ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR – TM 141585

OPTIMASI TOPOLOGI PADA *OVERHEAD CRANE BOX GIRDER* KAPASITAS 5TX23M DENGAN MENGGUNAKAN *SOFTWARE* ELEMEN HINGGA

MUHAMMAD ATSA SUWARDI
NRP. 02111340000170

Dosen Pembimbing
ALIEF WIKARTA, ST, MSc.Eng, PhD

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018

TUGAS AKHIR – TM141585

OPTIMASI TOPOLOGI PADA *OVERHEAD CRANE BOX GIRDER* KAPASITAS 5TX23M DENGAN MENGGUNAKAN *SOFTWARE* ELEMEN HINGGA

Muhammad Atsa Suwardi
NRP. 02111340000170

Dosen Pembimbing:
Alief Wikarta, ST, MSc.Eng, PhD.

PROGRAM SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018

FINAL PROJECT – TM141585

TOPOLOGY OPTIMIZATION ON *OVERHEAD CRANE BOX GIRDER* CAPACITY 5TX23M BY USING FINITE ELEMENT SOFTWARE

Muhammad Atsa Suwardi
NRP. 02111340000170

Research Supervisor
Alief Wikarta, ST, MSc.Eng, PhD.

BACHELOR PROGRAM
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 201

OPTIMASI TOPOLOGI PADA *OVERHEAD CRANE BOX GIRDER KAPASITAS* 5TX23M MENGGUNAKAN *SOFTWARE* ELEMEN HINGGA

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Mekanika Benda Padat
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh November

Oleh :

MUHAMMAD ATSA SUWARDI
NRP. 02111340000170

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Alief Wikarta, ST, MSc.Eng, PhD. .....(Pembimbing)
   (NIP .198202102006041002)
2. Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA .....(Penguji I)
   (NIP .196508101991021001)
3. Ir. Julendra B. Ariatedja, MT .....(Penguji II)
   (NIP .196807061999031004)

SURABAYA
Januari, 2018

OPTIMASI TOPOLOGI PADA *OVERHEAD CRANE BOX GIRDER* KAPASITAS 5TX23M DENGAN MENGGUNAKAN *SOFTWARE* ELEMEN HINGGA

Nama Mahasiswa : Muhammad Atsa Suwardi
NRP : 02111340000170
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Desen Pembimbing : Alief Wikarta, ST, MSc.Eng, PhD.

Abstrak

Dalam dunia industri, alat pemindah bahan merupakan hal yang sangat dibutuhkan. Salah satu jenis alat pemindah bahan yaitu overhead crane, yang diaplikasikan pada perusahaan kostruksi, pabrik dan gudang, sehingga pengembangan overhead crane menjadi suatu tantangan dalam memenuhi kebutuhan pasar dengan segala keterbatasannya. Di lain sisi, pada proses pengembangan teknologi, optimasi merjadi suatu kebutuhan dalam memenuhi kebutuhan suatu industri dalam memaksimalkan ukuran material dengan tegangan yang terjadi. Seringkali penggunaan material menjadi sia-sia disaat penggunaan material yang berlebihan pada benda atau produk yang hanya menerima sedikit beban. Penelitian ini mencoba untuk mewujudkan kombinasi tersebut dengan melakukan redesain dengan metode Optimasi Topologi pada girder overhead crane SWL 5Tx23m.

Tahapan penelitian terdiri dari modelling, simulasi model desain awal, Optimasi Topologi, redesain dan simulasi model redesain. Permodelan dilakukan dengan bantuan software Computer Aided Design (CAD). Pada tahap simulasi, beban yang dimasukkan terdiri dari beban SWL, hoist dan material itu sendiri pada tiga posisi pembebanan, yaitu di kiri, tengah dan kanan dari girder. Untuk material yang digunakan yaitu SS400 pada standar JIS atau A36 pada standar ASTM. Tahapan simulasi digunakan software elemen hingga yang diawali oleh simulasi desain awal dengan dan tanpa stiffeners. Tahapan Optimasi Topologi dilakukan pada bagian top flange, web, dan kombinasi top flange

dan web dengan persentase massa yang dipertahankan sebesar 80% dan 70%. Sehingga didapat enam model desain hasil Optimasi Topologi. Lalu, hasil dari Optimasi Topologi didesain ulang dan dilakukan simulasi kembali.

Setelah dilakukannya simulasi, didapati beberapa poin penting di antaranya penggunaan stiffeners tidak begitu berpengaruh pada Analisis struktur dengan pembebanan tegak lurus sepanjang stiffeners. Setelah pengujian enam model redesain, didapatkan nilai tegangan maksimum dan total deformasi maksimum yang berbeda-beda. Didapatkan desain terbaik yaitu dengan model redesain web dengan retain 70% dengan nilai tegangan maksimum dan total deformasi maksimum sebesar 157,54 MPa dan 7,4 mm dengan berkurangnya massa total sebesar 375,4 kg.

Kata Kunci : Profil box girder, overhead crane, Optimasi Topologi, metode elemen hingga.

TOPOLOGY OPTIMIZATION ON *OVERHEAD CRANE BOX GIRDER* CAPACITY 5TX23M BY USING FINITE ELEMENT SOFTWARE

Name : Muhammad Atsa Suwardi
NRP : 02111340000170
Department : Mechanical Engineering FTI-ITS
Research Supervisor : Alief Wikarta, ST, Msc. Eng, PhD.

Abstract

In the industrial scope, material handling equipment are indispensable. One type of material handling equipment is the overhead crane, which is often applied to construction companies, factories and warehouses. Then, the development of overhead cranes becomes a challenge in meeting the market needs with all its limitations. On the other hand, optimization becomes a necessity in meeting the industry needs in maximizing the size of the material with the stress that occurs. The use of materials is often useless when the use of excessive material on objects or products that receive a little load. This research tries to realize the combination by doing a redesign with topology optimization method on SWL 5Tx23m overhead crane. The Optimization is done by using finite element software.

Research steps consist of modeling, simulation of initial design model, topology optimization, redesign and redesigned model simulation. Modeling began with the making of the initial design with Computer Aided Design (CAD) software. At the simulation stage, the load included consists of SWL, hoist load and material weight itself at three loading positions, which are left, center and right of girder. For the material, this research used SS400 in JIS or A36 standard on ASTM standard. Simulation which used finite element software began with initial design simulation with and without stiffeners. The topology optimization stage is performed on top flange, web, and top flange and web combination with mass percentage maintained at 80% and 70%. So there are

six models of topology optimization design results. After the results is obtained, the results of the topology optimization are redesigned and re-simulated.

After doing the simulation, there are some important points obtained such as; the use of stiffeners is not so influential in the analysis of the structure with the loading perpendicular along the of the stiffeners. After simulating the six redesign models, this research found that the maximum stress and maximum total deformation values are different. The best design was obtained with a web model with 70% retain mass with maximum stress and maximum total deformation values are at 157.54 MPa and 7.4 mm with total mass loss at 375.4 kg.

Keywords: girder box profile, overhead crane, topology optimization, finite element method.

KATA PENGANTAR

Puji syukur dihaturkan ke hadirat Allah Subhanallahu Wa Ta'ala, hanya karena tuntunan-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan Sarjana S-1 di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penyusunan Tugas Akhir ini dapat terlaksana dengan baik atas bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Deden Jubaedi dan Umi Kulsum serta Kak demmy dan Alya yang selalu mendukung, menyemangati, dan mendoakan serta menjadi motivasi bagi penulis dalam menjalani semua ini dengan baik dan lancar.
2. Bapak Alief Wikarta, ST, MSc.Eng, PhD. selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan arahan dan bimbingan dalam penulisan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. Julendra Bambang Ariatedja, M.T. dan Bapak Dr. Ir. Agus Sigit Pramono DEA. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik kepada penulis tentang Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Mesin yang telah memberikan ilmu-ilmu yang bermanfaat serta membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam proses perkuliahan.
5. Bapak Putu Rustika yang telah membantu dan mengarahkan pada saat pengerjaan Tugas Akhir ini.
6. Mas Rizal, Mas Diyan, Vemba, dan Mas Radian sebagai teman seperjuangan saat pengerjaan Proposal Tugas Akhir dan Tugas Akhir ini.
7. Fitri, Tifanny dan Diastanto sebagai sahabat yang turut membantu dan menyemangati dalam pembuatan Tugas Akhir ini.

8. Adnan, Adrian, Agi, Galih, Ghifari dan Riyan sebagai sahabat yang selalu menjadi tempat bercerita serta pendukung dari jauh.
9. Awo, Mas Jagang, Mas Romar, Mas Moses, Mas Iril dan warga Lab Rekayasa Sistem Industri lainnya yang telah menemani selama melakukan simulasi Tugas Akhir ini.
10. Teman teman M56, Mas Mbak, dan adik adik Jurusan Teknik Mesin yang secara langsung maupun tidak langsung membantu, menghibur dan menyemangati dari awal perkuliahan sampai sekarang.
11. Pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu oleh penulis.

Dengan segala keterbatasan kemampuan serta pengetahuan penulis, tidak menutup kemungkinan Tugas Akhir ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis bersedia menerima kritik dan saran dari berbagai pihak untuk penyempurnaan lebih lanjut. Semoga hasil penulisan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

Abstrak v

Abstract vii

KATA PENGANTAR ix

DAFTAR ISI xi

DAFTAR GAMBAR xiv

DAFTAR TABEL xix

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1. Latar Belakang **1**
1.2. Rumusan Masalah **3**
1.3. Tujuan Penelitian **4**
1.4. Batasan Masalah **4**
1.5. Manfaat Penelitian **4**
1.6. Sistematika Laporan **5**

BAB II DASAR TEORI 7

2.1. *Crane* **7**
2.1.1. *Overhead Travelling Crane* 7
2.1.2. *Girder* 9
2.1.3. *Stiffener* 9
2.1.4. Diafragma 10
2.2. Metode Elemen Hingga **10**
2.3. Teori Optimasi **12**
2.3.1. *Sizing Optimization* 12
2.3.2. *Shape Optimization* 12
2.3.3. *Topology Optimization* 12
2.4. Tegangan (*Stress*) **13**
2.4.1. Tegangan normal 13
2.4.2. Tegangan Geser 13
2.4.3. *Factor of Safety* 13
2.5. Teori kegagalan **14**

2.6. JIS G 3101 SS400 (*Mild steel*) 15
2.7. Studi Literatur 15
2.7.1. *Numerical Modelling of Mechanical Phenomenona in the gantry crane* 15
2.7.2. Redesain *Pallet Rotary Parking* dengan *Rectangular Hollow Tube* Menggunakan *Software* Elemen Hingga 17
BAB III METODOLOGI 21

3.1. Diagram Alur Penelitian 21
3.1.1. Studi Literatur dan Data Penelitian 21
3.1.2. Perancangan 23
3.1.3. Simulasi *Static Structural* Model Desain Awal 24
3.1.4. Optimasi Topologi dan Redesain 29
3.1.5. Simulasi *Static Structural* Model Redesain 32
3.2. Evaluasi hasil Redesain dan Kesimpulan 32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 35

4.1. Verifikasi 35
4.1.1. *Hand calculation* 35
4.1.2. Simulasi 41
4.1.3. Pembahasan 42
4.2. Hasil Simulasi *Static Structural* Model Desain Awal . 44
4.2.1. Hasil Simulasi *Static Structural Girder* dengan *Stiffeners* 44
4.2.2. Hasil Simulasi *Static Structural Girder* tanpa *Stiffeners* 47
4.3. Pembahasan Hasil Simulasi *Static Structural* Model Desain Awal 48
4.4. Optimasi Topologi 48
4.4.1. Analisis Awal Optimasi Topologi 48
4.4.2. Redesain pada *Top flange* 49
4.4.3. Redesain pada *web* 50
4.4.4. Redesain Kombinasi *Top flange* dan *web* 52
4.5. Hasil Simulasi *Static Structural Redesign* 53
4.6. Pembahasan Desain Terbaik 58

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 61

5.1. Kesimpulan **61**
5.2. Saran **62**

DAFTAR PUSTAKA 63

LAMPIRAN A 65

LAMPIRAN B 66

BIODATA PENULIS 71

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 (A) *Overhead Crane* SWL 10 T (B) *Girder Crane* SWL 10T 3
Gambar 2. 1 *Overhead Crane* SWL 5T 8
Gambar 2. 2 Bagian-Bagian dari *Single Girder Overhead Crane* 8
Gambar 2. 3 Tampak Depan Profil *Box* dari *Girder* 9
Gambar 2. 4 *Equivalent* Stress Distribution (Pa) pada Gantry *Crane Beam* Dengan Lokasi Trolley Z = 2 M 16
Gambar 2. 5 *Equivalent* Stress Distribution (Pa) pada Gantry *Crane Beam* Dengan Lokasi Trolley Z = 2,5 M 16
Gambar 2. 6 Desain Awal Pallet 18
Gambar 2. 7 Hasil Redesain Optimasi Pallet (A) Desain 1 dan (B) Desain 2 18
Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian 22
Gambar 3. 2 *Crane Box Girder* Tampak (A) Depan (B) Samping 23
Gambar 3. 3 Mesh *Adaptive* Relevance Center *Fine, Span angle Medium* dan Smoothing 25
Gambar 3. 4 Grafik Mesh 26
Gambar 3. 5 *Setup* Tumpuan Dan Pembebanan di Tengah 27
Gambar 3. 6 *Setup* Pembebanan di Sisi Kiri 27
Gambar 3. 7 *Setup* Pembebanan di Sisi Kanan 28
Gambar 3. 8 Hasil Simulasi *Equivalent Stress* 29
Gambar 3. 9 Hasil Simulasi Deformasi *Total* 29
Gambar 3. 10 *Optimization Region* Pada *Top flange* 31
Gambar 3. 11 *Optimization Region* Pada *Web* 32
Gambar 3. 12 Diagram Alur Simulasi *Crane Box Girder* 34
Gambar 4. 1 Geometri Profil *Box* 35
Gambar 4. 2 Span Profil *Box* 36
Gambar 4. 3 *Free Body* Diagram 38
Gambar 4. 4 Metode Balok Kecil 40
Gambar 4. 5 Diagram Momen 40
Gambar 4. 6 Simulasi Profil *Box* 41

Gambar 4. 7 *Convergence test* Profil *Box* 42
Gambar 4. 8 Tegangan Maksimum pada Desain Awal *Girder* dengan *Stiffeners* 45
Gambar 4. 9 Deformasi *Total* pada Desain Awal *Girder* dengan *Stiffeners* 45
Gambar 4. 10 *Convergence test*.....46
Gambar 4. 11 Tegangan Maksimum pada Desain Awal *Girder* Tanpa *Stiffeners* 47
Gambar 4. 12 Deformasi *Total* pada Desain Awal *Girder* Tanpa *Stiffeners* 48
Gambar 4. 13 Hasil Optimasi Topologi pada Topflange dengan *Retain* 80% 49
Gambar 4. 14 Redesain *Top flange* Hasil Topologi dengan *Retain* 80%.....49
Gambar 4. 15 Hasil Optimasi Topologi pada *Top flange* dengan *Retain* 70% 50
Gambar 4. 16 Redesain *Top flange* Hasil Topologi dengan *Retain* 70%.....50
Gambar 4. 17 Hasil Optimasi Topologi Pada *Web* dengan *Retain* 80%.....51
Gambar 4. 18 Redesain *Web* Hasil Topologi dengan *Retain* 80%.....51
Gambar 4. 19 Hasil Optimasi Topologi Pada *Web* dengan *Retain* 70%.....51
Gambar 4. 20 Redesain *Web* Hasil Topologi dengan *Retain* 70%.....51
Gambar 4. 21 Hasil Optimasi Topologi pada *Top flange* Dan *Web* Dengan *Retain* 80%.....52
Gambar 4. 22 Redesain *Top flange* Dan *Web* Hasil Topologi dengan *Retain* 80%.....52
Gambar 4. 23 Hasil Optimasi Topologi Pada *Top flange* dan *Web* Dengan *Retain* 70%.....53
Gambar 4. 24 Redesain *Top flange* dan *Web* Hasil Topologi Dengan *Retain* 70%.....53

Gambar 4. 25 Simulasi Tegangan Maksimum *Web Retain* 70% Pembebanan di Tengah..... 54
Gambar 4. 26 Simulasi *Total Deformation Web Retain* 70% Pembebanan di Tengah..... 54
Gambar 4. 27 Grafik Perbandingan Tegangan Maksimum Model *Existing* dengan Model Redesain 56
Gambar 4. 28 Grafik Perbandingan *Total* Deformasi Maksimum Model *Existing* dengan Model Redesain..... 56
Gambar 4. 29 Grafik Hubungan Tegangan Maksimum dengan Persentase Pengurangan Massa 60

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Dimensi *Crane girder* 24
Tabel 3.2 Tabel Perbandingan Massa tiap *Part*..... 31
Tabel 4.1 Geometri *hand calculation profil box* 37
Tabel 4.2 Luasan profil I 37
Tabel 4.3 Jarak dari Titik Pusat Area ke CG..... 38
Tabel 4.4 Validasi tegangan maksimum 43
Tabel 4.5 Hasil Simulasi pada Desain Awal *Girder* dengan *Stiffeners* 46
Tabel 4.6 Hasil Simulasi pada Desain Awal *Girder* tanpa *Stiffeners* 47
Tabel 4.7 Hasil Simulasi Model Redesain 55

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dari berbagai perkembangan teknologi sekarang ini, terdapat salah satu metode yang mendukung perkembangan teknologi yang menjanjikan di masa depan yang dapat diaplikasikan di bidang apapun, yaitu *Topology optimization*. Selain itu, *Topology optimization* sangat erat kaitannya dengan *Additive Technology*, yang dapat membuat suatu produk yang memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi melalui penambahan suatu material dari awal proses. Produk yang memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi biasanya memiliki tujuan khusus, seperti untuk memiliki unsur estetika yang jauh lebih baik, menjadi produk yang khas dan memodifikasi. Memodifikasi agar produk dapat lebih ringan dengan mengurangi bagian yang memiliki distribusi tegangan yang sedikit, didukung oleh suatu metode yang dinamakan *Topology Optimization*. Berbagai produk keteknikan dapat diredesain dengan adanya metode *Topology Optimization*, seperti halnya *Crane*.

