi

rampdoor konvensional sebesar Rp87.149.869 hasil tersebut menunjukkan bahwa konstruksi *castelled honeycomb* memberikan penghematan biaya sekitar 15% dibandingkan konstruksi konvensional. Oleh karena itu, desain hasil rekonstruksi dapat dijadikan sebagai alternatif konstruksi rampdoor yang lebih efisien dari aspal dijadikan sebagai alternatif konstruksi rampdoor yang lebih efisien dari aspek teknis maupun ekonomis karena mampu memenuhi persyaratan kekuatan struktur sekaligus menurunkan berat dan biaya konstruksi

5.2 Saran

Saran diberikan untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir ini dengan harapan dapat disempurnakan lagi untuk penelitian berikutnya. Adapun saran yang dapat diberikan pada tugas akhir sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan pengujian eksperiment terhadap konstruksi rampdoor *castelled honeycomb* untuk memverifikasi kinerja struktur yang diperoleh pada penelitian ini sehingga analisis dapat divalidasi terhadap kondisi aktual
2. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan variasi desain konstruksi *castelled honeycomb* melalui modifikasi dimensi sel, ketebalan plat, maupun konfigurasi sistem penegar guna memperoleh struktur yang lebih optimal dari aspek kekuatan, berat dan efisiensi biaya.
3. Penelitian selanjutnya disarankan mempertimbangkan kondisi pembebanan yang lebih mendekati kondisi operasional kapal, seperti pembebanan dinamis, analisis umur lelah (*fatigue life*) serta memperluas analisis ekonomi dengan memasukkan biaya fabrikasi serta perawatan sehingga dapat dievaluasi secara komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

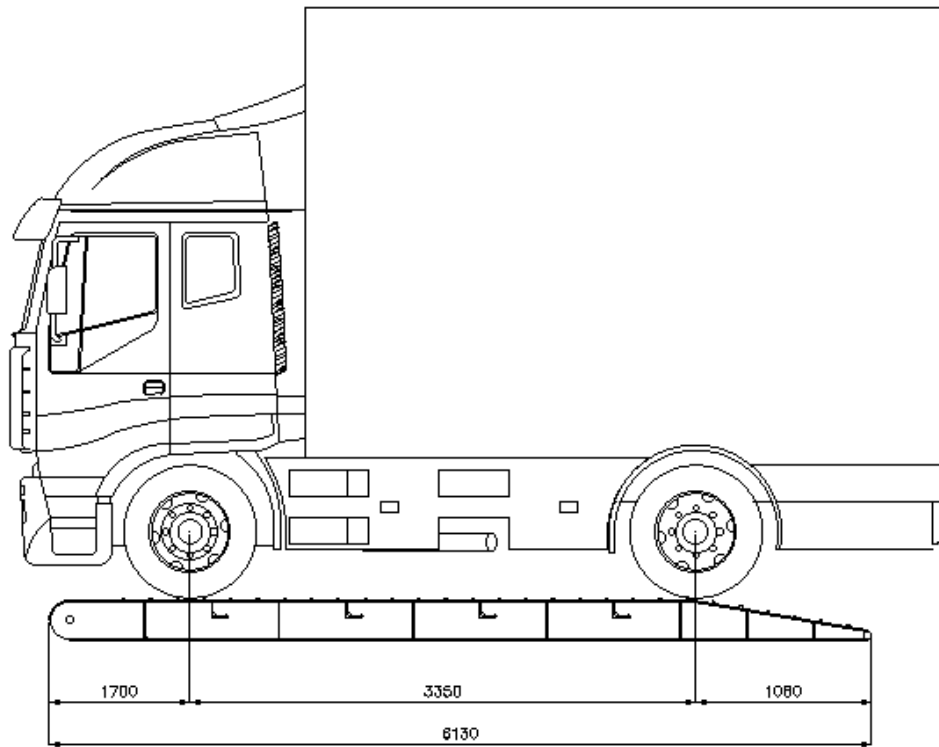
- Avianto, J., Imron, A. & Sujatanti, S. . H., 2013. Analisis Tegangan Yang Terjadi Pada Geladak Kapal Tanker Akibat Pengaruh Perubahan Letak Pembujur Geladak Dengan Metode Elemen Hingga. *JURNAL TEKNIK POMITS* , 2 (1), pp. 1-6.
- Biro Klasifikasi Indonesia , 2024. *Volume II Rules for Hull*. Consolidated Edition. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- Ding, J., Xu, F., Bi, R., & Jia, L. (2025). Shear strength behavior and parameter analysis of honeycomb beams and honeycomb composite beams: Experimental and analytical investigation. *Structures*, 76(January), 108889. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2025.108889>
- Gandy, D., 2007. Carbon Steel Handbook, Electric Power Research Institute, California, USA.
- Hestiawan, H., Zuliantoni., & Febrianto, D., 2019. Heat Treatment Effect on Mechanical Properties of JIS SCM4 Steel. *Jurnal Rekayasa Mekanika*, 3(2), pup. 35-39
- Hoque, K., 2013. *Analysis of Structural Discontinuities in Ship Hull Using Finite Element Method*.
- IACS., 2010. *Common Structural Rules for Double Hull Oil Tanker*. London
- Jokosisworo, S. 2011. *Analisa Fatigue Kekuatan Stern Ramp Door Akibat Beban Dinamis Pada KM. Kirana I Dengan Metode Elemen Hingga Diskrit Elemen Segitiga Plane Stress*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Kementerian Perhubungan, 2018. Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 33 Tahun 2018 Tentang Pengujian Tipe Kendaraan Bermotor. Jakarta: Kementerian Perhubungan.
- LR., 2022. Rules for the Construction and Classification of Ships. London : Lloyd's Register.
- Rohman, S., 2018. Analisis Kekuatan Memanjang Tongkang Pengangkut Muatan Berat Dan Panjang. *Undergraduate's Thesis of Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.

