



TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALISIS PENGARUH VARIASI JUMLAH PEMBAGIAN
TUTUP PALKAH TERHADAP LENTURAN DAN
TEGANGAN PADA *LIFT-AWAY HATCH COVER PANEL*
DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**

**Novario Pratama Adiguna
NRP 0411144000037**

**Dosen Pembimbing
Dony Setyawan, S.T, M.Eng.
Septia Hardy Sujianti, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALISIS PENGARUH VARIASI JUMLAH PEMBAGIAN
TUTUP PALKAH TERHADAP LENTURAN DAN
TEGANGAN PADA *LIFT-AWAY HATCH COVER PANEL*
DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**

**Novario Pratama Adiguna
NRP 0411144000037**

**Dosen Pembimbing
Dony Setyawan, S.T, M.Eng.
Septia Hardy Sujatanti, S.T., M.T**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



FINAL PROJECT - MN 141581

**ANALYSIS OF THE NUMBER HATCH COVER PARTITION
TO LIFT-AWAY HATCH COVERS PANEL BENDING AND
STRESS BY FINITE ELEMENT METHOD**

**Novario Pratama Adiguna
NRP 04111440000037**

**Supervisors
Dony Setyawan, S.T, M.Eng.
Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH VARIASI JUMLAH PEMBAGIAN TUTUP PALKAH TERHADAP LENTURAN DAN TEGANGAN PADA *LIFT-AWAY HATCH COVER PANEL* DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan - Konstruksi dan Kekuatan Kapal
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Novario Pratama Adiguna
NRP 04111440000037

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing II



Septia Hardy Sujatanti, S.T., M.T.
NIP 19840921 2012122 001

Dosen Pembimbing I



Dony Stryawan, S.T., M.Eng.
NIP 19750320 1999031 001



Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan

Ir. Wasis Dwi Arvawan, M.Sc., Ph.D.
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, 19 JULI 2018

LEMBAR REVISI

ANALISIS PENGARUH VARIASI JUMLAH PEMBAGIAN TUTUP PALKAH TERHADAP LENTURAN DAN TEGANGAN PADA *LIFT-AWAY HATCH COVER PANEL* DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 5 Juli 2018

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan - Konstruksi dan Kekuatan Kapal
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

NOVARIO PRATAMA ADIGUNA
NRP 04111440000037

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. I Ketut Suastika



2. Totok Yulianto, S.T., M.T.



3. Wing Hendroprasetyo A.P., S.T., M.Eng.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Dony Setyawan, S.T., M.Eng.



2. Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T



SURABAYA, 19 JULI 2018

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Kedua orang tua (Waluyo dan Ari Astuti), dan adik saya (Oktario Anafi Dwijaya) yang telah memberikan dukungan, kepercayaan, dan doa kepada saya hingga terselesaikan nya laporan ini ;
2. Bapak Dony Setyawan, S.T, M.Eng. dan Ibu Septia Hardy Sujianti, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
3. Bapak Totok Yulianto, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas ijin pemakaian fasilitas laboratorium;
4. Anindra Ahmad Farras, Danuja Wijayanto, Insanu Abar, dan teman teman NaSDEC lainnya yang selalu menyemangati untuk menyelesaikan laporan ini ;
5. Aryo Pangestu, Haidar Diwantara dan Hilda Dwi Septiani yang merupakan teman seperjuangan Tugas Akhir yang senantiasa memberikan bantuan dan motivasi ;
6. Nabilla Maharani E.S, teman-teman P54 Deadrise, dan rekan-rekan SMA 1 Karanganyar khususnya kelas aksel A atas bantuan, canda, tawa, dan hiburannya selama menjalani masa kuliah;
7. Seluruh pihak yang telah membantu dan mendukung yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 19 Juli 2018

Novario Pratama Adiguna

ANALISIS PENGARUH VARIASI JUMLAH PEMBAGIAN TUTUP PALKAH TERHADAP LENTURAN DAN TEGANGAN PADA *LIFT-AWAY HATCH COVER PANEL* DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Nama Mahasiswa : Novario Pratama Adiguna
NRP : 04111440000037
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : 1. Dony Setyawan, S.T, M.Eng.
2. Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T

ABSTRAK

Kapal kontainer mengangkut muatan yang sebagian besar berisi peti, sehingga dalam ruang muatnya harus memiliki lubang palkah yang cukup besar agar dalam proses bongkar muatnya kapal–kapal kontainer mampu melakukannya dengan mudah. Sehingga cenderung pada kapal–kapal kontainer memiliki lubang palkah yang cukup besar jika dibandingkan dengan kapal kargo biasa. *Owner* biasanya menginginkan untuk memaksimalkan ruang muat pada kapal kontainer. Memaksimalkan ruang muat berarti apabila pada ruang muat sudah terisi penuh oleh peti kemas, *owner* masih bisa meletakkan kontainer tersebut diatas penutup lubang palkah. Untuk mengecek kekuatan penutup palkah dilakukan dengan *finite elemen method*. Ada 2 analisis dalam penelitian ini. Analisis pertama adalah mencari pembagian *hatch cover* yang paling optimal dilihat dari segi tegangan, deformasi, dan berat konstruksi. Ada 3 model pembagian *hatch cover*; *hatch cover* 3 pembagian melintang, *hatch cover* tanpa pembagian, *hatch cover* 5 pembagian memanjang. Hasilnya semua model telah memenuhi aturan minimum tegangan dan deformasi. Namun apabila dikaitkan dengan faktor berat konstruksi yang nantinya akan berpengaruh pada pengurangan *payload*, maka model yang optimal adalah *hatch cover* 3 dengan tegangan 63,838 MPa , deformasi 2,047 mm, dan berat 94,3 ton. Model 1 juga merupakan model pembagian sehingga dalam bongkar muat penutup palkah dapat ditumpuk agar tidak memakan ruang dan tidak membutuhkan *crane* kapasitas besar untuk bongkar muat. Analisis kedua adalah mencari konstruksi yang berpengaruh terhadap tegangan *equivalent hatch cover*. Analisis dilakukan dengan merubah modulus pembujur & pelintang sebesar $\pm 10\%$ & $\pm 20\%$. Hasilnya akibat merubah modulus konstruksi pembujur lebih efektif daripada merubah modulus pelintang. Penambahan modulus pembujur 20% berpengaruh -9,903%, sedangkan penambahan modulus pelintang 20% hanya berpengaruh -5,31% terhadap pengurangan tegangan maksimum. Pengurangan modulus pembujur 20% berpengaruh 5,47%, sedangkan pengurangan modulus pelintang 20% hanya berpengaruh 4,94% dari tegangan maksimum.

Kata kunci: *Penutup Palkah, Modulus, Tegangan, Deformasi*

ANALYSIS OF THE NUMBER HATCH COVER PARTITION TO LIFT-AWAY HATCH COVERS PANEL BENDING AND STRESS BY FINITE ELEMENT METHOD

Author : Novario Pratama Adiguna
ID No. : 04111440000037
Dept. / Faculty : Naval Architecture & Shipbuilding Engineering / Marine Technology
Supervisors : 1. Dony Setyawan, S.T, M.Eng.
2. Septia Hardy Sujatanti, S.T., M.T

ABSTRACT

Container ship carry cargo that mostly container, so cargo hold must have large enough hatchway to making easy loading and unloading container. So it tend to container ship to have wide hatchway compared to cargo ships in ordinary. Owners usually want to optimize space on cargo hold. Optimizing space on cargo hold means that if cargo hold is fully loaded by container, owner can still put the container above cover of hatch. Finite element method is used to check strength of hatch cover. There are 2 analyzes in this research. First analysis is to find optimal hatch cover partition in terms of stress, deformation, and construction weight. There are 3 models of partition hatch cover; hatch cover 3 transverse partition, hatch cover without partition, hatch cover 5 longitudinal partition. As a result all model have met minimum rules off stress and deformation. However, if it related to weight factor of construction which will affect reduction payload, the optimal model is hatch cover 3 transverse partition with stress 63.828 MPa, deformation 2.047 mm, and weight 94.3 ton. Model 1 is also a partition model so that in loading and unloading hatch cover can be stacked so as not to consume space and does not require large capacity cranes for loading and unloading. Second analysis is to find construction that affect equivalent stress of hatch cover. The analysis was performed by changing $\pm 10\%$ & $\pm 20\%$ longitudinal modulus and transversal modulus of model hatch cover. As a result due to increase 20% longitudinal modulus, stress is reduced -9.903%, while adding 20% transversal modulus only reduces -5.31% stress. Reducing 20% longitudinal modulus increase 5.47% stress, while reducing 20% transversal modulus only increases 4.94% stress. So, second analysis can be inferred that changing the longitudinal modulus is more influential than changing transversal modulus.

Keywords: Hatch cover, Modulus, Stress, Deformation

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
Bab I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang Masalah	1
I.2. Perumusan Masalah.....	1
I.3. Tujuan.....	2
I.4. Batasan Masalah.....	2
I.5. Manfaat.....	2
I.6. Hipotesis	2
Bab II STUDI LITERATUR	3
II.1. Dasar Teori	3
II.1.1. Penutup Palkah (<i>Hatch Cover</i>).....	3
II.1.2. Hukum II Newton.....	5
II.1.3. Tegangan	5
II.1.4. Von Mises	6
II.1.5. Deformasi	7
II.1.6. Tumpuan.....	9
II.1.7. <i>Finite Element Method</i>	11
II.1.8. Tipe Elemen	13
II.1.9. Tegangan & Deformasi Maksimum <i>Hatch Cover</i>	16
II.1.10. Perhitungan Modulus Penampang Profil L dan Pelintang	17
II.2. Tinjauan Pustaka	17
II.2.1. <i>Hatch Cover Design</i>	17
II.2.2. Elemen Hingga	19
II.2.3. Tegangan & Deformasi	19
Bab III METODOLOGI	21
III.1. Diagram Alir.....	21
III.2. Metode.....	22
III.2.1. Studi Literatur dan Pengumpulan Data	22
III.2.2. Gambar Rencana <i>Cargo Hold</i> & Desain Konstruksi <i>Hatch Cover</i>	23
III.2.3. Penentuan Variasi Model	24
III.2.4. Pemodelan	26
III.2.5. Tipe Analisis	28
III.2.6. Pemilihan Sifat Material.....	28
III.2.7. <i>Meshing</i>	29

III.2.8. Konvergensi	32
III.2.9. Pembebanan	38
III.2.10. Kondisi Batas	39
III.2.11. Penyelesaian (<i>Solving</i>)	40
III.2.12. Hasil Analisis	40
Bab IV Hasil dan pembahasan	43
IV.1. Hasil <i>Running</i> Pembagian Efektif <i>Hatch Cover</i>	43
IV.1.1. Variasi Model 1- <i>Hatch Cover</i> 3 Pembagian Melintang.....	43
IV.1.2. Variasi Model 2 - <i>Hatch Cover</i> Tanpa Pembagian	45
IV.1.3. Variasi Model 3- <i>Hatch Cover</i> 5 Pembagian Memanjang	46
IV.2. Rekapitulasi <i>Running</i>	48
IV.2.1. Tegangan Maksimum	49
IV.2.2. Deformasi Maksimum.....	50
IV.2.3. Berat Konstruksi.....	51
IV.3. Pembahasan Model Optimal	51
IV.4. Hasil <i>Running</i> Model Konstruksi Efektif.....	52
IV.4.1. Penambahan 20% Modulus Pembujur	52
IV.4.2. Penambahan 10% Modulus Pembujur	53
IV.4.3. Pengurangan 10% Modulus Pembujur	53
IV.4.4. Pengurangan 20% Modulus Pembujur	54
IV.4.5. Penambahan 20% Modulus Pelintang.....	54
IV.4.6. Penambahan 10% Modulus Pelintang.....	55
IV.4.7. Pengurangan 10% Modulus Pelintang	55
IV.4.8. Pengurangan 20% Modulus Pelintang	56
IV.5. Rekapitulasi <i>Running</i> Model Konstruksi Efektif	56
Bab V KESIMPULAN DAN SARAN	59
V.1. Kesimpulan.....	59
V.2. Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA.....	61
LAMPIRAN	
LAMPIRAN A DETAIL <i>RENCANA ARRANGEMENT HATCH COVER</i>	
LAMPIRAN B DETAIL KONSTRUKSI <i>HATCH COVER</i>	
LAMPIRAN C DETAIL MODEL PEMBAGIAN <i>HATCH COVER</i>	
LAMPIRAN D PERHITUNGAN PROFIL L DAN PENUMPU MELINTANG	
LAMPIRAN E BEBAN KONTAINER	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1. <i>Single Pull Hatch Cover</i>	3
Gambar II. 2. <i>Side Rolling Hatch Cover</i>	4
Gambar II. 3. <i>Lift-Away Hatch Cover</i>	4
Gambar II. 4. Diagram Tegangan-Regangan.....	8
Gambar II. 5. Tumpuan Rol.....	10
Gambar II. 6. Tumpuan Sendi	10
Gambar II. 7. Tumpuan Jepit.....	10
Gambar II. 8. Diskretisasi Suatu Koninum pada Metode Elemen Hingga.....	11
Gambar II. 9. (a) Pemberian Beban pada Pelat (b) Pembagian Elemen Pelat.....	13
Gambar II. 10. <i>Truss Element</i>	14
Gambar II. 11. <i>Beam Element</i>	14
Gambar II. 12. <i>Element 2D</i>	15
Gambar II. 13. <i>Membran Element</i>	15
Gambar II. 14. <i>Element Solid Tetrahedral 8 Nodal</i>	16
Gambar II. 15. <i>Hatch Cover</i> dengan <i>Corrugated Plate</i>	18
Gambar III. 1. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	22
Gambar III. 2. Rencana <i>Cargo Hold</i> Kapal Kontainer 100 TEUS.....	23
Gambar III. 3. Model 1	24
Gambar III. 4. Model 2	24
Gambar III. 5. Model 3	25
Gambar III. 6. Hasil Model <i>Hatch Cover</i> dibagi Melintang 3 Panel dengan <i>Software CAD</i> ...	26
Gambar III. 7. Gambar Model Geometri pada <i>Software Finite Element Method</i>	26
Gambar III. 8. Sistem Penguncian dan Pendedapan <i>Hatch Cover</i>	27
Gambar III. 9. Sistem Penguncian dan Pendedapan setelah dimodelkan.....	27
Gambar III. 10. <i>Static Structural</i>	28
Gambar III. 11. Input Sifat Material.....	29
Gambar III. 12. Contoh untuk Proses <i>Meshing</i>	30
Gambar III. 13. Contoh Elemen (a) <i>Tetrahedron</i> (b) <i>Hex Dominant</i>	30
Gambar III. 14. Pemilihan Elemen.....	31
Gambar III. 15. Hasil <i>Meshing</i>	32
Gambar III. 16. Konvergensi Model 1	32
Gambar III. 17. Konvergensi Model 2	33
Gambar III. 18. Konvergensi Model 3	33
Gambar III. 19. Konvergensi Model Penambahan 20% Pembujur	34
Gambar III. 20. Konvergensi Model Penambahan 10% Pembujur	34
Gambar III. 21. Konvergensi Model Pengurangan 10% Pembujur.....	35
Gambar III. 22. Konvergensi Model Pengurangan 20% Pembujur.....	35
Gambar III. 23. Konvergensi Model Penambahan 20% Pelintang.....	36
Gambar III. 24. Konvergensi Model Penambahan 10% Pelintang.....	36
Gambar III. 25. Konvergensi Model Pengurangan 10% Pelintang	37
Gambar III. 26. Konvergensi Model Pengurangan 20% Pelintang	37
Gambar III. 27. Ilustrasi Penyebaran Beban pada Kaki Kontainer	38
Gambar III. 28. Input Beban pada Aplikasi <i>Finite Element Method</i>	39

Gambar III. 29. Kondisi Batas pada Pemodelan	40
Gambar III. 30. Contoh Hasil <i>Stress</i>	41
Gambar III. 31. Contoh Hasil Deformasi	41
Gambar III. 32. <i>Volume</i> dari <i>Software CAD</i>	42
Gambar IV. 1. Tegangan pada Model 1	43
Gambar IV. 2. Deformasi pada Model 1	44
Gambar IV. 3. <i>Volume</i> Konstruksi Model 1.....	44
Gambar IV. 4. Tegangan pada Model 2	45
Gambar IV. 5. Deformasi pada Model 2	45
Gambar IV. 6. <i>Volume</i> Konstruksi Model 2.....	46
Gambar IV. 7. Tegangan pada Model 3	46
Gambar IV. 8. Deformasi pada Model 3	47
Gambar IV. 9. <i>Volume</i> Konstruksi Model 3.....	47
Gambar IV. 10. Letak Tegangan & Deformasi Maksimum Model 1.....	48
Gambar IV. 11. Letak Tegangan & Deformasi Maksimum Model 2.....	48
Gambar IV. 12. Letak Tegangan & Deformasi Maksimum Model 3.....	49
Gambar IV. 13. Penambahan 20% Modulus Pembujur.....	52
Gambar IV. 14. Penambahan 10% Modulus Pembujur.....	53
Gambar IV. 15. Pengurangan 10% Modulus Pembujur	53
Gambar IV. 16. Pengurangan 20% Modulus Pembujur	54
Gambar IV. 17. Penambahan 20% Modulus Pelintang	54
Gambar IV. 18. Penambahan 10% Modulus Pelintang	55
Gambar IV. 19. Pengurangan 10% Modulus Pelintang.....	55
Gambar IV. 20. Pengurangan 20% Modulus Pelintang.....	56
Gambar IV. 21. Grafik <i>Trendline</i> Perbandingan Konstruksi.....	57

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1. Perhitungan Momen Inersia.....	17
Tabel II. 2. <i>Life Cycle Cost</i>	18
Tabel III. 1. Ukuran Utama Kapal Kontainer.....	23
Tabel III. 2. Ukuran Konstruksi pada <i>Hatch Cover</i>	24
Tabel III. 3. Besar Perubahan Modulus	25
Tabel III. 4. Perubahan Konstruksi Pembujur dan Penumpu	25
Tabel III. 5. Kondisi Batas.....	39
Tabel IV. 1. Tegangan pada Model	49
Tabel IV. 2. Deformasi pada Model	50
Tabel IV. 3. Berat Konstruksi Model	51
Tabel IV. 4. Tabel Perubahan Profil.....	52
Tabel IV. 5. Perubahan Nilai Tegangan	56

DAFTAR SIMBOL

m	=	Massa
a	=	Percepatan
F	=	Gaya
A_0	=	Luas permukaan awal
A	=	Luas permukaan sebenarnya
ρ	=	Massa jenis material
σ_{eng}	=	<i>Engineering Stress</i>
σ	=	<i>True Stress</i>
σ'	=	<i>Equivalent von mises</i>
σ_v	=	<i>Equivalent stress hatch cover</i>
E	=	Modulus elastis
L	=	Panjang
δ	=	Deformasi
P	=	Beban
W	=	Modulus
ReH	=	Minimum nominal <i>upper yield point</i>
f	=	Nilai deformasi <i>hatch cover</i>
ℓ_g	=	<i>Largest span of girders hatch cover</i>
I	=	Inertia
$N.A$	=	<i>Neutral Axis</i>

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Sistem penutupan lubang palkah pada kapal–kapal *container* secara garis besar memiliki sistem kerja dan fungsi yang sama, yakni digunakan untuk menutup bagian lubang palkah yang ada pada kapal kontainer. Namun sedikit hal yang membedakan antara sistem penutupan geladak pada kapal kargo dengan kapal container. Kapal *container* mengangkut muatan yang sebagian besar berisi peti kemas atau biasa disebut *container*, sehingga ruang muat kapal *container* harus memiliki lubang palkah yang cukup lebar agar dalam proses bongkar muatnya kapal–kapal tersebut mampu melakukannya dengan mudah. *Owner* biasanya menginginkan untuk memaksimalkan ruang muat pada kapal kontainer. Memaksimalkan ruang muat berarti apabila pada ruang muat sudah terisi penuh oleh peti kemas, *owner* masih bisa meletakkan *container* tersebut diatas penutup lubang palkah (Pluijm,2013). Penutup palkah harus memiliki kekuatan yang cukup agar bisa menahan beban dari kontainer.

Berdasarkan beberapa penjelasan dan penelitian sebelumnya maka pada penelitian ini dilakukan analisa 2 analisa pada *lift-away hatch covers panel*. Analisa pertama akan dilakukan dengan membandingkan variasi 3 pemodelan. Pemodelan pertama *hatch cover* dibagi melintang 3 buah. Pemodelan kedua *hatch cover* berukuran selebar *hatchway*. Pemodelan ketiga *hatch cover* dibagi secara memanjang 5 buah. Dari perbandingan tegangan ketiga jenis *hatch cover* maka akan diketahui seberapa signifikan pengaruh ukuran partisi *hatch cover* terhadap tegangan dan lenturan yang terjadi. Analisa kedua adalah mencari konstruksi yang berpengaruh terhadap tegangan *hatch cover*. Analisis dilakukan dengan merubah modulus pembujur dan modulus pelintang dari *hatch cover*. Dari perbandingan hasil tegangan yang dihasilkan maka akan didapatkan konstruksi yang paling berpengaruh terhadap *hatch cover*.

I.2. Perumusan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang diatas permasalahan yang dikaji dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana tegangan dan deformasi yang terjadi pada berbagai variasi jumlah partisi *hatch cover* pada 1 lubang palkah?
2. Berapakah jumlah partisi *hatch cover* yang optimal berdasarkan tegangan dan deformasi yang terjadi?
3. Diantara pembujur dan pelintang, manakah yang lebih berpengaruh terhadap tegangan pada *hatch cover*?

I.3. Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui besar tegangan dan deformasi pada *hatch covers* panel pada berbagai variasi jumlah partisi *hatch cover* dalam 1 lubang palkah.
2. Mendapatkan jumlah partisi *hatch cover* yang paling optimal berdasarkan tegangan dan deformasi yang terjadi.
3. Mengetahui efektifitas pengaruh antara pembujur dan pelintang pada *hatch cover*.

I.4. Batasan Masalah

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini permasalahan difokuskan pada:

1. Kapal yang dijadikan studi kasus adalah Kapal *Container* 100 Teus.
2. Analisis dilakukan pada salah satu ruang muat dan muatan pada *container* dianggap sama.
3. Analisis dilakukan menggunakan bantuan *software* elemen hingga.

I.5. Manfaat

Dari Tugas Akhir ini, diharapkan dapat diambil manfaat sebagai berikut:

1. Mampu menentukan jumlah partisi *lift-away hatch covers* yang paling optimal berdasarkan tegangan dan deformasi yang terjadi.
2. Sebagai referensi untuk analisa tegangan dan deformasi yang terjadi

I.6. Hipotesis

Dengan tugas akhir ini, akan didapatkan jumlah *hatch cover* yang paling optimal dari berbagai variasi pemodelan. Dari pemodelan ini diperkirakan model dengan jumlah partisi *hatch cover* yang paling banyak yang memiliki tegangan terendah.

BAB II

STUDI LITERATUR

II.1. Dasar Teori

Pada Sub-bab ini berisikan penjabaran dari beberapa teori yang berkaitan dengan penelitian ini, sehingga dapat mempermudah pembaca untuk lebih memahami penelitian ini. Selain itu juga digunakan sebagai landasan teori dalam tercapainya tujuan dari penelitian ini.

II.1.1. Penutup Palkah (*Hatch Cover*)

Perlengkapan tutup palkah merupakan perlengkapan kapal yang sangat penting yang dalam konstruksi dan mekanismenya harus mengikuti dan diatur oleh peraturan Klasifikasi dan *International Load Line Convention* 1966. Tujuan dari penutup palkah dan ambang palkah adalah untuk mencegah air masuk melalui lubang (bukaan) ruang muat pada geladak kapal (Taylor, 2001). Ada beberapa jenis penutup palkah *modern*:

a. *Single Pull*

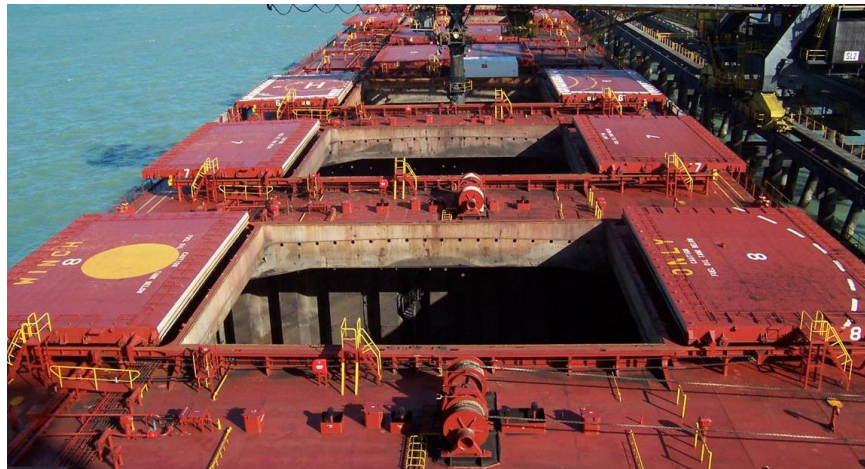


Sumber : www.igg.org.uk

Gambar II. 1. *Single Pull Hatch Cover*

Hatch cover single pull merupakan salah satu jenis penutup palkah yang pada umumnya sering digunakan karena prinsip kerjanya hampir sama dengan *hatch cover* tradisional. *Hatch cover single pull* mempunyai banyak panel, setiap panel memiliki bentuk yang hampir sama namun tidak terhubung (menyatu). Untuk membuka *hatch cover* jenis ini digunakan mesin dan rantai yang melekat pada penutup palkah (Taylor, 2001).

b. *Side Rolling*



Sumber : *brightseas.com*
Gambar II. 2. Side Rolling Hatch Cover

Side rolling hatch cover biasanya terdiri dari 2 panel besar di masing-masing lubang palkah. Pada hatch cover jenis ini dipasang roda di sepanjang lintasan di kedua sisi atas ambang palkah. Roda tidak melekat pada penutup palkah akan tetapi melekat ke *coaming* dan pilar dek. Untuk membuka penutup palkah dibutuhkan hidrolik *lift pot*. Penutup ini biasanya dipasang di kapal besar (Taylor, 2001).

c. *Lift Away*



Sumber : <http://www.ttsgroup.com/Products/lift-onlift-off-hatch-cover/>
Gambar II. 3. Lift-Away Hatch Cover

Lift away hatch cover yang digunakan untuk bukaan palkah dibagi menjadi 2 kategori, yaitu *single panel covers* dan *multi panel covers*. Perbedaan antara *single* dan *multi panel* adalah adanya sambungan, apabila *single panel* tidak ada sambungan sedangkan *multi panel* mempunyai sambungan. *Hatch cover* jenis ini biasanya digunakan untuk kapal *multipurpose cargo* dan kapal kontainer (Taylor, 2001).

II.1.2. Hukum II Newton

Massa adalah sifat suatu benda yang menjelaskan kuatnya daya tahan benda untuk menolak terjadinya perubahan kecepatan. Semakin besar massa suatu benda maka semakin kecil percepatan benda tersebut jika diberikan suatu gaya. Untuk menjelaskan massa secara kuantitatif, asumsikan bahwa sebuah gaya yang bekerja pada benda bermassa m_1 menghasilkan percepatan a_1 dan gaya yang sama bekerja pada benda bermassa m_2 menghasilkan percepatan a_2 . Rasio massa dari kedua benda tersebut berbanding lurus dengan kebalikan dari rasio percepatan yang dihasilkan dari gaya ini adalah:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1} \quad (\text{II. 1})$$

Dari penjelasan di atas dapat dituliskan dalam sebuah persamaan yang merupakan persamaan dasar mekanika klasik yaitu:

$$\Sigma F = m \cdot a \quad (\text{II. 2})$$

Dimana :

m_1 = massa benda 1

m_2 = massa benda 2

a_1 = percepatan benda 1

a_2 = percepatan benda 2

ΣF = resultan gaya

Dalam hal ini merupakan jumlah semua gaya yang bekerja pada benda, merupakan massa benda, dan merupakan percepatannya. Persamaan tersebut diambil sebagai pernyataan hukum kedua Newton “percepatan yang dihasilkan oleh resultan gaya yang bekerja pada suatu benda berbanding lurus dengan resultan gaya, searah dengan resultan gaya, dan berbanding terbalik dengan massa benda” (Sears & Zemansky, 1982).