Crane merupakan salah satu pesawat pemindah bahan yang digunakan untuk memindahkan muatan yang seringkali diaplikasikan pada lokasi konstruksi, pabrik, industri dan sebagainya. *Crane* juga memiliki banyak jenisnya, tergantung dari kebutuhan. Salah satu jenis dari *crane* ialah *Overhead crane* seperti pada Gambar 1.1(a). *Overhead crane* terdiri dari *hoist* yang dipasang pada *trolley* yang bergerak horizontal sepanjang *girder* yang ditumpu oleh *end trucks* atau *end carriage* seperti pada Gambar 1.1(b) [9].

Pada jurnal "*Numerical Modelling of Mechanical Phenomena in Gantry Crane Beam"* oleh Leszek Sowa, Zbigniew Saternus, dan Marcin Kubiak membahas tentang memodelkan *gantry crane beam* untuk mendapatkan suatu data. Di jurnal yang lain, "*Numerical Analysis of Mechanical Phenomena in Gantry*

Crane Beam" oleh Leszek Sowa dan Pawel Kwiaton membahas hal yang lain, yaitu mengAnalisis *gantry crane beam* dengan memanfaatkan *finite element analysis*. Persamaan kedua jurnal ini yaitu membahas *girder crane* dari *gantry crane.* Dua jurnal ini sangat erat kaitannya, dimana pada jurnal pertama berfokus pada desain dengan *output* data *mechanical phenomena* berupa distribusi tegangan pada model tersebut. Jurnal kedua bertujuan mencari model yang tepat dengan input data yang diketahui agar mendapatkan model yang lebih baik yang biasa dikenal dengan istilah redesain, yang biasanya merupakan lanjutan dari *numerical modelling* di jurnal pertama.

Pada awal tahun 2017 ini, terdapat penelitian mengenai *Topology Optimization* oleh Luhur Setiabudi dengan judul, *"*Redesain *Pallet Rotary Parking* dengan *Rectangular Hollow Tube* Menggunakan *Software* Elemen Hingga*"*, dan Aang Ferianto dengan judul "Redesain *Gearbox Rotary Parking* Menggunakan *Software* Berbasis Elemen Hingga". Kedua tugas akhir ini membahas tentang *rotary parking* yang mana masing-masing membahas bagian yang berbeda. Terdapat jurnal mengenai *Topology Optimization* yang lain, *A Homogenization Method for Shape and Topology optimization* oleh Katsuyuki Suzuki dan Noboru Kikuchi, yang membahas tentang optimasi *shape* dan topologi pada struktur *linearly elastic* dengan modifikasi metode *homogenization* Bendsoe dan Kikuchi.

Modifikasi *Crane* telah banyak dilakukan oleh berbagai perusahaan dan institusi, tetapi masih belum banyak yang melakukan redesain pada hal mengoptimalkan massa suatu bagian. Hal tersebut dikarena adanya keterbatasan pada manufakturnya. Hal tersebut merupakan suatu kesempatan pada masa sekarang ini, dengan munculnya metode *Topology Optimization* dan berkembangnya *Additive Technology*, dalam memberikan suatu modifikasi terbaru untuk meningkatkan performa *Crane*. Dengan adanya tugas akhir ini, diharapkan dapat menjawab tantangan mengenai modifikasi *crane* untuk mengoptimalisasikan berat

(a)

(b)

Gambar 1.1 (a) *Overhead Crane* SWL 10 T (b) *Girder crane* SWL 10T

Crane dengan kekuatan untuk menahan beban yang sama dengan model sebelum diredesain.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana hasil simulasi tegangan maksimum dan defleksi pada saat ada dan tidak adanya *stiffener* sebagai pengaku pada *overhead crane box girder* kapasitas SWL 5Tx23m?
2. Bagaimana hasil simulasi tegangan maksimum dan defleksi pada *girder* dengan variasi bagian yang dioptimasi dan persentase hasil topologi dengan menggunakan metode *Topology Optimization?*
3. Bagaimana penentuan desain *girder overhead crane* yang optimal dengan pembebanan 5 ton dan panjang *girder* 23 meter berdasarkan berat optimal *girder*, tegangan yang maksimum yang terjadi, dan angka keamanan pada *girder?*

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui hasil simulasi tegangan maksimum dan defleksi pada saat ada dan tidak adanya *stiffener* sebagai pengaku pada *overhead crane box girder* kapasitas SWL 5Tx23m.
2. Mengetahui hasil simulasi tegangan maksimum dan defleksi pada *girder* dengan variasi bagian yang dioptimasi dan persentase hasil topologi dengan menggunakan metode *Topology Optimization.*
3. Mengetahui penentuan desain *girder overhead crane* yang optimal dengan pembebanan 5 ton dan panjang *girder* 23 meter berdasarkan berat optimal *girder*, tegangan yang maksimum yang terjadi, dan defleksi pada *girder.*

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah SS400 JIS dan bersifat *Homogeneous Isotropic*.
2. Bagian yang diAnalisis hanya pada bagian *girder.*
3. Analisis pembebanan dilakukan dengan cara simulasi pembebanan statis yang terdiri dari beban *girder*, SWL, dan *hoist*.
4. Analisis tumpuan kedua sisi yang digunakan merupakan tumpuan *fixed*.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membantu mahasiswa dalam mengetahui dan memahami tentang perancangan *girder crane*.
2. Sebagai sarana penelitian dan pengembangan *crane*.
3. Data hasil pengujian dapat digunakan dan dijadikan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya.

1.6. Sistematika Laporan

Sistematika Laporan terdiri dari 5 bab, dimana isi dari tiap bab berisi sebagai berikut:

Bab 1 Pendahuluan

Bab ini berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab 2 Dasar Teori dan Kajian Pustaka

Bab ini berisi tentang dasar-dasar ilmu yang mendukung pengerjaan tugas akhir.

Bab 3 Metodologi

Bab ini berisi tentang langkah-langkah yang dilakukan untuk memperoleh hasil yang diinginkan dalam penelitian ini, baik langkah-langkah permodelan dan langkah-langkah simulasi.

Bab 4 Hasil dan Pembahasan

Bab ini berisi tentang data yang didapat dari penelitian berupa suatu nilai, metode, gambar, grafik ataupun tabel yang dilanjutkan dengan pembahasan lebih lanjut mengenai hasil tersebut.

Bab 5 Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi tentang kesimpulan, yaitu hasil akhir yang menjawab tujuan dari penelitian ini dan saran untuk penelitian lebih lanjut.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II
DASAR TEORI

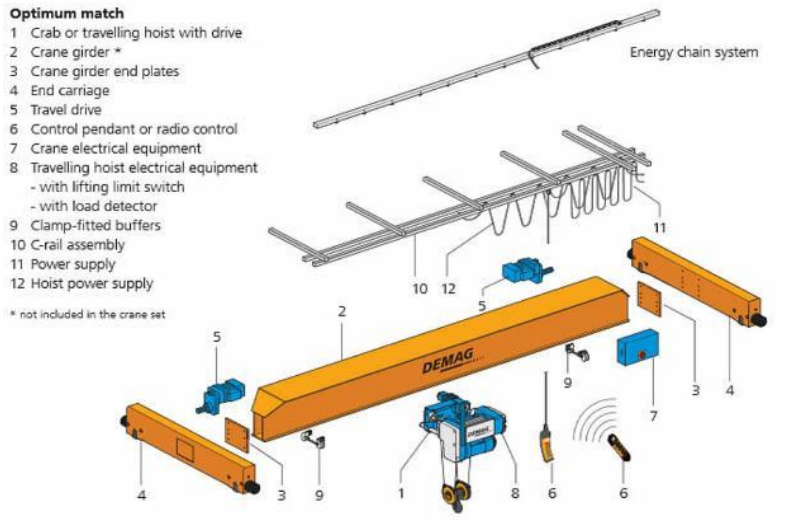
2.1. *Crane*

2.1.1. *Overhead Travelling Crane*

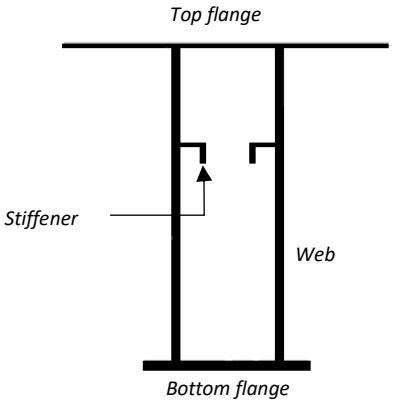
Overhead crane merupakan salah satu pesawat pemindah bahan yang bergerak secara horizontal dalam luasan persegi panjang (*rectangular area).* Pergerakan yang dimaksud ialah gerakan kanan-kiri dan maju-mundur. *Hoist*, alat yang digunakan sebagai pengangkat, dipasang pada *trolley* yang bergerak kanan-kiri sepanjang *girder*. Kedua ujung *girder*, ditumpu oleh *end carriage* yang bergerak maju mundur pada *bridge beam* sebagai laju pacu tetap. *Trolley* sendiri terdiri dari beberapa komponen utama, seperti *travel drive, load detector, lifting limit switch* dan motor. Terdapat beberapa tipe dari *crane* seperti *Single girder overhead crane* dan *double girder overhead crane*.

Single Girder Overhead crane adalah tipe *Overhead crane* yang hanya menggunakan satu *girder* sebagai jalur gerak dari *trolley* seperti pada Gambar 2.1. *Single Girder Overhead crane*, terdiri dari *hoist*, *girder*, *girder* end plate, *end carriage*, *trolley*, *C-rail assembly*, *Power supply*, *Hoist power supply* yang dapat dilihat pada Gambar 2.2. *Single Overhead crane* termasuk jenis *under running crane* atau nama lainnya *underhung crane*, yang berarti *trolley* menggantung pada bagian bawah *girder* (*bottom flange*). Dibantu dengan *C-rail assembly* sebagai tempat dan jalur *power supply* dan *hoist power supply* menggantung [9].

Gambar 2.1 *Overhead Crane* SWL 5T



Gambar 2.2 Bagian-bagian dari *Single Girder Overhead Crane*



Gambar 2.3 Tampak Depan Profil *Box* dari *Girder*

2.1.2. *Girder*

Girder merupakan bagian yang terkena langsung dengan beban yang dijepit dan ditumpu oleh *end carriage* di kedua ujungnya melalui *girder end plate*. Terdapat beberapa jenis *girder*, yang berdasarkan profil/bentuk *cross-sectional area*. Seperti I *profile girder*, dan *box girder*. Ada juga beberapa inovasi yang sering kali ditambahkan pada *girder* agar menjadi lebih kuat dan kaku, seperti pengaku dan *diaphragm*.

*Crane box girder*s memiliki beberapa bagian, yaitu *top flange*, *bottom flange*, *web*, *stiffener*, dan *diaphragm*. *Top flange* merupakan bagian plat atas dimana tempat tempat *crab* berada. Sedangkan *bottom flange* merupakan plat bagian bawah. *Web* merupakan plat yang tegak secara *vertical* apabila dilihat dari sisi *cross-sectional area*. Sedangkan *stiffener* berada pada sepanjang *span* yang dilas pada kedua *web*. Untuk bagian-bagian sebagai profil *box* dapat dilihat pada Gambar 2.3.

2.1.3. *Stiffener*

Stiffener merupakan salah satu improvisasi pada *girder overhead crane* sebagai pengaku longitudinal untuk membentuk

nodal line pada *deformed pattern* dari *web*, mengontrol *lateral web deflections* dan mencegah *stress redistribution* dari *web* ke *flange* yang terkompresi.

2.1.4. Diafragma

Diafragma atau *diaphragm* berfungsi sebagai *transverse stiffeners* yang memiliki beberapa tujuan khusus, diantaranya [6]:

a. Diafragma sebagai *load bearing stiffeners* pada posisi dimana beban yang terkonsentrasi (*concentrated loads*).
b. Diafragma sebagai *vertical web stiffeners*.
c. Pada *centre-rail girders.* Diafragma berperan sebagai *support* untuk *crab rail*.
d. Diafragma membantu dalam membatasi distorsi *cross-section* dari *girder.*

2.2. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan metode *numerical* yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan *engineering* dan *mathematical physics*. Permasalahan metode elemen hingga merupakan permasalahan dengan tingkat kompleksitas yang rumit. Seperti halnya persoalan pembebanan, geometri, dan *material properties* yang kompleks. Pada umumnya permasalahan seperti ini tidak bisa diselesaikan dengan matematika analisis. Hal ini disebabkan karena matematika analisis memerlukan besaran atau harga yang harus diketahui pada setiap titik pada struktur yang dikaji. Sehingga dibutuhkan pendekatan diferensial, sehingga diperlukan suatu metode yang mengadakan pendekatan terhadap harga-harga yang tidak diketahui pada setiap titik secara diskrit. Dimulai dengan permodelan dari suatu benda dengan membagi bagi dalam bagian yang kecil yang secara keseluruhan mempunyai sifat yang sama dengan benda yang utuh sebelum terbagi dalam bagian yang kecil (diskritisasi). Tipe permasalahan dapat dikelompokan menjadi 2, yaitu kelompok Analisis Struktur dan Non-struktur.

Permasalahan struktur meliputi:

1. Analisis Tegangan/*Stress*, meliputi Analisis *Truss* dan *Frame* serta masalah masalah yang berhubungan dengan tegangan tegangan yang terkonsentrasi.
2. *Buckling*.
3. Analisis Getaran.

Permasalahan non struktur yang dapat diselesaikan dengan menggunakan metode ini meliputi [4]:

1. Perpindahan panas dan massa.
2. Mekanika fluida.
3. Distribusi dari potensial listrik dan potensial magnet.

Pengelompokan metode elemen hingga berdasarkan jenis elemen terbagi menjadi 3, yaitu elemen 1dimensi (*Truss element*, *Bar element*, dsb). Elemen 2 dimensi (*Plane element*, *Plate element*, dsb). Elemen 3 dimensi (*Solid element*). Berikut merupakan persamaan umum dari metode elemen hingga, yaitu

$$\{f\} = [k]\{d\} \qquad (2.1)$$

Pada metode elemen hingga setiap elemen yang digunakan harus memiliki matriks kekakuan tertentu, yaitu [k]. Sedangkan {d} adalah vektor dari *element nodal degrees of freedom* yang tidak diketahui dan {f} adalah vektor dari *element nodal force*s. Matriks kekakuan tiap elemen ditentukan lewat persamaan-persamaan tertentu.

Langkah langkah dalam metode elemen hingga dalam menganalisis suatu struktur adalah sebagai berikut:

a. Menentukan tipe analisis (statik, dinamik, modal, *buckling*, *contact*, atau *thermal*)
b. Menentukan tipe elemen (2D atau 3D)
c. Menentukan *properties* material (E,v, ρ, α, dsb.)
d. Menentukan nodal nodal pada struktur
e. Membentuk elemen elemen dengan menyambungkan nodal-nodal
f. Menentukan *boundary condition* dan memberikan beban
g. Melakukan eksekusi agar memperoleh hasil
h. Menganalisis hasil yang diperoleh (*Displacement, Stress, Strain, Natural Frequency, Temperature, atau Time history)* [5]

Penyelesaian metode elemen hingga menggunakan matriks. Sarana komputer diperlukan untuk menghitung persamaan ini dikarenakan perhitungan dalam metode ini sangatlah banyak dan kompleks. Perhitungan dari seluruh sistem merupakan penyelesaian persamaan serentak yang dinyatakan dalam bentuk matriks.

2.3. Teori Optimasi

Teori Optimasi merupakan teori yang berkaitan dengan pencarian suatu hasil berupa nilai atau model yang ideal. Optimasi struktur merupakan suatu langkah proses desain untuk mencari desain terbaik dengan batasan atau *constraint* tertentu pada benda padat (*solid*). *Structural Optimization* dibagi menjadi 3 berdasarkan *variable* saat melakukan optimasi, yaitu *sizing optimization*, *shape optimization* dan *web*.

2.3.1. *Sizing Optimization*

Sizing optimization merupakan salah satu jenis optimasi struktur (structural *optimization*) yang berdasarkan pada *variable* dimensi terhadap sumbu sumbu utama. Sehinga optimasi hanya pada ukuran panjang, lebar dan juga tebal.

2.3.2. *Shape Optimization*

Shape optimization merupakan salah satu jenis optimasi struktur (*structural optimization*) yang berdasarkan pada *variable* geometri melalui koordinat nodal elemen. Sehingga desain hasil yang didapati itu terdapat lengkungan lengkungan baru yang memiliki volume lebih kecil dari volume desain awal.

2.3.3. *Topology Optimization*

Optimasi Topologi merupakan salah satu jenis optimasi struktur (*structural optimization*) yang bertujuan untuk menentukan desain yang optimal berdasarkan distribusi tegangan pada suatu material pada ruang desain. Optimasi Topologi seringkali digunakan sebagai fungsi massa dan volume [7].