- Rosyadi, F. A., 2021. ANALISIS KEKUATAN DECK KAPAL PEMBANGKIT LISTRIK KAPASITAS 60 MW. *Undergraduate's Thesis of Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya*, p. 55.
- Rosyid, D. & Setyawan, D., 2000. *Kekuatan Struktur Kapal*. Surabaya: PT. Pradnya Paramita Jakarta.
- Sutikno, E., 2011. Analisis Tegangan Akibat Pembebanan Statis Pada Desain Carbody TeC Railbus dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 2(1), pp. 65-81
- Thomas, T., & Tiwari, G. (2019). Crushing behavior of honeycomb structure: a review. *International Journal of Crashworthiness*, 24(5), 555–579. <https://doi.org/10.1080/13588265.2018.1480471>

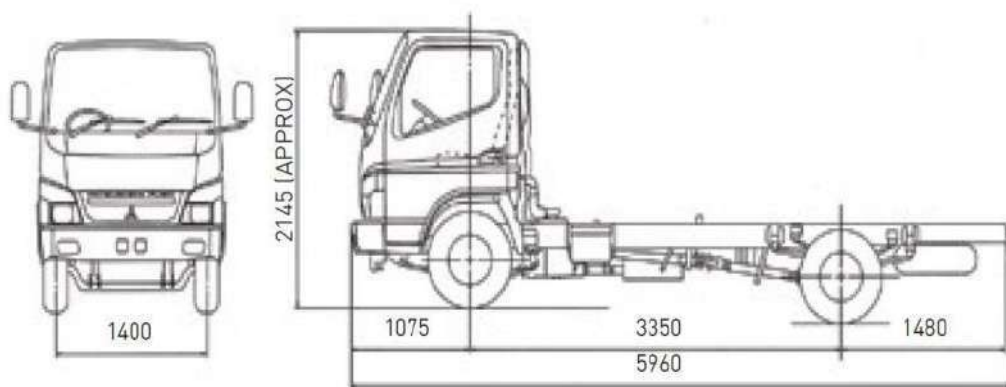
Lampiran

Lampiran 1. Load Scenario

Load Scenario



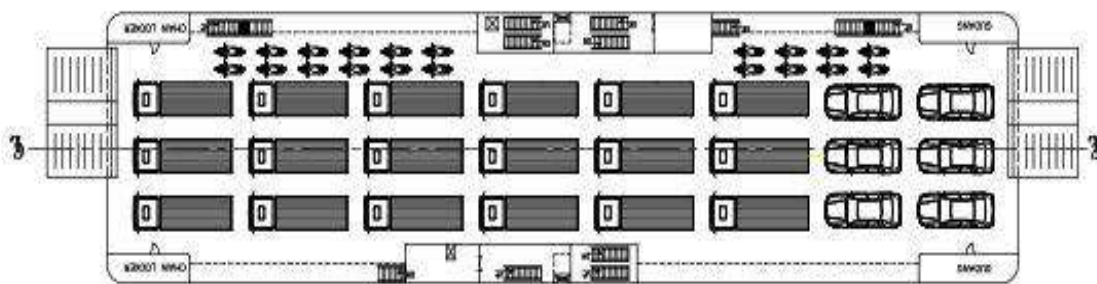
Beban Truk Maksimal 16 ton



Golongan Kendaraan

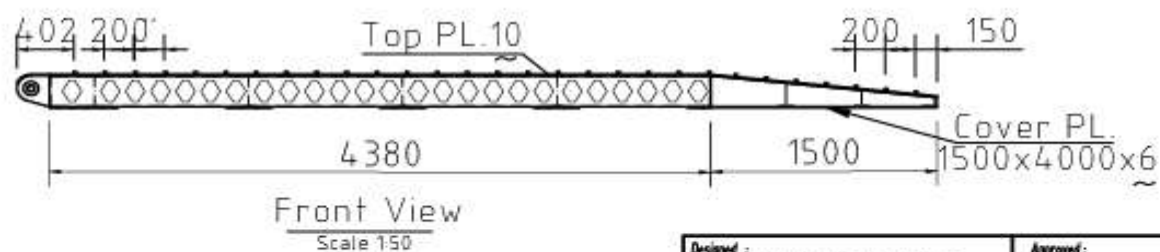
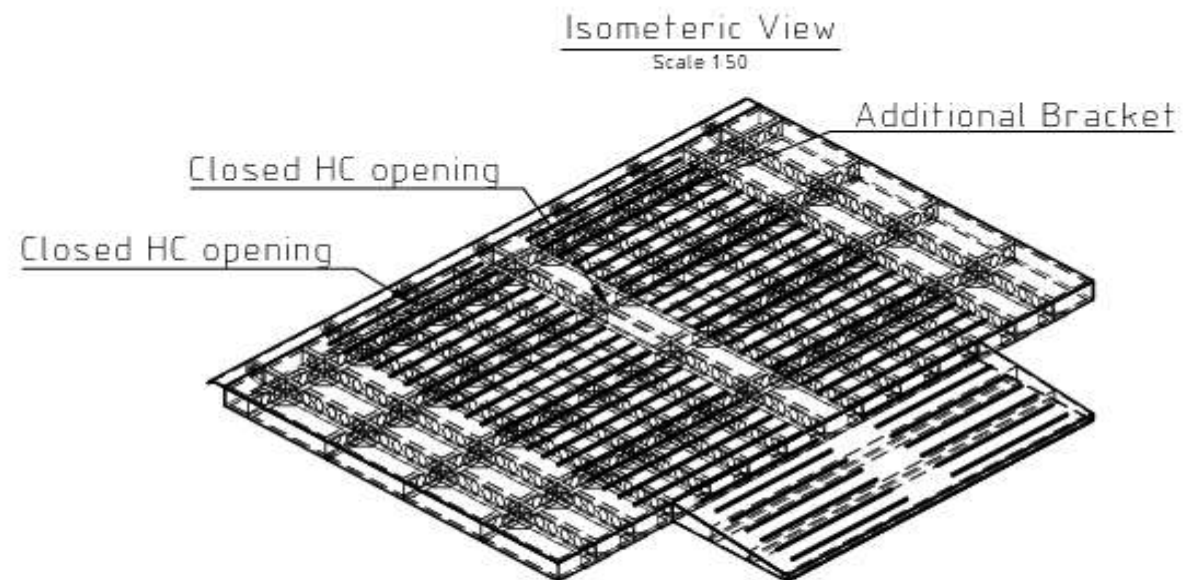
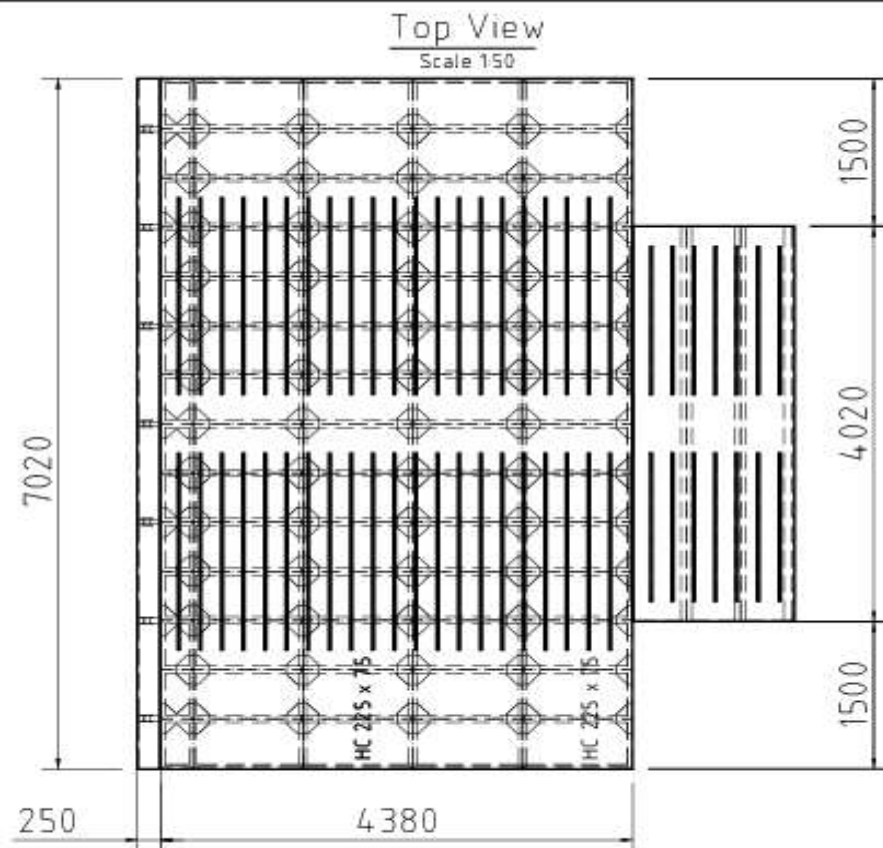
GOLONGAN	TYPE KENDARAAN	BERAT
Golongan I	Sepeda	
Golongan I	Sepeda Motor dibawah 500 cc	
Golongan III	Sepeda Motor besar lebih dari 500 cc	
Golongan IV (Panjang maksimal 5 meter)	Mobil jeep, sedan, minicap, minibus, mikrolet, station wagon	3.500 kg
	Mobil pick up	3.500 kg
Golongan V (Panjang maksimal 7 meter)	Mobil bus sedang	8.000 kg
	Mobil barang (truk) / tangki (truk engkel)	12.000 kg
Golongan VI (Panjang maksimal 10 meter)	Mobil bus besar	16.000 kg
	Mobil barang (truk) / tangki (truk besar)	16.000 kg