II.1.3. Tegangan

Menurut Haryadi (2008) jika sebuah benda elastis ditarik oleh suatu gaya, benda tersebut akan bertambah panjang sampai ukuran tertentu sebanding dengan gaya tersebut,

yang berarti ada sejumlah gaya yang bekerja pada setiap satuan panjang benda. Gaya yang bekerja sebanding dengan panjang benda dan berbanding terbalik dengan luas penampangnya.

Tegangan adalah besaran pengukuran intensitas gaya atau reaksi dalam yang timbul persatuan luas. Tegangan menurut Marciniak dkk. (2002) dibedakan menjadi dua yaitu, *engineering stress* dan *true stress*. *Engineering stress* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma_{\text{eng}} = \frac{F}{A_0} \quad (\text{II. 3})$$

Dimana :

σ_{eng} = *Engineering stress* (MPa)

F = Gaya (N)

A_0 = Luas permukaan awal (mm^2)

Sedangkan *true stress* adalah tegangan hasil pengukuran intensitas gaya reaksi yang dibagi dengan luas permukaan sebenarnya. *True stress* dapat dihitung dengan :

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (\text{II. 4})$$

Dimana :

σ = *True stress* (MPa)

F = Gaya (N)

A = Luas permukaan sebenarnya (mm^2)

Tegangan normal dianggap positif jika menimbulkan suatu tarikan (*tensile*) dan dianggap negatif jika menimbulkan penekanan. Selain tegangan normal ada beberapa macam jenis tegangan meliputi; tegangan tarik, tegangan tekan, tegangan puntir, tegangan geser, dan tegangan lengkung (Haryadi, 2008).

II.1.4. Von Mises

Von Mises (1953) mengajukan pendapatnya bahwa luluh pada sistem tegangan yang kompleks akan terjadi pada saat deviator kedua dari invarian tegangannya melewati suatu nilai kritis tertentu. Persamaan ini adalah persamaan matematis yang ternyata konsisten dengan fakta empiris. Hasil percobaan menunjukkan bahwa material yang bersifat anisotropis, kriteria luluh tidak tergantung pada sumbu atau orientasi bidang, atau dengan kata lain merupakan suatu fungsi invarian dari tegangan. Hencky (1924) memberikan tafsir persamaan matematis yang telah diajukan oleh von mises. Hencky mengajukan pendapatnya bahwa luluh akan terjadi pada saat energi distorsi atau energi regangan geser dari material mencapai suatu nilai kritis tertentu. Secara sederhana dapat dikatakan bahwa energi distorsi adalah bagian dari energi regangan total per unit *volume* yang terlibat di dalam perubahan bentuk. Bagian lain

adalah bagian yang berhubungan dengan perubahan *volume*. Teori ini memperkirakan suatu kegagalan mengalah dalam tegangan geser yang memadai lebih besar dari yang diperkirakan oleh teori tegangan geser maksimal. Teori keruntuhan *von mises yield criterion* digunakan pada penelitian ini sebagai acuan dalam analisis tegangan yang digunakan. Teori tersebut umum digunakan dalam analisis tegangan pada balok baja. Berikut pada persamaan II.5, ditunjukkan rumus yang digunakan pada analisis *von mises yield criterion* (Srinath, 2009).

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2} \quad (\text{II. 5})$$

Dimana

σ_x = tegangan arah sumbu x

σ_y = tegangan arah sumbu y

σ_z = tegangan arah sumbu z

σ' = *equivalent von mises stress*

II.1.5. Deformasi

Deformasi merupakan perubahan pada material baik perubahan dimensi maupun struktur karena mendapat beban dari luar. Selama deformasi, bahan menyerap energi sebagai akibat adanya gaya yang bekerja sepanjang deformasi. Sekecil apapun gaya yang bekerja, maka benda akan mengalami perubahan bentuk dan ukuran. Perubahan ukuran secara fisik ini disebut deformasi. Deformasi ada dua macam yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis. Yang dimaksud deformasi elastis adalah deformasi yang terjadi akibat adanya beban yang jika beban diiadakan, maka material akan kembali keukuran semula. Sedangkan deformasi plastis adalah deformasi yang bersifat permanen jika bebannya dilepas.

Penambahan beban pada bahan yang telah mengalami kekuatan tertinggi tidak dapat dilakukan, karena pada kondisi ini bahan telah mengalami deformasi total. Jika beban tetap diberikan maka regangan akan bertambah dimana material seakan menguat yang disebut dengan penguatan regangan (*strain hardening*) yang selanjutnya benda akan mengalami putus pada kekuatan patah (Singer & Pytel, 1995). Hubungan tegangan-regangan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{P/A}{\delta/L} \quad (\text{II. 6})$$

Sehingga deformasi (δ) dapat diketahui :

$$\delta = \frac{P \times L}{A \times E} \quad (\text{II. 7})$$

Dimana :

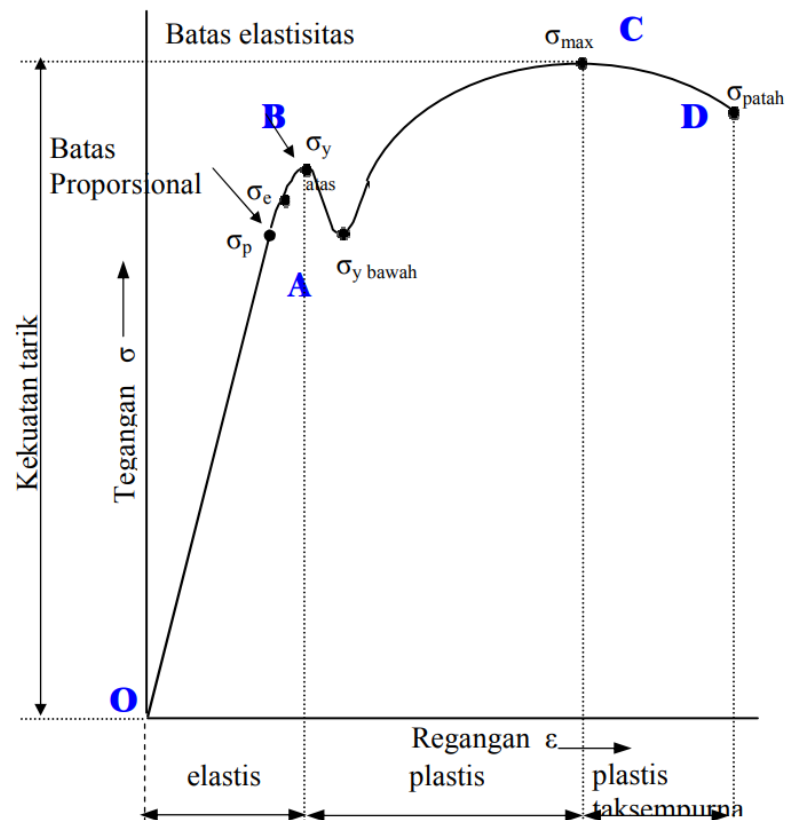
P = Beban (N)

A = Luas permukaan (mm^2)

L = Panjang awal (mm)

E = Modulus elastisitas

Sebuah plat yang diberi beban secara terus-menerus, secara bertahap akan mengalami deformasi. Pada awal pembebanan akan terjadi deformasi elastis sampai pada kondisi tertentu bahan akan mengalami deformasi plastis. Pada awal pembebanan bahan di bawah kekuatan luluh bahan akan kembali ke bentuk semula, hal ini dikarenakan sifat elastis bahan. Peningkatan beban melebihi kekuatan luluh (*yield point*) yang dimiliki plat akan mengakibatkan aliran deformasi plastis sehingga plat tidak akan kembali ke bentuk semula, hal ini bisa dilihat dalam diagram tegangan-regangan pada Gambar II. 4.



Sumber : Singer & Pytel, 1995

Gambar II. 4. Diagram Tegangan-Regangan

Kesebandingan antara gaya tarik dan elongasi yang timbul sebenarnya hanya berlaku sampai pada harga batas tegangan tarik tertentu, yang biasa kita sebut batas proporsional, batas ini tergantung pada sifat-sifat bahan. Dalam penyelidikan sifat-sifat mekanis di atas batas proporsional, hubungan antara regangan tegangan biasanya dilukiskan secara grafik dengan suatu diagram pengujian tarik.

Berdasarkan Gambar II. 4 elongasi dilukiskan sebagai sumbu horisontal dan tegangan-regangan yang terjadi dilukiskan dengan ordinat–ordinat OABCD. Tegangan dari "O" hingga "A" adalah merupakan daerah proporsional. Diatas "A" mulai terjadi penyimpangan, jadi titik "A" merupakan batas proporsional. Pembebanan yang berkelanjutan menyebabkan pertambahan panjang (elongasi) pada titik "B" sehingga diagram menjadi melengkung, pada titik "B" elongasi plat berlangsung dengan penambahan gaya tarik yang lebih sedikit sehingga mengalami luluh yang biasa disebut dengan titik lumer (*yield point*). Penarikan plat yang lebih jauh lagi akan menyebabkan adanya perlawanan internal oleh molekul plat hingga dicapai titik "C", pada titik inilah gaya tarik memperoleh harga maksimum. Tegangan yang ditimbulkan merupakan kekuatan tertinggi (*ultimate strength*) dari bahan yang dipakai. Setelah melewati titik "C" elongasi pelat masih berlangsung meskipun beban semakin berkurang dan akhirnya batang mengalami pengecilan dan akhirnya patah (*fracture*), ditunjukkan oleh titik "D".

Kekuatan luluh adalah harga tegangan terendah dimana material mulai mengalami deformasi plastis. Titik σ_y atas adalah titik luluh atas dan titik σ_y bawah adalah titik luluh bawah yang ditandai oleh pengurangan beban yang mendadak, diikuti dengan perpanjangan yang meningkat dan peningkatan beban yang mendadak lagi. Gejala ini disebut meluluhnya bahan, yang ditandai dengan perubahan bentuk yang plastik dan naik-turunnya beban.

Pada titik mulur hubungan tegangan-regangan sudah tidak linier, namun sifat elastis masih terjadi sedikit di atas batas proporsional. Pada umumnya batas daerah elastis dan daerah plastis sulit untuk ditentukan. Karena itu, maka didefinisikan kekuatan luluh (*yield strength*). Batas proporsional merupakan tegangan tertinggi dimana material masih mengalami deformasi elastis dan belum mengalami deformasi plastis.

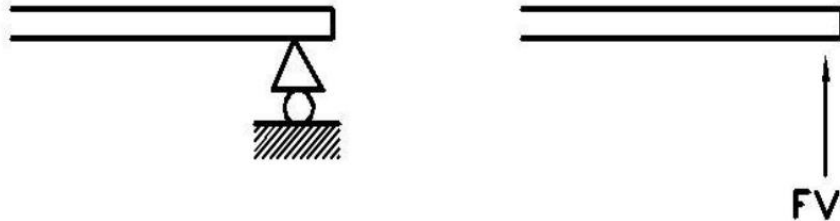
Titik mulur atau yang biasa disebut dengan titik luluh (*yield point*) adalah titik transisi dari elastis ke daerah plastis. Pada titik mulur ini material mulai mengalami deformasi plastis yang bersifat permanen jika beban mulai dilepas.

II.1.6. Tumpuan

Rangka adalah struktur datar yang terdiri dari sejumlah batang yang disambung satu dengan yang lain pada ujungnya, sehingga membentuk suatu rangka kokoh. Konstruksi rangka bertugas mendukung beban atau gaya yang bekerja pada sebuah sistem tersebut. Beban harus ditumpu dan diletakan pada kondisi tertentu. Beberapa peletakan atau tumpuan antara lain :

- Tumpuan Rol

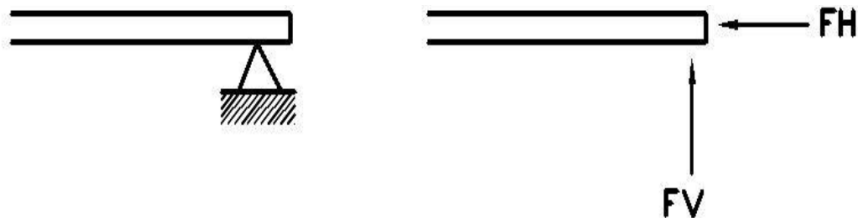
Tumpuan rol adalah tumpuan yang dapat menahan gaya tekan yang arahnya tegak lurus bidang tumpunya. Tumpuan rol tidak dapat menahan gaya yang arahnya sejajar dengan bidang tumpuan dan momen. Tumpuan rol ditunjukkan pada Gambar II. 5.



Sumber : Khurmi & Gupta, 2005
Gambar II. 5. Tumpuan Rol

- Tumpuan Sendi

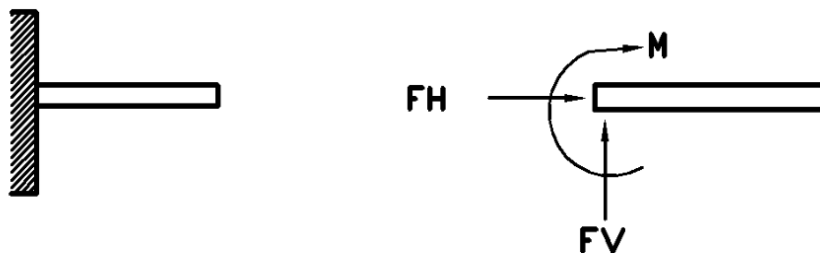
Tumpuan sendi adalah tumpuan yang mampu menahan gaya yang arahnya sembarang pada bidang tumpuan. Tumpuan sendi dapat menumpu gaya yang arahnya tegak lurus maupun sejajar dengan bidang tumpuan. Tumpuan sendi ditunjukkan pada Gambar II. 6.



Sumber : Khurmi & Gupta, 2005
Gambar II. 6. Tumpuan Sendi

- Tumpuan Jepit

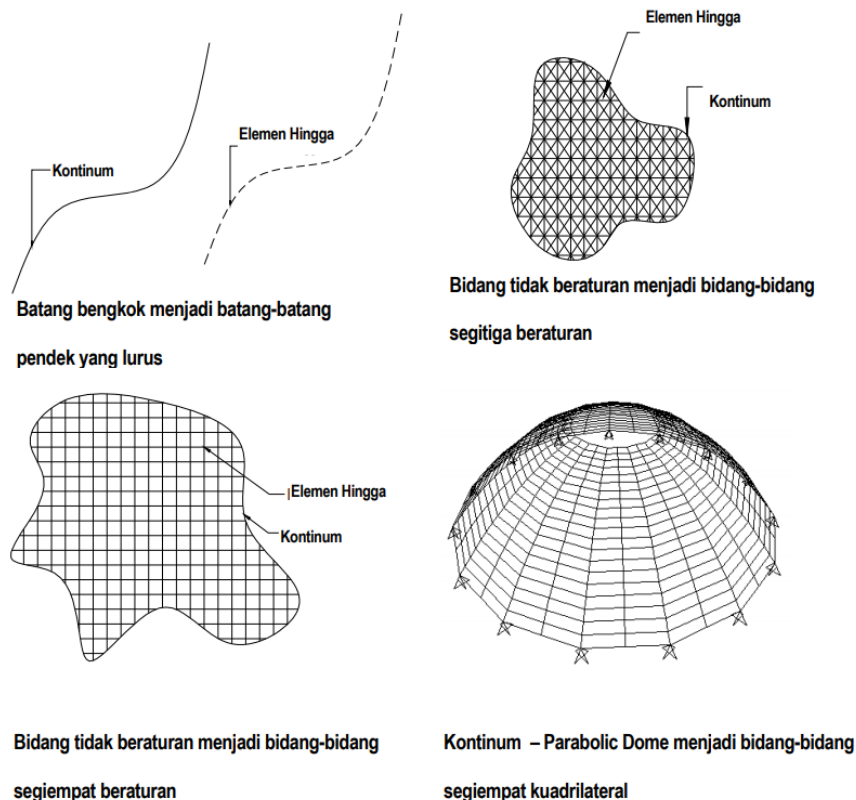
Tumpuan jepit adalah tumpuan yang dapat menahan gaya dalam segala arah dan dapat menahan momen. Tumpuan jepit ditunjukkan Gambar II. 7.



Sumber : Khurmi & Gupta, 2005
Gambar II. 7. Tumpuan Jepit

II.1.7. Finite Element Method

Menurut Bhavikatti (2005) *finite element* adalah salah satu dari metode numerik yang memanfaatkan operasi matrix untuk menyelesaikan masalah-masalah fisik. Metode lainnya adalah metode analitik, untuk melakukannya diperlukan suatu persamaan matematik yang merupakan model dari perilaku fisik. Semakin rumit perilaku fisiknya (karena kerumitan bentuk geometri, banyaknya interaksi beban, *constrain*, sifat material, dan lain-lain) maka semakin sulit atau bahkan mustahil dibangun suatu model matematik yang bisa mewakili permasalahan tersebut. Karena rumit alternatif penyelesaiannya dapat dilakukann dengan cara membagi kasus tadi menjadi bagian-bagian kecil sederhana yang mana pada bagian kecil tersebut bisa dibangun model matematik dengan lebih sederhana. Kemudian interaksi antar bagian kecil tersebut ditentukan berdasarkan fenomena fisik yang akan diselesaikan. Metode ini dikenal sebagi metode elemen hingga karena metode ini membagi permasalahan menjadi sejumlah elemen tertentu (*finite*) untuk mewakili permasalahan yang sebenarnya jumlah elemennya adalah tidak berhingga (kontinum).



Sumber : Weaver & Johnston, 1993

Gambar II. 8. Diskretisasi Suatu Koninum pada Metode Elemen Hingga

Proses pembagian kontinum menjadi elemen hingga disebut proses diskretisasi atau pembagian ditunjukkan Gambar II. 8. Dinamakan elemen hingga karena ukuran elemen kecil

ini berhingga (bukannya kecil tak berhingga) dan umumnya mempunyai bentuk geometri yang lebih sederhana dibanding dengan kontinumnya. Untuk menyelesaikan permasalahan *finite elemen method* mempunyai tiga tahapan utama, yakni :

a. *Preprocessing*

Pada tahap ini pengguna membuat model yang menjadi bagian untuk dianalisis yang mana geometri tersebut dibagi-bagi menjadi bagian-bagian yang terdiskritisasi atau disebut “elemen”, dihubungkan pada titik diskritisasi yang disebut “*node*”. *Node* tertentu akan ditetapkan sebagai bagian melekat yang kaku dan bagian lain ditentukan sebagai bagian yang terkena beban.

b. Analisis

Pada tahap ini data-data yang dimasukkan pada tahap *preprocessing* sebelumnya akan digunakan sebagai input pada kode elemen hingga untuk membangun dan menyelesaikan sistem persamaan aljabar linier atau non linier. Persamaan umum yang digunakan untuk menyelesaikan persoalan yaitu :

$$\{F\} = [k] \{x\} \quad (II. 8)$$

Dimana:

$\{F\}$ = Matrik gaya

$[k]$ = Matrik kekakuan

$\{x\}$ = Matrik *displacement*

c. *Post-processing*

Menampilkan hasil akhir setelah penganalisisan oleh modul penganalisis dengan menampilkan data *displacements* dan tegangan pada posisi bagian yang terdiskritisasi pada model geometri. *Post-processor* biasanya menampilkan grafis dengan kontur warna yang menggambarkan tingkatan tegangan yang terjadi pada model geometri (Moaveni, 1999)

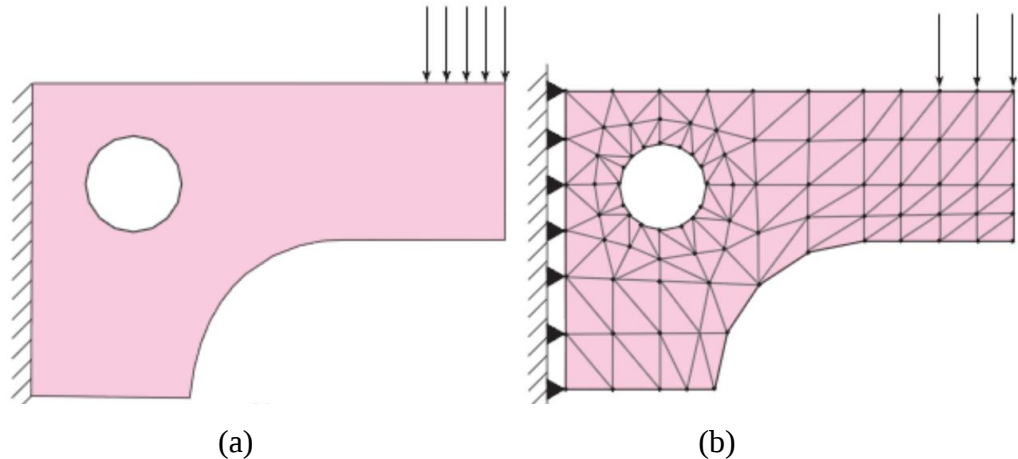
Metode elemen hingga adalah metode numerik domain diskritisasi dari struktur secara berkelanjutan sehingga kesalahan pun mungkin terjadi. Kesalahan yang dapat terjadi yaitu :

(a) Kesalahan komputasi

Kesalahan ini adalah karena perhitungan komputer dan formulasi dari skema integrasi numerik yang digunakan. Untuk tujuan komersial kebanyakan kode batasan elemen adalah berkonsentrasi pada pengurangan dalam kesalahan ini dan akibatnya analisis umumnya berkaitan dengan diskritisasi faktor.

(b) Kesalahan diskritisasi

Geometri dan distribusi perpindahan struktur yang sebenarnya terus menerus bervariasi. Menggunakan jumlah elemen terbatas untuk model struktur dapat menerangkan kesalahan dalam pencocokan geometri dan distribusi perpindahan karena keterbatasan matematika yang melekat pada elemen.



Sumber : Gifari, 2017

Gambar II. 9. (a) Pemberian Beban pada Pelat (b) Pembagian Elemen Pelat

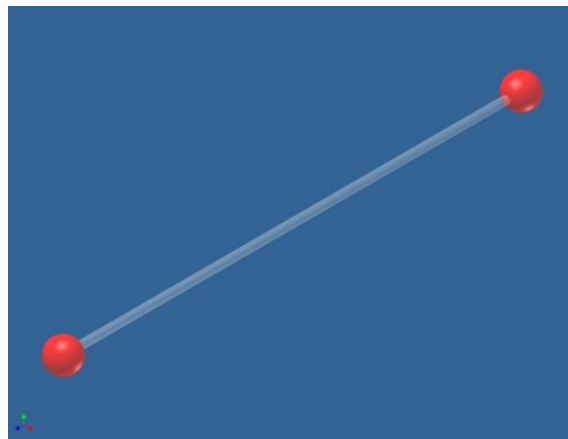
Masalah pertama, pada Gambar II. 9. (a) geometri dimodelkan dengan kurva lengkung. Hasil dari geometri setelah elemen dibagi pada Gambar II. 9. (b) kelengkungan terlihat kurang dimodelkan. Masalah kedua, yang jauh lebih parah, adalah bahwa regangan di berbagai daerah struktur sebenarnya berubah dengan cepat, dan konstanta elemen regangan hanya akan memberikan perkiraan dari regangan rata-rata di tengah elemen. Jadi secara singkatnya, hasil diprediksi model akan kurang. Hasilnya dapat ditingkatkan secara signifikan dengan meningkatkan jumlah elemen (kerapatan *mesh*) atau menggunakan elemen yang lebih baik, seperti segiempat delapan nodal, yang lebih cocok untuk aplikasi ini, sehingga akan memberikan peningkatan hasil (Gifari, 2017).

II.1.8. Tipe Elemen

Penentuan jenis elemen dalam *meshing* sangat penting agar model yang dibuat dapat mewakili benda atau struktur yang sebenarnya. Ada 3 jenis elemen dalam *finite element method* elmen garis, 2 dimensi dan 3 dimensi. Elemen bar atau *truss* (batang dan *beam* adalah jenis elemen garis). Elemen 2 dimensi yang paling sederhana adalah elemen segitiga (*triangular*) dan elemen segi empat (*quadrilateral*), serta elemen 3 dimensi yang umum digunakan adalah elemen *tetrahedral* dan elemen *hexahedral*.

a. *Truss Element (2D line)*

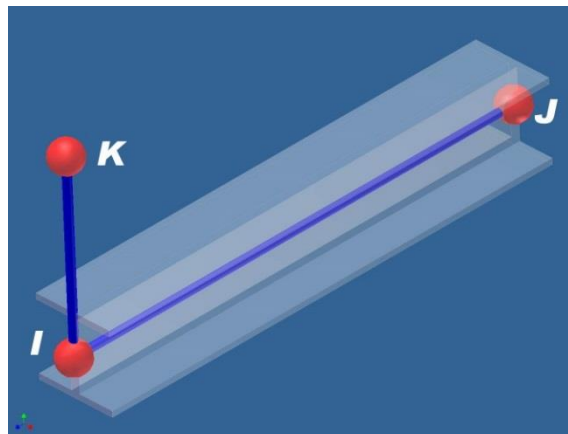
Jenis elemen ini mempunyai bentuk panjang dan ramping, memiliki 2 nodal dan dapat diorientasikan di mana saja di ruang 3 dimensi. Elemen *truss* ini hanya meneruskan gaya aksial. Mempunyai 3 derajat kebebasan, yaitu arah translasi dan tidak untuk arah rotasi. Elemen *truss* biasa digunakan untuk memodelkan menara, jembatan, dan bangunan. Area penampang meintang dianggap konstan dan digunakan untuk analisis struktur elastis linier (DeepSoft, 2014).



Sumber : DeepSoft, 2014
Gambar II. 10. *Truss Element*

b. *Beam Element (2d line)*

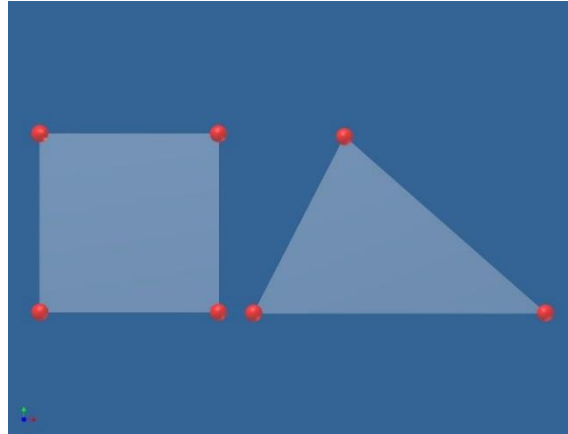
Elemen balok mempunyai bentuk panjang dan ramping, memiliki 3 nodal, dan dapat diorientasikan dimana saja di ruang 3 dimensi. Mempunyai 6 derajat kebebasan meliputi ara translasi dan rotasi di setiap nodal. Ini adalah perbedaan utama antara elemen *truss* dan elemen *beam* (DeepSoft, 2014).



Sumber : DeepSoft, 2014
Gambar II. 11. *Beam Element*

c. *Element* 2D (2D plannar)

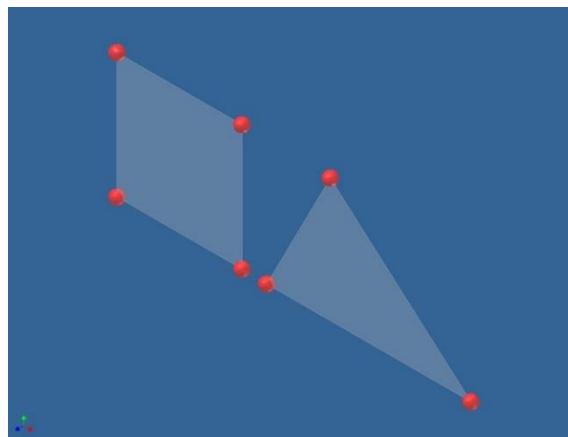
Element 2D mempunyai 3 atau 4 nodal dengan 2 derajat kebebasan yaitu translasi Y dan Z. Elemen ini dibuat dibidang YZ. Digunakan untuk analisis tegangan bidang atau regangan bidang (DeepSoft, 2014).