2.4. Tegangan (*Stress*)

Pada hukum Newton yang pertama disebutkan bahwa suatu benda akan diam ketika resultan gaya bernilai nol. Dan apabila diamati, apabila benda tersebut diletakan di atas lantai maka akan terlihat bahwa benda tersebut memberikan gaya gravitasi ke bawah, dan lantai memberikan gaya normal ke atas. Nyatanya, terdapat gaya internal yang diberikan oleh keduanya saat menahan satu sama lain. Hal tersebut ditunjukan dengan adanya tegangan diantara benda dan lantai tersebut.

2.4.1. Tegangan normal

Tegangan normal terjadi saat adanya gaya yang bekerja tegak lurus dengan suatu luasan benda. Apabila gaya tersebut diukur dalam satuan N dan luasan dalam m^2, maka tegangan normal dapat dituliskan

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{2.2}$$

dimana σ merupakan tegangan yang terjadi (N/m^2), F merupakan gaya yang diberikan (N) dan A merupakan luas penampang (m^2).

2.4.2. Tegangan Geser

Tegangan geser merupakan suatu gaya yang bekerja bersinggungan pada suatu luasan benda. Tegangan geser dapat dituliskan,

$$\tau = \frac{F}{A} \tag{2.3}$$

Dimana τ merupakan tegangan yang terjadi (N/m^2).

2.4.3. *Factor of Safety*

Dalam proses mendesain suatu elemen mesin, diperlukan suatu faktor untuk memperketat nilai suatu tegangan (*stress*) pada suatu material agar dapat terjamin keamanannya. *Safety factor* dapat dituliskan,

$$FS = \frac{F_{fail}}{F_{allow}} \tag{2.4}$$

dimana *FS* merupakan *Factor of Safety*, F_{fail} merupakan besar gaya yang tidak diperbolehkan dan F_{allow} gaya yang diperbolehkan [8].

2.5. Teori kegagalan

Dalam proses mendesain, diperlukan teori kegagalan yang dipergunakan untuk mengetahui apakah desain tersebut cukup kuat terhadap beban yang diterima dengan membandingkan dengan material yang digunakan. Dalam menentukan teori kegagalan yang digunakan, dibutuhkan informasi mengenai karakteristik dari material tersebut. Suatu produk atau material dapat dikatakan gagal menurut teori kegagalan apabila terjadinya *yielding* dan *fracture*.

Yielding merupakan saat dimana terjadinya distorsi pada produk/material berupa deformasi plastik, sedangkan *fracture* atau patahan merupakan saat dimana produk atau material akan terbelah/terpisah menjadi dua bagian atau lebih. Batasan pada kriteria *yielding* yaitu ketika tegangan melebihi *yield strength* material (S_y,S_{ys}) yang berlaku untuk material ulet. Sedangkan batasan kriteria *fracture*/patahan saat tegangan melebihi *ultimate strength* material (S_u,S_{us}) pada produk/material getas. Berikut merupakan beberapa jenis metode kegagalan yang sering digunakan:

a. *Maximum* Normal *Stress Failure theory* (MNST) oleh Rankine, dimana dikatakan gagal apabila σ_1 lebih Su/SF sehingga hanya bisa digunakan untuk material *brittle*.
b. Teori Kegagalan Tegangan Geser Maksimum/*Maximum Shear Stress Failure theory* (MSST) oleh Tresca, dimana τ_{max} (tegangan geser maksimum) lebih besar dari S_{ys}/SF atau S_{us}/SF.

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_{1-\sigma_2}}{2} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{x-\sigma_y}}{2}\right)^2 + \left(\sigma_{xy}\right)^2} \qquad (2.5)$$

c. Teori Kegagalan Energi Distorsi Maksimum/*Maximum Distorsion Energy Failure theory* (DET) oleh Von Misses dimana σ_{eq}(tegangan ekivalen) lebih besar dari S_{ys}/SF [8].

2.6. JIS G 3101 SS400 (*Mild steel*)

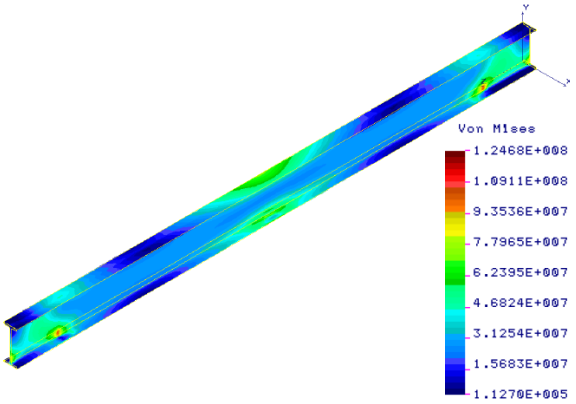
SS400 merupakan salah satu jenis *carbon structural steel grade* yang paling sering digunakan melalui JIS G3101. JIS G3101 merupakan *Japanese material standard* untuk *hot rolled steel plates, sheets, strips* yang diperuntukkan *general structural usage*. Apabila dibandingkan dengan standar *steel* yang lain, produk dari SS400 memiliki kelebihan yaitu pada *tensile strength* dan *toughness* yang baik, mudah dibentuk, dilas, dan diproses lebih lanjut. Standar SS400 apabila pada standar ASTM, memiliki standar yang sama dengan ASTM A36.

2.7. Studi Literatur

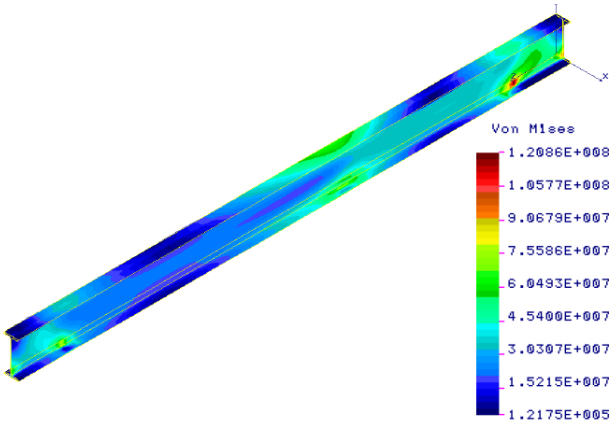
2.7.1. *Numerical Modelling of Mechanical Phenomenona in the gantry crane*

Leszek Sowa beserta Zbigniew Saternus, Mercin Kubiak mencoba melakukan penelitian mengenai S*tress* dan *Strains Analysis* pada struktur *gantry crane* dengan menggunakan *advanced software* dengan permodelan yang sebenar-benarnya, dimana pergerakan *crane trolley* sepanjang *beam* juga dilibatkan dalam permodelan. Penulis berfokuskan kepada *mathematical model* dan *numerical simulation* pada I *beam gantry crane beam* dengan variasi posisi pembebanan untuk mendapatkan *maximum value* dari Huber masses *stress* yang nantinya akan dibandinganken dengan kekuatan dari materialnya agar desainnya aman.

Variasi posisi yang digunakan dituliskan sebagai “z” dengan panjang *beam* sebesar 4,8 m. Lalu disimulasikan sebanyak 8 kali dengan z = 0,5 m hingga 4 m. Dari hasil simulasi, diketahui titik kritis pada diagram distribusi tegangan seperti pada gambar 2.4 dan 2.5.



Gambar 2.4 *Equivalent Stress Distribution* (Pa) pada *gantry crane beam* dengan lokasi *trolley* z = 2,5 m



Gambar 2.5 *Equivalent Stress Distribution* (Pa) pada *gantry crane beam* dengan lokasi *trolley* z = 2 m

Dari penelitian ini, didapatkan *numerical strength analysis* dari *gantry crane* didapat. Sedangkan untuk *mathematical model* dan *numerical simulation* dari *mechanical phenomena* di *gantry crane* diperlihatkan. Sebagai hasil komputasi, *stress* dan

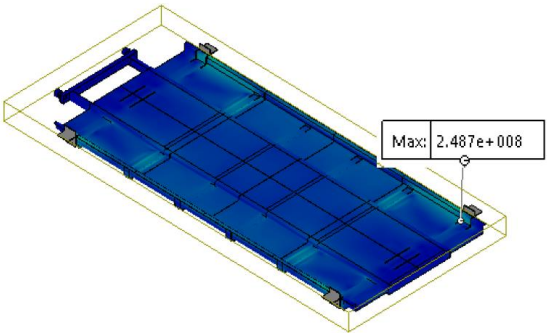
displacement dari struktur *gantry crane beam* didapatkan. Pengaruh dari perubahan posisi pembebanan pada distribusi tegangan juga dapat terlihat, dengan nilai maksimum pada pembebanan di titik tengah *gantry crane beam*. Bagian yang kritis juga terlihat, yaitu pada bagian ujung sisi. Penulis juga mengatakan bahwa hasil dari penelitian ini juga dapat menjadi pertimbangan saat akan melakukan redesain nanti agar menghasilkan produk yang lebih baik [2].

2.7.2. Redesain *Pallet Rotary Parking* dengan *Rectangular Hollow Tube* Menggunakan *Software* Elemen Hingga

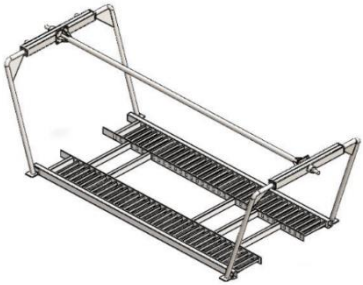
Pada tahun 2017, Luhur Setiabudi melakukan penelitian mengenai redesain *pallet rotary parking* dengan *rectangular hollow tube* menggunakan metode Optimasi Topologi. Penelitian bertujuan untuk untuk mengurangi beban yang diberikan oleh motor penggerak. Redesain yang dilakukan merupakan hasil dari Optimasi Topologi pada *pallet* yang berada pada *rotary parking* dengan menggunakan *software* elemen hingga.

Model awal *pallet* yang diambil pada penelitian penulis yaitu plat besi yang dapat dilihat pada Gambar 2.6. Penulis mencoba melakukan redesain dengan mengganti bentuk plat tersebut dengan *hollow tube*. *Hollow tube* yang digunakan lalu dioptimasi dengan variasi jarak antar *tube* dan ketebalan *tube*. Permodelan *pallet* dilakukan dengan menggunakan *software Solid*work. Optimasi juga disertai dengan pengurangan massa sebesar 30% dan 50% dengan membuat 2 model desain.

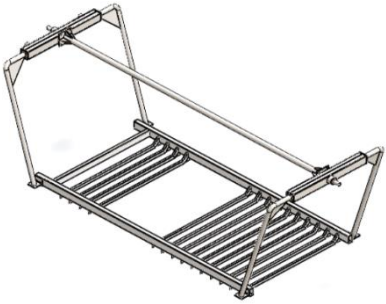
Simulasi *pallet* menggunakan *hollow tube* menggunakan *meshing* elemen *beam* dengan ukuran *mesh* dengan jumlah elemen *mesh* 100 pada desain 1 dan 60 pada desain 2. Pada proses simulasi digunakan pembebanan sebesar 3000 kg yang diartikan beban mobil terberat dan pemberian tumpuan *fixed* con*strain*. Setelah simulasi dilakukan, didapat model desain 1 dan desain 2 yang dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.6 Desain Awal *Pallet*



(a)



(b)

Gambar 2.7 Hasil Redesain Optimasi *Pallet* (a) Desain 1 dan (b) Desain 2

Dari penelitian ini dihasilkan simulasi yang menunjukan desain optimal dengan variasi jarak antar *tube* 160mm, ketebalan *tube* sebesar 2,5mm dan topologi berat sebesar 30% yang dapat dilihat pada Gambar 2.11 (a) yang menunjukan desain 1 [3].

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III
METODOLOGI

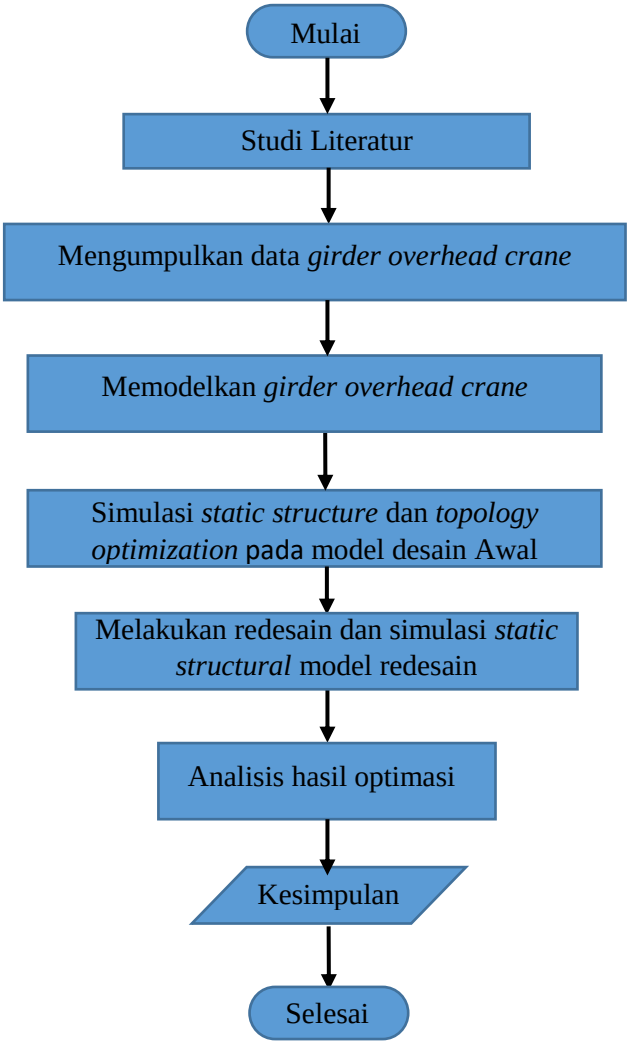
3.1. Diagram Alur Penelitian

Dalam bab ini akan dijelaskan langkah-langkah yang dijadikan acuan dalam penelitian ini. Diawali dengan studi literatur mengenai *girder overhead crane*. Langkah selanjutnya yaitu melakukan *modelling girder overhead crane*, melakukan simulasi dan optimasi menggunakan *software* elemen hingga, menganalisis hasil simulasi dan optimasi, menentukan desain akhir. Langkah terakhir yaitu menarik kesimpulan serta saran dari hasil penelitian ini seperti pada *flowchart* pada Gambar 3.1.

3.1.1. Studi Literatur dan Data Penelitian

Tahapan pertama pada penelitian ini yaitu studi literatur. Studi literatur bertujuan untuk mengetahui dan mendalami landasan teori yang digunakan pada penelitian ini. Tahapan studi literatur dilakukan sesaat sebelum mengumpulkan data penelitian dari perusahaan dan juga media internet berupa *soft file*. Topik-topik yang dibutuhkan dalam tugas akhir ini meliputi *overhead crane*, *girder crane*, geometri profil *box girder*, jenis jenis pengujian, dan jenis material yang digunakan.

Untuk melakukan desain ulang, dibutuhkan data geometri dan material *overhead crane*. Data geometri dari *overhead crane* didapat dari perusahaan. Data material yang digunakan merupakan SS400 (*Mild steel*) atau ASTM A36 yang diketahui dari perusahaan. Untuk referensi sifat mekanis dari material ASTM A36 didapat dari perusahaan penyedia material tersebut.

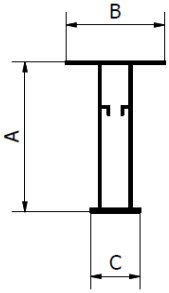


Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

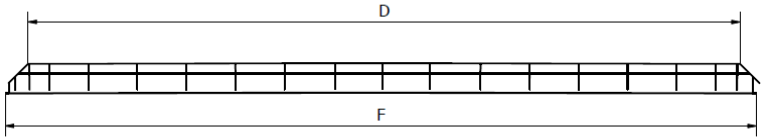
3.1.2. Perancangan

Perancangan merupakan tahapan dasar sebelum melakukan simulasi, sehingga tahapan perancangan sangat menentukan hasil dari simulasi nanti. Perancangan yang dimaksud ialah memodelkan desain *crane box girder* yang terdiri dari *web, top flange, bottom flange, chamber plate, stiffeners* dan diafragma yang bisa dilihat pada Gambar 3.2 dan Tabel 3.1 untuk ukurannya.

Terdapat dua desain awal yang dimodelkan, yaitu *crane box girder* dengan *stiffeners* dan tanpa *stiffeners*. Pada *crane box girder* dengan *stiffeners* memiliki massa yang lebih besar dibandingkan dengan tanpa *stiffeners*. Dua desain awal ini dimodelkan untuk mengetahui fungsi dari *stiffeners* itu sendiri sebagai pengaku pada *girder*. Perancangan dilakukan dengan bantuan *software Computer Aided Design* (CAD).



(a)



(b)

Gambar 3. 2 Crane box girder tampak (a) depan (b) samping

Tabel 3.1 Dimensi *Crane girder box*

Huruf	Keterangan	Ukuran (mm)
A	Tinggi *Box*	937
B	Lebar *Top flange*	600
C	Lebar *Bottom flange*	300
D	Panjang *Top flange*	21768
E	Panjang *Bottom flange*	22962

3.1.3. Simulasi *Static Structural* Model Desain Awal

Static Structural terdiri dari beberapa tahapan, yaitu pengecekan model awal, *meshing*, *setup,* dan analisis hasil simulasi *static structural* model desain awal.

a. Tahap pertama: Pengecekan model desain awal

Pengecekan model desain awal diawali dengan memasukkan model desain awal dari *software* CAD ke dalam *software elemen hingga.* Selanjutnya memasukkan material yang akan digunakan, yaitu ASTM A36 ke dalam *list* material yang digunakan. Selanjutnya melakukan pada pengecekkan pada geometri tiap *body*, dan sambungan tiap *part*.