Layout Muatan Car Deck



Lampiran 2. Design Rampdooor

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



PRINCIPAL DIMENSION

Length	:	7,20	meter
Width	:	6,13	meter
Height	:	0,23	meter
Hinge	:	7	Hinge

Designed : MUHAMMAD ILHAM N.D

Drawn : MUHAMMAD ILHAM N.D

Checked : MUHAMMAD AL HAZMAN, S.T., M.T.

Approved : RUDDIANTO, S.T., M.T.

Date : 19/07/2026

Scale : AS Displayed

Revisi 1 : -

Revisi 2 : -

Revisi 3 : -

Drawing Name : RAMPDOOR CASTELLED HONEYCOMB



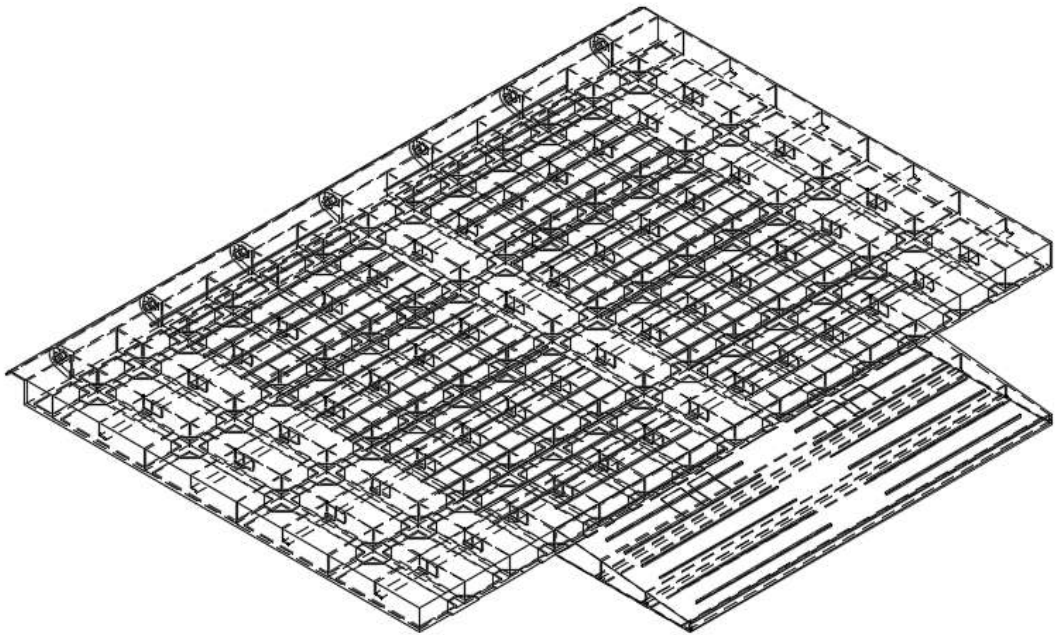
TEKNIK BANGUNAN KAPAL – TEKNIK PERANCANGAN DAN KONSTRUKSI KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN INJENIRI SURABAYA
Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111 – Telp. 031-5947196 Fax. 031-5923624 e-mail : pps-i@telkom.net