Sumber : DeepSoft, 2014
Gambar II. 12. *Element* 2D

d. Membran *element* (2d planar)

Membran *element* mempunyai 3 atau 4 nodal dan dapat diorientasikan dimana saja di ruang 3 dimensi. Dapat digunakan untuk memodelkan membran tipis seperti kain, kulit logam tipis, dan sebagainya. Elemen ini tidak mendukung untuk menyalurkan tegangan atau momen. Derajat kebebasan hanya pada arah translasi. Ketebalan membran yang dimodelkan dengan elemen ini harus relatif tipis untuk panjang atau lebarnya (DeepSoft, 2014).



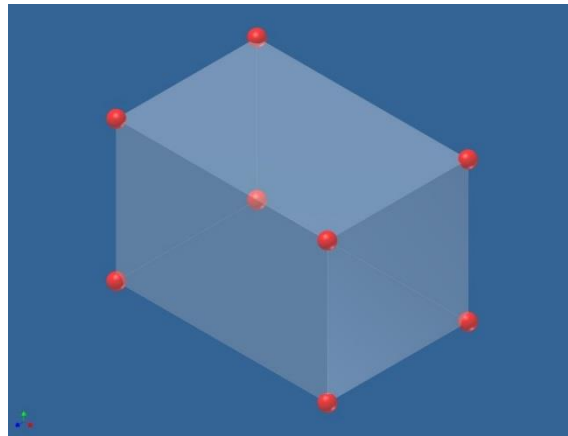
Sumber : DeepSoft, 2014
Gambar II. 13. Membran *Element*

e. *Plate element* (2d planar)

Plate element mempunyai 3 atau 4 nodal dan dapat diorientasikan dimana saja di ruang 3 dimensi. Dapat digunakan untuk memodelkan struktur pelat seperti *pressure vessel*, badan mobil, lambung kapal, dan badan pesawat terbang. Semua derajat kebebasan berlaku meliputi translasi dan rotasi (DeepSoft, 2014).

f. *Solid element* (3d)

Solid element terdiri dari 2 jenis *tetrahedral* dan *hexahedral*, dapat mempunyai 4, 5, 6, 7, 8, 15, atau 20 nodal. Derajat kebebasan hanya pada arah translasi. Elemen ini digunakan untuk memodelkan benda solid yang tidak dapat dimodelkan elemen pelat (DeepSoft, 2014).



Sumber : DeepSoft, 2014

Gambar II. 14. *Element Solid Tetrahedral 8 Nodal*

II.1.9. Tegangan & Deformasi Maksimum *Hatch Cover*

Pada penelitian ini menggunakan persyaratan tegangan dan deformasi berdasarkan peraturan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) Volume II 2016, *hatch cover* dianggap memiliki kekuatan yang memadai apabila nilai tegangan yang terjadi di tiap strukturnya tidak melebihi nilai dari minimum nominal *equivalent stress* σ_v *hatch cover* dan deformasi maksimum dari *rule* (BKI, 2016)

$$\sigma_v \leq 0.8 \text{ ReH} \quad (\text{II. 9})$$

Dimana

σ_v = *equivalent stress hatch cover*

ReH = *minimum nominal upper yield point*, baja normal sebesar 235 N/mm²

Sedangkan deformasi maksimal yang terjadi pada model dikatakan memenuhi apabila memenuhi

$$f \leq 0,0056 \ell g \quad (\text{II. 10})$$

Dimana

f = nilai deformasi *hatch cover* (m)

ℓg = *lasrgest span of girders hatch cover* (m)

II.1.10. Perhitungan Modulus Penampang Profil L dan Pelintang

Pemodelan penelitian ini dibutuhkan konversi modulus untuk mendapatkan variasinya dengan modulus yang dirubah nilainya. Untuk mencari modulus dapat dicari dengan tabulasi perhitungan momen inersia yang nantinya dibagi dengan nilai titik *neutral axis* (Santosa, 2013).

Tabel II. 1. Perhitungan Momen Inersia

	horizotal (h)	vertical (v)	Area of cross section (F)	Distance of center Gravity (d)	Moment of Area (F.d)	Moment of Inertia (F.d ²)	Individual moment of inertia (1/12 h.v ³)
Web							
Face							
			Σ1		Σ2	Σ3	Σ4

Z_{NA} = Jarak vertikal terhadap sumbu netral (N-A)

$$= \Sigma 2 / \Sigma 1$$

I_{xx} = Momen Inersia penampang terhadap garis dasar (x-x)

$$= \Sigma 3 + \Sigma 4$$

I_{NA} = Momen Inersia penampang terhadap sumbu netral (N-A)

$$= I_{xx} - (\Sigma 1 * Z_{NA}^2)$$

W = Modulus penampang profil

$$= I_{NA} / Z_{NA}$$

II.2. Tinjauan Pustaka

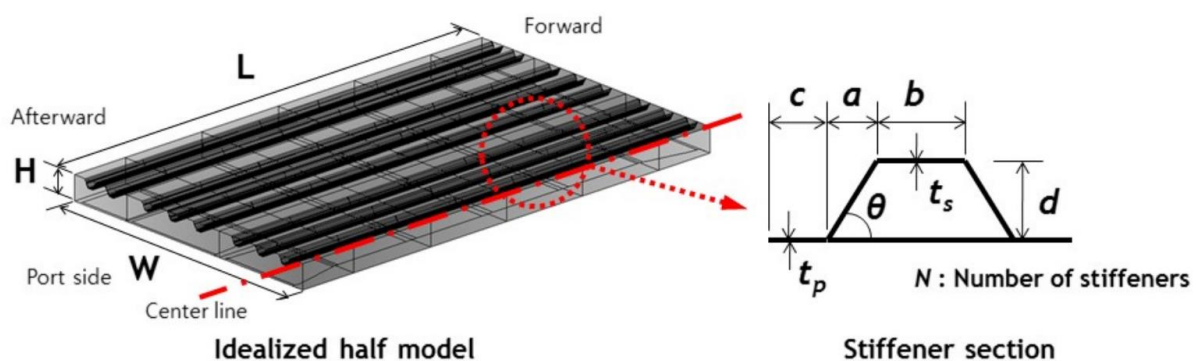
Tinjauan pustaka membahas mengenai jurnal atau penelitian lainnya yang menjadi referensi dalam pembuatan Tugas Akhir ini. Adapun literatur dalam Tugas Akhir ini yaitu :

II.2.1. Hatch Cover Design

Menurut Fikri & Kurniawati (2016) pada kapal pengangkut daging adanya sistem

penutup palkah dengan menggunakan *pontoon* atau *lift away hatch cover* untuk memudahkan sistem bongkar muat. Penutup palkah tipe *lift away hatch cover* baik digunakan untuk kapal yang mempunyai tingkat rak barang.

Menurut Um & Roh (2015) desain dari model *hatch cover* dengan bentuk konstruksi memanjang dibentuk *corrugated plate* yang diaplikasikan pada *hatch cover bulk carrier* dapat mengurangi berat *hatch cover* sebesar 8,5%. Model *corrugated plate* hanya diaplikasikan pada *hatch cover* 1 ruang muat. Apabila desain diaplikasikan pada semua *hatch cover* di *bulk carrier* akan menghemat energi dan ramah lingkungan di galangan kapal.



Sumber : Um & Roh, 2015

Gambar II. 15. *Hatch Cover dengan Corrugated Plate*

Desain model ini untuk kedepannya diharapkan untuk dapat diaplikasikan pada *hatch cover* untuk kapal kontainer. Kapal kontainer membawa beban muatan di atas *hatch cover* sehingga beban tambahan harus dipertimbangkan ketika mendesain *hatch cover*.

Menurut Tawfik dkk (2016) desain *hatch cover* menggunakan *composite material* dapat mengurangi berat dari desain awal sebesar 40%. Material komposit untuk *hatch cover* memudahkan bongkar muat pada kapal, karena dapat diangkat menggunakan fasilitas bongkar muat kecil. Keuntungan selain mudah bongkar muat adalah dapat menambah jumlah muatan tanpa merubah sarat awal dan berat dari kapal.

Tabel II. 2. *Life Cycle Cost*

Comparison item	Steel hatch covers	Composite hatch covers
Total weight (T)	420.815	234.291
Material cost (\$)	462,896.5	723,127
Total manufacturing cost (\$)	1,076,503	2,332,667
Economic gain through economic life length (\$)	—	1,865,250 + (Less Maintenance cost, less cargo damage claims)

Perhitungan *life cycle cost analysis* dapat dilihat pada Tabel II. 2. Penggunaan material komposit berdasarkan penelitian ini tidaklah murah, namun apabila penggunaan material komposit disertakan dengan penambahan jumlah cargo kerugian dapat ditutupi.

II.2.2. Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan sebuah teknik perhitungan numeris sehingga hasil yang didapatkan adalah nilai pendekatan dari hasil sesungguhnya. Seiring berkurangnya ukuran elemen, hasil yang didapatkan akan berbeda dan berurutan. Pendekatan perhitungan akan menghasilkan nilai yang konvergen dengan hasil sesungguhnya ketika kualitas *mesh* menginkat dan elemen yang dibentuk semakin banyak dengan ukuran yang lebih kecil (Rabbani dkk, 2017).

Menurut Pramono dkk (2016) *meshing* adalah suatu proses dari elemen hingga untuk membagi keseluruhan sistim menjadi elemen-elemen yang lebih kecil untuk didapatkan analisa yang detail pada keseluruhan sistim tersebut. Dalam *software* elemen hingga yang digunakan hanya ada tiga jenis elemen utama yang dapat digunakan dan terpilih secara otomatis tergantung bagaimana model yang dibuat. Tiga jenis elemen tersebut adalah:

- *Shell Element*- terpilih secara otomatis apabila model dibuat dengan menggunakan *surface*
- *Beam Element*- terpilih secara otomatis apabila model dibuat dengan menggunakan line yang memiliki *cross section*
- *Solid Element*- terpilih secara otomatis apabila model dibuat dengan menggunakan *solid*

II.2.3. Tegangan & Deformasi

Menurut Dewangga & Yulianto (2012) tegangan yang digunakan untuk penelitiannya adalah *von mises*. Tegangan *von mises* merupakan tegangan yang didapatkan melalui perhitungan yang melibatkan *strain* pada semua arah sumbu (x, y, dan z). Dengan demikian dapat disimpulkan tegangan *von mises* merupakan tegangan total dan merupakan resultan tegangan yang terjadi pada pelat.

Deformasi adalah perubahan wujud benda akibat dari gaya. Deformasi umumnya berbanding lurus dengan tegangan, dimana semakin besar nilai tegangan semakin besar juga nilai deformasi yang terjadi. Semakin banyak tumpuan yang diberikan dalam sebuah benda, maka deformasi yang terjadi akan lebih kecil (Mahfud & Soewify, 2012)

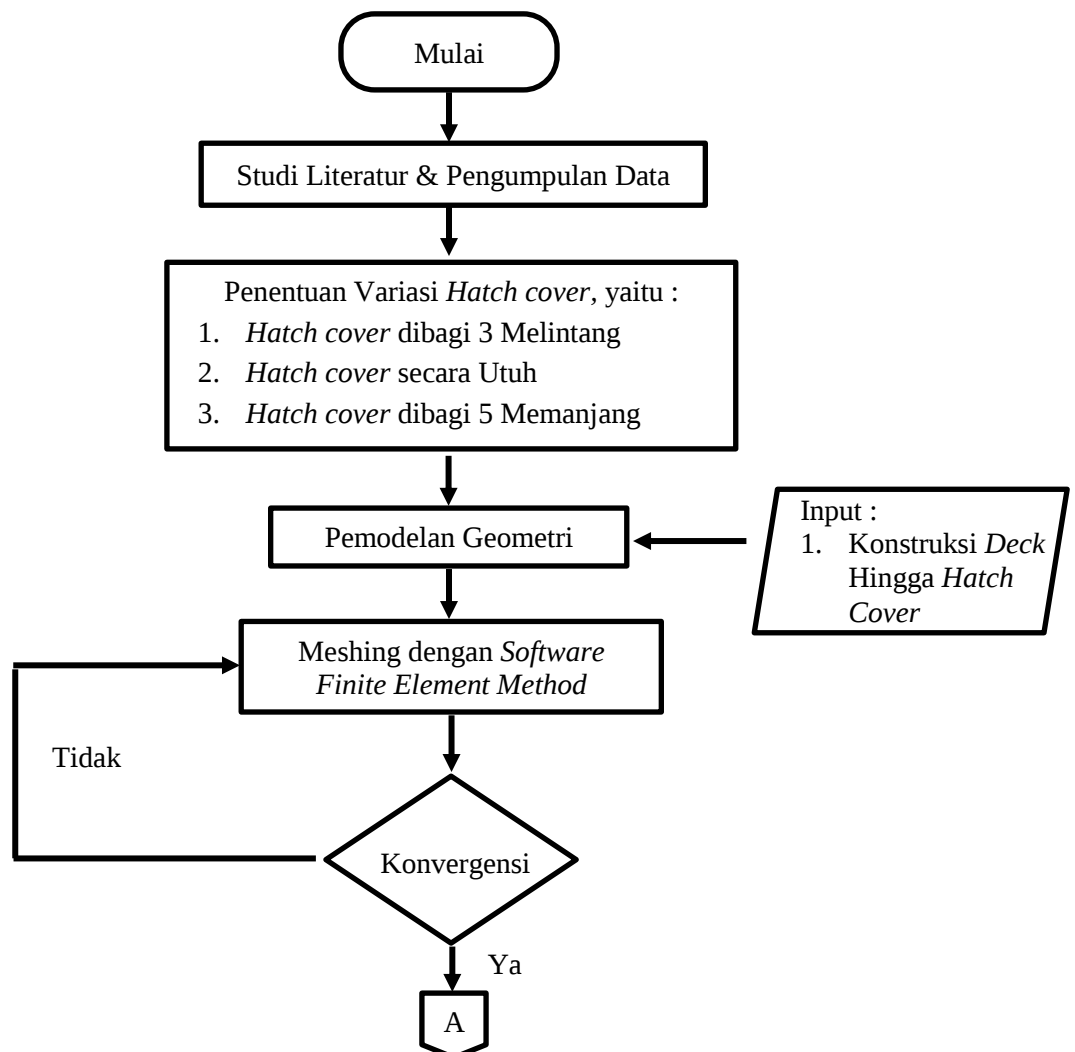
Halaman ini sengaja dikosongkan

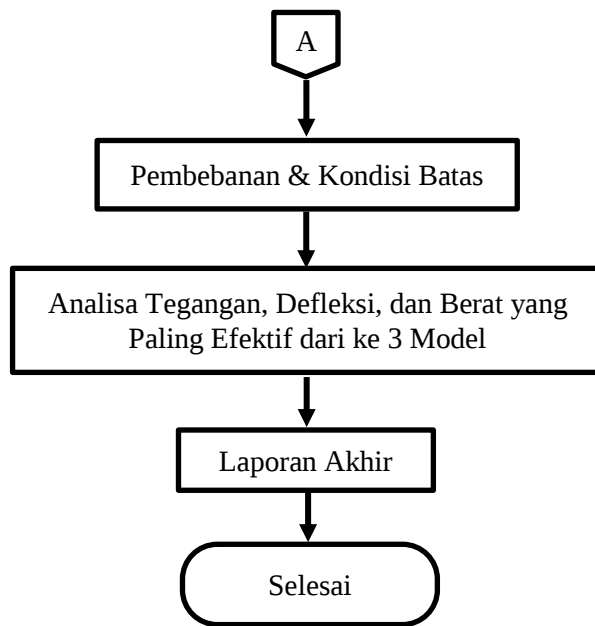
BAB III METODOLOGI

Metode penelitian pada dasarnya merupakan cara ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan dan kegunaan tertentu. Untuk mencapai tujuan tersebut diperlukan data dan metode yang relevan dengan tujuan yang ingin dicapai. Dalam bab ini akan dijelaskan data dan metode untuk menganalisis tegangan, defleksi, dan berat konstruksi pada *hatch cover* agar tidak terjadi kesalahan model konstruksi.

III.1. Diagram Alir

Langkah-langkah dalam Tugas Akhir dijadikan dalam bentuk diagram alir seperti berikut ini :





Gambar III. 1. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

III.2. Metode

Sub-Bab III.2 menjelaskan langkah-langkah yang digunakan dalam diagram alir. Penjelasan yang digunakan merupakan penjelasan secara singkat tentang pengertian dan model sederhana.

III.2.1. Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Studi literatur adalah mencari referensi teori yang relevan dengan kasus atau permasalahan yang ditemukan. Referensi tersebut berisikan tentang :

- *Finite Element Method*
- Tegangan
- Deformasi

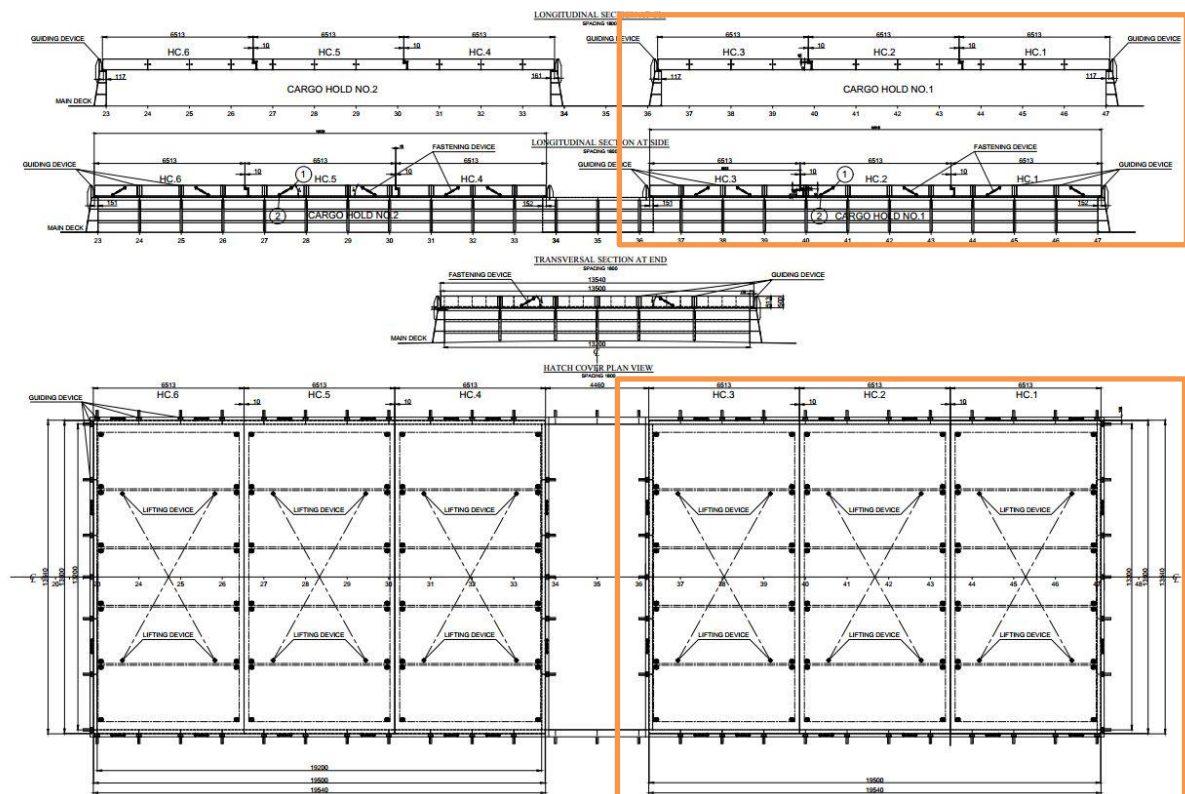
Referensi ini dapat dicari dari buku, jurnal, artikel laporan penelitian, dan situs-situs di internet. Output dari studi literatur ini adalah terkoleksinya referensi yang relefan dengan perumusan masalah. Tujuannya adalah untuk memperkuat permasalahan serta sebagai dasar teori dalam melakukan studi. Sedangkan data yang dibutuhkan untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini adalah data kapal kontainer 100 TEUS yang mempunyai ukuran utama seperti pada Tabel III. 1.

Tabel III. 1. Ukuran Utama Kapal Kontainer

No	Diskripsi	Ukuran
1	Length O.A	74.30 m
2	Length B.P	70 m
3	<i>Breadth moulded</i>	17.2 m
4	<i>Depth moulded</i>	5.6 m
5	<i>Design raft</i>	3.5 m

III.2.2. Gambar Rencana *Cargo Hold* & Desain Konstruksi *Hatch Cover*

Pada kapal container 100 TEUS terdapat 2 *cargo hold*, sehingga terdapat juga 2 bagian *hatch cover*. *Hatch cover* pada setiap ruang muat mempunyai karakteristik desain yang sama, sehingga dalam penelitian ini hanya diambil 1 bagian *hatch cover* di ruang muat depan. Untuk detail desain *hatch cover* akan diberikan pada sub-bab berikutnya. Gambar rencana ruang muat dan *hatch cover* yang diambil dapat dilihat pada Gambar III. 2 dan Lampiran A.



Gambar III. 2. Rencana *Cargo Hold* Kapal Kontainer 100 TEUS

Bagian *hatch cover* yang akan dianalisis adalah bagian depan bagian ruang muat depan. Gambar detail *hatch cover* bagian ruang muat depan yang terdiri dari HC 1, HC 2, dan HC 3 dapat dilihat pada Lampiran B.

Pada Lampiran B terdapat ukuran-ukuran elemen konstruksi yang digunakan untuk pemodelan dalam penelitian. Berikut adalah ukuran-ukuran konstruksi yang terdapat pada *hatch cover* kontainer 100 TEUS :

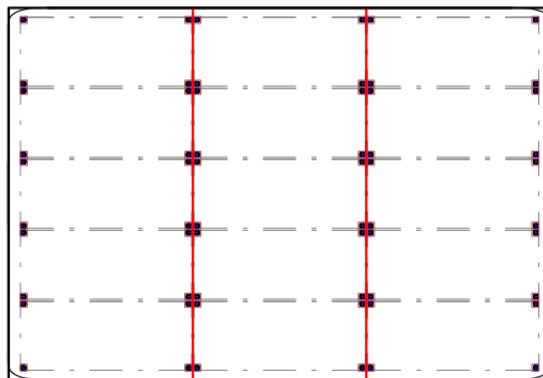
Tabel III. 2. Ukuran Konstruksi pada *Hatch Cover*

No	Konstruksi	Ukuran (mm)
1	Pelat <i>hatch cover</i>	10
2	Pembujur <i>hatch cover</i>	100x100x10
3	<i>Side girder</i>	450x9 + 100x10
4	<i>Centre girder</i>	450x9 + 100x10
5	<i>End girder</i>	500x10 + 100x10
6	<i>Bracket</i>	450x300x10

III.2.3. Penentuan Variasi Model

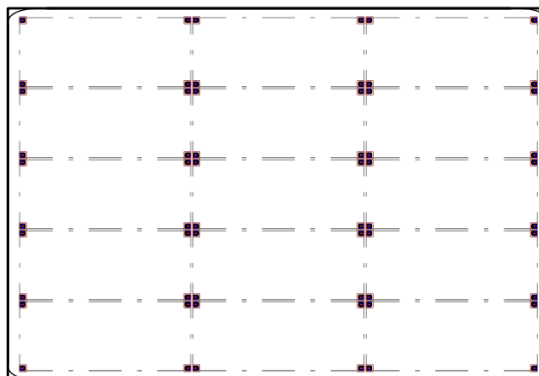
Pemberian variasi model diberikan untuk membandingkan hasil analisis dan mendapatkan pemodelan yang paling efektif. Untuk tugas akhir ini pertama terdapat 3 variasi model *hatch cover* yang dapat dibandingkan. Variasi diberikan berdasarkan pembagian lubang palkah dimodelkan sebagai berikut :

- a. *Hatch cover* dibagi secara melintang 3 panel



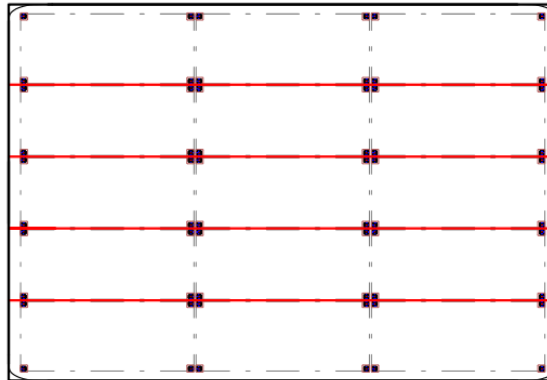
Gambar III. 3. Model 1

- b. *Hatch cover* secara utuh (tidak dibagi sama sekali), sehingga hanya ada 1 panel



Gambar III. 4. Model 2

c. *Hatch cover* dibagi secara memanjang 5 panel



Gambar III. 5. Model 3

Gambar III. 3 sampai Gambar III. 5 merupakan model sederhana, untuk model detail dapat dilihat pada Lampiran C. Dari pemodelan pada Gambar III. 3 sampai Gambar III. 5 dibuat variasi lagi untuk mencari keefektifan pengaruh penumpu melintang dan pembujur. Untuk menentukan keefektifan pengaruh penumpu melintang dan pembujur model yang digunakan adalah model 3. Analisa dilakukan dengan mengubah modulus dari penumpu melintang dan pembujur dari model 3. Perubahan modulus yang dilakukan disesuaikan tabel :

Tabel III. 3. Besar Perubahan Modulus

Konstruksi	Perubahan
Pembujur	$\pm 10\%$ & $\pm 20\%$
Penumpu melintang	$\pm 10\%$ & $\pm 20\%$

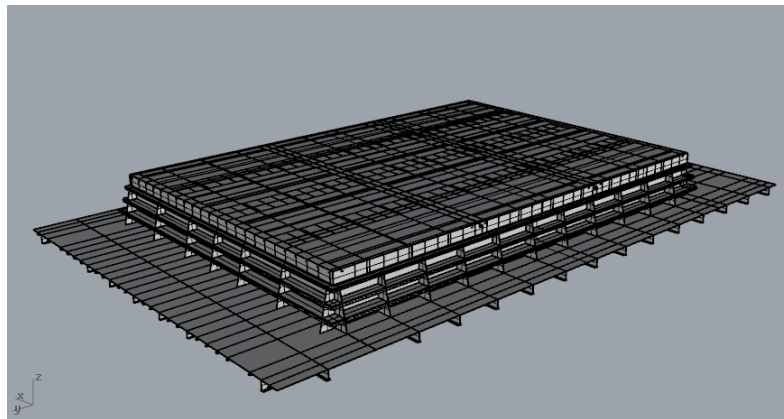
Berdasarkan Tabel III. 3 dari akan ada 4 pemodelan dari variasi efektif. Nilai modulus pembujur dan penumpu melintang didapatkan dari BKI. Nilai modulus pembujur dan penumpu penumpu melintang didapatkan dari perhitungan yang terdapat pada Lampiran D.

Tabel III. 4. Perubahan Konstruksi Pembujur dan Penumpu

Konstruksi	Awal	Perubahan Modulus	Perubahan
Pembujur	L 100x100x10	+20%	L 100x100x12
		+10%	L 100x100x11
		-10%	L 100x9+90x10
		-20%	L 100x8+100x9
Penumpu melintang	T 450x9 + 100x10	+20%	T 450x11 + 100x11
		+10%	T 450x10 + 100x11
		-10%	T 450x8 + 125x8
		-20%	T 450x8 + 125x7

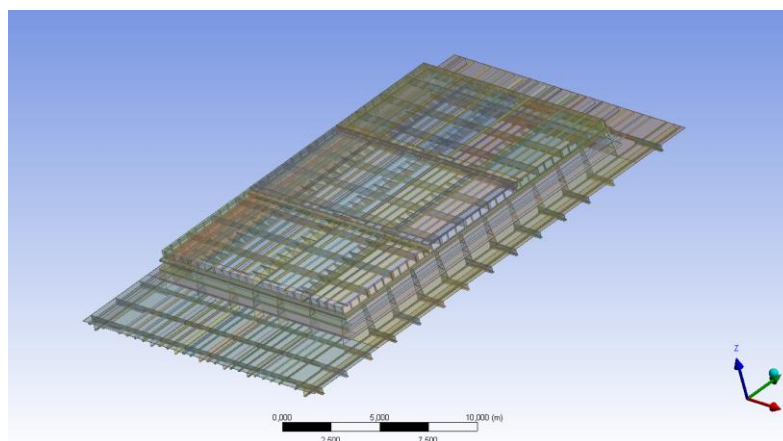
III.2.4. Pemodelan

Pembuatan model geometri bisa dilakukan setelah mendapatkan data gambar sesuai penelitian. Pembuatan model geometri merupakan awal yang sangat penting dalam analisis elemen hingga. Pembuatan model geometri diupayakan sesuai atau mendekati kondisi yang sesungguhnya. Model dibuat dari dek kapal hingga *hatch cover* kapal. Pemodelan bisa langsung dilakukan pada *software finite element method*, namun untuk model yang sederhana. Untuk model kompleks dapat menggunakan *software* bantu CAD (*Computer-Aided Design*). Hasil dari desain dengan bantuan *software CAD* bisa dilihat pada Gambar III. 6.