Pada pengecekkan geometri juga dilakukan pendefinisian material pada tiap *part*. Dikarenakan pada penelitian ini keseluruhan *part* menggunakan material yang sama, sehingga dimasukkan material ASTM A36 yang sudah berada di *list* ke dalam semua *part*. Begitu juga sambungan, didefinisikan sambungan tiap *part* yaitu *bonded*.

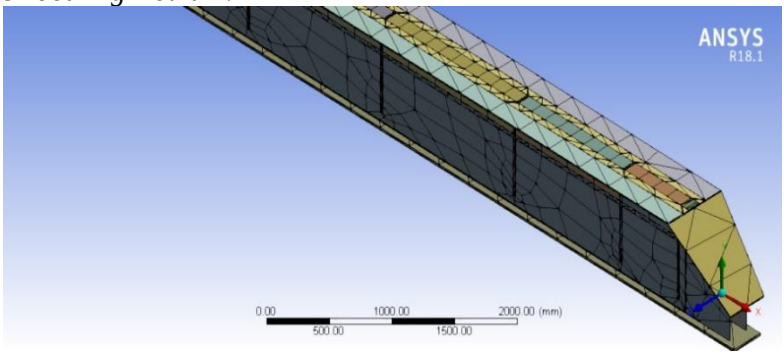
b. Tahap kedua: *Meshing*

Pada tahap ini, *crane box girder* dicari *mesh* yang sesuai dengan geometri *crane box girder*, *mesh* ditentukan dari *convergence test* merupakan validasi *mesh* yang mana mencari *mesh* yang sesuai dengan geometri yang ada. Hal tersebut mencari keterkaitan antara keakuratan *mesh* dengan kemudahan dalam proses melakukan simulasi. Kemudahan yang dimaksud ialah *mesh*

tidak perlu terlalu kecil, karena apabila ukuran *mesh* itu kecil maka proses simulasi akan semakin lama.

Pada percobaan ini digunakan *mesh adaptive* yang terlihat pada Gambar 3.3. Pada *mesh adaptive* terdapat beberapa *variable control* yang bisa diatur, diantaranya yang digunakan yaitu *relevance center*, *span angle*, dan *smoothing*. Setelah melakukan simulasi dari masing masing jenis *mesh*, dicatat nilai *stress* pada suatu titik yang sama. Setelah tercatat tiap nilai *stress*, lalu di *plotting* sehingga menjadi grafik *convergence test*.

Pada Gambar 3.4 terlihat grafik yang terdapat model *mesh* 1 sampai 9 yang diatur pada *relevance center*, *span angle* dan *smoothing*. Pada grafik juga terlihat kurva yang terlihat stabil dan konvergen pada model *mesh* 7 ke 9. Maka untuk melakukan simulasi kedepannya, *mesh* yang digunakan pada penelitian ini yaitu dipilih model *mesh* 8 dimana yang didefinisikan sebagai *mesh* yang diatur pada *relevance center fine*, *span angle medium* dan *smoothing medium.*

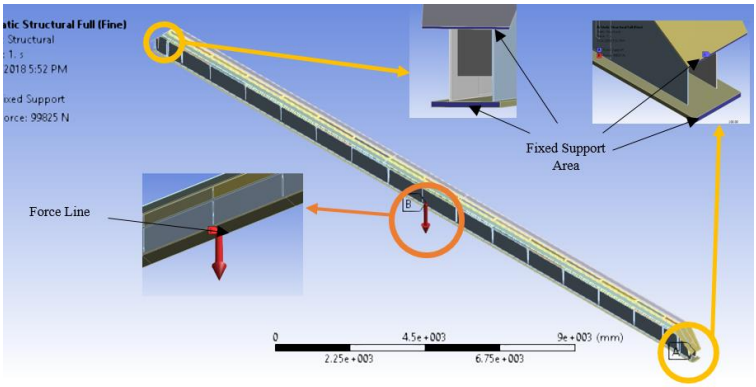


Gambar 3.3 *Meshing Adaptive Relevance center fine, span angle medium* dan *smoothing*

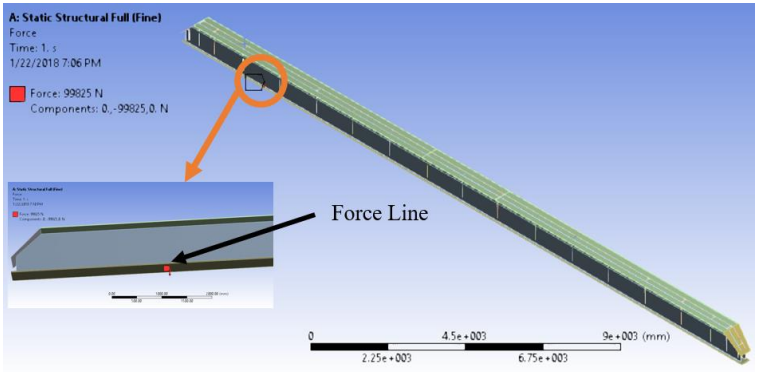
Gambar 3.4 Grafik Meshing

c. Tahap ketiga: *Setup*

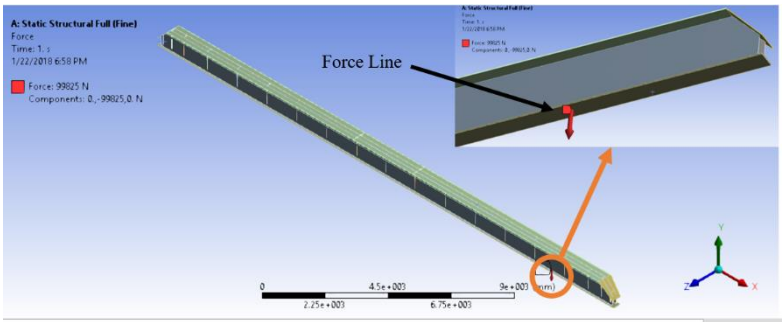
Langkah selanjutnya yaitu *setup*, dimana menentukan tumpuan dan pembebanan. Tumpuan pada *crane box girder* seperti pada gambar digunakan tumpuan *fix* pada pada permukaan ujung *chamber plate* dan *bottom flange* di kedua sisi seperti pada Gambar 3.5. Pembebanan yang dimasukkan merupakan pembebanan dari *Safe Working Load* (SWL), berat *hoist*, dan berat *crane box girder* itu sendiri. Beban dari berat *crane box girder* itu sendiri sudah didefinisikan dari material ASTM A36 dengan massa 4794,71 kg, sehingga beban dari material bernilai 46988,19 N. Untuk *Safe Working Load* (SWL) bernilai 5 ton atau 5000kg, sedangkan berat *hoist* sebesar 386 kg dari tipe EKDR-PRO 5-6.3 4/1-10Z-4.5/0.8. Dengan diketahuinya berat dari material, SWL dan *hoist* tersebut, didapati gaya yang terjadi sebesar 99824,85 N.



Gambar 3.5 *Setup* tumpuan dan pembebanan di tengah



Gambar 3.6 *Setup* pembebanan di sisi kiri

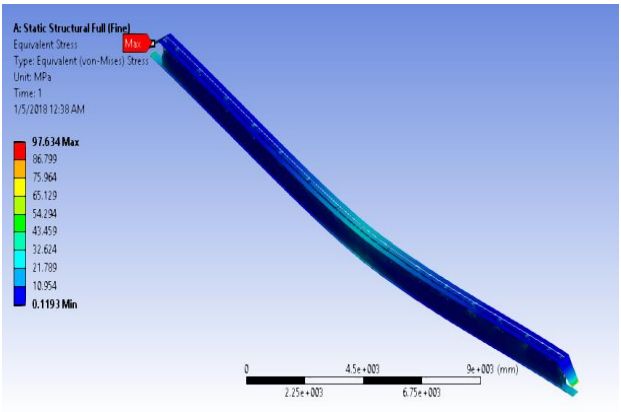


Gambar 3.7 *Setup* pembebanan di sisi kanan

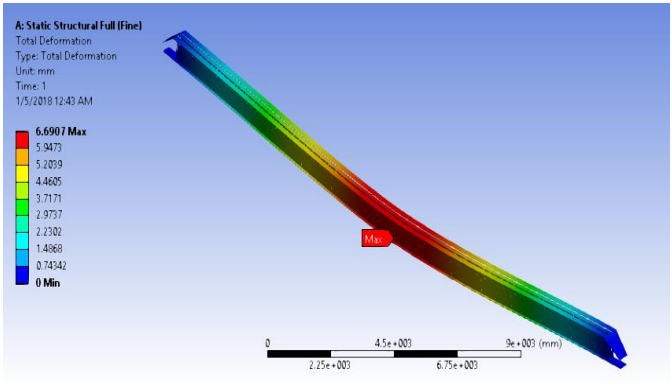
Untuk lokasi pembebanan terdapat 3 posisi, yaitu pembebanan di sisi tengah, kanan dan kiri dengan jarak 2583 mm, 11381 mm dan 18333 mm dari ujung kiri seperti pada gambar 3.5, 3.6 dan 3.7. Pemberian pembebanan 3 posisi dilakukan dengan pertimbangan saat dilakukannya Optimasi Topologi, tidak terjadi kegagalan pada daerah kritis apabila dilakukan hanya ditengah. Hal tersebut dikarenakan apabila hanya dilakukan pembebanan pada posisi tengah, Optimasi Topologi akan terpusat pada bagian samping sehingga apabila *trolley* berada pada lokasi di tempat bagian yang teroptimasi, ada kemungkinannya terjadi suatu kegagalan.

d. Tahap keempat: Analisis hasil simulasi *static structural* model desain awal

Hasil yang didapat dari simulasi *static structural* model desain awal yaitu nilai tegangan maksimum dan defleksi seperti pada gambar Gambar 3.8 dan 3.9. Selanjutnya tegangan maksimum dibandingkan dengan nilai *yield material* pada Teori Von Mises. Sedangkan deformasi merupakan perubahan bentuk dari kondisi awal dalam satuan mm dimana dilihat juga apakah nilainya masih di atas standar defleksi yang digunakan. Standar defleksi yang digunakan sebesar *span*/750.



Gambar 3.8 Hasil Simulasi *Equivalent Stress*



Gambar 3.9 Hasil Simulasi Deformasi Total

3.1.4. Optimasi Topologi dan Redesain

Sebelum melakukan optimasi, dilakukan penentuan bagian yang akan dioptimasi yang akan dijadikan variasi. Perbandingan massa tiap bagian dari *girder* terdapat pada Tabel 3.2. Dari tabel tersebut diketahui bahwa bagian atau *part* yang memiliki massa paling besar yaitu *web*, *bottom flange* dan *top flange* dimana tiap bagian tersebut mengambil bagian 39,49%, 28,01% dan 25,48%

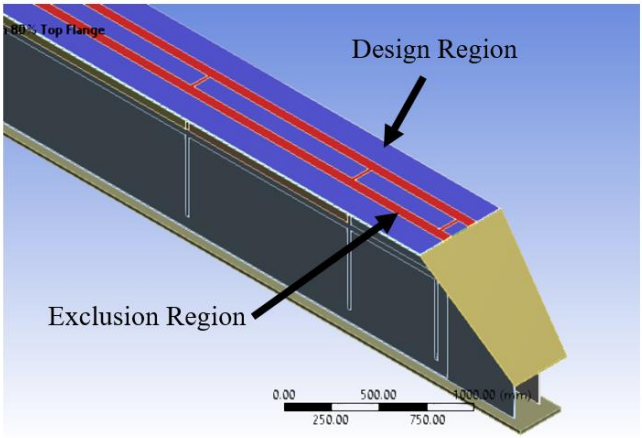
dari massa *total*. Tetapi terdapat batasan pada bagian *bottom flange* dikarenakan pada bagian tersebut berperan sebagai jalur dari *trolley*, sehingga menjadi suatu pertimbangan besar dikarenakan perlu adanya analisis lebih jauh dan juga mungkin terjadi modifikasi khusus pada *trolley* tersebut. Dengan pertimbangan yang ada maka dilakukan Optimasi Topologi pada 2 bagian tersebut yaitu bagian *top flange* dan *web*. Selanjutnya variasi kedua yaitu massa yang dipertahankan sebesar 80% dan 70%. Redesain juga ditentukan dengan pembebanan di tiga tempat yang sudah dijelaskan.

Constraints didefinisikan sebagai suatu *volume solid* dimana merupakan bagian yang dipertahankan dari proses optimasi. Sehingga pada saat *modelling*, bagian *top flange* dan *web* diubah menjadi beberapa part yang memisahkan antara *constraints* dengan bagian yang dapat dioptimasi. Pemisahan tersebut dilakukan pada saat mendefinisikan *optimization region*, dimana bagian yang dioptimasi dimasukkan sebagai *design region* dan *constraints* dimasukkan sebagai *exclusion region.* Bagian yang dimasukkan sebagai *exclusion region* sebagai *constraints* dapat dilihat pada Gambar 3.10 dan 3.11. E*xclusion region* merupakan bagian yang dilas dengan bagian yang lain.

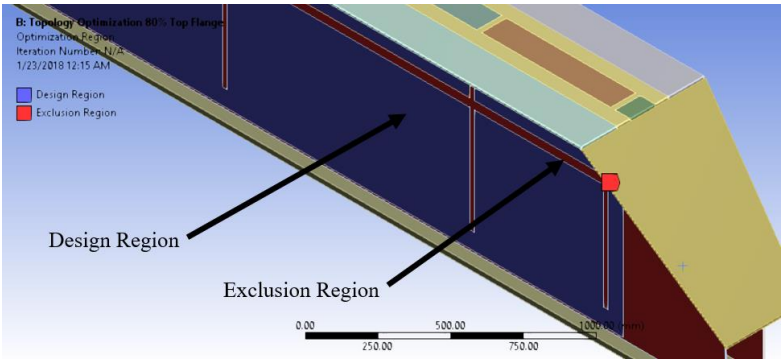
Hasil optimasi tiap variasi dilakukan redesain dan dilakukan simulasi kembali untuk mendapatkan nilai tengangan maksimum dan defleksi. Tahapan pada proses simulasi pada penelitian ini digambarkan melalui *flowchart* pada Gambar 3.7. Dimana variasi S menyimbolkan variasi persentase massa yang dipertahankan dan T yaitu variasi bagian yang dioptimasi.

Tabel 3.2 Perbandingan Massa tiap *Part*

Massa	Jumlah	Massa/ Satuan (kg)	Massa (kg)	Persentase dari *total*
Top flange	1	1221,9	1221,9	25,48%
Bottom flange	1	1343,1	1343,1	28,01%
Web	2	946,77	1893,54	39,49%
Stiffener	2	82,641	165,282	3,45%
Diafragma	17	6,2437	106,1429	2,21%
Diafragma kecil	2	3,4632	6,9264	0,14%
Chamber plate	2	28,911	57,822	1,21%
Massa *Total*			4794,7133	100,00%



Gambar 3.10 *Optimization Region* pada *Top Flange*



Gambar 3.11 *Optimization Region* pada *Web*

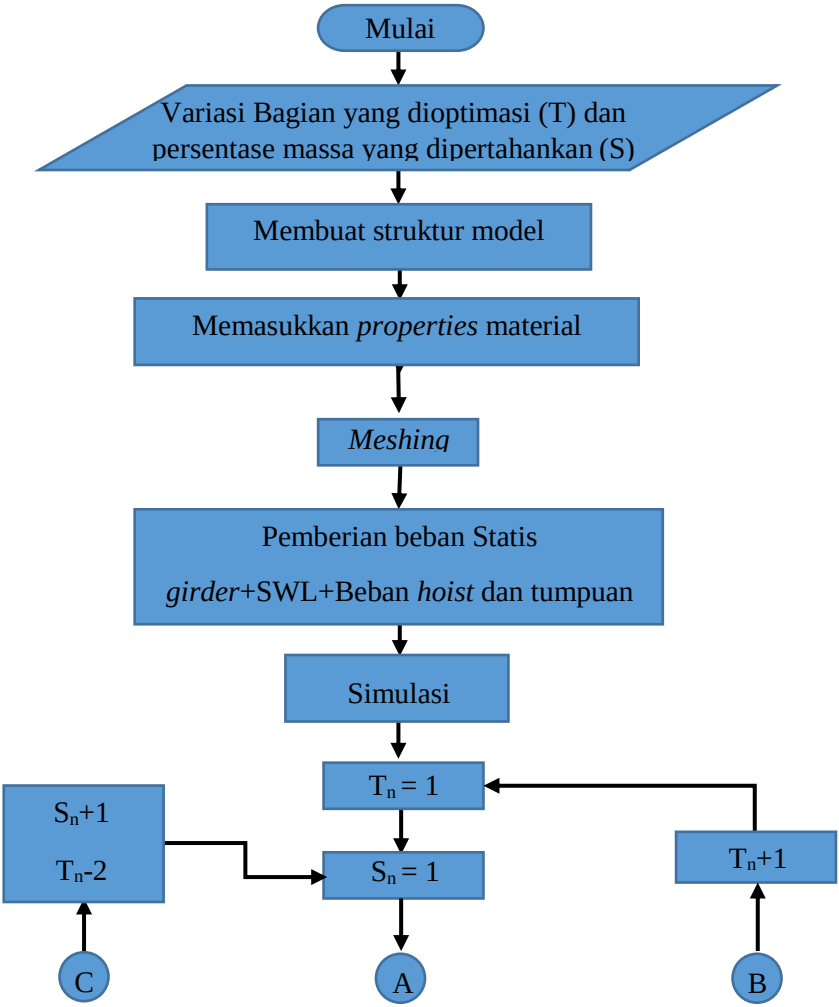
3.1.5. Simulasi *Static Structural* Model Redesain