Np. 0122040097

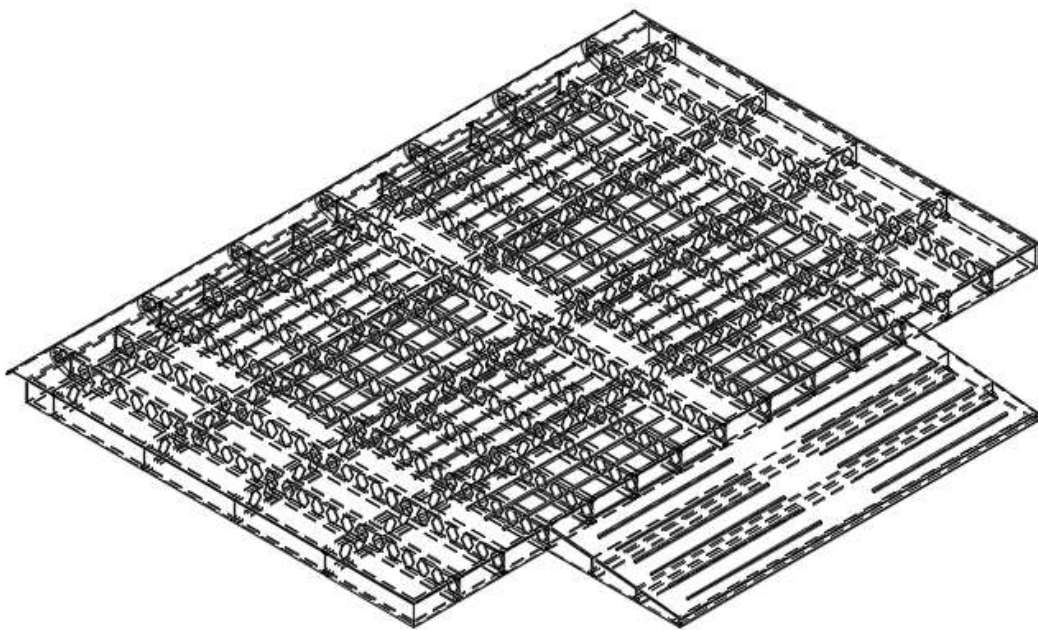
Design Rampdoor - Honeycomb Castelled

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

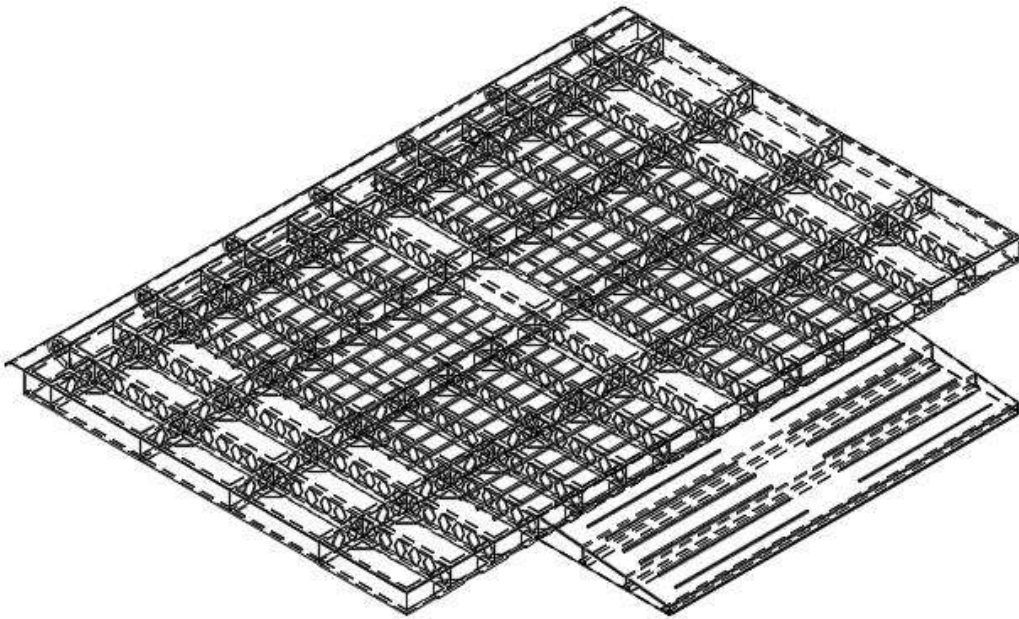
Design Rampdoor 2D Konvensional



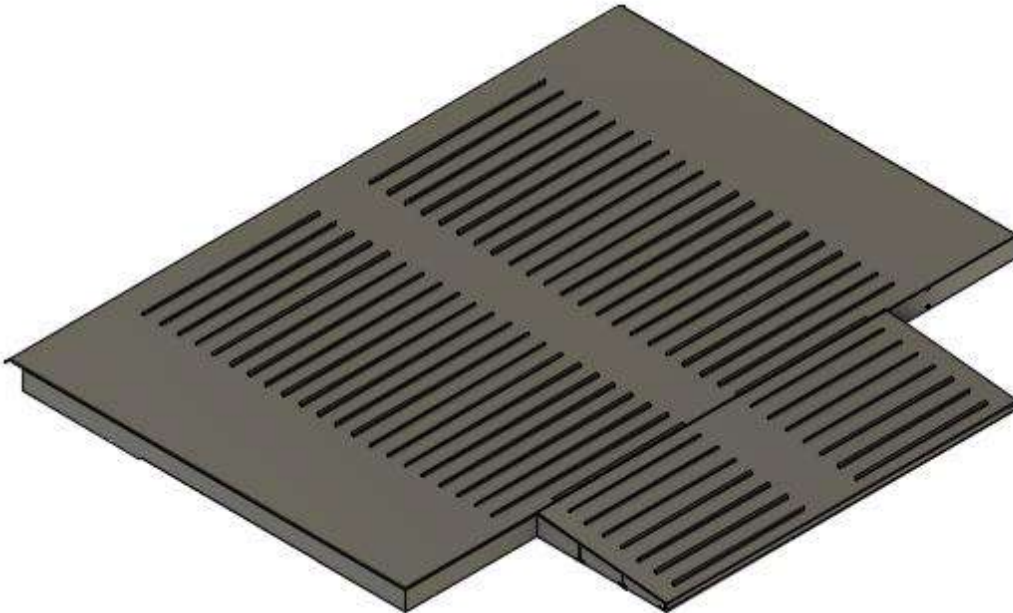
Design Rampdoor 2D Castelled Honeycomb