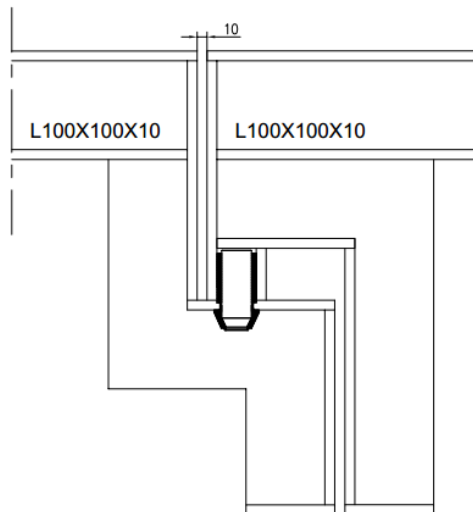
Gambar III. 6. Hasil Model *Hatch Cover* dibagi Melintang 3 Panel dengan *Software CAD*

Dalam pemodelan geometri dengan *software CAD* bagian konstruksi model sudah diberikan ketebalan sehingga di dalam *software finite element method* tidak perlu diberi tebal lagi. Pemberian tebal bertujuan agar model bisa dibaca sebagai model 3D. Pemberian ketebalan ini penting untuk proses *meshing* yang akan dijelaskan pada Sub Bab.III.2.7. Model geometri dari CAD setelah jadi diexport agar bisa dibaca di *software finite element method*. Hasil *export* dapat dilihat pada Gambar III. 7.



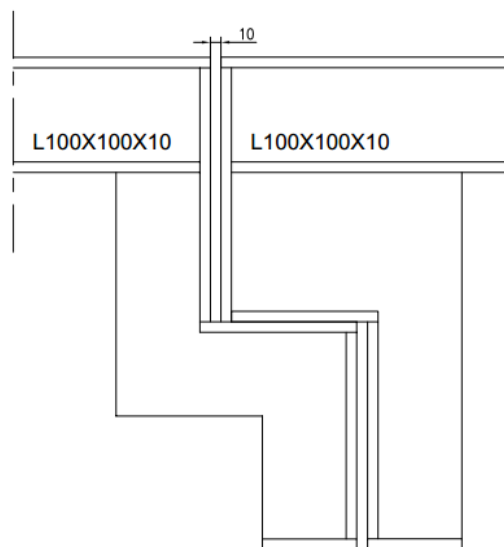
Gambar III. 7. Gambar Model Geometri pada *Software Finite Element Method*

Pada model 1 dan model 3 seharusnya ada sistem pengedapan pada pembagian *hatch cover*. Sistem pengedapan pada *hatch cover* berfungsi agar air tidak masuk pada ruang muat meskipun *hatch cover* dipartisi. Sistem pengedapan *hatch cover* umumnya bergabung dengan sistem penguncian pada *hatch cover* seperti yang ditunjukkan Gambar III. 8.



Gambar III. 8. Sistem Penguncian dan Penedapan *Hatch Cover*

Namun untuk pemodelan *hatch cover* dalam penelitian ini sistem penguncian dan sistem pengedapan tidak dimodelkan. Sistem penguncian membutuhkan model yang sangat detail dimana bisa menyebabkan model error. Apabila sistem penguncian dimodelkan dengan kondisi batas juga akan terjadi kesalahan dalam analisa dimana sistem penguncian bebas bergerak namun apabila diberi kondisi batas sistem penguncian tidak akan bergerak. Oleh karena itu pemodelan pembagian dimodelkan seperti Gambar III. 9.

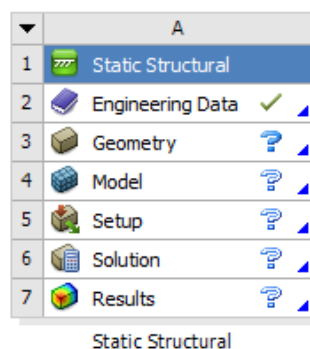


Gambar III. 9. Sistem Penguncian dan Penedapan setelah dimodelkan

III.2.5. Tipe Analisis

Tahapan yang dilakukan setelah pembuatan model konstruksi *hatch cover* selesai adalah pemilihan tipe analisis yang dilakukan. Beberapa pilihan analisis dalam *finite element software* antara lain *electric*, *fluid flow*, modal, *static structural*, *thermal*, dan lain-lain. Dalam penelitian ini dipilih *static structural*. *Static structural* dapat menginput beberapa jenis beban, diantaranya:

- gaya dan tekanan
- gaya inersia *steady-state* (seperti gravitasi dan gravitasi rotasional)
- *displacement*
- temperatur (untuk *thermal strain*)
- *fluences (nuclear)*.



Gambar III. 10. *Static Structural*

Analisis menggunakan *static structural* seperti Gambar III. 10 dikarenakan pada penelitian ini menganalisis tegangan dan defleksi karena beban kontainer. Beban yang ditimbulkan oleh kontainer merupakan beban statis.

III.2.6. Pemilihan Sifat Material

Pemilihan sifat material adalah mendefinisikan sifat-sifat mekanis dan sifat-sifat material yang dimodelkan. Pemodelan pada penelitian ini menggunakan material baja dari “Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1”. Material baja ini mempunyai *young’s modulus* sebesar 200 GPa, *poisson’s ratio* 0,3, *density* 7850 kg/m³. Sifat material yang dipilih adalah isotropik yaitu material yang dianggap seragam di seluruh arah dan bagian. Sifat-sifat material ini sebagai acuan apakah

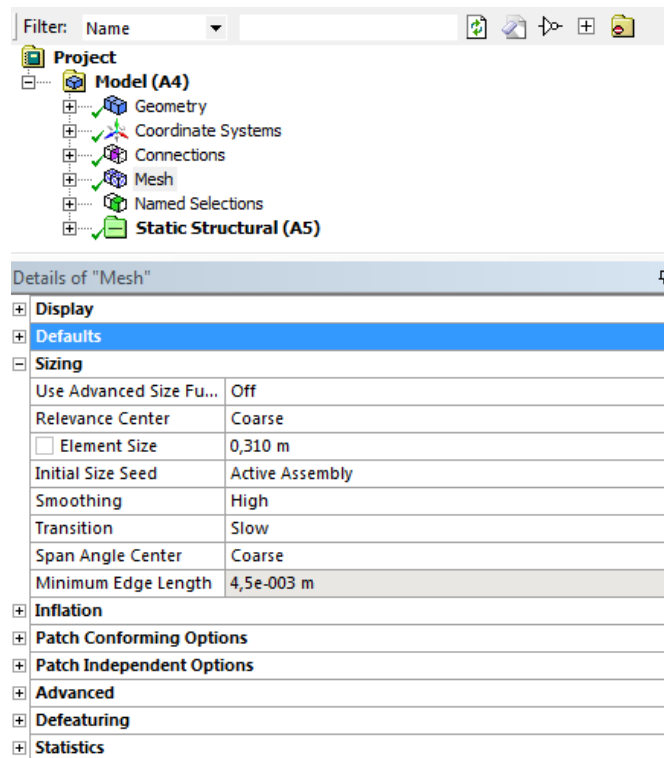
tegangan yang terjadi melebihi *yield stress* material. Pengisian sifat material dapat ditunjukkan dengan Gambar III. 11.

Properties of Outline Row 3: Structural Steel					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	7850	kg m ⁻³		
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's Mo...			
8	Young's Modulus	2E+11	Pa		
9	Poisson's Ratio	0,3			
10	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa		
11	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa		
12	Field Variables				
13	Temperature	Yes			
14	Shear Angle	No			
15	Degradation Factor	No			
16	Alternating Stress Mean Stress	Tabular			
20	Strain-Life Parameters				
28	Tensile Yield Strength	2,5E+08	Pa		
29	Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa		
30	Tensile Ultimate Strength	4,6E+08	Pa		
31	Compressive Ultimate Strength	0	Pa		

Gambar III. 11. Input Sifat Material

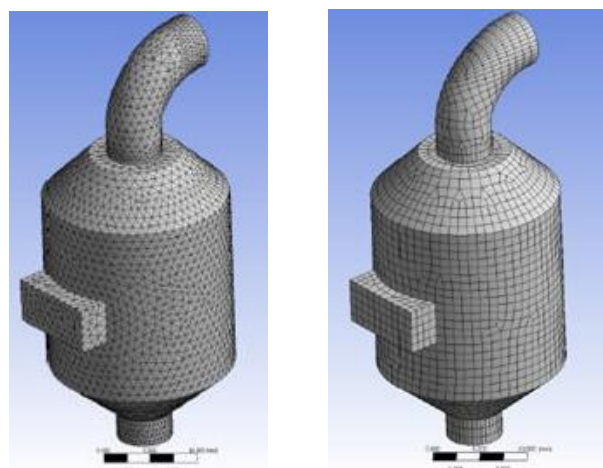
III.2.7. Meshing

Meshing merupakan bagian integral dari *computer aided* proses simulasi rekayasa model dengan cara membagi komponen yang akan dianalisis menjadi elemen-elemen kecil. *Meshing* merupakan salah satu tahapan yang penting dalam pemodelan suatu konstruksi dimana semakin baik kualitas *mesh* maka akan semakin tinggi keakuratan hasilnya (ANSYS, 2014). Pada aplikasi *finite elemen method* ada 3 faktor yang digunakan untuk meningkatkan kualitas *mesh* yaitu *element size*, *smoothing* dan *transition*. *Element size* mengatur ukuran elemen, dimana semakin kecil ukuran elemen maka hasilnya akan semakin akurat. *Smoothing* digunakan untuk meningkatkan kualitas elemen dengan memindahkan lokasi *node* yang berhubungan dengan *node* dan elemen disekitarnya. *Transition* mengatur tingkat perpindahan elemen dari 1 bagian ke bagian lain. Semakin tinggi kualitas *mesh* semakin tinggi juga spesifikasi komputer yang diperlukan. Oleh karena itu pemilihan ukuran *meshing* sangat penting. Setiap aplikasi *finite element method* mempunyai cara *meshing* yang berbeda-beda. Menu yang digunakan untuk proses *meshing* adalah *Model > Mesh > Detail of "Mesh"*. Untuk lebih jelas bisa dilihat pada Gambar III. 12.



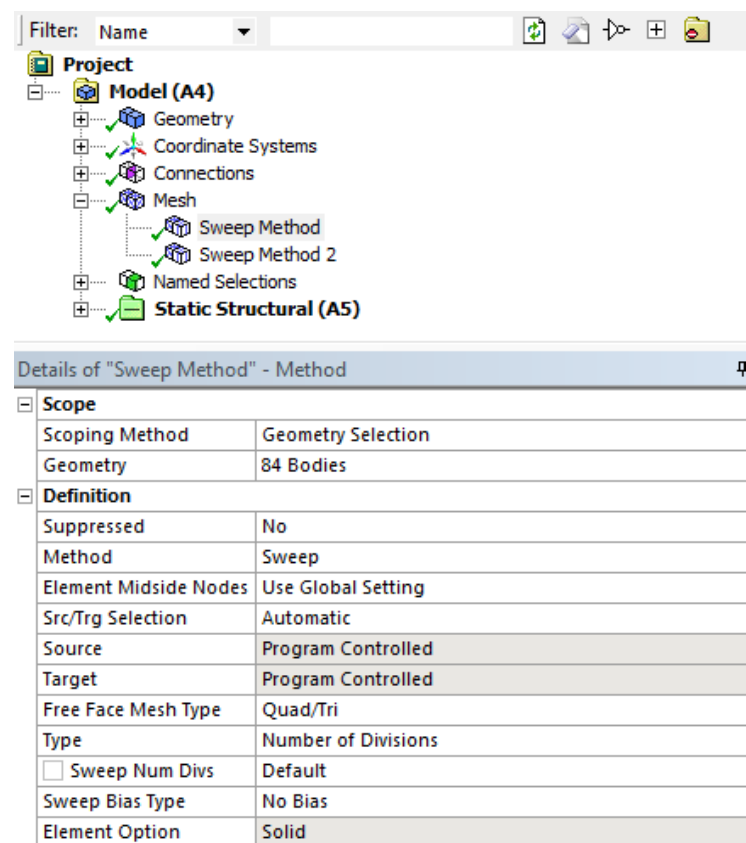
Gambar III. 12. Contoh untuk Proses Meshing

Dalam *meshing* bentuk elemen solid ada 2 jenis yaitu *tetrahedron* dan *hex dominant*. Tetrahedron berbentuk segitiga piramida digunakan untuk bagian konstruksi yang mempunyai bentuk rumit. Konstruksi rumit pada model ini contohnya *bracket*, sehingga untuk mencapai bentuk geometri yang maksimal digunakan elemen tetrahedron. *Hex dominant* berbentuk prisma segi empat hanya digunakan pada benda pejal yang mempunyai bentuk geometri sederhana. Dalam penelitian ini menggunakan tetrahedron dan *hex dominant* karena ada bagian konstruksi yang sederhana dan rumit. Perbedaan antara elemen *tetrahedron* dan *hex dominant* dapat dilihat pada Gambar III. 13.



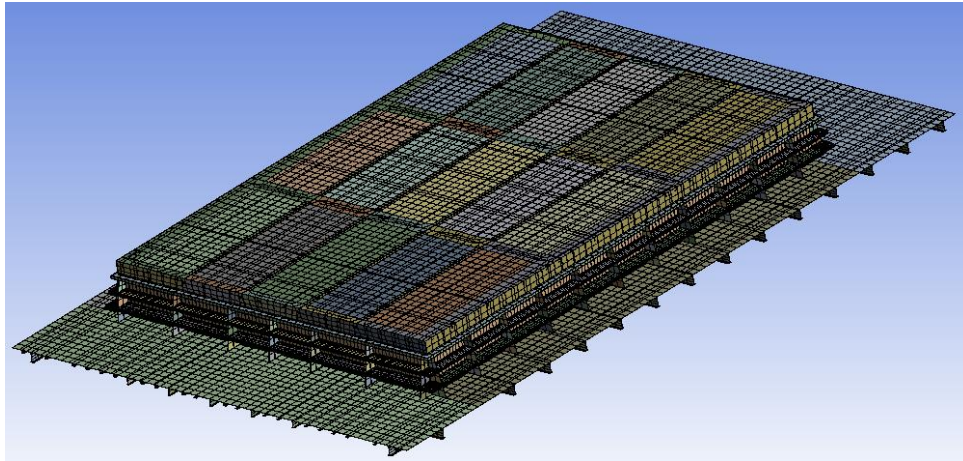
(a) (b)
Gambar III. 13. Contoh Elemen (a) Tetrahedron (b) Hex Dominant

Secara umum *meshing* merupakan tahapan mendiskretkan model geometri menjadi elemen-elemen hingga dan titik-titik nodal yang akan dianalisis. Pada saat penentuan ukuran elemen, keselarasan ukuran elemen perlu diperhatikan agar hasil yang diperoleh seragam. Ukuran elemen ini dapat digunakan sebagai salah satu *variable* dalam konvergensi. Pada model konstruksi *hatch cover*, *meshing* yang digunakan *solid* karena pada pemodelan geometri sudah diberikan ketebalan. Selain itu elemen *solid* mempunyai perpindahan kuadratik dan bagus diterapkan untuk memodelkan bentuk *mesh* yang tidak beraturan (seperti model 3D yang dihasilkan oleh beberapa *software CAD / CAM*). Menu yang digunakan untuk proses pemilihan elemen adalah *Model > Mesh > Method > Sweep*. Untuk lebih jelas bisa dilihat pada Gambar III. 14.



Gambar III. 14. Pemilihan Elemen

Setelah dilakukan *meshing* maka perlu ada pemeriksaan bahwa *meshing* yang telah dilakukan sudah sesuai ketentuan. *Check Mesh* merupakan sarana yang berfungsi untuk menguji bentuk elemen apakah sudah memenuhi kriteria dan syarat dalam prinsip elemen hingga. Apabila tidak ada kesalahan elemen maka secara otomatis sistem akan menampilkan keterangan bahwa tidak ada kesalahan dalam *meshing*. Hasil *meshing* dapat dilihat pada Gambar III. 15.



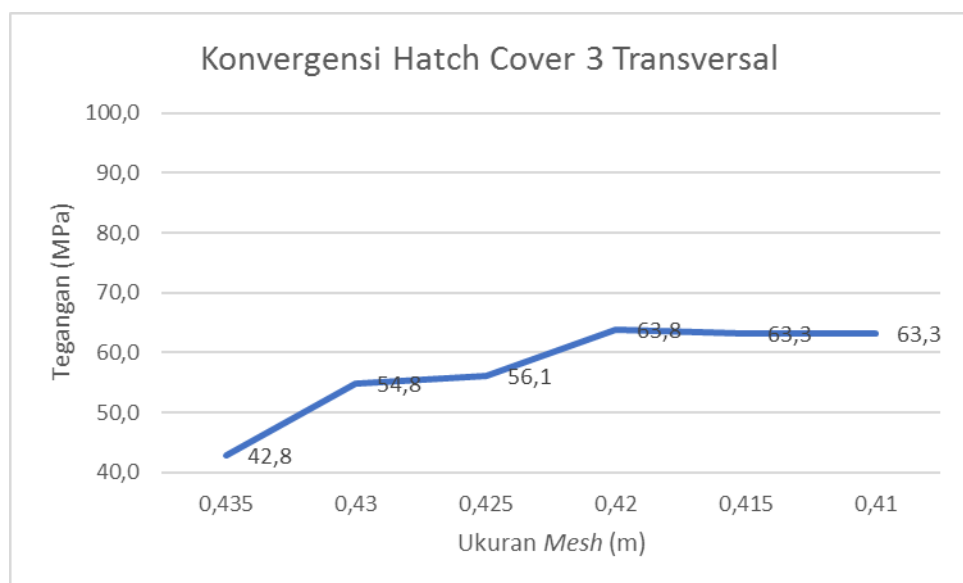
Gambar III. 15. Hasil Meshing

III.2.8. Konvergensi

Pengertian dari konvergensi adalah salah satu cara dalam menentukan ukuran elemen yang tepat dalam pembuatan model elemen hingga sehingga model dapat menghasilkan nilai yang valid. Konvergensi dilakukan dengan cara membandingkan beberapa hasil analisis tegangan sehingga mencapai hasil yang paling mendekati konstan dengan ukuran elemen berbeda. Tujuan dari konvergensi adalah untuk mengecek ketepatan hasil analisis dari *software finite element method*.

A. Hasil konvergensi model pembagian hatch cover

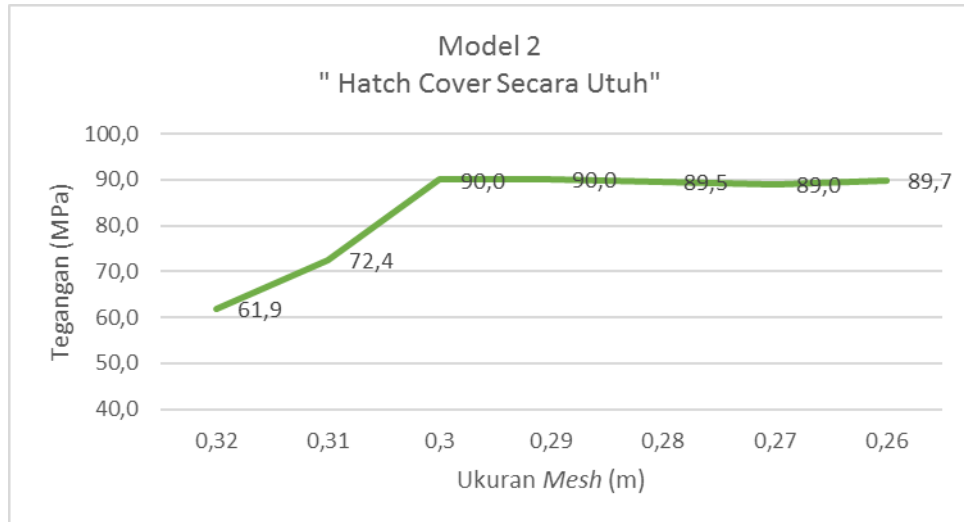
a. Model 1 hatch cover 3 pembagian melintang



Gambar III. 16. Konvergensi Model 1

Konvergensi dicari dengan ukuran *mesh* paling besar yaitu 0,6 m. Gambar III. 16 menunjukkan ukuran *mesh* yang digunakan untuk pemodelan. Ukuran *mesh* yang diambil untuk model 1 adalah 0,42 m, karena pada titik ini tegangan sudah konstan.

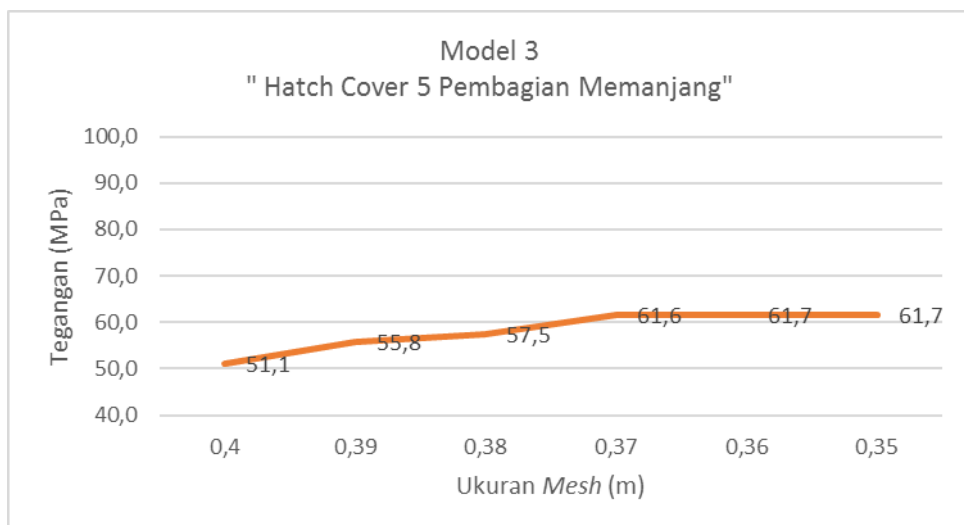
b. Model 2 *hatch cover* tanpa pembagian



Gambar III. 17. Konvergensi Model 2

Gambar III. 17 menunjukkan beberapa hasil uji coba konvergensi pada model 2. Berdasarkan dari uji coba konvergensi dari model 2 ukuran *mesh* yang digunakan pemodelan adalah 0,3 m. Ukuran *mesh* 0,3 dipilih karena pada titik ini tegangan sudah konstan. Tegangan stabil pada 0,3 m dibuktikan dengan ukuran *mesh* yang lebih kecil dari 0,3 m nilai tegangan maksimum tidak berubah drastis.

c. Model 3 *hatch cover* 5 pembagian memanjang.

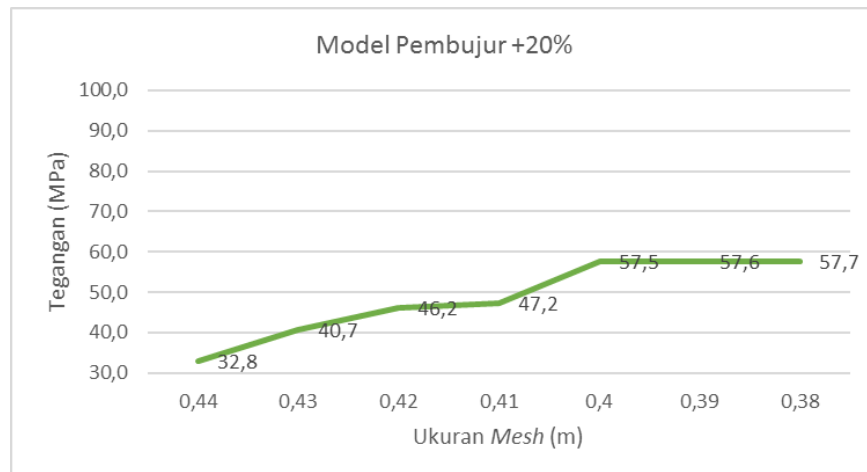


Gambar III. 18. Konvergensi Model 3

Hasil uji coba konvergensi ditunjukkan Gambar III. 18. Uji coba konvergensi dilakukan dari elemen 0,4 m sampai 0,35 m. Dari hasil uji coba ukuran *mesh* yang diambil untuk pemodelan adalah 0,37 m karena pada titik ini tegangan sudah konstan.

B. Konvergensi model akibat perubahan modulus pembujur & pelintang hatch cover

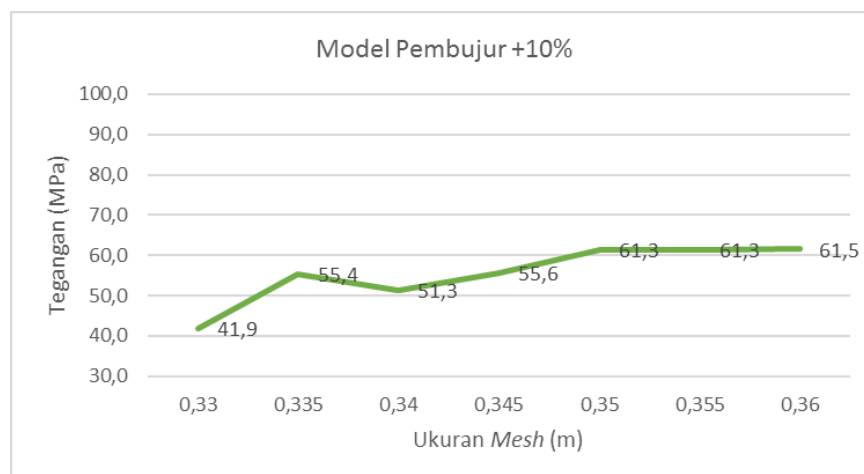
a. Model penambahan 20% modulus pembujur



Gambar III. 19. Konvergensi Model Penambahan 20% Pembujur

Berdasarkan Gambar III. 19 model konvergen pada ukuran *meshing* 0,4 m. Ukuran *mesh* dipilih 0,4 m karena pada ukuran elemen 0,4 m tegangan sudah konstan.

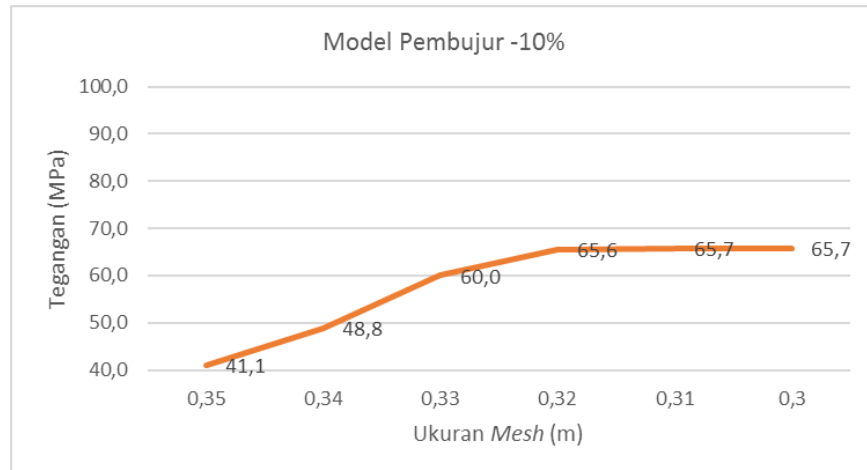
b. Model penambahan 10% modulus pembujur



Gambar III. 20. Konvergensi Model Penambahan 10% Pembujur

Gambar III. 20 menunjukkan hasil uji coba konvergensi. Nilai tegangan pada model berubah ubah dari 41,9 MPa hingga 61,5 MPa. Nilai tegangan mulai konstan pada 61,3 MPa dengan ukuran *mesh* 0,35 m.