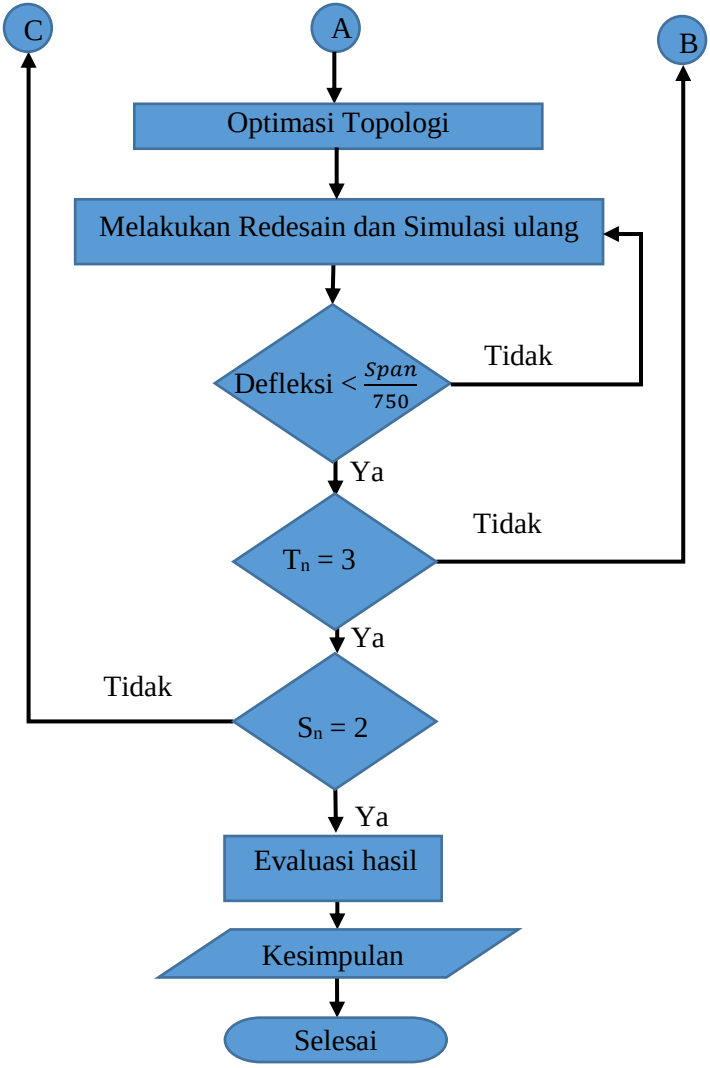
Setelah hasil Optimasi Topologi dilakukan redesain, diperlukan simulasi kembali pada model redesain dengan langkah yang sama. Hasil dari simulasi tersebut diantaranya nilai tegangan maksimum dan deformasi *total* maksimum. Dari simulasi tersebut ditulis dalam tabel dan ditampilkan dalam grafik beserta dengan pengurangan massa dari perbandingan model redesain dengan model awal.

3.2. Evaluasi hasil Redesain dan Kesimpulan

Pada tahap ini hasil simulasi *static structural model* redesain dari tiap hasil simulasi dianalisis, lalu dipilih yang memiliki kategori paling baik. Yang menjadi pertimbangan dalam menentukan desain terbaik yaitu tegangan maksimum yang masih di bawah nilai *allowable stress*, deformasi *total* maksimum yang nilainya masih dibawah standar defleksi dan pengurangan massa terbesar. Dari ketiga kategori tersebut barulah dapat dipilih desain terbaik.

.


Mulai
Variasi Bagian yang dioptimasi (T) dan persentase massa yang dipertahankan (S)
Membuat struktur model
Memasukkan *properties* material
Meshing
Pemberian beban Statis
girder+SWL+Beban *hoist* dan tumpuan
Simulasi
$T_n = 1$
S_n+1
T_n-2
$S_n = 1$
T_n+1
C
A
B



Gambar 3.12 Diagram Alur Simulasi *Crane box girder*

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

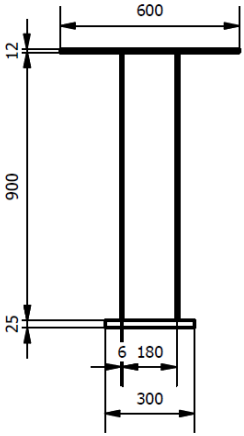
4.1. Verifikasi

4.1.1. *Hand calculation*

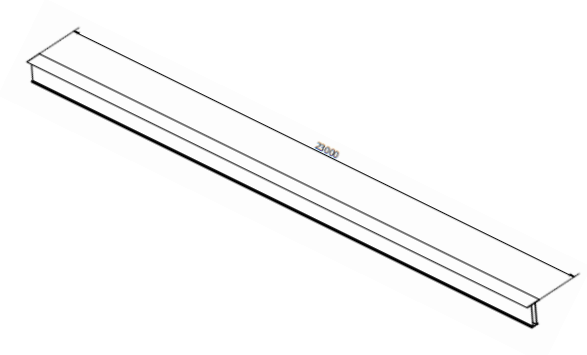
Langkah awal yang dilakukan sebelum melakukan simulasi yaitu dengan melakukan verifikasi melalui *hand calculation* dengan menghitung tegangan maksimum yang terjadi pada model sederhana yang dapat mewakili *existing* model dengan mengunakan rumus

$$\sigma_A = \frac{M.C}{I} \qquad (4.1)$$

Hasil perhitungan diharapkan menjadi pendukung dalam kebenaran nilai yang tercantumkan pada simulasi di *software* elemen hingga. Pada verifikasi ini dilakukan permodelan sederhana dengan menggunakan profil *box*. Berikut merupakan contoh perhitungan tangan pada profil *box* dengan ukuran seperti Gambar 4.1 dan 4.2.



Gambar 4.1 Geometri Profil *Box*



Gambar 4.2 *Span* Profil *Box*

Data yang diketahui yaitu pembebanan dan geometri yang didefinisikan pada Tabel 4.1 dimana pembagian luasan profil *box* dibagi menjadi 4 yaitu luasan atas, bawah, kanan dan kiri.

Selanjutnya dilakukan perhitungan luasan dimana digunakan rumus

$$A_1 = x_1 . y_1 \qquad (4.2)$$

A1 = $12\ x\ 600$
= 7200
A2 = $6\ x\ 900$
= 5400
A3 = $25\ x\ 300$
= 7500
A4 = $6\ x\ 900$
= 5400

Tabel 4.1 Geometri *hand calculation* profil *box*

Beban (N)	F	52836.66
Panjang Span (mm)	L	23000
	a	11500
	b	11500
Dimensi (mm)	H	937
	Batas	600
	Bbawah	300
	t1	6
	t2atas	12
	t2bawah	25
Untuk Luasan 1 (Atas) (mm)	y1	12
	x1	600
Untuk Luasan 2 (Kiri) (mm)	y2	900
	x2	6
Untuk Luasan 3 (Bawah) (mm)	y3	25
	x3	300
Untuk Luasan 4 (Kanan) (mm)	y4	900
	x4	6

Tabel 4.2 Luasan profil *box*

A1 (mm^2)	7200
A2 (mm^2)	5400
A3 (mm^2)	7500
A4 (mm^2)	5400

Tabel 4.3 Jarak dari Titik Pusat Area ke CG

Ya (mm)	463,28
Xb (mm)	93
Yb (mm)	7,28
Yc (mm)	455,22
Xd (mm)	93
Yd (mm)	7,28

Sehingga didapati seperti pada Tabel 4.2. Langkah selanjutnya yaitu mencari nilai *center of gravity* (CG) terhadap sumbu y yang dirumuskan

$$CG = \frac{\sum A_i.y_i}{\sum A_i} \qquad (4.3)$$

$$\text{CG} = \left(\frac{7200\ (937 - 6) + 2.5400\ (25 + 450) + 7500.12.5}{7200 + 2.5400 + 7500}\right) \text{mm}$$
$$= 469.28 \text{ mm}$$

Setelah mendapatkan CG, dilanjutkan dengan mencari jarak dari tiap luasan ke CG melalui sumbu x dan sumbu y, sehingga didapati seperti pada Tabel 4.3. Selanjutnya dicari nilai inersia dengan menggunakan perumusan

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 \qquad (4.4)$$

$$I_1 = \frac{1}{12} x_1.y_1^{\,3} + A_1.y_a^{\,2} + A_1.x_a^{\,2}$$
$$= \left(\frac{1}{12} 600.12^3 + 7200.463{,}28^2 + 0\right) \text{mm}^4$$
$$= 1545387035 \text{ mm}^4$$
$$I_2 = I_4$$
$$= \frac{1}{12} x_1.y_1^{\,3} + A_1.y_a^{\,2} + A_1.x_a^{\,2}$$
$$= \frac{1}{12}.6.900^3 + 5400.7{,}28^2 + 5400.93^2 \text{ mm}^4$$
$$= 411490513.9 \text{ mm}^4$$
$$I_2 = I_1 = \frac{1}{12} x_1.y_1^{\,3} + A_1.y_a^{\,2} + A_1.x_a^{\,2}$$

$= \frac{1}{12}.300.25^3 + 7500.455{,}22^2 + 0\ mm^4$

$= 1554604088\ mm^4$

$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$

$= (1545387035 + 411490513.9 + 1554604088 + 411490513.9)\ mm^4$

$I_{total} = 3922972150.9\ mm^4$

Selanjutnya mencari nilai momen maksimum, dengan diawali mencari Gaya dan Momen Reaksi dengan menggunakan metode superposisi pada Gambar 4.3

$R_c = \frac{F.b^2.(3a + b)}{L^3}$ (4.5)

$R_c = R_A$

$= \frac{52836{,}66\ .\ 11500^2.\ (3.11500 + 11500)}{2300^3}\ N$

$= 26418.33\ N$

$M_a = \frac{F.a.b^2}{L^2}$ (4.6)

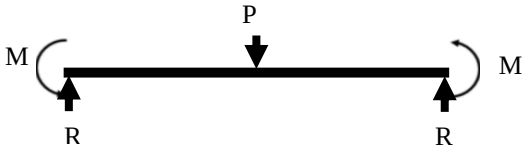
$M_a = -M_c$

$= (\frac{52836{,}66\ .\ 11500\ .\ 11500^2}{2300^2})\ Nm$

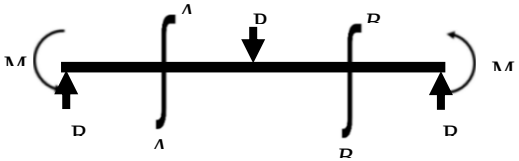
$= 151905397{,}5\ Nm$

$M_c = -M_a$

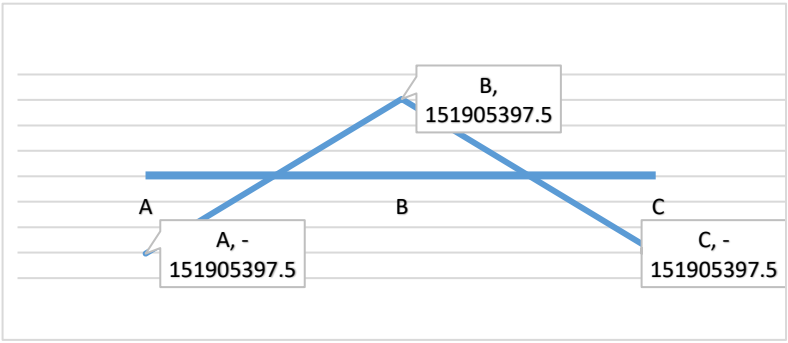
$= -151905397{,}5\ Nm$



Gambar 4. 3 Free Body Diagram



Gambar 4. 4 Metode Balok Kecil



Gambar 4. 5 Diagram Momen

Setelah gaya dan momen reaksi sudah diketahui, diagram momen bisa didapatkan dengan mencari nilai nilai momen di tiap potongan dengan metode balok kecil seperti Gambar 4.4.

Potongan A-A

(+CCW) $\sum M_x = 0$

$0 = -Rv \cdot x + M_A + M$

$M = Rv \cdot x - M_A$

Saat x = 0, M = -151905397,5 Nm

x = 11500, M = 151905397,5 Nm

Potongan B-B

(+CCW) $\sum M_x = 0$

$0 = Rv \cdot x + M_c + M$

$M = -Rv \cdot x + M_c$

Saat x = 0, M = -151905397,5 Nm

Hasil dari momen diplotkan seperti pada Gambar 4.5. Setelah mendapatkan nilai momen maksimum, CG dan inersia,

nilai tegangan akibat bending pun dapat diketahui dengan kembali ke rumus σ_A

$$\sigma_A = \frac{M.C}{I}$$

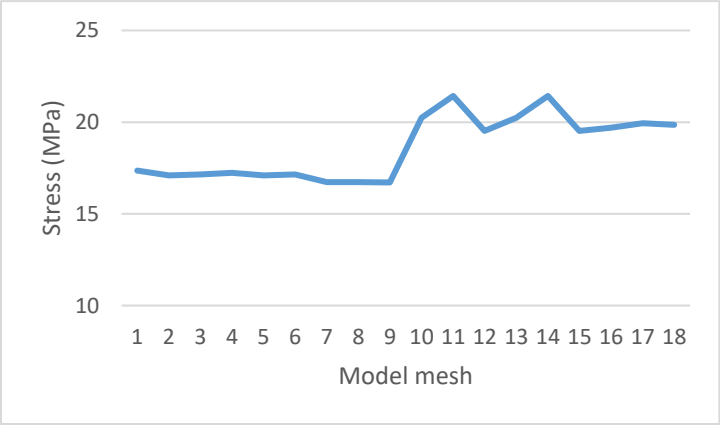
$$\sigma_A = \frac{151905397{,}5\ .\ 469{,}28}{3922972150.9}\ \text{MPa}$$

$$= 18.17\ \text{MPa}$$

Sehingga tegangan maksimum akibat bending yang terjadi pada *hand calculation* ini didapati sebesar 18,17 MPa.

4.1.2. Simulasi

Dalam proses validasi, hasil simulasi diharapkan akan bernilai tidak jauh berbeda dari hasil *hand calculation*. Simulasi pada proses validasi ini menggunakan *mesh adaptive*. *Mesh adaptive* memiliki karakteristik penyesuaian yang baik pada benda disaat terdapat ukuran dimensi yang sangat kecil maupun besar. Simulasi *adaptive* dipilih dikarenakan pada proses topologi nantinya akan terdapat bagian yang sangat kecil dengan jarak yang panjang yang cukup kompleks. Sehingga dengan keterbatasan kemampuan komputer penulis, digunakan *mesh adaptive*. Proses simulasi terlihat pada Gambar 4.7

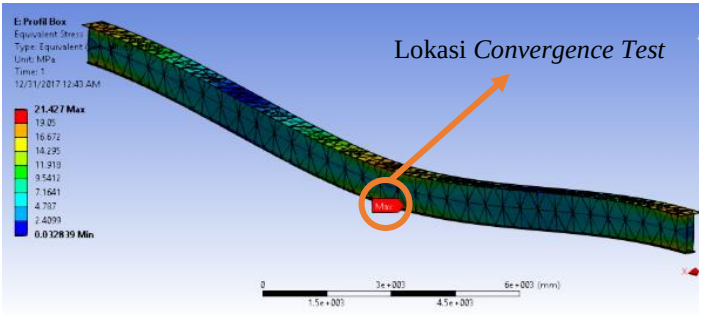


Gambar 4.6 *Convergence Test* Profil *box*

4.1.3. Pembahasan

Tahap selanjutnya membandingkan nilai tegangan maksimum dari perhitungan dengan hasil dari simulasi. Dari Tabel 4.4 didapat nilai tegangan maksimum sebesar 17,14 MPa. Sedangkan pada *hand calculation* tegangan maksimum yang didapat sebesar 18.17 MPa. Apabila dibandingkan, kedua nilai tersebut tidak terlalu berbeda. Untuk posisi tegangan maksimum simulasi juga terdapat pada daerah tengah seperti pada Gambar 4.7, dimana sesuai dengan lokasi tegangan maksimum terbesar pada hasil *hand calculation* yaitu pada ujung dan di tengah profil *box*.

Langkah awal yang dilakukan yaitu melakukan *convergence test* pada model validasi profil *box*. *Meshing adaptive* dikontrol pada beberapa bagian, yaitu *relevance center*, *span angle* dan *smoothing*. Selanjutnya dicari tegangan pada suatu titik seperti pada Gambar 4.6 yang berada pada bagian tengah di *bottom flange*-nya. Setelah dianalisis, didapatkan bahwa simulasi menggunakan *mesh* 6 karena terlihat konvergen dengan *mesh* sebelumnya. Sehingga didapatkan nilai tegangan maksimum hasil simulasi sebesar 17,14 MPa.