Design Rampdoor 2D Castelled Honeycomb Redesain



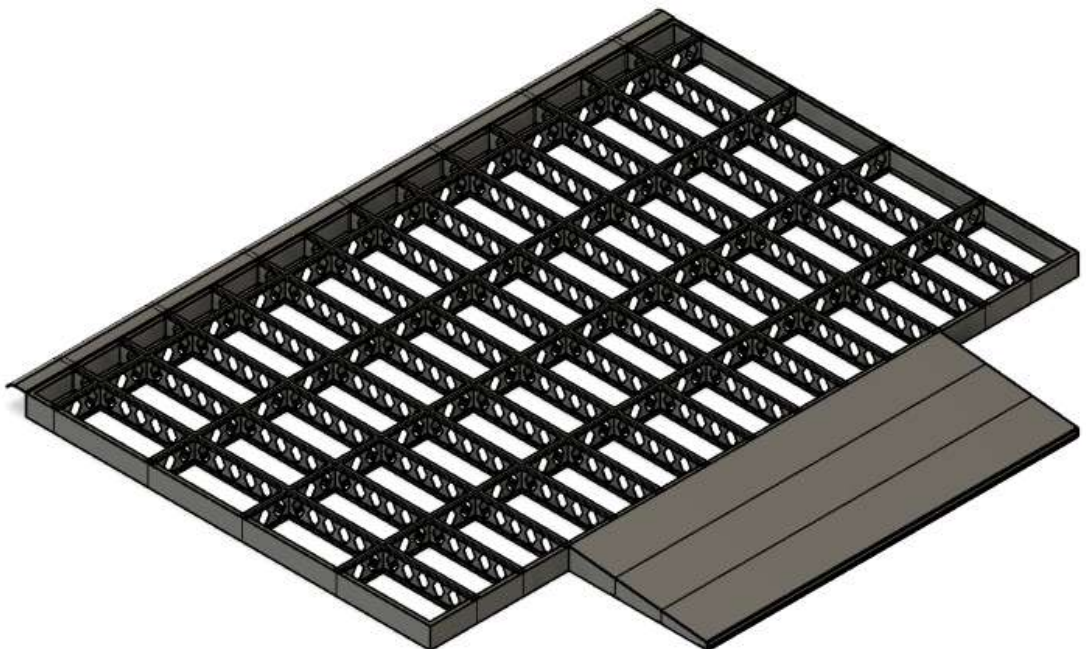
Design Rampdoor 3D



Design Rampdoor Konvensional



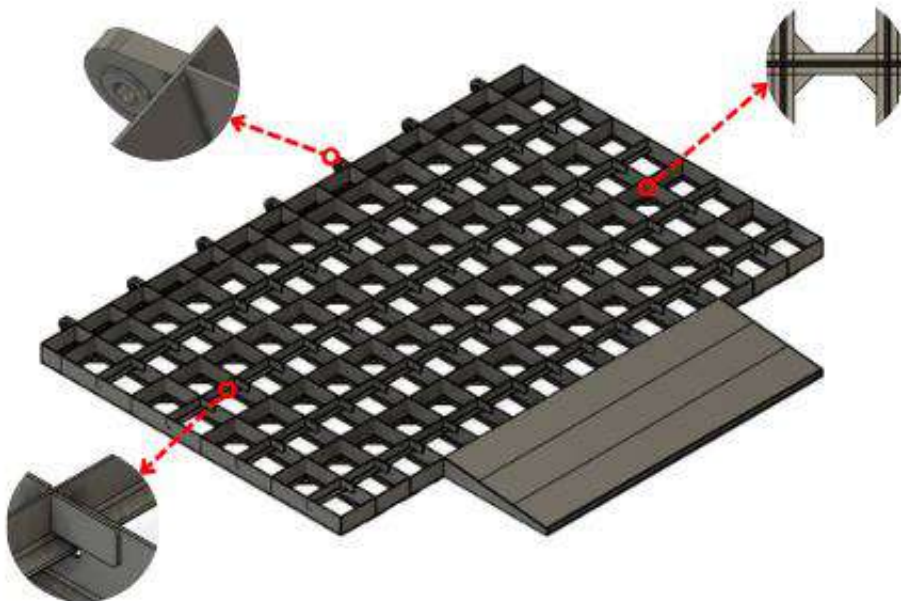
Design Rampdoor Castelled Honeycomb



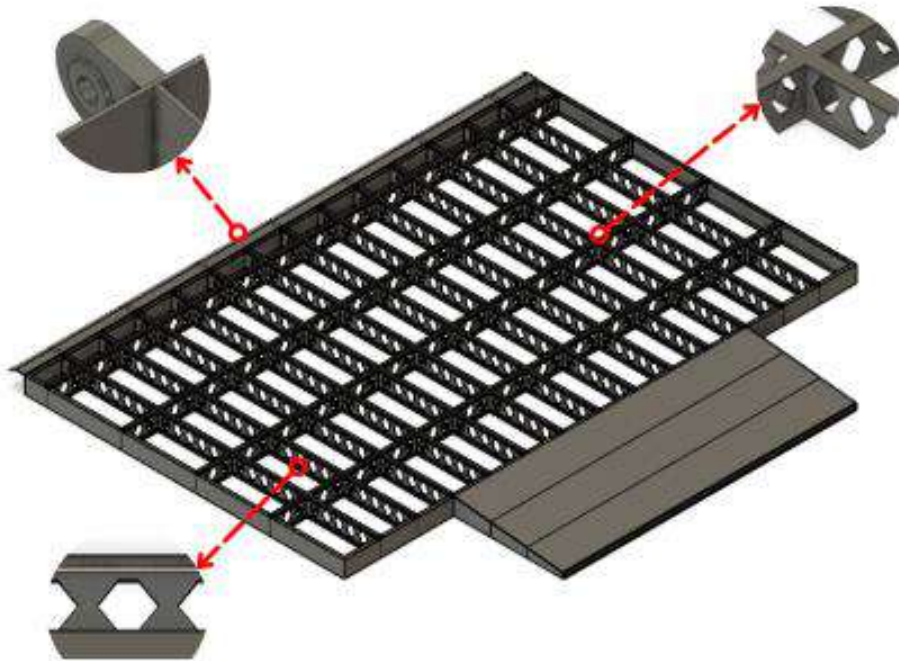
Design Rampdoor Castelled Honeycomb - Redesain