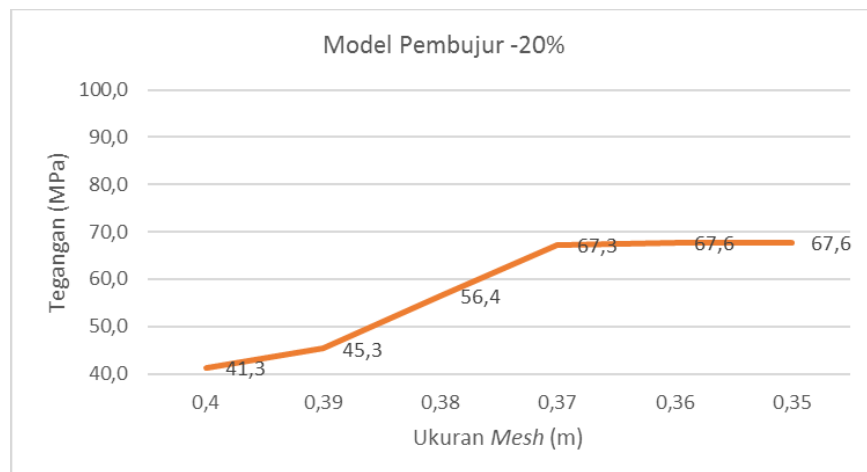
c. Model pengurangan 10% modulus pembujur



Gambar III. 21. Konvergensi Model Pengurangan 10% Pembujur

Gambar III. 21 menunjukkan hasil uji coba konvergensi yang dilakukan dari ukuran elemen 0,35 m sampai 0,3 m. Nilai tegangan pada model berubah ubah dari 41,1 MPa hingga 65,6 MPa. Nilai tegangan mulai konstan pada 65,6 MPa dengan ukuran *mesh* 0,32 m. Jadi ukuran elemen yang digunakan untuk penelitian model akibat pengurangan 10% modulus pembujur adalah 0,32 m.

d. Model pengurangan 20% modulus pembujur

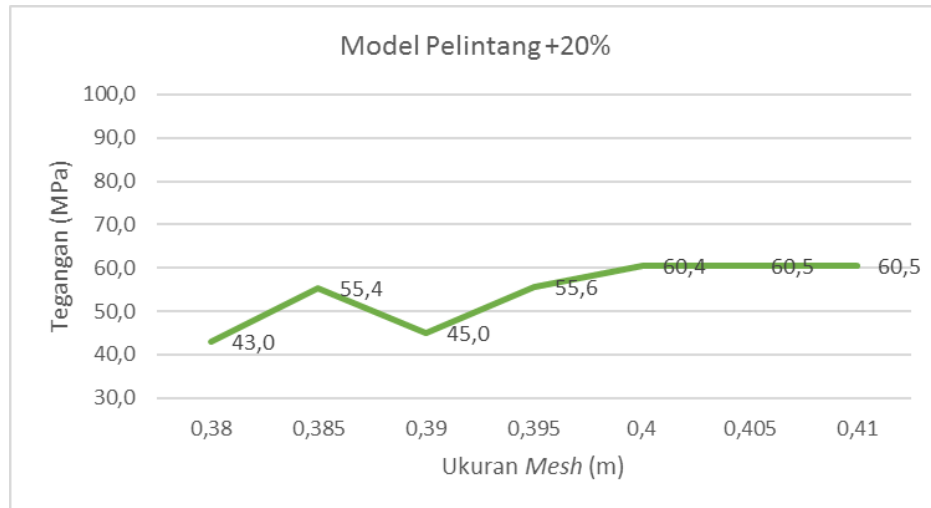


Gambar III. 22. Konvergensi Model Pengurangan 20% Pembujur

Hasil uji coba konvergensi ditunjukkan Gambar III. 22. Uji coba konvergensi akibat pengurangan 20% modulus pembujur dilakukan dari elemen 0,4 m sampai 0,35 m. Hasilnya nilai dari tiap ukuran mesh berbeda-beda dan cenderung naik. Dari hasil uji coba ukuran *mesh* yang diambil untuk pemodelan adalah 0,37 m karena pada titik ini tegangan sudah konstan.

e. Model penambahan 20% modulus pelintang

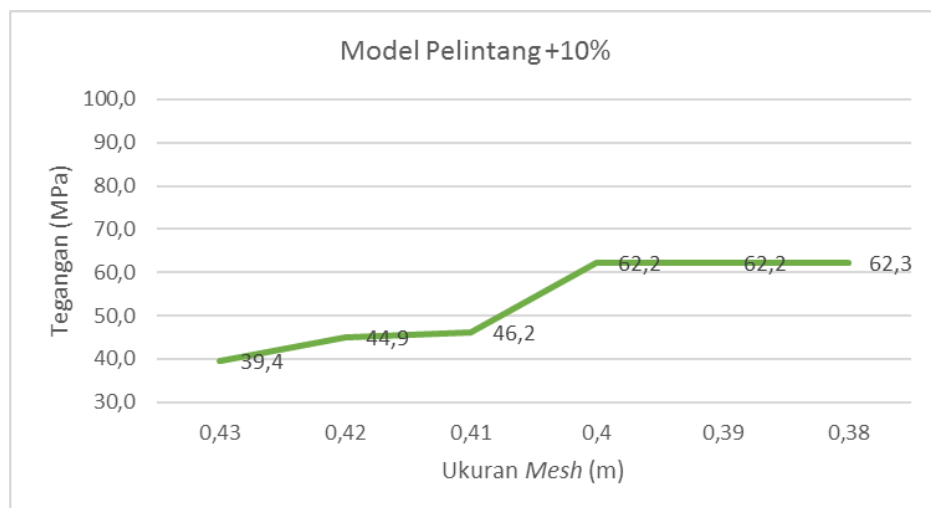
Hasil dari uji konvergensi model ditunjukkan Gambar III. 23. Uji coba konvergensi yang dilakukan dari ukuran elemen 0,35 m sampai 0,3 m. Hasilnya nilai tegangan berubah-ubah tiap ukuran elemen.



Gambar III. 23. Konvergensi Model Penambahan 20% Pelintang

Dari hasil uji konvergensi didapatkan ukuran *mesh* yang digunakan untuk pemodelan adalah 0,4 m. Alasan ukuran *meshing* untuk pemodelan diambil 0,4 karena nilai tegangan pada ukuran *mesh* 0,4 m mulai konstan.

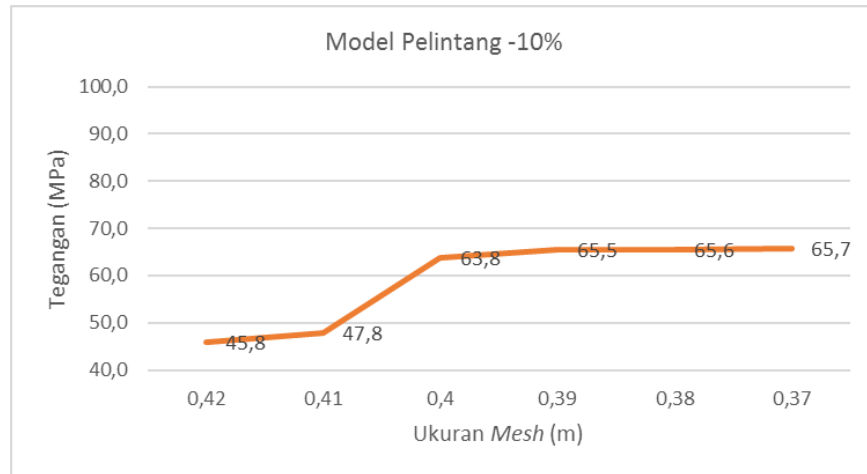
f. Model penambahan 10% modulus pelintang



Gambar III. 24. Konvergensi Model Penambahan 10% Pelintang

Gambar III. 24 menunjukkan hasil uji coba konvergensi. Nilai tegangan pada model berubah ubah dari 39 MPa hingga 62 MPa. Nilai tegangan mulai konstan pada 62,245 MPa dengan ukuran *mesh* 0,4 m.

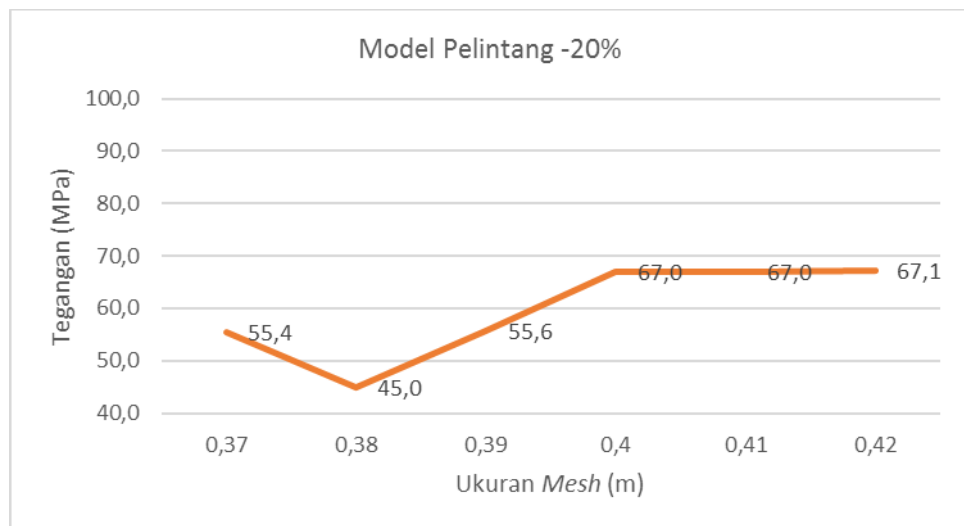
g. Model pengurangan 10% modulus pelintang



Gambar III. 25. Konvergensi Model Pengurangan 10% Pelintang

Hasil uji coba konvergensi ditunjukkan Gambar III. 25. Uji coba konvergensi akibat pengurangan 10% modulus pelintang dilakukan dari elemen 0,42 m sampai 0,37 m. Hasilnya nilai dari tiap ukuran mesh berbeda-beda dan cenderung naik. Dari hasil uji coba ukuran *mesh* yang diambil untuk pemodelan adalah 0,34 m karena pada titik ini tegangan sudah konstan.

h. Model pengurangan 20% modulus pelintang



Gambar III. 26. Konvergensi Model Pengurangan 20% Pelintang

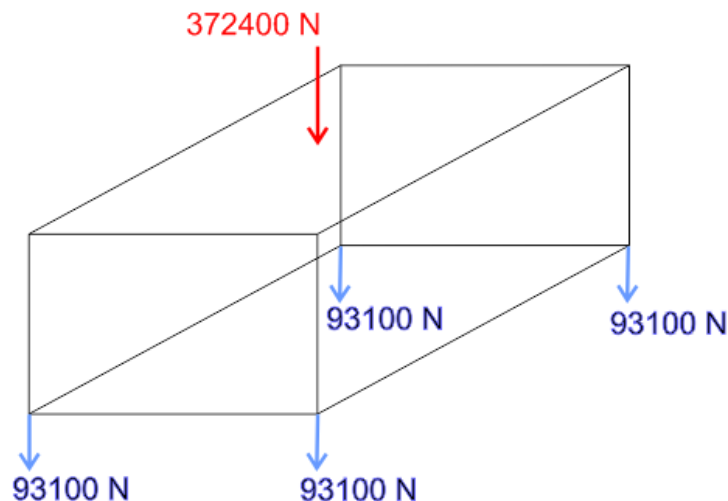
Gambar III. 26 menunjukkan hasil uji coba konvergensi yang dilakukan dari ukuran elemen 0,37 m sampai 0,42 m. Nilai tegangan pada model berubah ubah dari 55,39 MPa hingga 67,14 MPa. Nilai tegangan mulai konstan pada 66,99 MPa dengan

ukuran *mesh* 0,4 m. Jadi ukuran elemen yang digunakan untuk penelitian model akibat pengurangan 20% modulus pelintang adalah 0,4 m

III.2.9. Pembebanan

Pembebanan pada model sesuai dengan studi kasus yang digunakan. Jenis beban yang diaplikasikan adalah beban terpusat, yaitu beban statis pada kaki-kaki kontainer. Besarnya beban ini dipengaruhi oleh jenis berat kontainer dan tier kontainer yang diletakkan pada *hatch cover*. Penentuan besarnya beban muatan yang diaplikasikan didapat pada “*Cargo Securing Manual Container 100 TEUS*” yang terdapat pada Lampiran E. Dalam “*Cargo Securing Manual Container 100 TEUS*” menjelaskan bahwa pengikatan umum kontainer menggunakan BAY 13 dimana *hatch cover* mengangkut maksimum 3 tier kontainer dengan beban maksimum 38 ton.

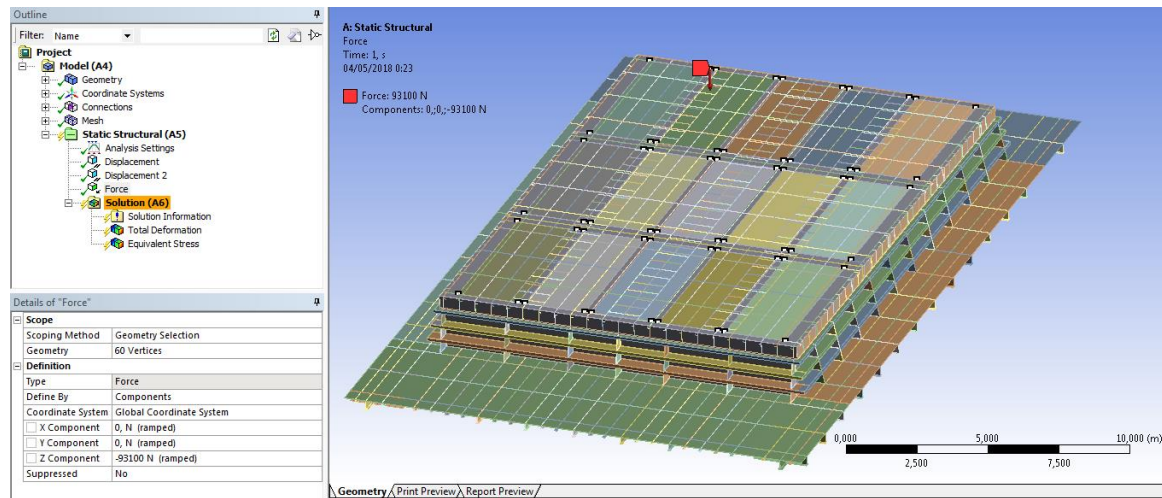
Untuk mendapatkan beban, satuan harus berupa gaya. Massa harus dijadikan gaya dengan menggunakan persamaan II.2. Dari persamaan didapatkan gaya berat sebesar 372400N untuk 3 tier. Karena container mempunyai kaki-kaki yang menumpu maka gaya harus disebarakan pada kaki-kaki yang menumpu kontainer. Kaki pada kontainer berjumlah 4 jadi gaya berat sebesar 372400N disebarakan pada 4 kaki kontainer, 1 kaki pada kontainer mendapatkan beban 93100 N. Ilustrasi peyebaran beban dapat dilihat pada Gambar III. 27.



Gambar III. 27. Ilustrasi Penyebaran Beban pada Kaki Kontainer

Setelah mengetahui besarnya beban, langkah berikutnya adalah input beban pada model *finite element method*. Dalam input nilai beban terpusat harus dipilih titik dimana titik itu sama dengan letak kaki kontainer. Dari pemodelan arah gaya berat menuju ke arah sumbu -z. Langkah untuk menginput beban adalah *Model > Static Structural > Insert Force >*

Choose *Point Force* > *Insert Force Value*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar III. 28.



Gambar III. 28. Input Beban pada Aplikasi *Finite Element Method*

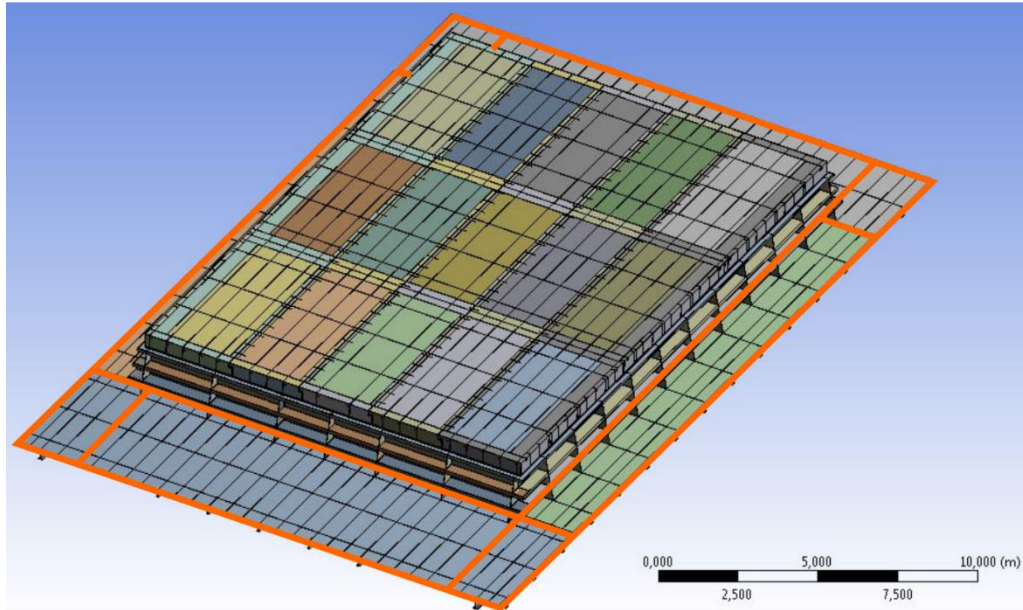
III.2.10. Kondisi Batas

Dalam melakukan analisis diperlukan adanya pemberian kondisi batas berupa tumpuan. Apabila tidak ada kondisi batas maka analisis tidak dapat berjalan dengan benar dan hasilnya tidak akan valid. Pengambilan asumsi kondisi batas dalam perhitungan elemen hingga harus diatur sedemikian rupa sehingga semirip mungkin dengan kondisi nyata. Sehingga model struktur bisa mewakili kondisi nyata yang terjadi. Pemberian kondisi batas terdapat pada *Model* > *Static Structural* > *Insert Displacement* > *Choose Area Displacement* > *Insert Displacement to 0*. Tumpuan yang diberikan berupa pin, dimana bagian yang diberi tumpuan tidak terjadi pergeseran ke sumbu x, y, z namun tetap terjadi rotasi sehingga masih ada reaksi. Inputan untuk kondisi batas dapat dilihat pada Tabel III. 5.

Tabel III. 5. Kondisi Batas

Axis	Displacement	Rotation
X	0	Free
Y	0	Free
Z	0	Free

Bagian-bagian yang diberikan tumpuan yaitu ujung ujung *deck* dan bagian *deck* yang dilas dengan sekat. Ini dilakukan karena pemodelan geometri untuk analisis dilakukan hanya bagian *deck* sampai *hatch cover*. Untuk lebih jelasnya kondisi batas ditunjukkan garis *orange* pada Gambar III. 29.



Gambar III. 29. Kondisi Batas pada Pemodelan

III.2.11. Penyelesaian (*Solving*)

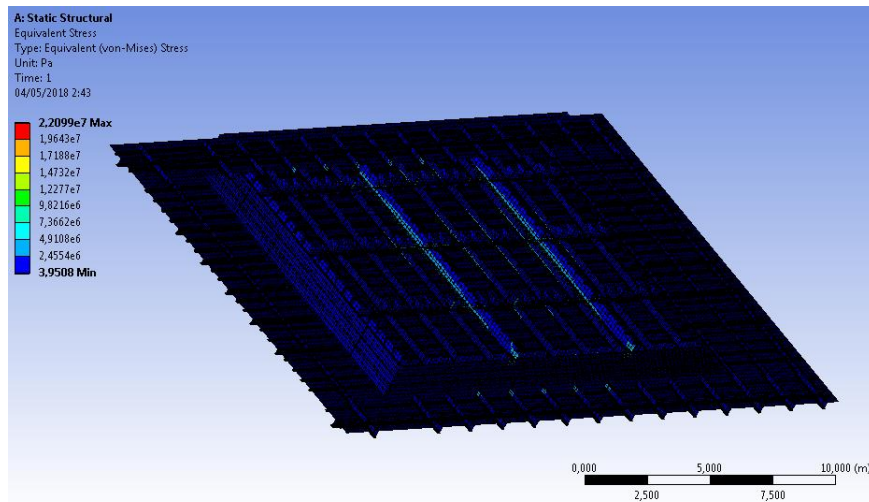
Pada tahap ini, *software* mulai melakukan literasi persamaan dalam menyelesaikan masalah pembebanan pada model. Dari proses ini akan keluar hasil yang di inginkan. Dalam penelitian ini hasil yang di inginkan berupa tegangan, deformasi dan berat konstruksi. Setelah mendapatkan hasil barulah dapat dilakukan analisis. Untuk mendapatkan hasil penyelesaian masalah (tegangan dan deformasi) yang di inginkan pada *software finite element method* harus diset terlebih dahulu. Penyelesaian masalah pada *software* ini dapat dilakukan dengan perintah pada *Model > Solution > Insert Total Deformation & Equivalent Stress > Solve*. Berat konstruksi dapat dicari melalui *software CAD* dengan cara melihat *volume* ruang dari model. Setelah diketahui *volume* dari model, *volume* dikalikan massa jenis baja untuk mendapatkan massa dari konstruksi model. Untuk memunculkan *volume* konstruksi dapat dilakukan dengan perintah *Block All > Volume*.

III.2.12. Hasil Analisis

Setelah proses *solving* selesai, maka proses berikutnya adalah menampilkan hasil dari proses *solving*. Hasil dari pembacaan *solving* akan digunakan untuk analisis hasil pada BAB IV. Hasil yang diperlukan dalam penelitian ini adalah nilai tegangan, deformasi, dan berat konstruksi.

a. Tegangan (*Stress*)

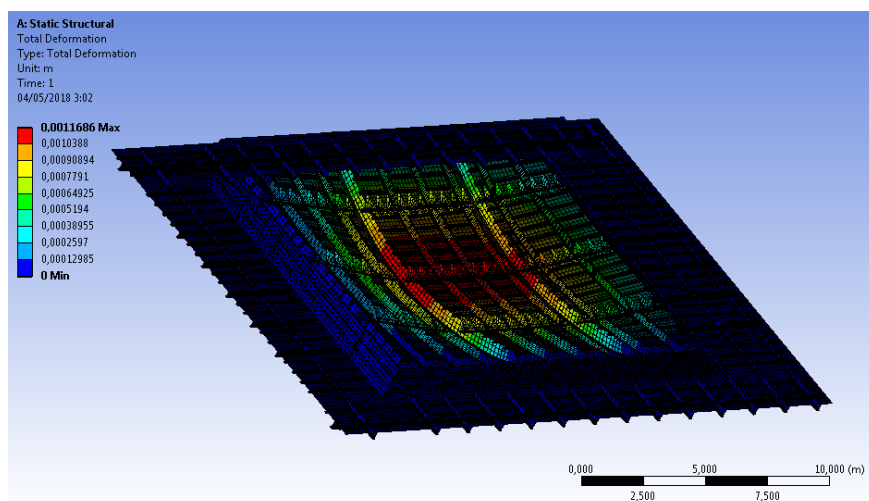
Tegangan akibat beban yang ditimbulkan akibat beban kontainer dapat ditampilkan dengan cara *Model > Solution > Equivalent Stress*. Hasil dari nilai tegangan dapat dilihat pada Gambar III. 30.



Gambar III. 30. Contoh Hasil *Stress*

b. Deformasi

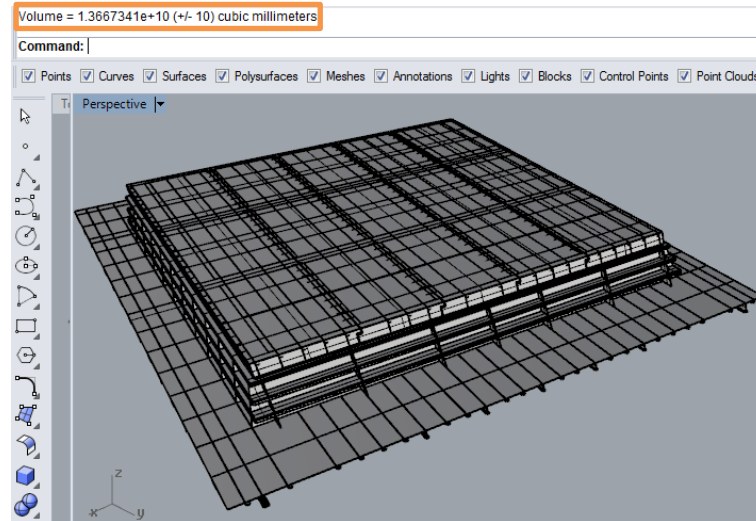
Menampilkan persebaran deformasi pada penelitian ini digunakan untuk melihat bagaimana respon model yang terjadi ketika diberikan pembebanan dan kondisi batas. Apabila model sudah sesuai maka deformasi maksimum terjadi pada tengah konstruksi atau bagian yang tidak ditumpu. Deformasi akibat beban yang ditimbulkan akibat beban kontainer dapat ditampilkan dengan cara *Model > Solution > Total Deformation*. Hasil dari nilai deformasi maksimum dapat dilihat pada Gambar III. 31.



Gambar III. 31. Contoh Hasil Deformasi

c. Berat Konstruksi

Dalam analisis ini juga diperlukan data berat konstruksi pada setiap variasi. Berat konstruksi akan menunjukkan seberapa besar pengaruh perubahan jenis konstruksi *hatch cover* tiap pemodelan. Setelah *volume* didapat, *volume* dikalikan massa jenis baja sebesar $7,85 \text{ ton/m}^3$.



Gambar III. 32. *Volume dari Software CAD*

Dari Gambar III. 32 dapat diketahui *volume* model adalah $13,667 \text{ m}^3$, jadi berat model adalah $13,667 \times 7,85 = 107,285 \text{ ton}$

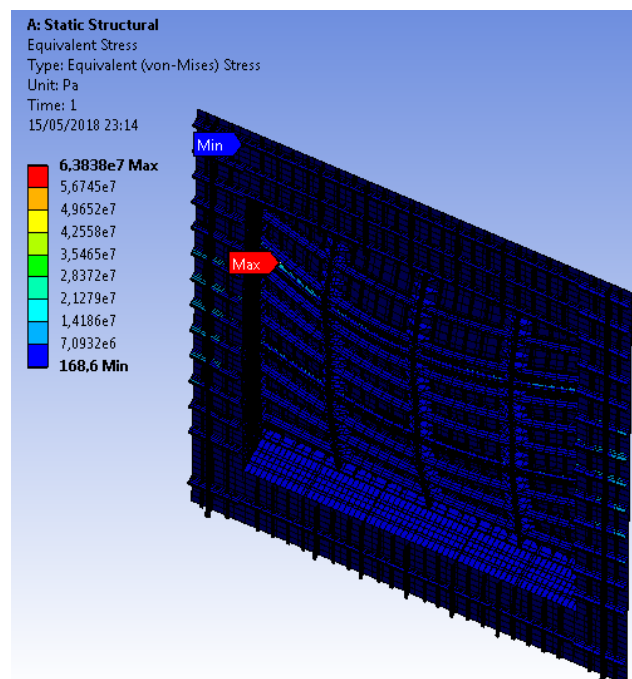
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1. Hasil *Running* Pembagian Efektif *Hatch Cover*

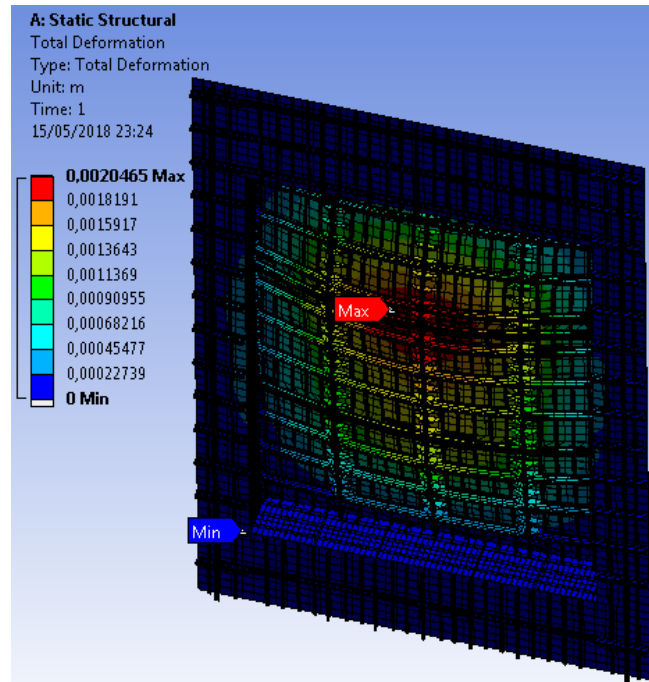
Menampilkan data hasil *running* dari 3 model merupakan langkah awal untuk menentukan model efektif. Setelah melakukan tahap-tahap yang telah dijelaskan pada BAB III maka pertama akan didapatkan hasil berupa ukuran *mesh* model yang konvergen. Ukuran *meshing* yang konvergen bisa langsung digunakan sebagai acuan untuk mencari tegangan, deformasi dan berat konstruksi dari model karena beban yang digunakan merupakan beban asli sesuai data.