Gambar 4.7 Simulasi profil *box*

Tabel 4.4 Validasi tegangan pada sisi tengah *Bottom flange*

model *mesh*	*Relevance center*	*Span angle*	*Smoothing*	*Stress* (Mpa)	*Number of elements*
1	*medium*	coarse	*low*	17.361	1862
2	*medium*	coarse	*medium*	17.093	1878
3	*medium*	coarse	high	17.14	1844
4	*medium*	*medium*	*low*	17.235	1864
5	*medium*	*medium*	*medium*	17.093	1878
6	*medium*	*medium*	high	17.14	1844
7	*medium*	*fine*	*low*	16.7	1539
8	*medium*	*fine*	*medium*	17	1539
9	*medium*	*fine*	high	17	1508
10	*fine*	coarse	*low*	20.236	2356
11	*fine*	coarse	*medium*	21.427	2349
12	*fine*	coarse	high	19.531	2354
13	*fine*	*medium*	*low*	20.236	2356
14	*fine*	*medium*	*medium*	21.427	2349
15	*fine*	*medium*	high	19.531	2327
16	*fine*	*fine*	*low*	19.697	2098
17	*fine*	*fine*	*medium*	19.935	2098
18	*fine*	*fine*	high	19.86	2104

Dari validasi ini dapat disimpulkan *mesh adaptive* dapat digunakan dan tegangan maksimum yang terjadi diharapkan ada pada di tengah atau ujung *girder*. Tetapi saat menggunakan *existing design* digunakan *convergence test* kembali dikarenakan adanya

beberapa perbedaan yang sekiranya mempengaruhi pemilihan *meshing* itu sendiri.

4.2. Hasil Simulasi *Static Structural* Model Desain Awal

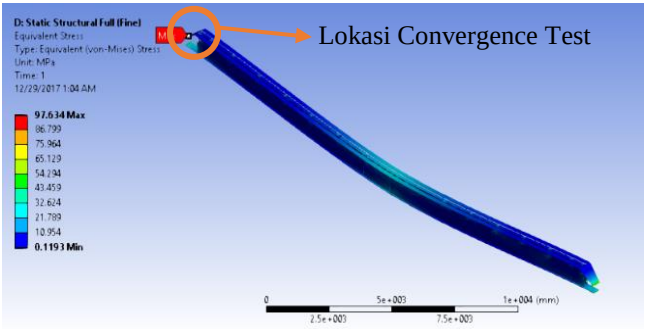
Desain awal *girder overhead crane* disimulasikan menggunakan pembebanan terpusat dari berat *girder*, SWL dan berat *trolley* sebesar 99824,72 N dan pembebanan dari berat *girder* itu sendiri yang dipusatkan dengan material ASTM A36 dan tumpuan pada kedua ujung *chamber plate* dan *bottom flange*. Terdapat 2 simulasi awal, yaitu *girder* dengan menggunakan *stiffeners* seperti pada *existing design* dan *girder* tanpa adanya *stiffeners*.

4.2.1. Hasil Simulasi *Static Structural Girder* dengan *Stiffeners*

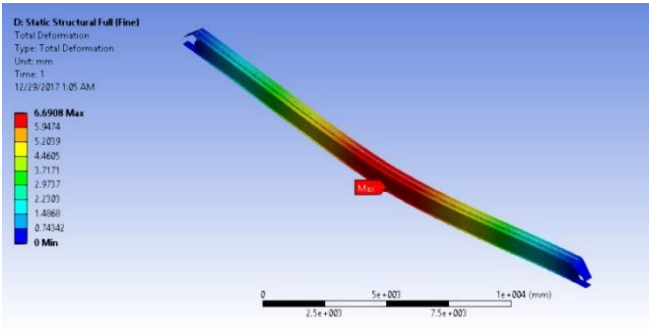
Simulasi *girder* dengan *Stiffeners* merupakan desain yang menyesuaikan dengan *existing design* yang ada, *girder* menggunakan *stiffeners*. Pada simulasi ini dilakukan juga *convergence test* kembali untuk simulasi ke depan yang mana lebih sesuai dengan geometri yang sekarang. Untuk simulasi *static structural* desain awal *Girder* ditunjukkan pada Gambar 4.8 dan 4.9 serta Tabel 4.5. Pada Gambar 4.8 juga posisi tegangan maksimum menjadi lokasi *convergence test*.

Dari grafik pada Gambar 4.10 didapatkan beberapa model *mesh* yang konvergen dimulai dari model 7 hingga ke model 9. Dari hal tersebut maka digunakan model 8 dengan *relevance center fine*, *span angle medium* dan *smoothing medium* dalam melakukan simulasi.

Sebagai hasil dari simulasi desain awal *girder* dengan *stiffener*, Gambar 4.8 dan 4.9 merupakan gambar yang membantu dalam mencari titik terbesar dari tegangan maksimum dan *total* deformasi. Diketahui bahwa tegangan terbesar yang terjadi pada simulasi tersebut berada di ujung sedangkan *total* deformasi terbesar berada pada titik tengah.



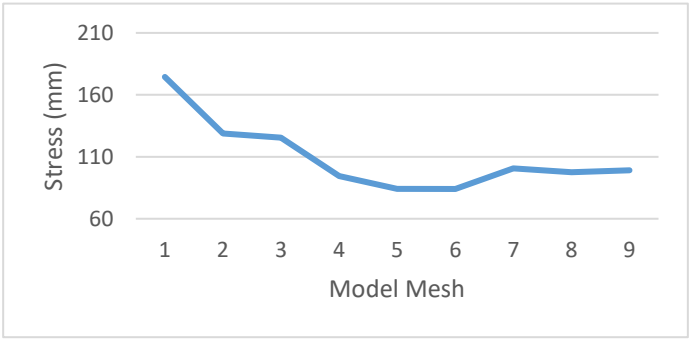
Gambar 4.8 Tegangan Maksimum pada Desain Awal *Girde*r dengan *Stiffeners*



Gambar 4.9 Deformasi Total pada Desain Awal *Girder* dengan Stiffeners

Tabel 4.5 Hasil Simulasi pada Desain Awal *Girder* dengan *Stiffeners*

Model *Mesh*	***Relevance center***	***Span angle***	***Smoothing***	**Max *Stress* (Mpa)**	**Max *Total deformation* (mm)**	***Number of elements***
1	*Medium*	*Fine*	*low*	174.47	6.788	96081
2	*Medium*	*Fine*	*Medium*	128.74	6.7594	95812
3	*Medium*	*Fine*	High	125.49	6.7925	93964
4	*fine*	Coarse	*low*	94.507	6.3769	64928
5	*fine*	Coarse	*Medium*	84.203	6.7376	63411
6	*fine*	Coarse	High	84.029	6.6653	64526
7	*fine*	*Medium*	*low*	100.6	6.6991	78127
8	*fine*	*Medium*	*Medium*	97.634	6.6908	72816
9	*fine*	*Medium*	High	99.094	6.6665	77168



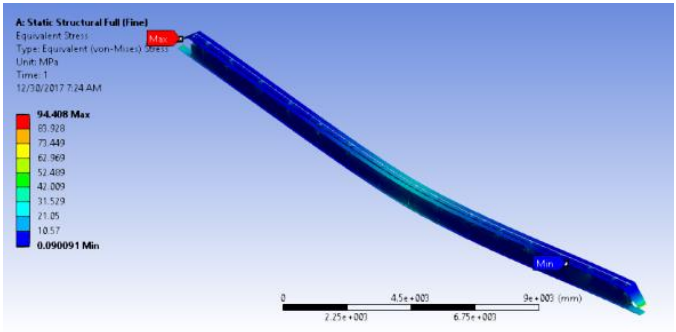
Gambar 4.10 *Convergence Test*

4.2.2. Hasil Simulasi *Static Structural Girder* tanpa *Stiffeners*

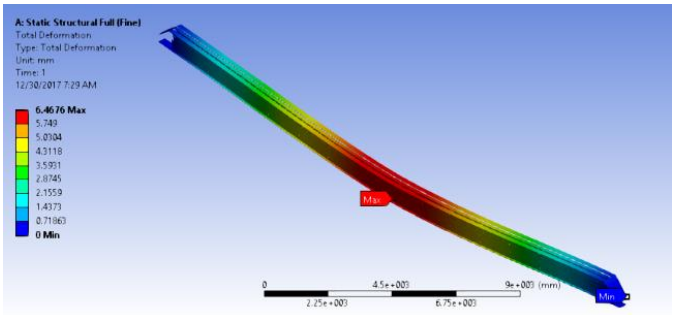
Hasil simulasi dari *girder* tanpa *stiffeners* ditunjukkan pada Tabel 4.6 yang menunjukkan besarnya tegangan maksimum dan defleksi maksimum yang terjadi pada tiap ukuran *mesh.* Sebagai hasil dari simulasi desain awal *girder stiffener*, Gambar 4.11 dan 4.12 merupakan gambar yang membantu dalam mencari titik terbesar dari tegangan maksimum dan *total* deformasi. Diketahui bahwa tegangan terbesar yang terjadi pada simulasi tersebut berada di ujung sedangkan *total* deformasi terbesar berada pada titik tengah.

Tabel 4.6 Hasil Simulasi pada Desain Awal *Girder* tanpa *Stiffeners*

Jumlah Elemen	***Stress* maksimum (Mpa)**	**Deformasi *Total* maksimum (mm)**
27385	94.408	6.4676



Gambar 4.11 Tegangan Maksimum pada Desain Awal *Girder* tanpa *Stiffeners*



Gambar 4.12 Deformasi Total pada Desain Awal *Girder* tanpa *Stiffeners*

4.3. Pembahasan Hasil Simulasi *Static Structural* Model Desain Awal

Apabila dibandingkan antara desain awal *girder* dengan *stiffeners* dan *girder* tanpa *stiffeners* yang berada pada Tabel 4.6 ternyata perbedaan pada nilai tegangan maksimum dan deformasi *total* tidak jauh berbeda sesuai pada Tabel 4.5. Bahkan nilai tegangan maksimum dan deformasi *total* dapat disimpulkan memiliki nilai yang mirip apabila diamati secara struktur. Tegangan dan defleksi *girder* tanpa *stiffeners* lebih baik dikarenakan massa dari *girder* sendiri yang menjadi sedikit lebih ringan, sehingga hal tersebut mempengaruhi pembebanan.

Fungsi dari *stiffeners* sendiri disimpulkan tidak begitu berpengaruh apabila diamati pembebanan secara tegak lurus sepanjang *stiffeners*. Apabila diberikan gaya dari samping atau adanya tegangan geser pada suatu permukaan sepanjang *girder*, maka *stiffeners* kemungkinan akan sangat berpengaruh. Sehingga dibutuhkan penelitian lebih lanjut mengenai efek *stiffeners* pada pemberian gaya dari *trolley* atau gaya lainnya.

4.4. Optimasi Topologi

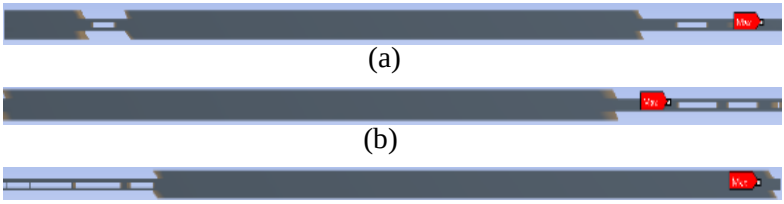
4.4.1. Analisis Awal Optimasi Topologi

Optimasi Topologi dilakukan pada desain awal dengan *stiffeners* dan terdapat 6 model redesain optimasi, yaitu dengan

variasi bagian *top flange*, *web* serta kombinasi *top flange* dan *web* dan bagian yang dipertahankan sebesar 80%, 70%. Dan juga pada saat proses mengoptimasi, terdapat daerah yang dibatasi sebagai *constraint*, yaitu daerah las-lasan dimana tiap *part* memiliki daerahnya sendiri.

4.4.2. Redesain pada *Top flange*

Pada optimasi *top flange*, daerah yang dibatasi sebagai *constraint* yaitu daerah las-lasan dari diafragma dan *web* pada *top flange* itu sendiri. Terdapat dua model redesain pada *top flange* yang berdasarkan persentase bagian yang dipertahankan, yaitu 80% dan 70%.



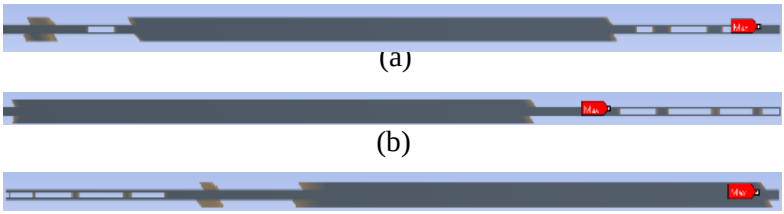
(a)

(b)

(c)

Gambar 4. 13 Hasil Optimasi Topologi pada Topflange dengan Retain 80% dengan Pembebanan di (a) tengah (b) kiri (c) kanan

Gambar 4.14 Redesain *Top flange* Hasil Topologi dengan *Retain* 80%



(a)

(b)

(c)

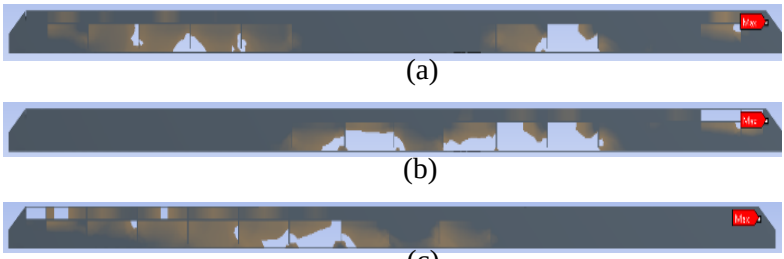
Gambar 4.15 Hasil Optimasi Topologi pada *Top Flange* dengan *Retain* 70% dengan Pembebanan di (a) tengah (b) kiri (c) kanan

Gambar 4.16 Redesain *Top Flange* Hasil Topologi dengan *Retain* 70%

4.4.3. Redesain pada *web*

Untuk optimasi pada *web*, terdapat juga daerah yang dibatasi sebagai *constraint*, yaitu bagian yang tidak teroptimasi. Bagian tersebut diantaranya daerah yang di las-lasan dari diafragma, *stiffeners*, *top flange*, *bottom flange* dan *chamber plate* ke *web*, batasan tersebut jauh lebih banyak dari pada optimasi pada *top flange*.

Untuk pembebanannya juga dilakukan sama seperti simulasi variasi *top flange* sebelumnya, yaitu terdapat pembebanan di tengah, sisi kiri dan kanan dengan jarak. Hasil Optimasi Topologi berdasarkan tiap posisi pembebanan dapat dilihat pada Gambar 4.17 serta hasil dari redesain pada Gambar 4.18 untuk *retain* 80% serta hasil Optimasi Topologi pada Gambar 4.19 serta 4.20 sebagai hasil Optimasi Topologi dan redesain untuk *retain* 70%. Daerah yang sekiranya ada perpotongan pada hasil kasar topologi di lubangi berbentuk seperti oval.

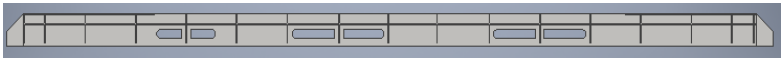


(a)

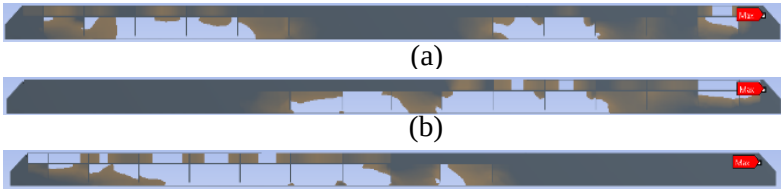
(b)

(c)

Gambar 4.17 Hasil Optimasi Topologi pada *Web* dengan *Retain* 80% dengan Pembebanan di (a) tengah (b) kiri (c) kanan



Gambar 4.18 Redesain *Web* Hasil Topologi dengan *Retain* 80%



(a)

(b)

(c)

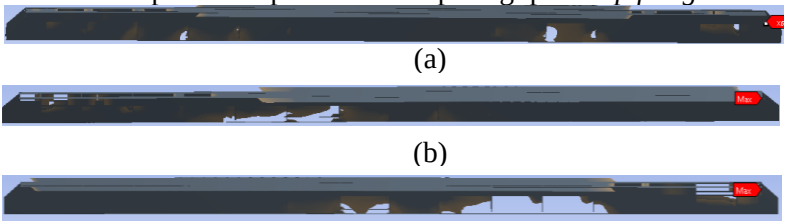
Gambar 4.19 Hasil Optimasi Topologi pada *Web* dengan *Retain* 70% dengan Pembebanan di (a) tengah (b) kiri (c) kanan

Gambar 4.20 Redesain *Web* Hasil Topologi dengan *Retain* 70%

4.4.4. Redesain Kombinasi *Top flange* dan *web*

Untuk variasi bagian yang dilakukan optimasi pada *top flange* dan *web*, diberikan daerah yang dibatasi sebagai *constraint* yang sama seperti pada optimasi *top flange* dan optimasi *web*.

Untuk pembebanannya juga dilakukan sama seperti simulasi variasi *top flange* dan pada *web* sebelumnya, yaitu terdapat pembebanan di tengah, sisi kiri dan kanan dengan jarak. Hasil Optimasi Topologi berdasarkan tiap posisi pembebanan dapat dilihat pada Gambar 4.21 serta hasil dari redesain pada Gambar 4.22 untuk *retain* 80% serta hasil Optimasi Topologi pada Gambar 4.23 serta 4.24 sebagai hasil Optimasi Topologi dan redesain untuk *retain* 70%. Hasil kasar topologi di lubangi berbentuk seperti oval pada *web* dan persegi pada *top flange*.