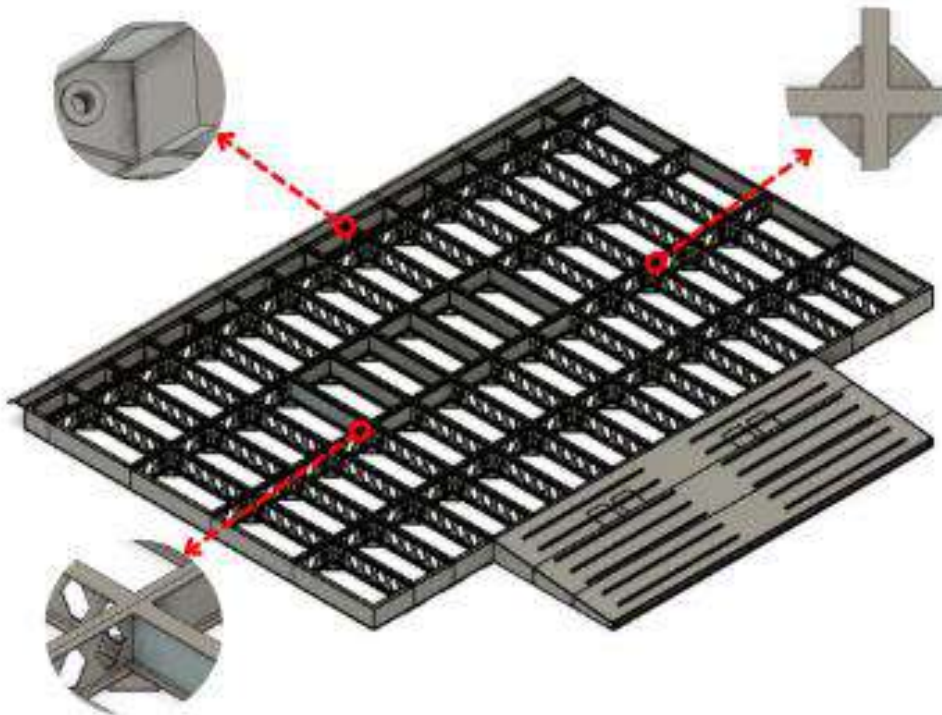
Detail Rampdoor Konvensional



Detail Rampdoor Castelled Honeycomb



Detail Rampdoor Castelled Honeycomb - Redesain



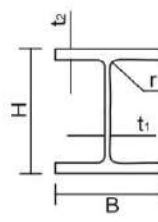
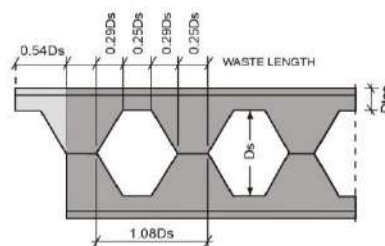
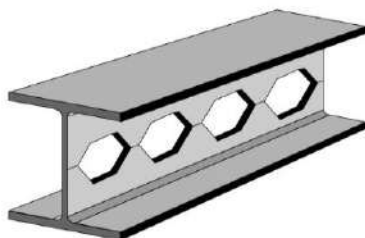
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran 3. Data Teknis Produk

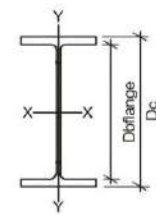
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Castellated Shape Honey Comb

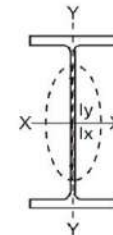
Product Specifications



ORIGINAL SECTION



CASTELLATED SECTION



Metric Size

Sectional Index		Weight Kg/m	Depth of Section		Width of Section B mm	Thickness		Corner Radius r mm	Depth of Castellated Hole Ds mm	Depth of Castellated Tee Dtee mm	Depth Between Flanges Dbflange mm	Section Area		Moment of Inertia		Radius of Gyration		Modulus of Section	
Original	Castellated		Original	Castellated		Web	Flange					Max	Min						
mm	mm		H mm	DC mm		t ₁ mm	t ₂ mm					Gross cm ²	Net cm ²	I _x cm ⁴	I _y cm ⁴	i _x cm	i _y cm	Z _x cm ³	Z _y cm ³
100 x 100	150 x 100	17.2	100	150	100	6	8	10	105	22.5	134	24.9	18.57	905.3	134	7	2.7	120.7	26.8
150 x 75	225 x 75	14	150	225	75	5	7	8	154	35.5	211	21.6	13.85	1579.7	49.5	10.7	1.9	140.4	13.2
150 x 150	225 x 150	31.5	150	225	150	7	10	11	154	35.5	205	45.39	34.54	3889.6	563	10.6	4	345.7	75.1
200 x 100	300 x 100	21.3	200	300	100	5.5	8	11	205	47.5	284	32.66	21.36	4306.8	134	14.2	2.5	287.1	26.8
	297 x 99	18.2	198	297	99	4.5	7	11	202	47.5	283	27.64	18.5	3643.9	114	14	2.5	245.4	23
200 x 200	300 x 200	49.9	200	300	200	8	12	13	205	47.5	276	71.53	55.09	11139	1600.1	14.2	5.4	742.6	160
250 x 125	375 x 125	29.6	250	375	125	6	9	12	254	60.5	357	45.16	29.86	9491.5	294.1	17.8	3.1	506.2	47
	372 x 124	25.7	248	372	124	5	8	12	253	59.5	356	38.88	26.21	8189.6	255	17.7	3.1	440.3	41.1
250 x 250	375 x 250	72.4	250	375	250	9	14	16	254	60.5	347	103.43	80.48	25477.5	3650.2	17.8	6.7	1358.8	292
300 x 150	450 x 150	36.7	300	450	150	6.5	9	13	305	72.5	432	56.53	36.67	16895.1	508.1	21.5	3.7	750.9	67.7
	447 x 149	32	298	447	149	5.5	8	13	302	72.5	431	49	32.33	14664	442	21.3	3.7	656.1	59.3
300 x 300	450 x 300	94	300	450	300	10	15	18	305	72.5	420	134.8	104.25	47854.8	6750.3	21.4	8	2126.9	450
350 x 175	525 x 175	49.6	350	525	175	7	11	14	354	85.5	503	75.39	50.54	31847.5	984.1	25.1	4.4	1213.2	112.5
	519 x 174	41.4	346	519	174	6	9	14	350	84.5	501	63.06	42	25819.2	792.1	24.8	4.3	995	91
350 x 350	525 x 350	137	350	525	350	12	19	20	354	85.5	487	194.9	152.3	95013.1	13600.6	25	9.4	3619.5	777.2
400 x 200	600 x 200	66	400	600	200	8	13	16	405	97.5	574	100.12	67.68	55683.6	1740.2	28.7	5.1	1856.1	174
	594 x 199	56.6	396	594	199	7	11	16	401	96.5	572	86.02	57.92	46656.1	1450.1	28.4	5	1570.9	145.7
450 x 200	675 x 200	76	450	675	200	9	14	18	454	110.5	647	117.01	76.06	78747.4	1870.3	32.2	5	2333.3	187
500 x 200	750 x 200	89.6	500	750	200	10	16	20	505	122.5	718	139.2	88.65	122855.7	2140.5	35.7	4.9	3009.5	214
600 x 200	900 x 200	106	600	900	200	11	17	22	605	147.5	866	167.4	100.8	184103	2280.8	42.7	4.8	4091.2	228.1
588 x 300	882 x 300	151	588	882	300	12	20	28	593	144.5	842	227.78	156.56	274532.9	9021	41.9	7.6	6225.2	601.4
400 x 400	600 x 400	172	400	600	400	13	21	22	405	97.5	558	244.7	191.99	156913.2	22400.8	28.6	10.8	5230.4	1120
700 x 300	1050 x 300	185	700	1050	300	13	24	28	705	172.5	1002	281	189.29	473222.7	10801.5	50	7.6	9013.8	720.1
800 x 300	1200 x 300	210	800	1200	300	14	26	28	805	197.5	1148	323.4	210.63	690341.9	11702.2	57.2	7.5	11505.7	780.1