IV.1.1. Variasi Model 1- *Hatch Cover* 3 Pembagian Melintang



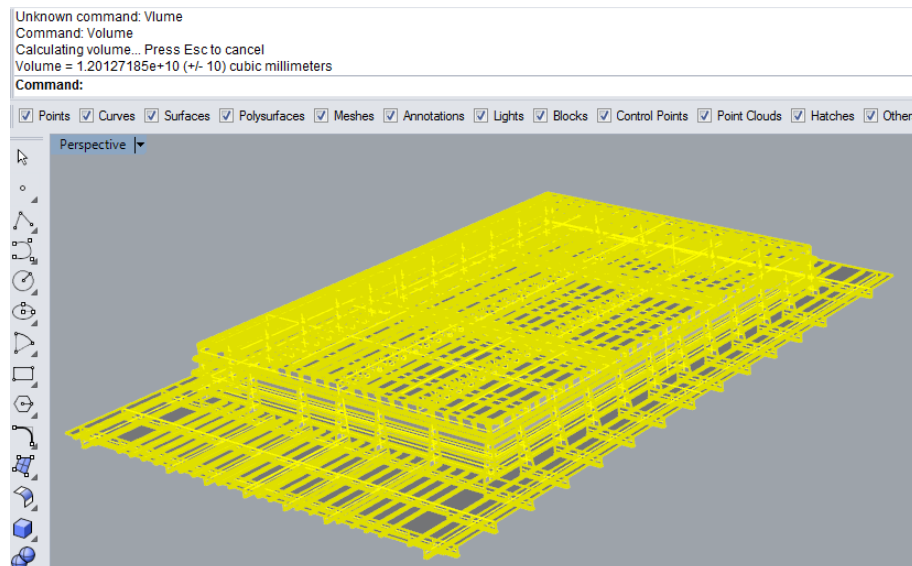
Gambar IV. 1. Tegangan pada Model 1

Pada Gambar IV. 1 dapat dilihat tegangan *von mises* maksimal yang terjadi sebesar 63,838 MPa. Tegangan terbesar terjadi pada *bracket* pada konstruksi pembagian *hatch cover*. Tegangan minimum terjadi pada salah satu *node* yang dianggap kondisi batas dimana nilai *displacement* 0.



Gambar IV. 2. Deformasi pada Model 1

Pada Gambar IV. 2 dapat dilihat deformasi maksimal yang terjadi pada model 1 sebesar 2,047 mm. Deformasi maksimal yang terjadi ditunjukkan warna merah sedangkan deformasi minimal ditunjukkan warna biru tua. Deformasi maksimal terjadi di pembagian antara HC 3 dan HC 2 karena beban yang ditumpu berada area pembagian *hatch cover*.



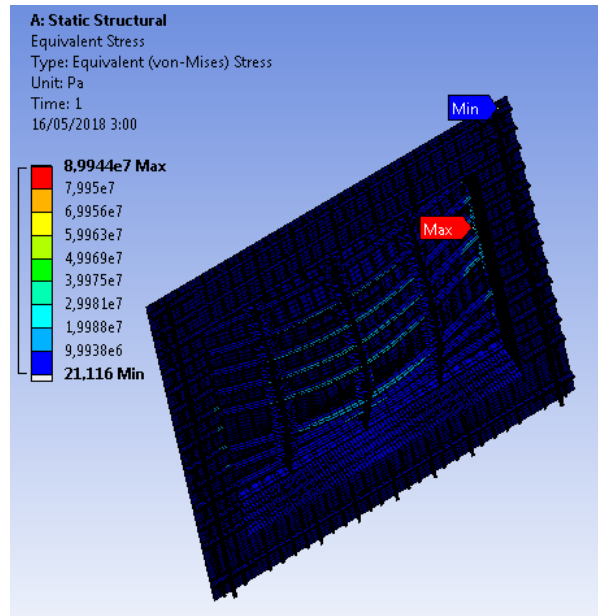
Gambar IV. 3. Volume Konstruksi Model 1

Berdasarkan Gambar IV. 3 *volume* konstruksi model 1 adalah 12,013 m³. Volume konstruksi model 1 dikalikan dengan massa jenis baja yaitu 7,85 ton/m³.

Berat konstruksi = 12,013 x 7,85 = 94,3 ton

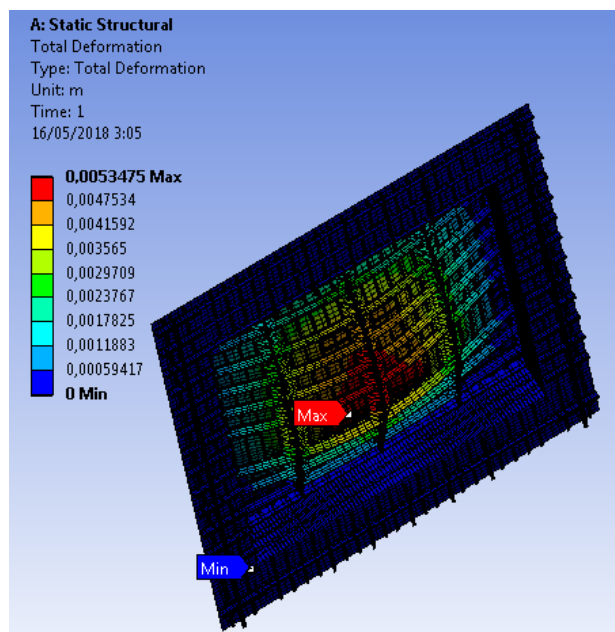
IV.1.2. Variasi Model 2 - *Hatch Cover* Tanpa Pembagian

Hasil tegangan dan deformasi pada model 2 dapat dilihat pada Gambar IV. 4 dan Gambar IV. 5, sedangkan berat konstruksi dihitung berdasarkan Gambar IV. 6.



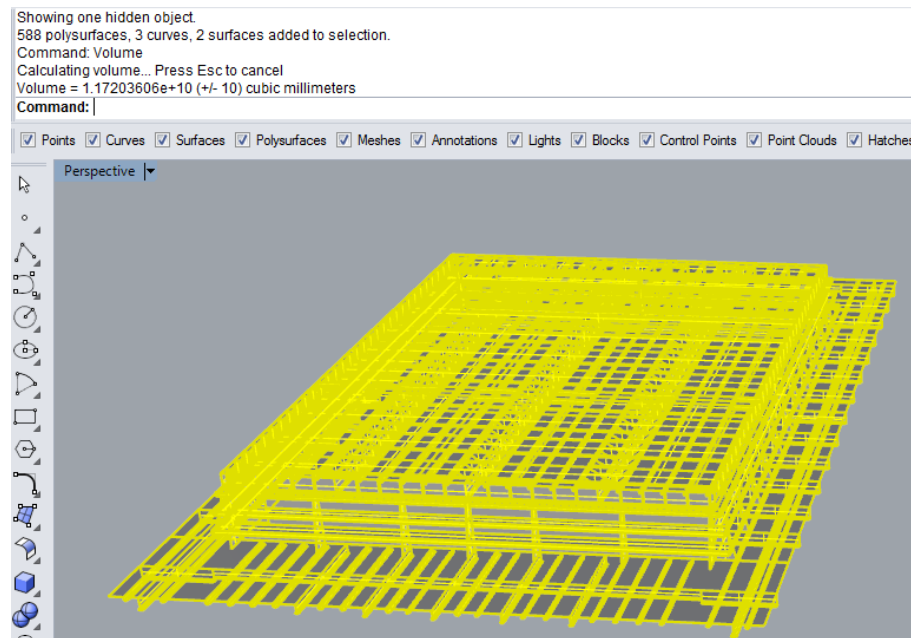
Gambar IV. 4. Tegangan pada Model 2

Pada Gambar IV. 4 tegangan terbesar terjadi pada bracket dekat penumpu (*girder*) *hatch cover* dengan tegangan *von mises* maksimal yang terjadi sebesar 89,994 MPa.



Gambar IV. 5. Deformasi pada Model 2

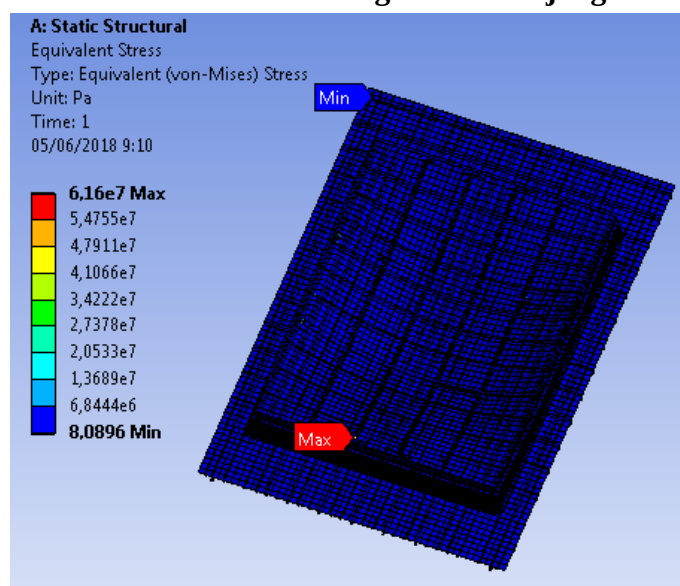
Pada Gambar IV. 5 dapat dilihat deformasi maksimal yang terjadi pada model 2 sebesar 5,348 mm. Model 2 tidak mempunyai pembagian jadi deformasi terbesar terjadi di tengah model.



Gambar IV. 6. Volume Konstruksi Model 2

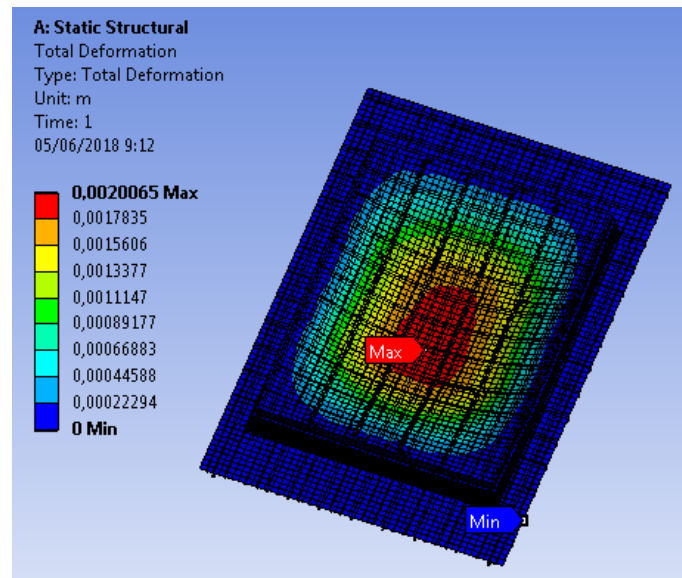
Berdasarkan Gambar IV. 6 *volume* konstruksi model 2 adalah 11,720 m³. Untuk mendapatkan berat konstruksi, volume model 2 dikalikan massa jenis baja yaitu 7,85 ton/m³. Berat konstruksi = 11,720 x 7,85 = 92,004 ton.

IV.1.3. Variasi Model 3- *Hatch Cover* 5 Pembagian Memanjang



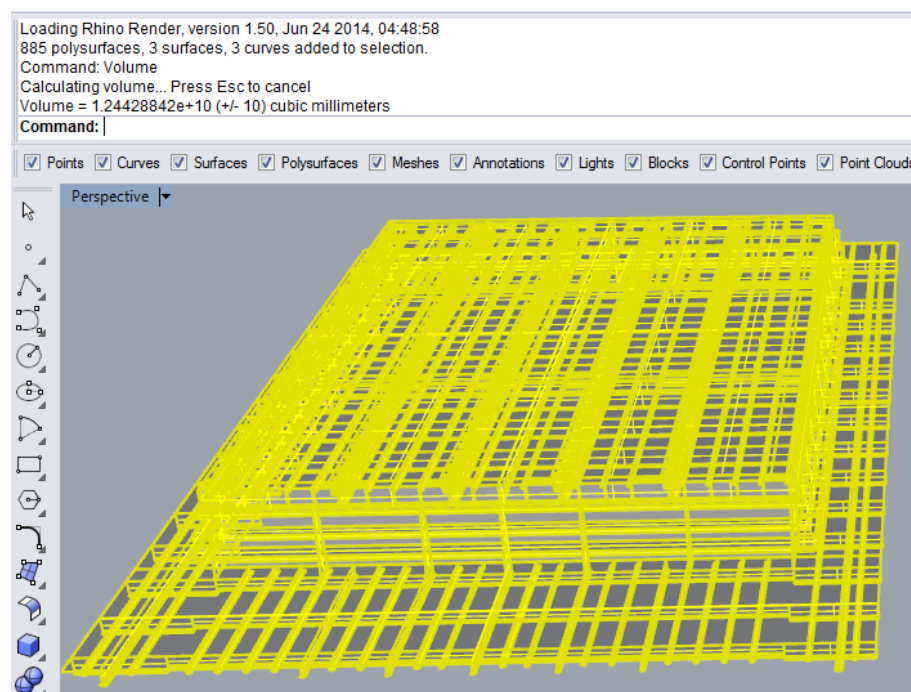
Gambar IV. 7. Tegangan pada Model 3

Berdasarkan Gambar IV. 7 dapat dilihat tegangan *von mises* maksimal yang terjadi sebesar 61,6 MPa. Tegangan terbesar terjadi pada *bracket* pada konstruksi pembagian *hatch cover*.



Gambar IV. 8. Deformasi pada Model 3

Selain tegangan *von mises*, deformasi maksimal dapat dilihat pada Gambar IV. 8. Deformasi maksimal yang terjadi pada model 3 sebesar 2,007 mm. Deformasi maksimal terjadi pada area berwarna merah.

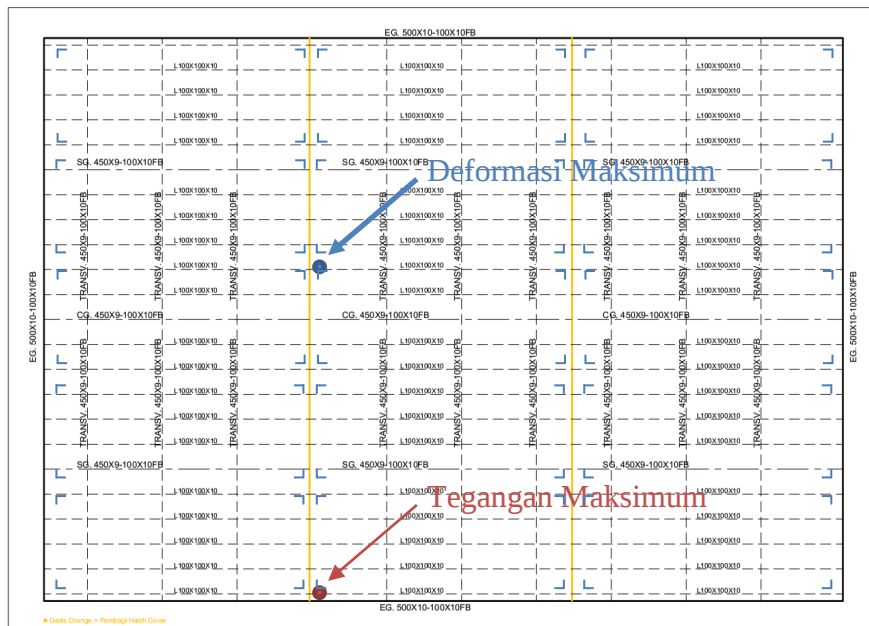


Gambar IV. 9. Volume Konstruksi Model 3

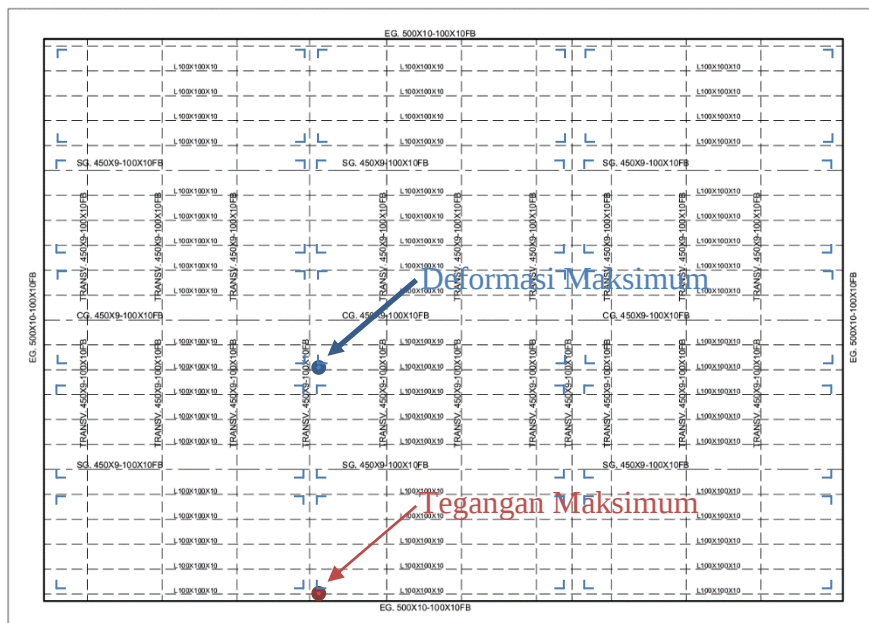
Berdasarkan Gambar IV. 9 *volume* konstruksi model 3 adalah 12,443 m³. Untuk mendapatkan berat konstruksi, volume model 3 dikalikan massa jenis baja yaitu 7,85 ton/m³. Berat konstruksi = 12,443 x 7,85 = 97,676 ton.

IV.2. Rekapitulasi Running

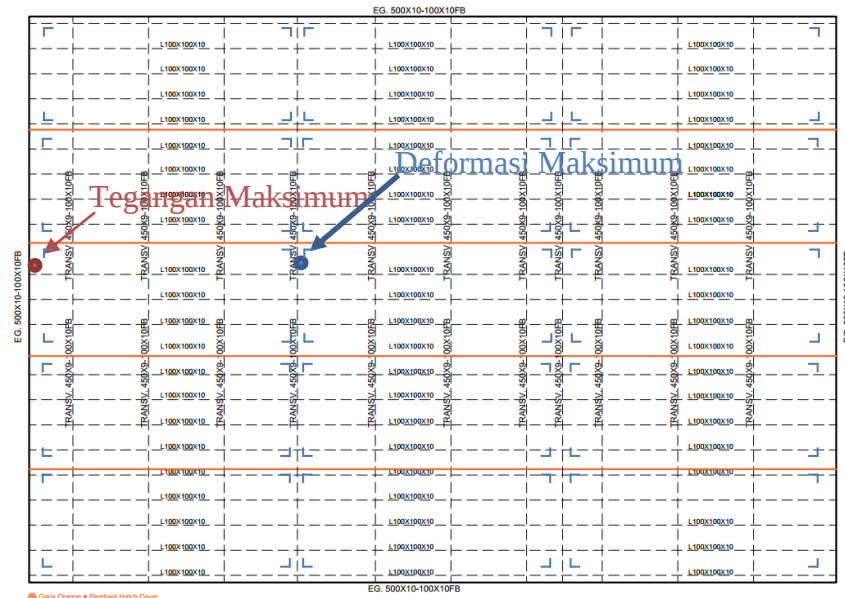
Rekapitulasi dilakukan untuk mencari model yang efektif yang ditinjau dari beberapa kategori. Kategori yang digunakan adalah tegangan, deformasi dan berat konstruksi.



Gambar IV. 10. Letak Tegangan & Deformasi Maksimum Model 1



Gambar IV. 11. Letak Tegangan & Deformasi Maksimum Model 2



Gambar IV. 12. Letak Tegangan & Deformasi Maksimum Model 3

IV.2.1. Tegangan Maksimum

Berdasarkan Gambar IV. 10 sampai Gambar IV. 12 tegangan maksimum terjadi pada *bracket* sekitar ujung *hatch cover* bukan pada titik tengah *hatch cover*. Hal ini dikarenakan *bracket* merupakan konstruksi pendukung yang ukurannya tidak terlalu besar namun harus menopang beban dari gaya terpusat dari kaki-kaki kontainer. Penyebab lainnya adalah terbatasnya gerak dari *bracket* pada bagian ujung *hatch cover* dibandingkan *bracket* bagian tengah yang lebih bebas bergerak ke arah sumbu y negatif apabila menerima beban.

Dari data hasil akan dibandingkan tegangan maksimum antar model terhadap tegangan ijin. Analisis dilakukan pada tegangan maksimum karena tegangan ini dianggap yang paling berpengaruh terhadap penentuan apakah konstruksi memenuhi aturan atau tidak. Nilai tegangan harus dibandingkan dengan harga tegangan yang diijinkan oleh regulasi. Berdasarkan persamaan II.9 nilai tegangan yang diperbolehkan yaitu 188 N/mm^2 . Hasil analisis tegangan dapat dilihat pada Tabel IV. 1.

Tabel IV. 1. Tegangan pada Model

Model	Model	σ_{Max} (MPa)	σ_v (MPa)	Syarat $\sigma_{\text{Max}} < \sigma_v$
1	<i>Hatch Cover</i> 3 Pembagian Melintang	63,838	188	Memenuhi
2	<i>Hatch Cover</i> Tanpa Pembagian	89,994	188	Memenuhi
3	<i>Hatch Cover</i> 5 Pembagian Memanjang	61,6	188	Memenuhi

Berdasarkan Tabel IV. 1 ketiga model memenuhi tegangan ijin. Nilai tegangan model antara model 1 sampai 3 yang paling efektif adalah model 3 dengan besar tegangan 61,6 MPa. Model 3 dapat dikatakan paling efektif karena memiliki nilai tegangan yang paling kecil diantara ketiga model. Pembebanan yang dilakukan pada ketiga model dibatasi hanya dari beban tegak lurus ke arah sumbu y negatif dari kontainer tidak ditinjau dari beban-beban seperti beban kontainer akibat *rolling kapal* dan *buckling* ataupun beban lainnya. Selain itu dari segi konstruksi model 3 mempunyai ukuran pelintang yang sama dengan model lainnya walaupun *hatch cover* dibagi, sehingga dengan beban yang sama konstruksi pada model 3 lebih kuat dibanding model lainnya.

IV.2.2. Deformasi Maksimum

Berdasarkan Gambar IV. 10 sampai Gambar IV. 12 deformasi terbesar terdapat di titik yang sama. Model 1 deformasi terbesar terletak diantara konstruksi antara HC 2 dan HC 3, sedangkan model 2 dan 3 terdapat diantara konstruksi melintang pengganti. Deformasi terbesar disebabkan karena model beban dari kaki kontainer berada tepat di sekitar pembagian konstruksi. Selain itu, jarak dari pembujur terbesar berada di sekitar konstruksi antara HC 2 dan HC 3 maupun konstruksi melintang pengganti.

Nilai deformasi minimum harus disesuaikan dengan *rule*. Berdasarkan persamaan II.10 nilai deformasi yang diijinkan tidak boleh melebihi $11,032 \text{ mm}^2$. Hasil analisis tegangan dapat dilihat pada Tabel IV. 2.

Tabel IV. 2. Deformasi pada Model

Model	Model	Defomasi _{Max} (mm)	ℓg (mm)	f (mm)	Syarat Deformasi _{Max} < f
1	<i>Hatch Cover</i> 3 Pembagian Melintang	2,047	1970	11,032	Memenuhi
2	<i>Hatch Cover</i> Tanpa Pembagian	5,348	1970	11,032	Memenuhi
3	<i>Hatch Cover</i> 5 Pembagian Memanjang	2,007	1970	11,032	Memenuhi

Berdasarkan Tabel IV. 2 semua model memenuhi persyaratan deformasi untuk *hatch cover* dari BKI. Apabila dilihat dari hasil deformasi maksimal antara model 1, 2 dan 3 yang paling efektif adalah model 3 dengan nilai deformasi 2,007 mm. Model 3 mempunyai mempunyai ukuran pelintang yang sama dengan model lainnya walaupun *hatch cover* dibagi, sehingga dengan beban yang sama konstruksi pada model 3 lebih kuat dibanding model lainnya. Model 1 mempunyai deformasi maksimum yang nilainya tidak jauh berbeda dengan model 3, hal ini dikarenakan adanya konstruksi pembagian sehingga seolah-olah ada dua

tumpuan yang menumpu 2 beban berbeda. Hal ini berkebalikan dengan model 2 dimana hanya ada 1 konstruksi yang menumpu untuk 2 beban berbeda.

IV.2.3. Berat Konstruksi

Rekapitulasi berat konstruksi pada 3 model ditunjukkan pada Tabel IV.3. Data berat konstruksi diambil berdasarkan perhitungan pada Sub-Bab IV.1.

Tabel IV. 3. Berat Konstruksi Model

Model	Model	Berat Konstruksi (ton)
1	<i>Hatch Cover</i> 3 Pembagian Melintang	94,3
2	<i>Hatch Cover</i> Tanpa Pembagian	92,004
3	<i>Hatch Cover</i> 5 Pembagian Memanjang	97,676

Berdasarkan Tabel IV. 2 selisih berat antar model hanya sedikit, namun model 2 yang mempunyai berat konstruksi yang paling kecil dan model 3 yang mempunyai berat paling besar. Apabila dilihat dari hasil tegangan dan deformasi, hasil berat konstruksi model berbanding terbalik.

IV.3. Pembahasan Model Optimal

Model optimal pembagian *hatch cover* diambil dari hasil uji coba antara model 1 sampai model 3. Pengambilan model optimal didasarkan pada hasil tegangan maksimum, deformasi maksimum, berat maksimum dan faktor lainnya. Apabila dilihat dari segi tegangan dan deformasi model 3 mempunyai tegangan yang paling kecil, namun mempunyai selisih tipis dengan model 1. Umumnya *owner* mempertimbangkan pemilihan model dengan harga terendah namun kualitas harus tetap bagus, sehingga berat konstruksi dihitung yang nantinya akan berpengaruh pada biaya. Model yang mempunyai berat yang paling ringan adalah model 2 namun nilai *stress* dan deformasi lebih besar dibanding model 1 dan model 3. Selain itu model 2 adalah model *hatch cover* utuh dimana dalam bongkar muatnya *hatch cover* utuh memakan ruang yang lebih besar dan membutuhkan *crane* kapasitas tinggi untuk mengangkat *hatch cover*. Model 1 dan model 3 merupakan model pembagian sehingga dapat menghemat ruang dengan cara menumpuk antar *hatch cover* dan bisa menggunakan *crane* kapasitas biasa. Dari penjelasan tersebut dapat diambil kesimpulan model 1 adalah model pembagian yang paling optimal dimana nilai *stress* dan deformasi paling rendah dengan berat konstruksi yang tidak terlalu berat dibanding model lainnya. Model 1 juga merupakan model dengan pembagian sehingga mempermudah dalam bongkar muat.