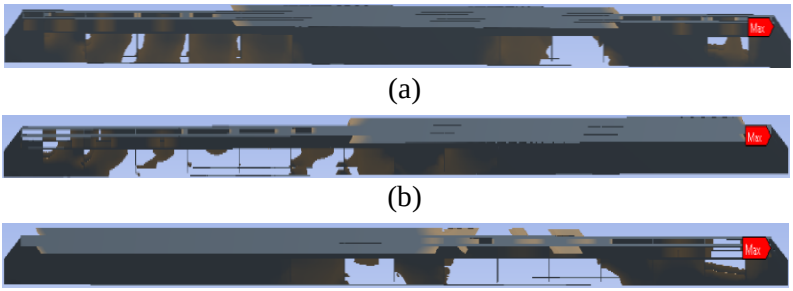
(a)

(b)

(c)

Gambar 4.21 Hasil Optimasi Topologi pada *Top Flange* dan *Web* dengan *Retain* 80% dengan Pembebanan di (a) tengah (b) kiri (c) kanan

Gambar 4.22 Redesain *Top Flange* dan *Web* Hasil Topologi dengan *Retain* 80%



(a)

(b)

(c)

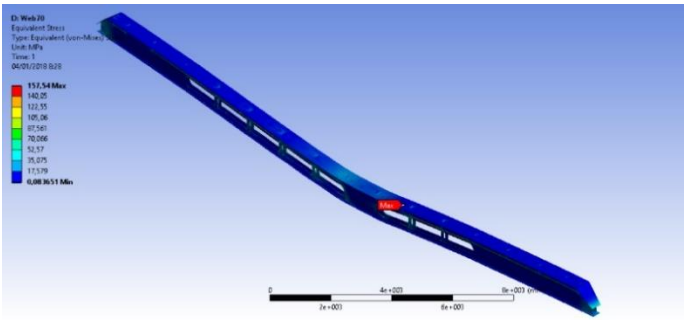
Gambar 4. 23 Hasil Optimasi Topologi pada Top Flange dan *Web* dengan Retain 70% dengan Pembebanan di (a) tengah (b) kiri (c) kanan

Gambar 4. 24 Redesain *Top Flange* dan *Web* Hasil Topologi dengan *Retain* 70%

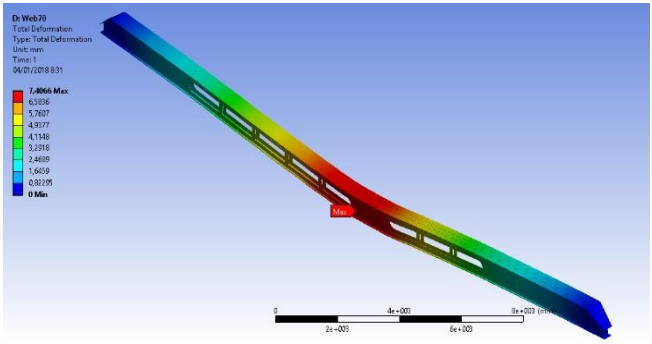
4.5. Hasil Simulasi *Static Structural Redesign*

Langkah terakhir dari proses redesain ini yaitu melakukan simulasi yang bertujuan untuk mengetahui tegangan maksimum dan deformasi *total* yang akan dijadikan pertimbangan dalam pemilihan desain terbaik. Nilai dari tegangan maksimum dan deformasi didapat dari 3 posisi pembebanan pada tiap hasil redesain dengan menggunakan *mesh* yang sama. Hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 4.7 dimana membandingkan tiap desain hasil optimasi dengan beberapa *properties* seperti persentase massa *retain* sebenarnya, tegangan maksimum, *total* deformasi dan pengurangan massa.

Pada bagian *top flange retain* 80% dilakukan pembebanan pada tiga posisi. Tegangan terbesar yang terjadi pada pada pembebanan di sisi kiri dengan jarak 2583 mm (dari ujung kiri) sebesar 125,6 MPa dengan deformasi *total* terbesar sebesar 6,73 mm pada pembebanan di tengah. Untuk massa yang dikurangi



Gambar 4.25 Simulasi Tegangan Maksimum *Web Retain* 70% pembebanan di tengah



Gambar 4.26 Simulasi *Total Deformation Web Retain* 70% pembebanan di tengah

sebesar 3,425%. Sama seperti *retain* 80%, pada *top flange retain* 70%, tegangan terbesar berada pada posisi yang sama dengan deformasi *total* terbesar bernilai 6,65 mm dengan pengurangan massa sebesar 5,423%.

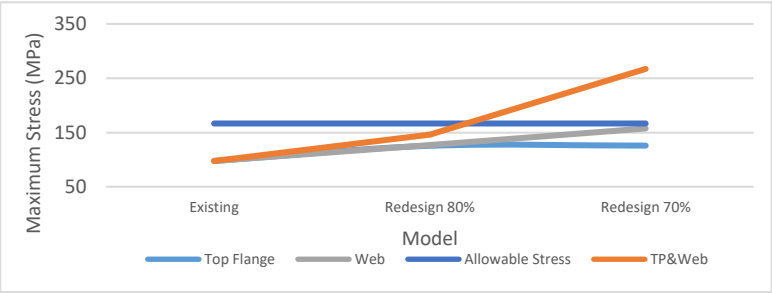
Untuk bagian *web retain* 80% maupun 70% terjadi tegangan terbesar pada pembebanan di tengah, dimana bernilai sebesar 126,98 MPa dan 157,54 MPa dengan deformasi sebesar 6,96 mm dan 6,65 mm pada pembebanan di tengah serta pengurangan massa sebesar 3,133% dan 7,829% dari massa *total*. Dapat dilihat pada Gambar 4.25 dimana tegangan maksimum yang

terjadi bukan pada ujung *girder*, tetapi pada di daearah yang berada di sisi kiri dekat daerah yang ditopologikan. Sedangkan simulasi deformasi *total* maksimum tetap pada bagian tengah yang dapat dilihat pada Gambar 4.26.

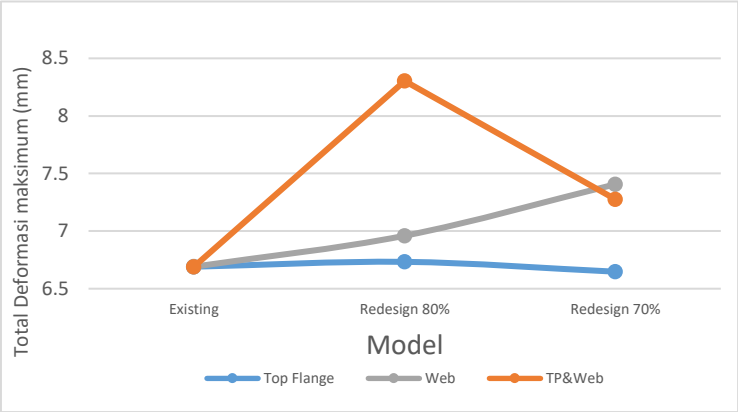
Tabel 4.7 Hasil Simulasi Model Redesain

			Persentase Massa *Retain* Sebenarnya (%)	**Tegangan Maksimum (Mpa)**	***Total* Deformasi Maksimum (Mm)**	**Pengurangan Massa *Total* (%)**
Top flange	***Retain* 80%**	**Tengah**	86.56	118.68	6.7330	3,425
		Kanan	86.56	124.17	2.6983	3,425
		Kiri	86.56	125.6	2.4684	3,425
	***Retain* 70%**	**Tengah**	78.72	112.75	6.6476	5,423
		Kanan	78.72	124.95	2.729	5,423
		Kiri	78.72	125.86	2.4871	5,423
Web	***Retain* 80%**	**Tengah**	92.06	126.98	6.9598	3,133
		Kiri	92.06	120.63	2.4234	3,133
		Kanan	92.06	118.85	2.5304	3,133
	***Retain* 70%**	**Tengah**	80.16	157.54	7.4066	7,829
		Kiri	80.16	128.79	2.5427	7,829
		Kanan	80.16	116.41	2.5167	7,829
Top-Flange & Web	***Retain* 80%**	**Tengah**	89,18	145,95	8,3034	7,022
		Kiri	89,18	144,86	3,182	7,022
		Kanan	89,18	137,4	3,2281	7,022
	***Retain* 70%**	**Tengah**	82,18	142,43	7,2757	11,579
		Kiri	82,18	267,18	3,0194	11,579
		Kanan	82,18	131,01	3,0128	11,579

Sedangkan untuk bagian kombinasi *top flange* dan *web retain* 80% terjadi tegangan terbesar pada pembebanan di tengah, dimana bernilai sebesar 145,95 MPa dan untuk *retain* 70% terjadi pembebanan terbesar sebesar 267,18 MPa pada sisi kiri dengan deformasi sebesar 8,303 mm dan 7,28 mm pada pembebanan di tengah serta pengurangan massa sebesar 7,022% dan 11,579% dari massa *total*.



Gambar 4.27 Grafik Perbandingan Tegangan Maksimum Model *Existing* dengan Model Redesain



Gambar 4.28 Grafik Perbandingan Total Deformasi Maksimum Model *Existing* dengan Model Redesain

Dari Gambar 4.27 terdapat grafik yang menunjukan kenaikan nilai tegangan maksimum dari model *existing* ke model redesain. Terlihat bahwa *trendline* tegangan maksimum yang terjadi dari semua model redesain itu naik. Untuk model redesain *top flange* dan *web* memiliki *trendline* yang naik. Tetapi untuk model saat *web retain* 70% terjadi peningkatan yang jauh lebih tinggi, yaitu sebesar 157,54 MPa. Untuk *top flange*, tegangan maksimum yang terjadi tidak jauh berbeda pada *retain* 80% dan 70%. Sedangkan pada kombinasi *top flange* dan *web*, nilai tegangan *retain* 80% cukup meningkat dan disaat menuju *retain* 70%, tegangannya menjadi sangat besar dimana sebesar 267,18 MPa. Pada grafik juga terdapat nilai *allowable stress* dimana berada pada nilai 166 MPa. Sehingga hal ini menunjukkan bahwa hanya satu model yang dikategorikan tidak aman dikarenakan masih di atas nilai *allowable stress*, yaitu pada variasi kombinasi *top flange* dan *web* pada *retain* 70%. Untuk model yang lainnya dikategorikan aman karena bernilai dibawah nilai *allowable stress*.

Dari Gambar 4.28 terdapat grafik yang menunjukan kenaikan *total* deformasi maksimum dari model *existing* ke model redesain. Pada model redesain *top flange* dan *web* terjadi kenaikan *total* deformasi maksimum dari nilai *existing* dengan *retain* 80%. dimana model redesain *web retain* 70% memiliki nilai terbesar yaitu sebesar 7,4 mm. Pada *top flange retain* 70% mengalami penurunan nilai *total* deformasi maksimum menjadi 6,65 mm. Sedangkan pada kombinasi *top flange* dan *web* pada *retain* 80% dari *existing* nilainya naik sangat besar, yaitu menjadi 8,3 mm. tetapi ketika pada *retain* 70%, nilainya menjadi lebih kecil kembali menjadi 7,27 mm. Semua model dikategorikan aman dikarenakan bernilai lebih rendah dari standar defleksi sebesar Span/750 atau 30,6 mm.

Dari kedua grafik pada gambar 4.27 dan 4.28 serta hasil simulasi pada Tabel 4.7 dapat ditarik beberapa kesimpulan. Pada variasi kombinasi *top flange* dan *web*, pengaruh dari berkurangnya beban lebih mendominasi pada meningkatnya deformasi *total* maksimum. Sedangkan tegangannya meningkat pada *retain* 70%

dikarenakan pengaruh dari bagian yang teroptimasi di sisi kiri. Dan disimpulkan juga bahwa optimasi masih bisa dilakukan pada bagian *top flange*. Lebih kecilnya nilai tegangan maksimum model redesain *top flange retain* 70% daripada *retain* 80% bahwa pengaruh dari berkurangnya beban lebih dominan efeknya dari meningkatnya tegangan maksimum akibat Optimasi Topologi.

4.6. Pembahasan Desain Terbaik

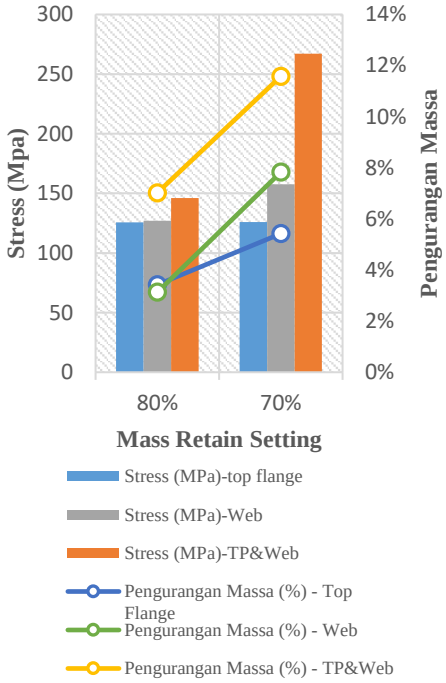
Dalam pemilihan desain terbaik dapat dianalisis melalui Gambar 4.29, terdapat beberapa *properties* yang menjadi pertimbangan seperti nilai tegangan maksimum, *total* deformasi maksimum, dan massa dari tiap model redesain. Pada empat model redesain yang ada, semuanya merupakan masih cukup kuat dalam menerima beban SWL, *trolley* dan massa dari *girder* itu sendiri dikarenakan tegangannya masih dibawah *allowable stress* sebesar 166 MPa dan *total deformation*nya masih jauh di bawah standar yang ada yaitu 20 mm, sehingga Gambar 4.29 bisa menjadi suatu pertimbangan dimana grafik ini membandingkan tegangan maksimum dengan massa Optimasi Topologi.

Untuk perbandingan tegangan maksimum dengan pengurangan massa, dapat dianalisis dari Gambar 4.29. Terdapat 2 keterangan pada tiap bagian. Pada bagian *top flange*, terjadi kenaikan tegangan yang sangat kecil dengan kenaikan pengurangan massa yang cukup tinggi. Pada bagian *web*, tegangan terlihat naik drastis, begitu juga dengan pengurangan massanya yang naik dengan pesat juga. Sedangkan pada bagian kombinasi *top flange* dan *web*, tegangannya naik besar yang nilainya melebihi *allowable stress* pada *retain 70%* dengan pengurangan massa yang sangat besar juga.

Hal ini menandakan bahwa bagian *top flange* masih bisa dioptimasi kembali, dan berpotensi sebagai desain terbaik apabila dilakukan optimasi lebih lanjut. Hal tersebut berbanding terbalik dengan bagian *web*, dikarenakan pada bagian *web* tegangan sudah mendekati nilai *allowable stress*. Di lain sisi, optimasi pada *web* ini menghasilkan pengurangan yang tinggi. Sedangkan pada bagian

kombinasi *top flange* dan *web*, pada *retain* 70% tidak bisa dipilih menjadi desain terbaik meskipun merupakan variasi yang memiliki pengurangan massa terbesar, dikarenakan nilai tegangannya yang melebihi *allowable stress*.

Dari perbandingan massa, model redesain *web retain* 70% memiliki massa yang jauh lebih ringan, dengan pengurangan massa sebesar 187,5 kg pada tiap *web* dengan nilai tegangan yang masih dibawah *allowable stress*. Ditambah lagi dengan adanya dua *web* dalam satu *girder*, sehingga pengurangan massa *total girder* yaitu sebesar 375 kg. Dari ketiga *properties* tersebut, yang menjadi desain terbaik yaitu model redesain *web retain* 70% dengan nilai tegangan maksimum sebesar 157,54 MPa dengan *total* deformasi maksimum sebesar 7,4 dengan pengurangan massa *total girder* sebesar 375 kg.



Gambar 4.29 Grafik Hubungan Tegangan Maksimum dengan Persentase Pengurangan Massa

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari tugas akhir ini yaitu:

1. Hasil validasi dari perhitungan tangan sesuai dengan simulasi model profil *box* sederhana menggunakan *mesh adaptive* dimana nilai keduanya sebesar 19,202. Mpa dan 18,17 Mpa dan berlokasi berada pada daerah ujung.
2. Penggunaan *stiffeners* tidak begitu berpengaruh pada Analisis struktur dengan pembebanan tegak lurus sepanjang *stiffeners*. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai tegangan maksimum dan *total* deformasi maksimum dari desain awal *girder* tanpa *stiffeners* sebesar 94,173 MPa dan 6,49 mm dengan nilai tegangan maksimum dan *total* deformasi maksimum dari desain awal *girder* dengan *stiffeners* sebesar 97,634 MPa dan 6,69 mm.
3. Pada pengujian, terdapat 6 model redesain berdasarkan bagian yang ditopologikan dengan persentase massa yang dipertahankan yang menghasilkan nilai tegangan maksimum dan *total* deformasi maksimum yang berbeda beda. Untuk redesain *top flange* dengan *retain* 80% didapati nilai tegangan maksimum dan *total* deformasi sebesar 125,6 MPa dan 6,733 mm dengan berkurangnya massa *total* sebesar 164,2 kg. Untuk redesain *top flange* dengan *retain* 70% didapati nilai tegangan maksimum dan *total* deformasi sebesar 125,86 MPa dan 6,65 mm dengan berkurangnya massa *total* sebesar 260 kg. Untuk redesain *web* dengan *retain* 80% didapati nilai tegangan maksimum dan *total* deformasi sebesar 126,98 MPa dan 6,96 mm dengan berkurangnya massa *total* sebesar 150,2 kg. Dan untuk redesain *web* dengan *retain* 70% didapati nilai tegangan maksimum dan *total* deformasi sebesar 157,54 MPa dan 7,4 mm dengan berkurangnya massa *total* sebesar 375,4 kg. Sedangkan untuk redesain kombinasi *top flange* dan *web* dengan *retain* 80% didapati nilai tegangan maksimum dan *total* deformasi

sebesar 145,95 MPa dan 8,303 mm dengan berkurangnya massa *total* sebesar 336,7 kg. Dan untuk redesain kombinasi *top flange* dan *web* dengan *retain* 70% didapati nilai tegangan maksimum dan *total* deformasi sebesar 267,18 MPa dan 7,28 mm dengan berkurangnya massa *total* sebesar 555,2 kg.