Castellated Shape Honey Comb

Product Specifications

Dimensional Tolerance

Flange Width (B) (mm)	Depth (Dc) (mm)			Depth of Castellated Hole (Ds) (mm)
	Under 400	400 - 600	600 & over	
+ 3.0	+ 4.0	+ 5.0	+ 6.0	+ 3.0

Mechanical Properties

Classification	Yield Point N/mm ²		Tensile Strength N/mm ²	Elongation %		
	Thickness (mm)			Thickness (mm)		
	16 or under	Over 16		5 or under	5 to 6	Over 16
JIS G 3101 SS400	245	235	400 - 510	21	17	21

Chemical Composition

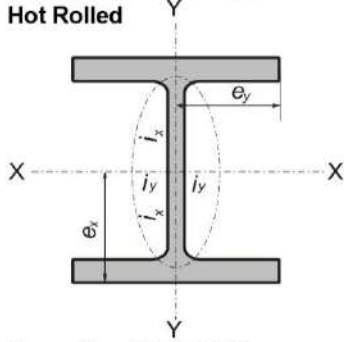
Grade	Chemical Composition (%)				
	C	Si	Mn	P	S
SS 400	-	-	-	0.05 max	0.05 max

Welding

- As per AWS
- Welding material : E 6013

Wide Flange Shape

Product Specifications
Hot Rolled



Geometrical moment of inertia

$$I = A i^2$$

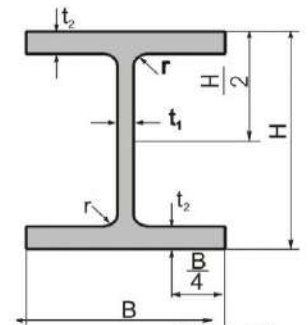
Radius of gyration of area

$$I = \sqrt{I / A}$$

Modulus of section

$$z = I / e$$

(A = sectional area)



Metric Size

According JIS G 3192

Standard Sectional Dimension					Section Area A cm ²	Unit Weight kg/m	Informative Reference					
Nominal Dimensional mm	H x B mm	t1 mm	t2 mm	r mm			Geometrical Moment Of Inertia		Radius Of Gyration Of Area		Modulus Of Section	
							Ix cm ⁴	Iy cm ⁴	ix cm	iy cm	Zx cm ³	Zy cm ³
100 x 100	100 x100	6	8	10	21.90	17.20	383	134	4.18	2.47	76.50	26.7
125 x125	125 x125	6.5	9	10	30.31	23.80	847	293	5.29	3.11	136.00	47.00
150 x 75	150 x75	5	7	8	17.85	14.00	666	50	6.11	1.66	8.88	13.20
150 x 100	150 x100	6	9	11	26.84	21.10	1,020	151	6.17	2.37	138.00	30.10
150 x 150	150 x150	7	10	11	40.14	31.50	1,640	563	6.39	3.75	219.00	75.10
175 x 175	175 x175	7.5	11	12	51.21	40.20	2,880	984	7.50	4.38	330.00	112.00
200 x 100	198 x 99	4.5	7	11	23.18	18.20	1,580	114	8.26	2.21	160.00	23.00
	200 x 100	5.5	8	11	27.16	21.30	1,840	134	8.24	2.22	184.00	26.80
200 x 150	194 x 150	6	9	12	38.80	30.60	2,675	507	8.30	3.60	275.80	67.60
200 x 200	200 x 200	8	12	13	63.53	49.90	4,720	1,600	8.62	5.02	472.00	160.00
250 x 125	248 x 124	5	8	12	32.68	25.70	3,540	255	10.40	2.79	285.00	41.10
	250 x 125	6	9	12	37.66	29.60	4,050	294	10.40	2.79	324.00	47.00
250 x 250	250 x 250	9	14	16	92.18	72.40	10,800	3,650	10.80	6.29	867.00	292.00
300 x 150	298 x 149	5.5	8	13	40.80	32.00	6,320	442	12.40	3.29	424.00	59.30
	300 x 150	6.5	9	13	46.78	36.70	7,210	508	12.40	3.29	481.00	67.70
300 x 300	300 x 300	10	15	18	119.80	94.00	20,400	6,750	13.10	7.51	1,360.00	450.00
350 x 175	346 x 174	6	9	14	52.68	41.40	11,100	792	14.50	3.88	641.00	91.00
	350 x 175	7	11	14	63.14	49.60	13,600	984	14.70	3.95	775.00	112.00
350 x 350	350 x 350	12	19	20	173.9	137.00	40,300	13,600	15.20	8.84	2,300.00	776.00
400 x 200	396 x 199	7	11	16	72.16	56.60	20,000	1,450	16.70	4.48	1,010.00	145.00
	400 x 200	8	13	16	84.1	66.00	23,700	1,740	16.80	4.54	1,190.00	174.00
400 x 400	400 x 400	13	21	22	218.7	172.00	66,600	22,400	17.50	10.10	3,330.00	1120.00
450 x 200	450 x 200	9	14	18	96.8	76.00	33,500	1,870	18.60	4.40	1,490.00	187.00
500 x 200	500 x 200	10	16	20	114.2	89.60	47,800	2,140	20.50	4.33	1,910.00	214.00
600 x 200	600 x 200	11	17	22	134.4	106.00	77,600	2,280	24.00	4.12	2,590.00	228.00
600 x 200	588 x 300	12	20	28	192.5	151.00	118,000	9,020	24.80	6.85	4,020.00	601.00
700 x 300	700 x 300	13	24	28	235.5	185.00	201,000	10,800	29.30	6.78	5,760.00	722.00
800 x 300	800 x 300	14	26	28	267.4	210.00	292,000	11,700	33.00	6.62	7,290.00	782.00
900 x 300	900 x 300	16	28	28	309.8	243.00	411,000	12,600	36.40	6.39	9,140.00	843.00