IV.4. Hasil *Running Model* Konstruksi Efektif

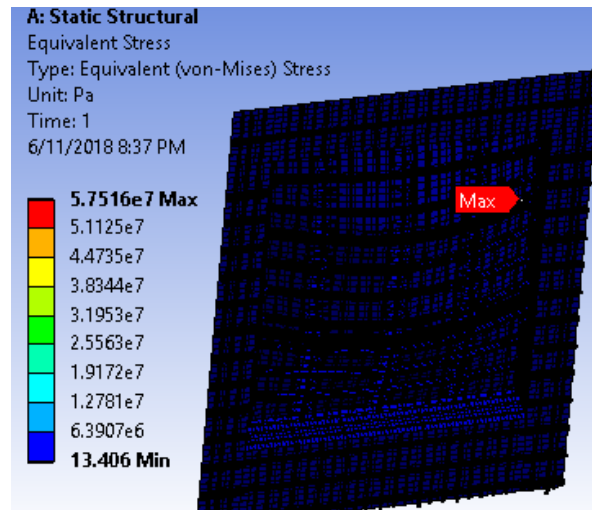
Pengujuian efektifitas pembujur dan pelintang diuji dengan model *hatch cover* sesuai data. Pengujian dilakukan dengan meninjau tegangan *von mises* model akibat perubahan modulus dari pelintang dan pembujur sesuai Tabel IV. 4.

Tabel IV. 4. Tabel Perubahan Profil

Konstruksi	Awal	Perubahan Modulus	Perubahan
Pembujur	L 100x100x10	+20%	L 100x100x12
		+10%	L 100x100x11
		-10%	L 100x9+90x10
		-20%	L 100x8+100x9
Penumpu melintang	T 450x9 + 100x10	+20%	T 450x11 + 100x11
		+10%	T 450x10 + 100x11
		-10%	T 450x8 + 125x8
		-20%	T 450x8 + 125x7

IV.4.1. Penambahan 20% Modulus Pembujur

Akibat penambahan 20% modulus pada pembujur, ukuran profil pembujur dari ukuran L 100x100x10 berubah menjadi L 100x100x12. Hasil perubahan tegangan maksimum model ditunjukkan pada Gambar IV. 13.

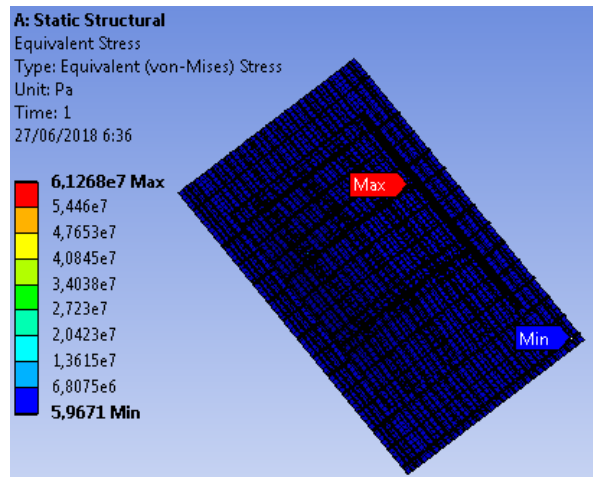


Gambar IV. 13. Penambahan 20% Modulus Pembujur

Tegangan maksimum *hatch cover* berkurang -9,903%, dari 63,838 MPa menjadi 57,516 MPa. Tegangan maksimum terjadi pada konstruksi pembagian *hatch cover*.

IV.4.2. Penambahan 10% Modulus Pembujur

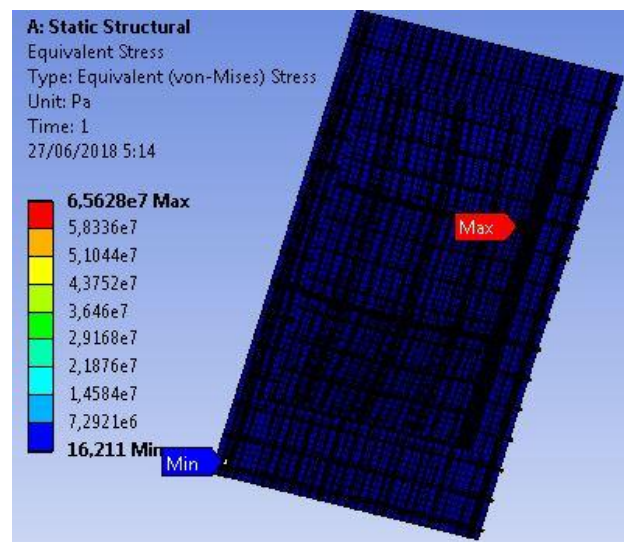
Penambahan modulus pembujur 10% menyebabkan profil L 100x100x10 menjadi L 100x100x11. Hasil tegangan setelah penambahan 10% dapat dilihat pada Gambar IV. 18.



Gambar IV. 14. Penambahan 10% Modulus Pembujur

Akibat perubahan modulus pelintang, tegangan maksimal terjadi pada bagian konstruksi pembagian *hatch cover* seperti yang ditunjukkan Gambar IV. 18. Penambahan 10% pada melintang juga mengurangi tegangan maksimal sebesar -4,03% dari tegangan awal 63,838 MPa menjadi 61,268 MPa.

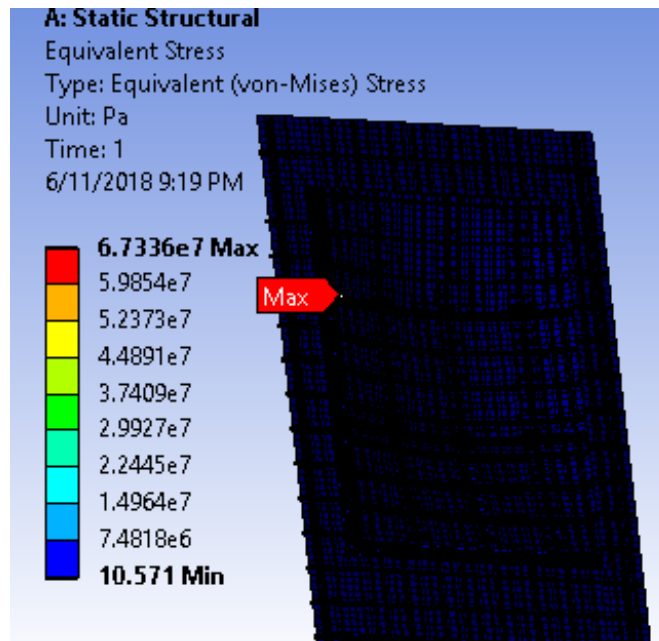
IV.4.3. Pengurangan 10% Modulus Pembujur



Gambar IV. 15. Pengurangan 10% Modulus Pembujur

Akibat modulus pembujur berubah, ukuran profil L juga berubah menjadi menjadi L 100x9+90x10. Berdasarkan Gambar IV. 15 akibat penambahan 10% modulus pembujur tegangan maksimum bertambah 2,8% dari 63,838 MPa berkurang menjadi 65,628 MPa.

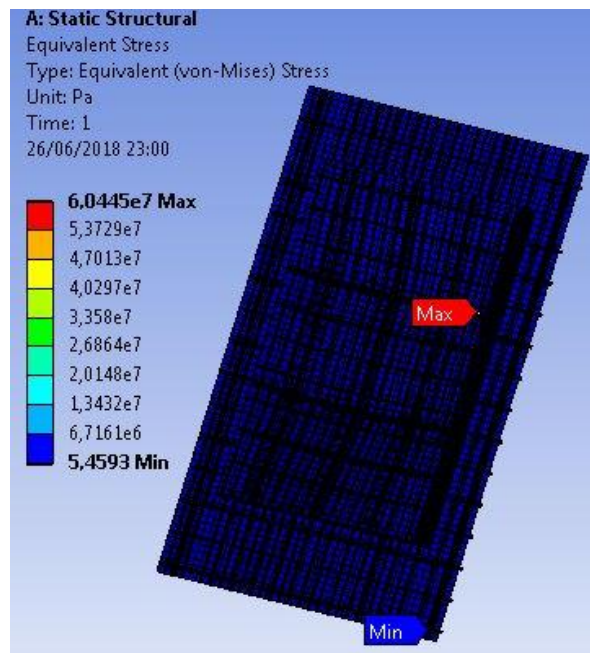
IV.4.4. Pengurangan 20% Modulus Pembujur



Gambar IV. 16. Pengurangan 20% Modulus Pembujur

Berdasarkan Gambar IV. 16 akibat pengurangan modulus pembujur sebesar 20% menyebabkan tegangan maksimum pada *hatch cover* bertambah 5,47% menjadi 67,336 MPa. Tegangan maksimum terjadi pada bracket konstruksi pembagian *hatch cover*.

IV.4.5. Penambahan 20% Modulus Pelintang

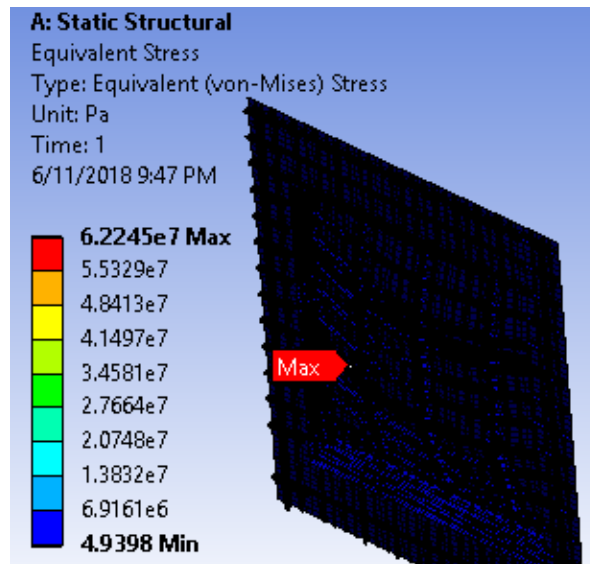


Gambar IV. 17. Penambahan 20% Modulus Pelintang

Berdasarkan Gambar IV. 17 akibat penambahan 20% modulus pelintang tegangan maksimum bertambah -5,31% dari 63,838 MPa berkurang menjadi 60,445 MPa.

IV.4.6. Penambahan 10% Modulus Pelintang

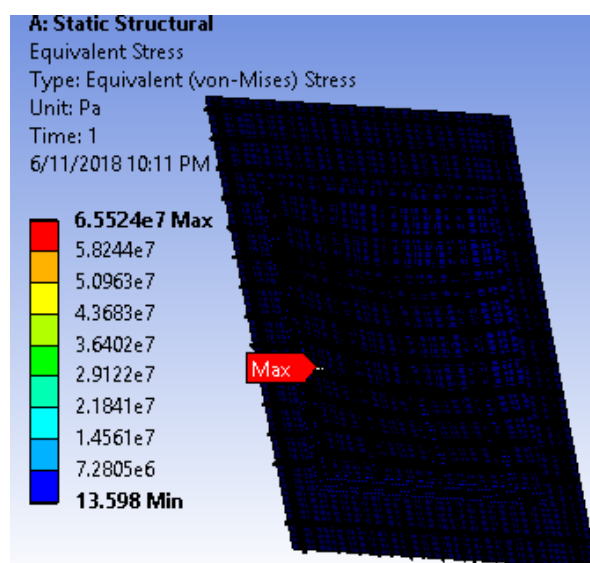
Penambahan modulus pelintang 10% menyebabkan profil T 450x9 + 100x10 berubah menjadi profil T 450x10 + 100x11. Hasil tegangan setelah penambahan 10% dapat dilihat pada Gambar IV. 18.



Gambar IV. 18. Penambahan 10% Modulus Pelintang

Akibat perubahan modulus pelintang, tegangan maksimal terjadi pada bagian konstruksi pembagian *hatch cover* seperti yang ditunjukkan Gambar IV. 18. Penambahan 10% mengurangi tegangan maksimal sebesar -2,51% dari tegangan awal 63,838 MPa menjadi 62,245 MPa.

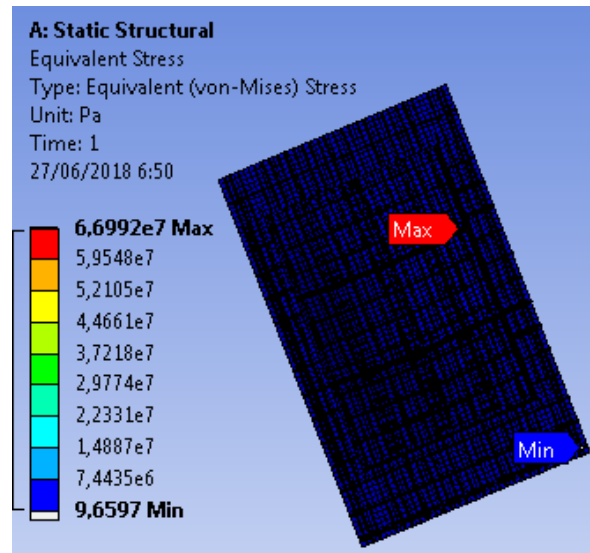
IV.4.7. Pengurangan 10% Modulus Pelintang



Gambar IV. 19. Pengurangan 10% Modulus Pelintang

Berdasarkan Gambar IV. 19 akibat pengurangan 10% modulus pelintang tegangan maksimum bertambah 2,64% dari 63,838 MPa bertambah menjadi 65,524 MPa.

IV.4.8. Pengurangan 20% Modulus Pelintang



Gambar IV. 20. Pengurangan 20% Modulus Pelintang

Berdasarkan Gambar IV. 20 akibat pengurangan 20% modulus pelintang tegangan maksimum bertambah 4,94% dari 63,838 MPa bertambah menjadi 66,992 MPa.

IV.5. Rekapitulasi *Running Model Konstruksi Efektif*

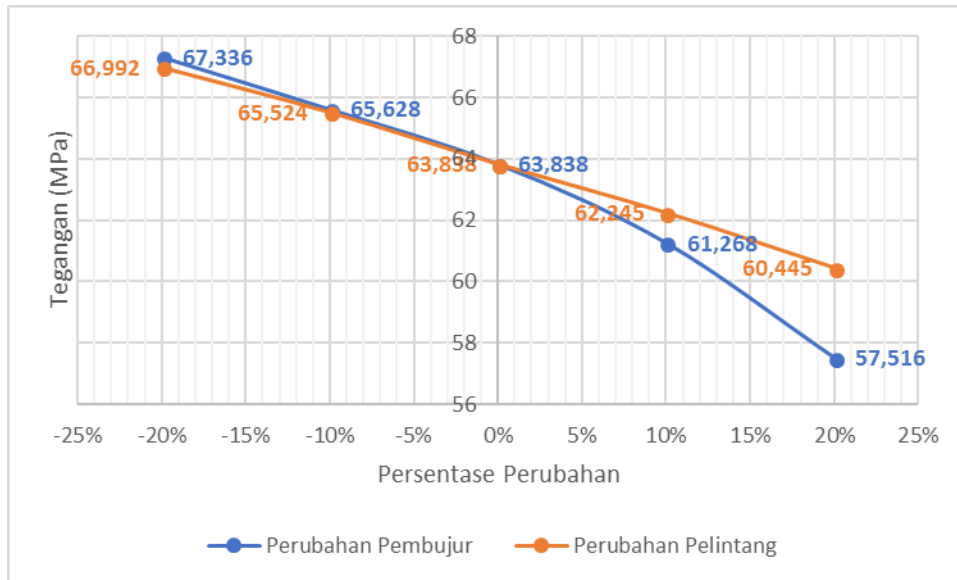
Dari hasil running 4 model dibandingkan dengan nilai tegangan dibandingkan dengan tegangan maksimum model data *hatch cover*.

Tabel IV. 5. Perubahan Nilai Tegangan

Konstruksi	Perubahan Modulus	Tegangan Setelah Perubahan Modulus (MPa)	Tegangan Awal (MPa)	Perubahan (%)
Pembujur	+20%	57,516	63,838	-9,903%
	+10%	61,268	63,838	-4,03%
	-10%	65,628	63,838	2,8%
	-20%	67,336	63,838	5,47%
Penumpu melintang	+20%	60,445	63,838	-5,31%
	+10%	62,245	63,838	-2,51%
	-10%	65,524	63,838	2,64%
	-20%	66,992	63,838	4,94%

Berdasarkan Tabel IV. 5 penambahan modulus pelintang hanya berpengaruh -5,31%, sedangkan penambahan modulus pembujur berpengaruh -9,903% terhadap pengurangan tegangan maksimum. Pengurangan modulus pembujur hanya berpengaruh 5,47%, sedangkan

pengurangan modulus pelintang berpengaruh 4,94% dari tegangan maksimum. Jadi dapat disimpulkan dari Tabel IV. 5 perubahan konstruksi pembujur berpengaruh paling signifikan terhadap tegangan maksimal. Nilai konstruksi signifikan juga bisa dilihat pada Gambar IV. 21.



Gambar IV. 21. Grafik Trendline Perbandingan Konstruksi

Penyebab dari konstruksi pembujur lebih berpengaruh daripada konstruksi melintang adalah pembebanan dari kontainer. Pembebanan kontainer pada *hatch cover* simetris sehingga tidak terjadi beban torsi yang terlalu signifikan. Sehingga konstruksi melintang tidak berpengaruh besar, sedangkan konstruksi berpengaruh besar.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan percobaan dan penelitian tentang pembagian dan konstruksi yang berbeda maka kesimpulan dari Tugas Akhir ini sebagai berikut:

1. Hasil *running* model didapatkan :
 - Model 1 (*hatch cover* 3 pembagian melintang) mempunyai tegangan *von mises* maksimal 63,838 MPa, deformasi maksimum 2,047 mm dan berat konstruksi 94,3 ton.
 - Model 2 (*hatch cover* tanpa pembagian) mempunyai tegangan *von mises* maksimal 89,994 MPa, deformasi maksimum 5,348 mm dan berat konstruksi 92,004 ton.
 - Model 3 (*hatch cover* 5 pembagian memanjang) mempunyai tegangan *von mises* maksimal 61,6 MPa, deformasi maksimum 2,007 mm dan berat konstruksi 97,676 ton.
2. Perubahan modulus penampang pembujur lebih efektif daripada perubahan modulus penampang pelintang terhadap kekuatan *hatch cover*.
3. Model 1 (*hatch cover* 3 pembagian melintang) adalah model yang optimal ditinjau dari segi tegangan, deformasi dan berat konstruksi. Keuntungan dari model 1 adalah partisi *hatch cover* dapat ditumpuk sehingga tidak memakan ruang dan tidak membutuhkan *crane* kapasitas besar untuk proses bongkar muat.

V.2. Saran

1. Penelitian selanjutnya pemilihan model perlu adanya justifikasi dalam hal keuangan, sehingga model yang dipilih dapat ditentukan dan layak dalam hal teknis maupun ekonomi.
2. Spesifikasi komputer yang lebih tinggi dibutuhkan untuk mempercepat proses *meshing* maupun *running software*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Bhavikatti, S.S. (2005). *Finite Element Analysis*. New Delhi: New Age International.
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2016). *Rules for The Classification and Construction Of Seagoing Steel Ships*. Indonesia: Biro Klasifikasi Indonesia.
- BRIGHTSEAS Ships Equipment Co., Ltd. (2011). *Hatch Cover*. Retrieved June 2, 2018, from IMO web site: brightseas.com
- DeepSoft. (2014). *FEA Element Types*. Retrived June 5, 2018, from Fea Cae Engineering web site : http://fea-cae-engineering.com/fea-cae-engineering/element_types.htm.
- Dewangga, Dimas Valditya & Yulianto, Totok (2012). *Analisa Pengaruh Flange Angle, Toe Radius, dan Preparation Angle Terhadap Deformasi dan Tegangan Sisa pada Pengelasan Butt Joint dengan Kampuh Double V Ganda Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Jurnal Teknik ITS Vol. 1, ISSN : 2301-9271. Surabaya : ITS.
- Fikri, Muhammad Ulul & Kurniawati, Hesty Anita (2016). *Desain Kapal Khusus Pengangkut Daging Sapi Rute Nusa Tenggara Timur (NTT) Desain Livestock Carrier Rute Makassar - Jakarta Untuk Menyuplai Kebutuhan Sapi di Jakarta dan Sekitarnya – Jakarta*. Jurnal Teknik ITS Vol. 5. No. 2. ISSN: 2337-3539. Surabaya : ITS.
- Ghifari, R.M.A (2017). Tugas Akhir. Optimasi Ketebalan Serat Komposit pada Tabung COPV. Universitas Pasundan.
- Haryadi, B. (2008). *Teori Fisika Dasar*. Bandung.
- Hencky, H. (1924). *Zur Theorie plastischer Deformationen und der hierdurch im Material hervorgerufenen Nachspannungen*". Jerman: ZaMM 4.
- International Good Guys (IGG). (1972, Januari 7). *Canals, Docks, Harbours and Ship Types*. Retrieved June 2, 2018, from IMO web site: www.igg.org.uk
- Khurmi, R.S & Gupta, J.K. (2005). *Text Book of Machine Design*. New Delhi: Eurasia Publising House ltd Ram Nagar.
- Mahfud & Soewify (2012). *Analisa Pengaruh Variasi Tanggem Pada Pengelasan Pipa Carbon Steel Dengan Metode Pengelasan SMAW dan FCAW Terhadap Deformasi dan Tegangan Sisa Menggunakan Analisa Pemodelan Elemen Hingga*. Surabaya: Jurnal Teknik ITS Vol. 1, No. 1. ISSN : 2301-9271. Surabaya : ITS.

- Marciniak, Z, dkk. (2002). *Mechanics Of Sheet Metal Forming* (2nd edition). London: Butterworth – Heinemann.
- Moaveni, Saeed (1999). *Finite Element Analysis Theory and Application with Ansys*. New Jersey : Prentice Hall.
- Pluijm, M. (2013, February 19). *How much bigger can container ships get?*. Retrived June 5, 2018, from BBC web site: <https://www.bbc.com/news/magazine-21432226>
- Pramono, Dwi Rendra, dkk (2016). *Analisa Kekuatan Memanjang Floating Dock Konversi Dari Tongkang dengan Metode Elemen Hingga*. Surabaya: Jurnal Teknik ITS Vol. 5, No. 2. ISSN : 2337-3539. Surabaya : ITS.
- Rabbani, Zaki, dkk (2017). *Analisa Kekuatan Sekat Bergelombang Kapal Tanker Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Surabaya : Jurnal Teknik ITS Vol. 6, No. 2. ISSN : 2337-3520. Surabaya : ITS.
- Santosa, B. (2013). *Diktat Kekuatan Kapal*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Sears & Zemansky. (1982). *Fisika Universitas Jild 1*. Bandung: Binacipta.
- Singer, F. L & Pytel, A. (1995). *Ilmu Kekuatan Bahan (Teori Kokoh-Strength of Material)* edisi II. Darwin Sebayang (Ed.). Jakarta: Erlangga.
- Srinath, L.S. (2009). *Advanced Mechanics of Solid*. New Delhi: Tata McGrawHill Publishing
- Tawfik B.E. (2016). *Research. Weight reduction and strengthening of marine hatch covers by using composite materials*. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering 9 185-198. Egypt: Alexandria University.
- Taylor, K. (2001). *HOLD AND HATCH COVER*. London: A.Bilbrough & Co.Ltd.
- TTS Group Asa. (2018). *Lift-on/lift-off hatch cover*. June 2, 2018, from IMO web site: <http://www.ttsgroup.com/Products/lift-onlift-off-hatch-cover/>
- Um, T.S & Roh, M. (2015). *Research. Optimal dimension design of a hatch cover for lightening a bulk carrier*. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering 7 270-287. Korea: Hyundai Heavy Industries Co., Ltd & Seoul National University.
- Von Mises, R. (1913). *"Mechanik der festen Körpern im plastisch-deformablen Zustand. Nachrichten von der königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. Mathematisch-Physikalische Klasse"*. Jerman.
- Weaver, W.Jr & Johnston, P.R. (1993), *Elemen Hingga Untuk Analisis Struktur*. Bandung: PT.Eresco.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A DETAIL *RENCANA ARRANGEMENT HATCH COVER*

LAMPIRAN B DETAIL KONSTRUKSI *HATCH COVER*

LAMPIRAN C DETAIL MODEL PEMBAGIAN *HATCH COVER*

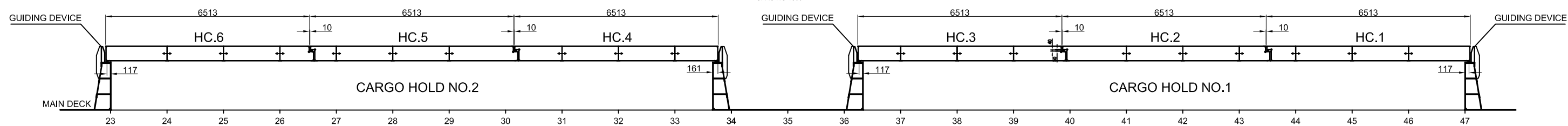
LAMPIRAN D PERHITUNGAN PROFIL L DAN PENUMPU MELINTANG

LAMPIRAN E BEBAN KONTAINER

LAMPIRAN A
DETAIL RENCANA *ARRANGEMENT HATCH COVER*

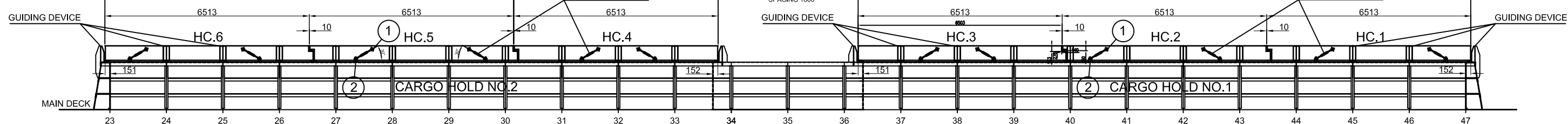
LONGITUDINAL SECTION AT CL.

SPACING 1800



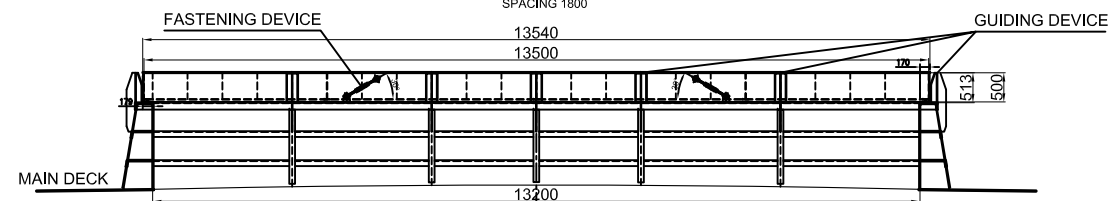
LONGITUDINAL SECTION AT SIDE

SPACING 1800



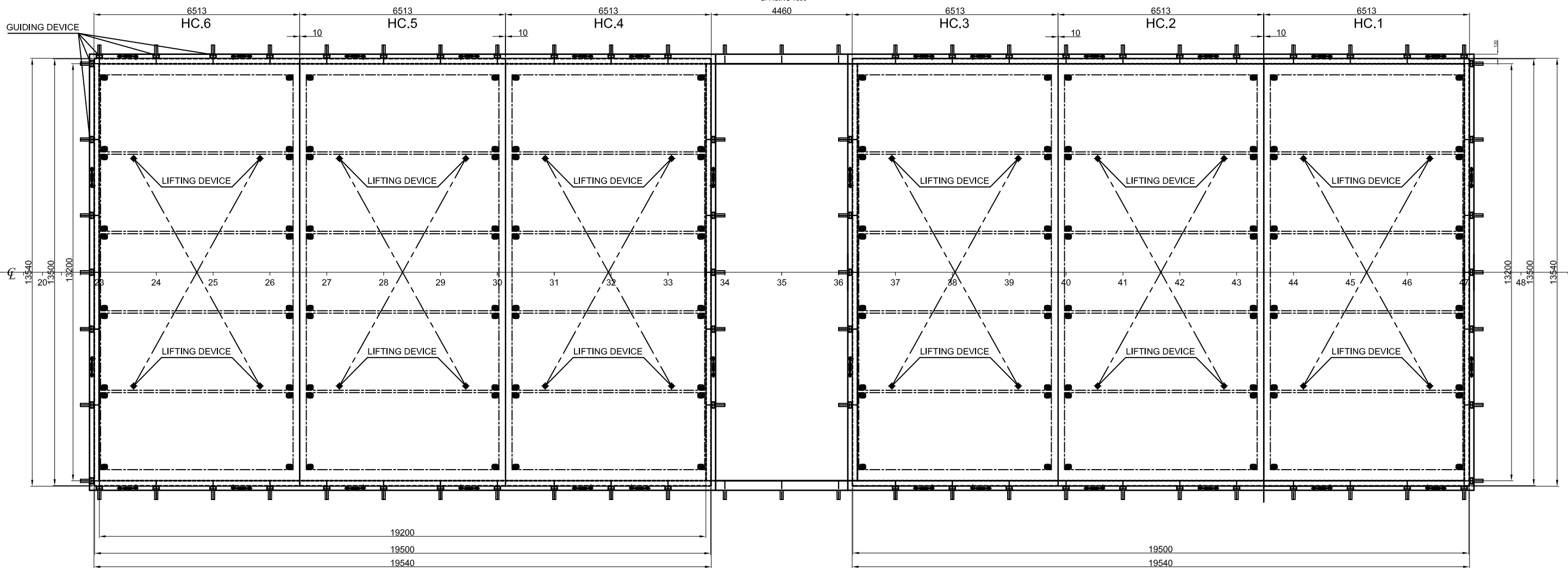
TRANSVERSAL SECTION AT END

SPACING 1800



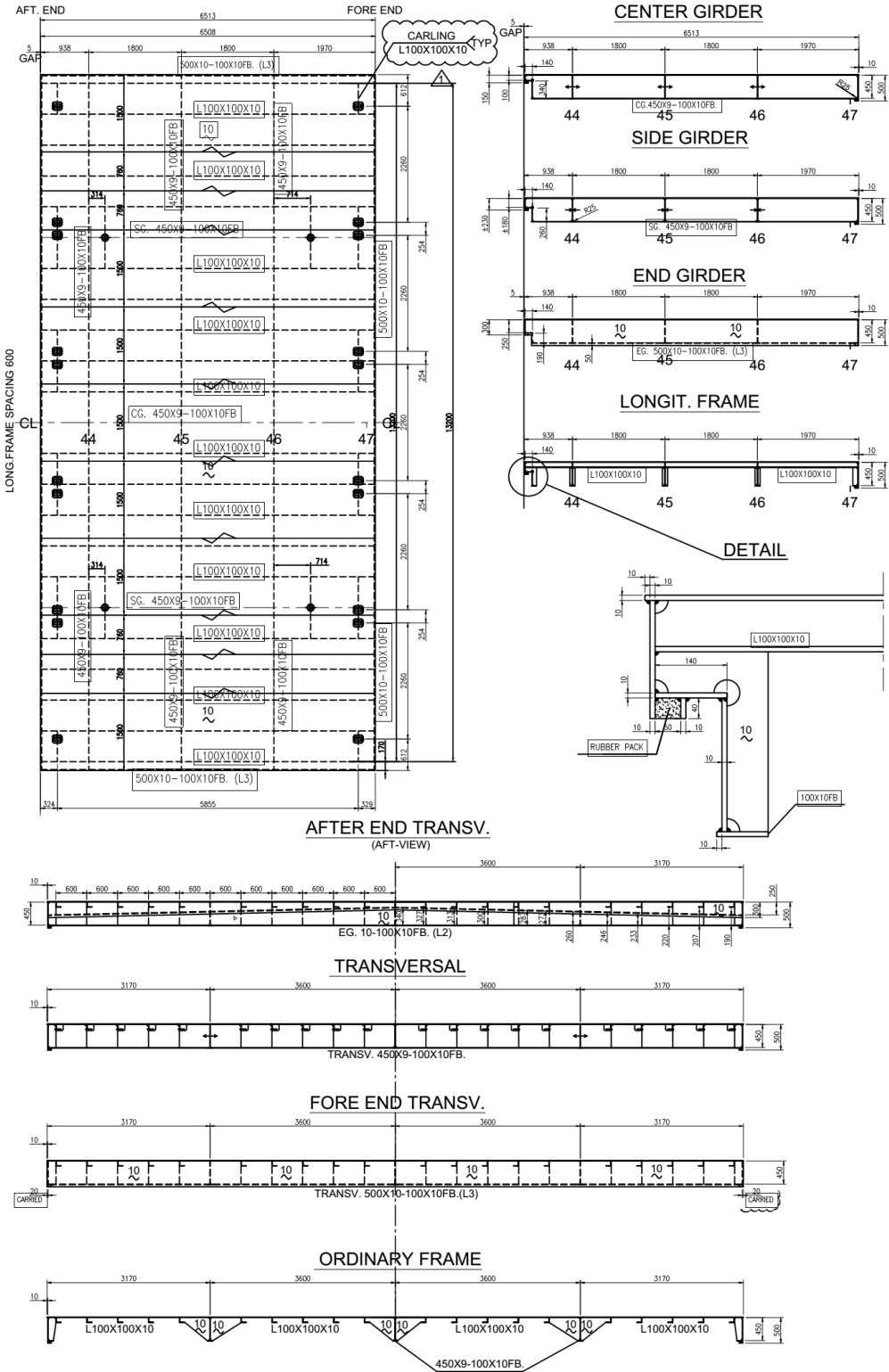
HATCH COVER PLAN VIEW

SPACING 1800

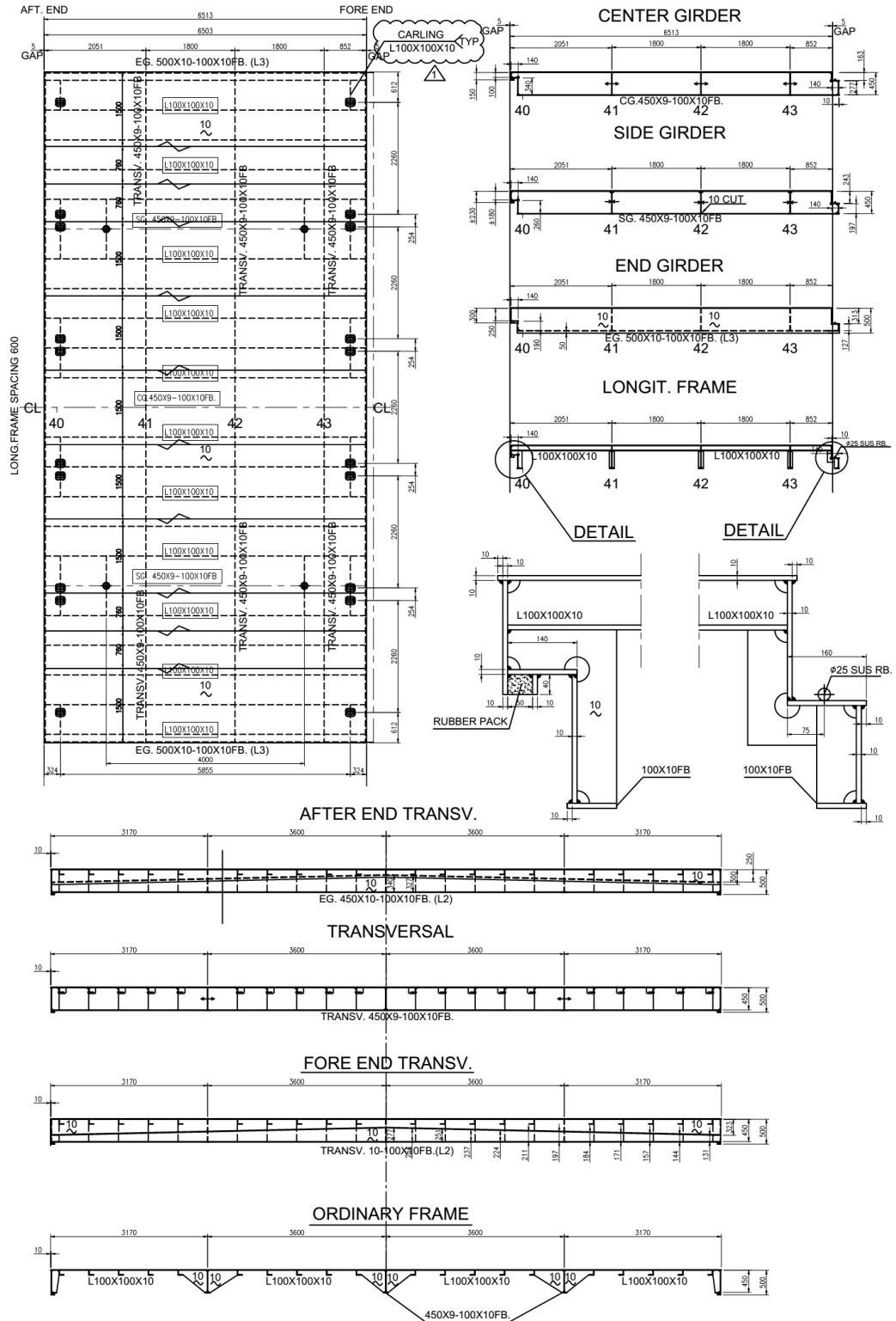


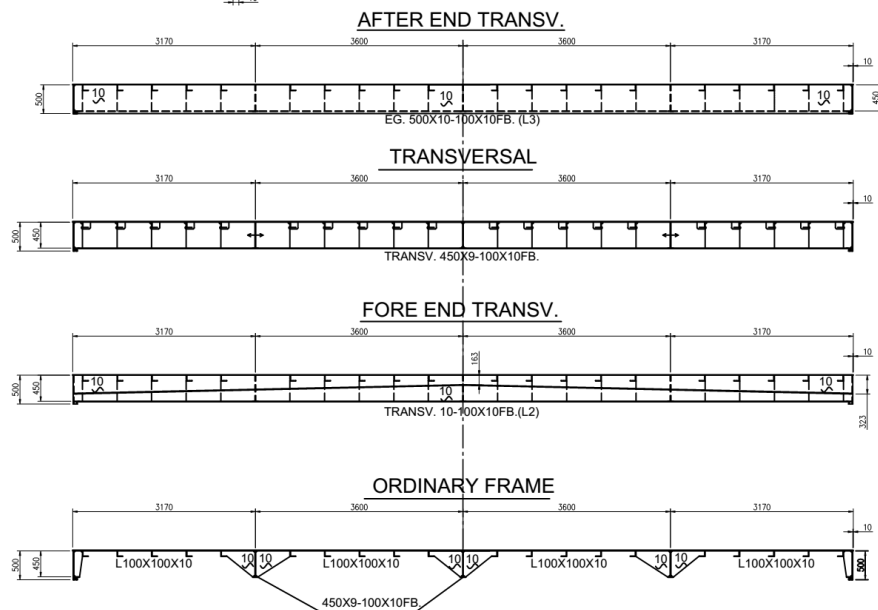
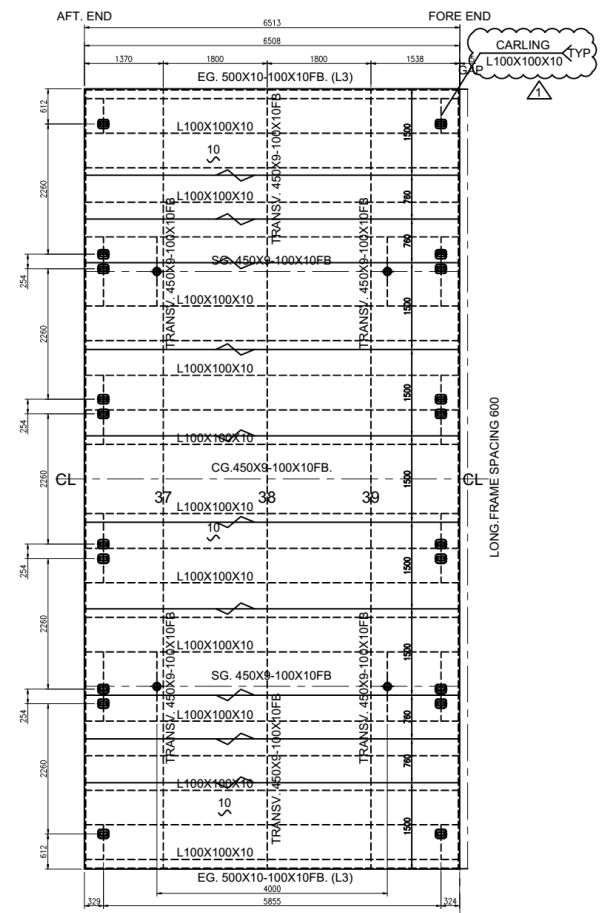
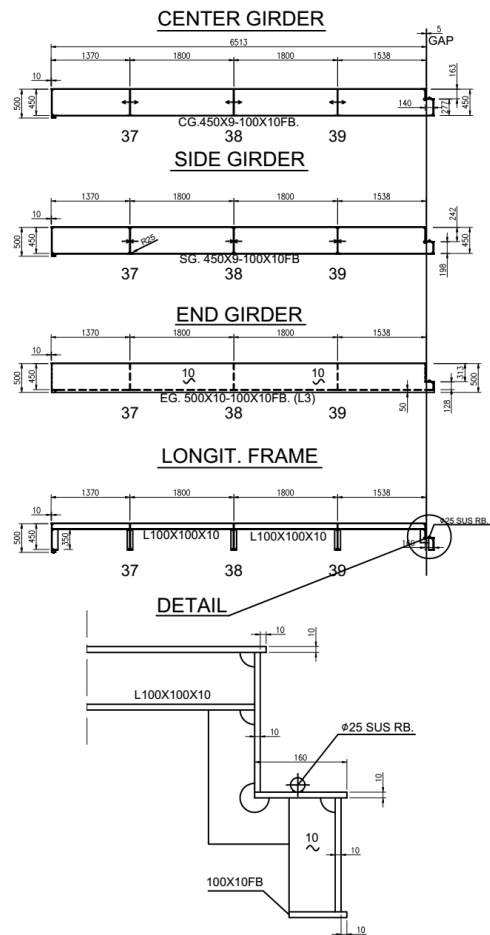
LAMPIRAN B
DETAIL KONSTRUKSI *HATCH COVER*

HC.1 DECK PLAN



HC.2 DECK PLAN



HC.3 DECK PLAN

LAMPIRAN C
DETAIL MODEL PEMBAGIAN *HATCH COVER*

EG. 500X10-100X10FB

EG. 500X10-100X10FB

● Gaits Orange = Pembagi Hatch Cover

[illegible]

[illegible]

EG. 500X10-100X10FB

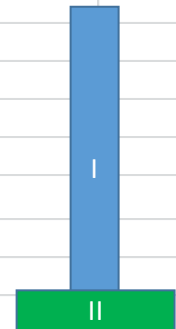
EG. 500X10-100X10FB

E.G. 500X10-100X10FB

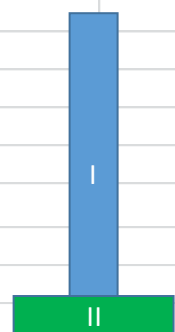
EG. 500X10-100X10FB

LAMPIRAN D
PERHITUNGAN PROFIL L DAN PENUMPU MELINTANG

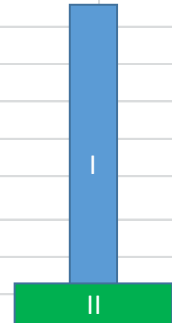
Profil T Asli					
bagian	h	b			
web	450	9			
face	10	100			
bagian	area	titik berat	area x tb	area x tb ²	1/12 x bh ³
web	4050	225	911250	205031250	68343750
face	1000	455	455000	207025000	8333.333333
	5050		1366250	412056250	68352083.33
a		b	c	d	
	N.A:	b/a			
		270.5445545 mm			
	lxx:	c+d			
		480408333.3 mm ⁴			
	I _{N.A.} :	lxx-(axN.A ²)			
		110776835.8 mm ⁴			
	W profil T:	I _{N.A.} / N.A			
	W profil T:	409458.7527 mm ³			



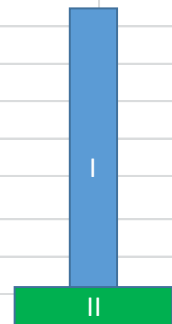
Profil T -10%					
W=	368512.9 mm ³				
bagian	h	b			
web	450	8			
face	8	125			
bagian	area	titik berat	area x tb	area x tb ²	1/12 x bh ³
web	3600	225	810000	182250000	60750000
face	1000	454	454000	206116000	5333.333333
	4600		1264000	388366000	60755333.33
	N.A:	274.7826087 mm			
	lxx:	449121333.3 mm ⁴			
	I _{N.A.} :	101796115.9 mm ⁴			
	W profil T:	I _{N.A.} / N.A			
	W profil T:	370460.5485 mm ³			



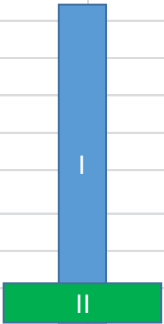
Profil T +10%						
W=	450404.6	mm ³				
bagian	h	b				
web	450	10				
face	11	100				
bagian	area	titik berat	area x tb	area x tb ²	1/12 x bh ³	
web	4500	225	1012500	227812500	75937500	
face	1100	455.5	501050	228228275	11091.66667	
	5600		1513550	456040775	75948591.67	
	N.A:	270.2767857	mm			
	I _{xx} :	531989366.7	mm ⁴			
	I _{N.A} :	122911937.6	mm ⁴			
	W profil T:	I _{N.A} / N.A				
	W profil T:	454763.2063	mm ³			



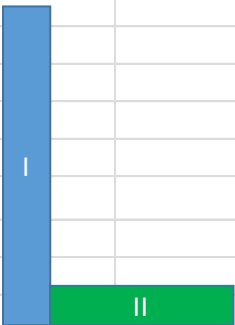
Profil T -20%						
W=	327567	mm ³				
bagian	h	b				
web	450	7				
face	8	125				
bagian	area	titik berat	area x tb	area x tb ²	1/12 x bh ³	
web	3150	225	708750	159468750	53156250	
face	1000	454	454000	206116000	5333.333333	
	4150		1162750	365584750	53161583.33	
	N.A:	280.1807229	mm			
	I _{xx} :	418746333.3	mm ⁴			
	I _{N.A} :	92966197.79	mm ⁴			
	W profil T:	I _{N.A} / N.A				
	W profil T:	331807.9732	mm ³			



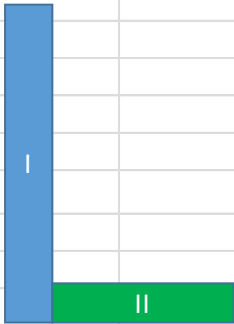
Profil T +20%					
W=	491350.5	mm ³			
bagian	h	b			
web	450	11			
face	11	100			
bagian	area	titik berat	area x tb	area x tb ²	1/12 x bh ³
web	4950	225	1113750	250593750	83531250
face	1100	455.5	501050	228228275	11091.66667
	6050		1614800	478822025	83542341.67
	N.A:	266.9090909	mm		
	I _{xx} :	562364366.7	mm ⁴		
	I _{N.A} :	131359566.7	mm ⁴		
	W profil T:	I _{N.A} / N.A			
	W profil T:	492150.965	mm ³		



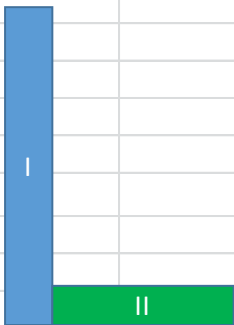
Profil L Asli					
bagian	h	b			
web	100	10			
face	10	100			
bagian	area	titik berat	area x tb	area x tb ²	1/12 x bh ³
web	1000	50	50000	2500000	833333.3333
face	1000	105	105000	11025000	8333.333333
	2000		155000	13525000	841666.6667
	a	b	c	d	
	N.A:	b/a			
		77.5	mm		
	I _{xx} :	c+d			
		14366666.67	mm ⁴		
	I _{N.A} :	I _{xx} -(axN.A ²)			
		2354166.667	mm ⁴		
	W profil T:	I _{N.A} / N.A			
	W profil T:	30376.34409	mm ³		



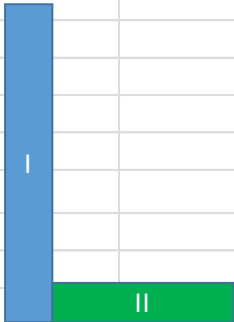
Profil L -10%					
W=	27338.71	mm ³			
bagian	h	b			
web	100	9			
face	10	90			
bagian	area	titik berat	area x tb	area x tb ²	1/12 x bh ³
web	900	50	45000	2250000	750000
face	900	105	94500	9922500	7500
	1800		139500	12172500	757500
	N.A:	77.5	mm		
	I _{xx} :	12930000	mm ⁴		
	I _{N.A} :	2118750	mm ⁴		
W profil L:	I _{N.A} / N.A				
W profil L:	27338.70968		mm ³		



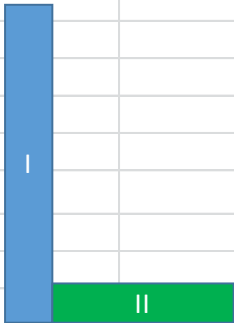
Profil L +10%					
W=	33413.98	mm ³			
bagian	h	b			
web	100	11			
face	11	100			
bagian	area	titik berat	area x tb	area x tb ²	1/12 x bh ³
web	1100	50	55000	2750000	916666.6667
face	1100	105.5	116050	12243275	11091.66667
	2200		171050	14993275	927758.3333
	N.A:	77.75	mm		
	I _{xx} :	15921033.33	mm ⁴		
	I _{N.A} :	2621895.833	mm ⁴		
W profil L:	I _{N.A} / N.A				
W profil L:	33722.1329		mm ³		



Profil L -20%					
W=	24301.08	mm ³			
bagian	h	b			
web	100	8			
face	9	100			
bagian	area	titik berat	area x tb	area x tb ²	1/12 x bh ³
web	800	50	40000	2000000	666666.6667
face	900	104.5	94050	9828225	6075
	1700		134050	11828225	672741.6667
	N.A:	78.85294118	mm		
	Ixx:	12500966.67	mm ⁴		
	I _{N.A} :	1930729.902	mm ⁴		
W profil L:	I _{N.A} / N.A				
W profil L:	24485.19831		mm ³		



Profil L +20%					
W=	36451.61	mm ³			
bagian	h	b			
web	100	12			
face	12	100			
bagian	area	titik berat	area x tb	area x tb ²	1/12 x bh ³
web	1200	50	60000	3000000	1000000
face	1200	106	127200	13483200	14400
	2400		187200	16483200	1014400
	N.A:	78	mm		
	Ixx:	17497600	mm ⁴		
	I _{N.A} :	2896000	mm ⁴		
W profil L:	I _{N.A} / N.A				
W profil L:	37128.20513		mm ³		



LAMPIRAN E
BEBAN KONTAINER

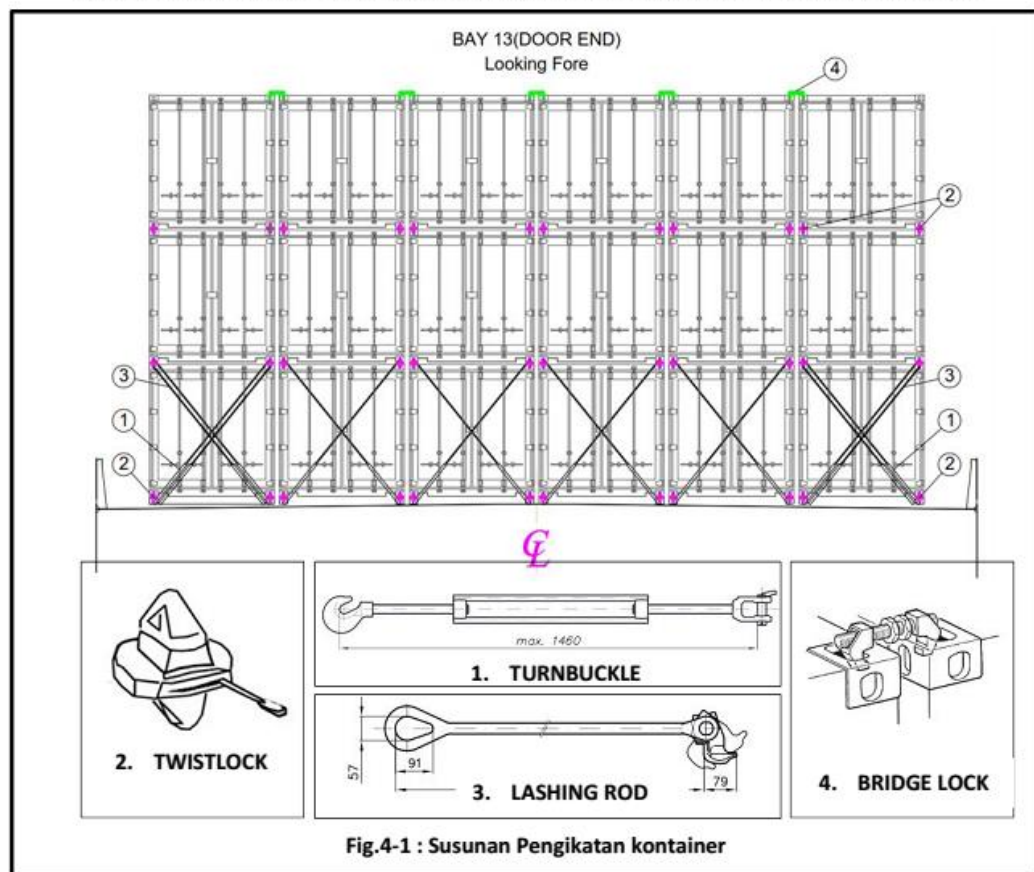
BAB 4 Aplikasi yang benar dari Peralatan Pengikat Portable

Bab ini berisikan tentang tata cara pengikatan cargo yang baik. Tata cara tersebut harus diasumsikan sebagai persyaratan minimum. Pengikatan tambahan boleh dilakukan apabila kapten mengindikasikan adanya kurang pengikatan. Kapten harus mengaplikasikan peralatan pengikatan berdasarkan poin-poin berikut:

1. Lama waktu berlayar dan kondisi geografis area pelayaran.
2. Kondisi perairan sesuai dengan ramalan cuaca dari BMKG.
3. Desain dan karakteristik kapal.
4. Gaya dinamis yang terjadi dalam kondisi cuaca.
5. Tipe dan berat kargo yang dibawa dan pola pengikatannya.

- Bay 13

Gambar berikut menunjukkan pengikatan umum kontainer pada BAY 13. Setiap kontainer harus diberikan pengikatan bentuk silang menggunakan kombinasi turnbuckle dan lashing rod. Pada Bay 13 dapat mengangkut maksimum 3 tier kontainer dengan beban maksimum 38 ton. Pada sisi luar diberikan pengikatan silang ganda untuk mengatasi beban akibat angin dari samping.



BIODATA PENULIS



Novario Pratama Adiguna, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Karanganyar pada 29 November 1996 silam. Penulis merupakan anak pertama dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK Aisyah, kemudian melanjutkan ke SDN 03 Cangakan, SMPN 1 Karanganyar dan SMAN 1 Karanganyar. Setelah lulus SMA, penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2014 melalui jalur undangan SNMPTN.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi *staff* Departemen Kominfo BEM FTK ITS 2015/2016 serta Kepala Divisi Pengembangan Departemen Riset dan Teknologi Himatekpal 2016/2017. Selan itu, penulis juga pernah mengikuti PKM Tingkat ITS beberapa penulisan ilmiah lain serta menjadi dan pernah menjadi bagian team basudewa yang mendapatkan juara 2 *Lomba Ferry Safety International*. Penulis tercatat pernah menjadi *grader* untuk mata kuliah kalkulus untuk anak Timor Leste.

Email: novanova36@gmail.com