Wide Flange Shape

Mechanical Properties

Classification	Yield Point/mm2		Tensile Strength	Elongation (%)		
	Thickness			Thickness of Steel Products (mm)		
	16 or under	>16 up to 40		N/mm2	5 or under	5 to 6
JIS G3101 SS 400	245 min	235 min	400 - 510	21 min	17 min	21 min
JIS G3106 SM 490 YA SM 490 YB	365 min	355 min	490 - 610	19 min	15 min	19 min

Harga Profi T/kg Tahun 2025

Ukuran Dan Harga Besi T Beam Baja
T Beam 50 x 100 Rp.9000/Kg
T Beam 61,5 x 125 Rp.9000/Kg
T Beam 75 x 75 Rp.9000/Kg
T Beam 75 x 150 Rp.9000/Kg
T Beam 100 x 100 Rp.9000/Kg
T Beam 99 x 99 Rp.9000/Kg
T Beam 86,5 x 175 Rp.9000/Kg
T Beam 100 x 200 Rp.9000/Kg
T Beam 125 x 125 Rp.9000/Kg
T Beam 124 x 124 Rp.9000/Kg
T Beam 125 x 250 Rp.9000/Kg
T Beam 150 x 150 Rp.9000/Kg
T Beam 149 x 149 Rp.9000/Kg
T Beam 150 x 300 Rp.9000/Kg
T Beam 175 x 175 Rp.9000/Kg
T Beam 173 x 174 Rp.9000/Kg
T Beam 175 x 350 Rp.9000/Kg
T Beam 200 x 200 Rp.9000/Kg
T Beam 198 x 199 Rp.9000/Kg
T Beam 200 x 400 Rp.9000/Kg
T Beam 225 x 200 Rp.9000/Kg

Harga Castelled Honeycomb/kg Tahun 2025

Ukuran Dan Harga Besi Castellated Beam (honeycomb) Baja
Castellated Beam Honeycomb 150 x 100 Rp.9000/Kg
Castellated Beam Honeycomb 225 x 75 Rp.9000/Kg
Castellated Beam Honeycomb 225 x 150 Rp.9000/Kg
Castellated Beam Honeycomb 300 x 100 Rp.9000/Kg
Castellated Beam Honeycomb 297 x 99 Rp.9000/Kg
Castellated Beam Honeycomb 300 x 200 Rp.9000/Kg
Castellated Beam Honeycomb 375 x 125 Rp.9000/Kg
Castellated Beam Honeycomb 372 x 124 Rp.9000/Kg
Castellated Beam Honeycomb 375 x 250 Rp.9000/Kg
Castellated Beam Honeycomb 450 x 150 Rp.9000/Kg
Castellated Beam Honeycomb 447 x 149 Rp.9000/Kg
Castellated Beam Honeycomb 450 x 300 Rp.9000/Kg
Castellated Beam Honeycomb 525 x 175 Rp.9000/Kg
Castellated Beam Honeycomb 519 x 174 Rp.9000/Kg
Castellated Beam Honeycomb 525 x 350 Rp.9000/Kg
Castellated Beam Honeycomb 600 x 200 Rp.9000/Kg
Castellated Beam Honeycomb 594 x 199 Rp.9000/Kg
Castellated Beam Honeycomb 675 x 200 Rp.9000/Kg
Castellated Beam Honeycomb 750 x 200 Rp.9000/Kg
Castellated Beam Honeycomb 900 x 200 Rp.9000/Kg

BIODATA PENULIS



Muhammad Ilham Nurrahim Dermawan penulis dilahirkan di Trenggalek pada tanggal 21 Oktober 2003, merupakan anak pertama dari dua bersaudara, Penulis menempuh pendidikan formal yaitu menempuh pendidikan menengah kejuruan di SMK Negeri 3 Buduran, Sidoarjo, pada Program Keahlian Konstruksi Kapal Baja dan lulus pada tahun 2022. Pada tahun yang sama, penulis diterima di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi D4-Teknik Perancangan dan Konstruksi Kapal, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, dengan NRP 0122040097.

Selama menjalani studi, penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan, di antaranya sebagai Staff Ahli Unit Kegiatan Mahasiswa *Watercraft Studies Center* (2023–2025), serta Staff Ahli *Field Executor* Dies Natalis PPNS 37 2024. Penulis mengikuti kegiatan pengabdian masyarakat PPNS Mengajar yang merupakan ruang berbagi ilmu, tetapi juga perwujudan keyakinan penulis bahwa pendidikan adalah bentuk kebaikan yang harus terus bergerak, bertumbuh dan diwariskan. Penulis berharap melalui kontribusi ini dapat senantiasa berlanjut, berkembang dan tetap abadi sebagai wujud kolektif dalam menanamkan nilai kebermanfaatan, baik bagi masyarakat maupun bagi setiap insan di dalamnya. Selain itu, penulis memiliki pengalaman kerja praktik di beberapa perusahaan, antara lain Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN) dan PT PAL Divisi *Quality Assurance dan Quality Control*. Penulis juga berhasil meraih prestasi, antara lain Juara 1 dalam Kompetisi Kontes Kapal Indonesia (KKI) 2024 yang menjadi penutup fase pengabdian dan komitmen penulis sebagai keluarga Mahasiswa PPNS, tanpa menutup komitmen penulis untuk terus memberi dampak dan kontribusi di masa mendatang.

Penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun untuk pengembangan diri di masa depan. Penulis dapat dihubungi melalui email m.ilhamnrd@gmail.com.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”