4. Didapati desain terbaik yaitu dengan model redesain *web* dengan *retain* 70% dikarenakan mampu mengurangi massa yang lebih besar dibandingkan dengan yang lain yaitu sebesar 375,4 kg dimana tegangannya masih di bawah *allowable stress* yang bernilai 166,6 MPa dan juga nilai defleksinya masih di bawah standar yang digunakan oleh perusahaan sebesar 20 mm.

5.2. Saran

Adapun saran mengenai penelitian ini untuk para pembaca yang sedang mencari topik tugas akhir diantaranya:

1. Dalam proses menganalisis *overhead girder crane*, masih diperlukan analisis bagian yang lain. Seperti analisis struktur *end carriage*, pengaruh *swing* dari *trolley*, pengaruh diafragma pada analisis struktur, validasi simulasi redesain setelah Optimasi Topologi dengan posisi pembebanan yang lebih banyak dan mendetail, dsb. Sehingga untuk orang yang membaca penelitian ini bisa melanjutkan menganalisis perihal yang lain seperti yang sudah disebutkan.
2. Bisa juga melanjutkan tugas akhir ini dengan mengalisa tipe *girder* yang lain, dari segi bentuk profil, atau tipe *overhead crane* maupun kapasitas. Sehingga dengan adanya tugas akhir ini bisa menjadi pembanding dalam pengerjaannya nanti.
3. Dibutuhkan analisa kembali pada model redesain dengan posisi pembebanan yang lebih spesifik.
4. Untuk pengujian selanjutnya diharapkan menggunakan *mesh* yang jauh lebih detail, dengan menggunakan komputer yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Sowa L., Pawel Kwiaton. 2007. *Numerical Analysis of Stress Fields Generated in the Gantry Crane Beam*. Czestochowa University of Technology: Poland.

[2] Sowa L., Zbigniew Saternus, Marcin Kubiak. 2017. *Numerical Modelling of Mechanical Phenomenona in the Gantry Crane Beam*. Czestochowa University of Technology: Poland.

[3] Setiabudi L. 2017. *Redesain Pallet Rotary Parking dengan Rectangular Hollow Tube Menggunakan Software Elemen Hingga*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.

[4] Susatio. Yerri. 2004. *Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga*.Penerbit Andi: Yogyakarta.

[5] Logan L. Daryl. 2007. *A First Course in the Finite Element Method*, Fourth Edition. Thomson: Canada.

[6] Brock Mark William. 1988. *The Influence of Intermediate Diaphragms in Overhead Travelling Crane box girders*. University of Leicester : UK.

[7] De Weck O., Il Yong Kim. 2004. *Structure Design Optimization*. Massachusetts Institute of Technology: United States of America.

[8] Deutschman A. D., Walter J.M., Charles E. W. 1975. *Machine Design*. Macmillan Publishing Co., Inc : United States of America.

[9] <URL:*https://www..mhi.org/> (diakses 1 November 2017)*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN A

SPESIFIKASI MATERIAL ASTM A36

Mechanical Properties	Metric
Tensile Strength, Ultimate	400 - 550 MPa
Tensile Strength, Yield	250 MPa
Modulus of Elasticity	200 GPa
Bulk Modulus (typical for steel)	140 GPa
Poissons Ratio	0.260
Shear Modulus	79.3 GPa

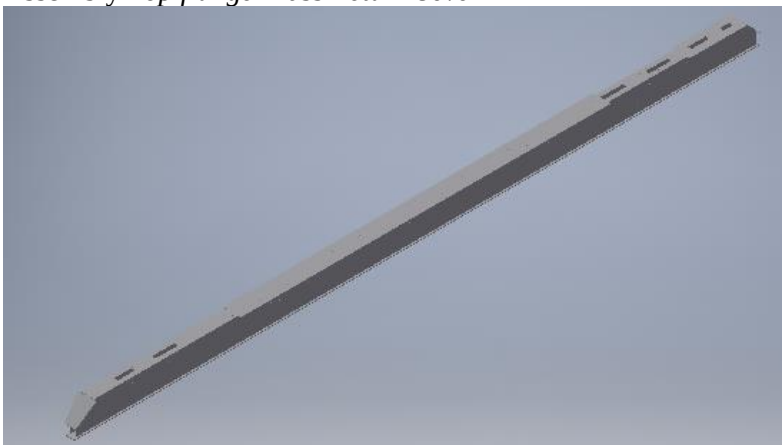
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN B

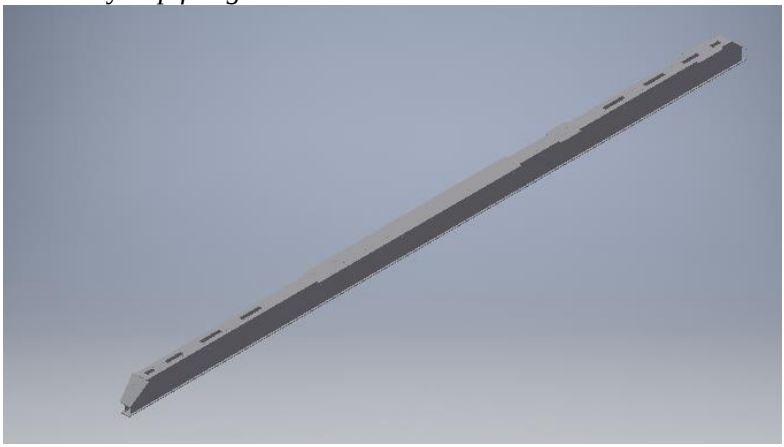
SKETSA DAN GAMBAR *ASSEMBLY*

1. Sketsa *Web* Mass *Retain* 70% (Desain Terbaik)
2. Assembly *Top flange*
3. Assembly *Web*
4. Assembly Kombinasi *Top flange* dan *Web*

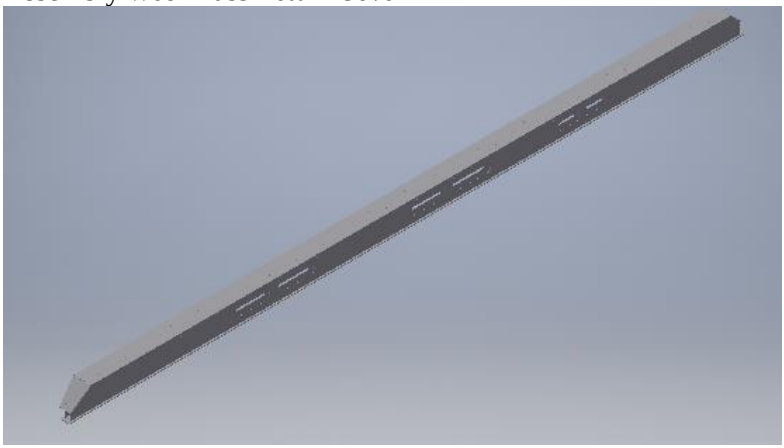
Assembly *Top flange* Mass *Retain* 80%



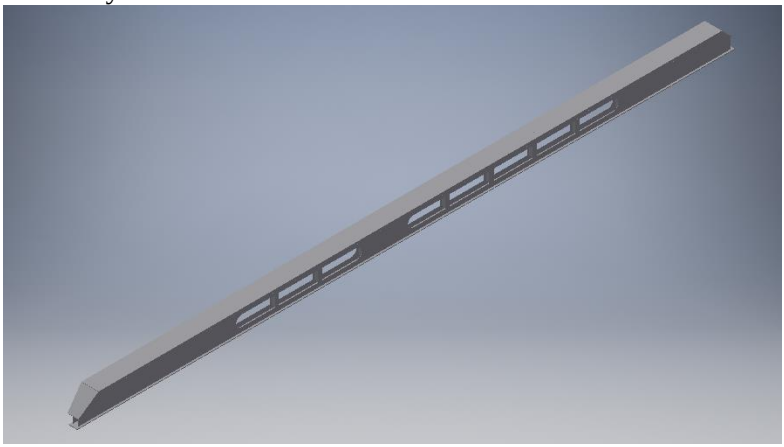
Assembly *Top flange* Mass *Retain* 70%



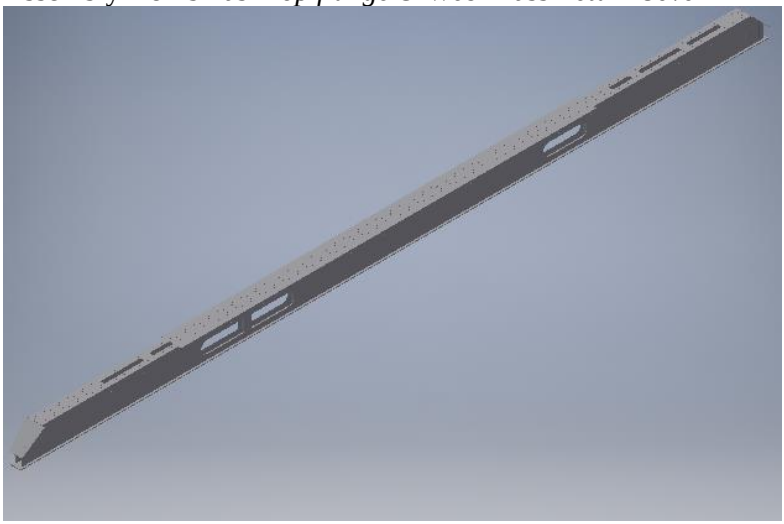
Assembly *Web* Mass *Retain* 80%



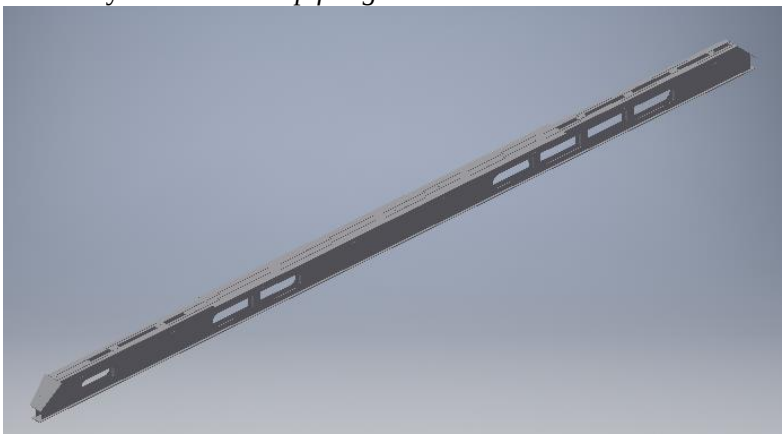
Assembly *Web* Mass *Retain* 70%

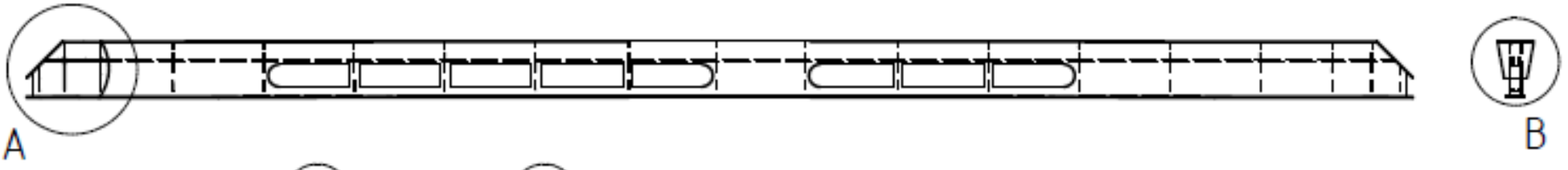


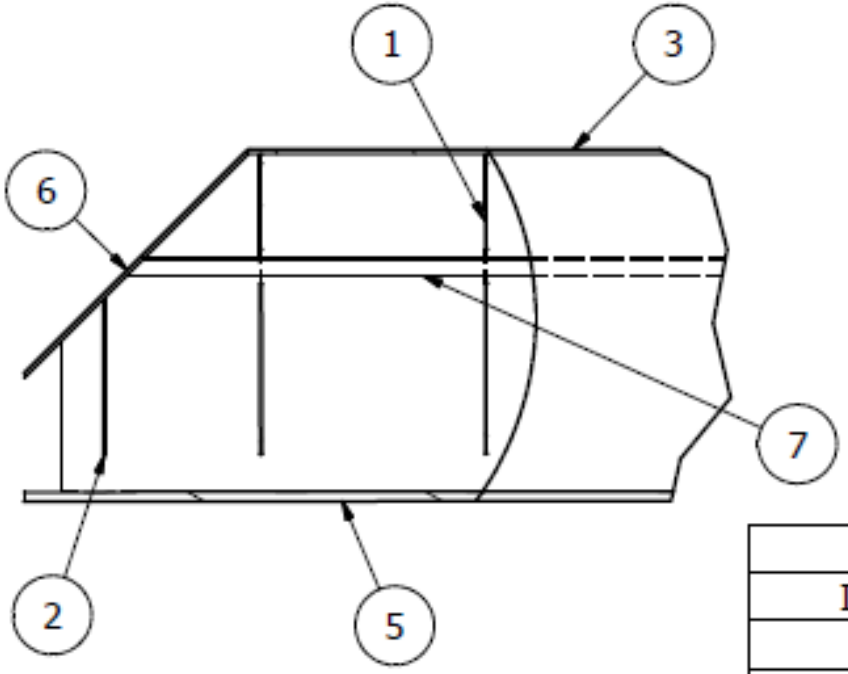
Assembly Kombinasi *Top flange* & *Web* Mass *Retain* 80%



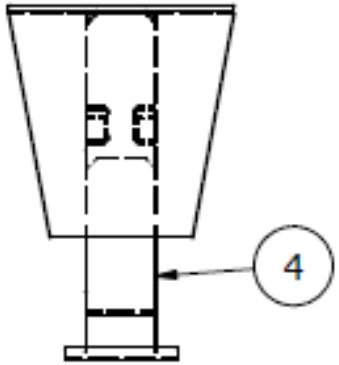
Assembly Kombinasi *Top flange* & *Web* Mass *Retain* 70%







SECTION A
(1 : 20)



SECTION B
(1 : 20)

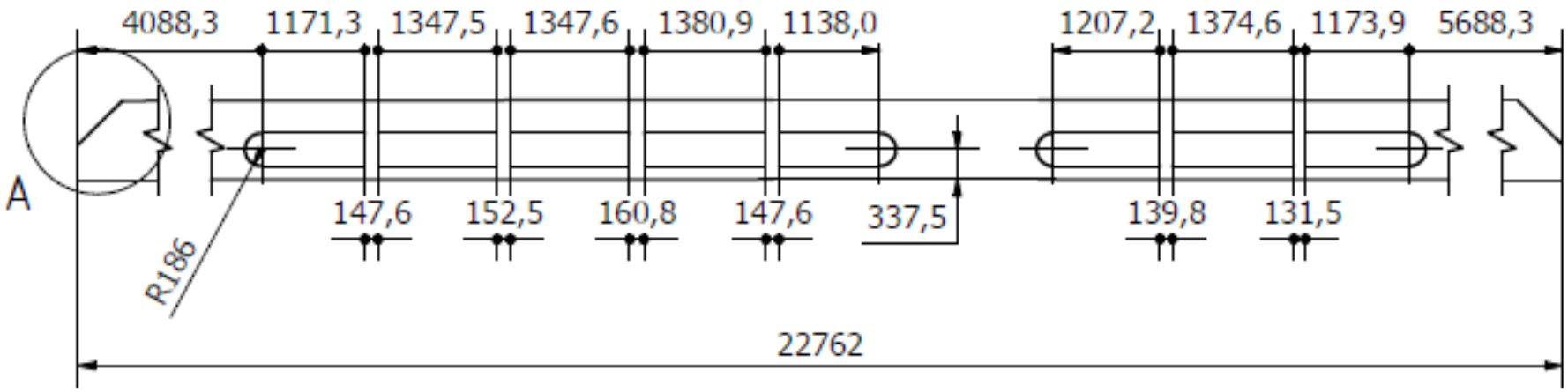
PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	17	Diafragma	
2	2	Diafragma Kecil	
3	1	Top Flange	
4	2	Web	
5	1	Bottom Flange	
6	2	Chamber Plate	
7	2	Stiffner	

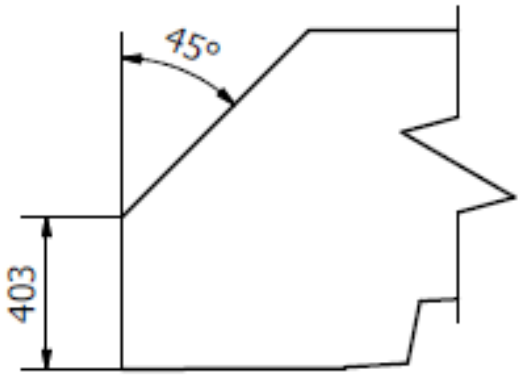
Designed by	Checked by	Approved by	Date	Date	
ATS				15/01/2018	

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

ASSEMBLY TOPOLOGY OPTIMIZATION WEB MASS RETAIN 70% GIRDER

Edition	Sheet
	1 / 2





DETAIL A
(1 : 20)

NOTES:
* ALL SHARP EDGES SHALL BE GRIND SMOOTH
* MATERIAL USE ASTM A36 22762 x 900 x 6

Designed by	Checked by	Approved by	Date	Date	
ATS				15/01/2018	

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

TOPOLOGY OPTIMIZATION WEB MASS RETAIN 70%

Edition	Sheet
	2 / 2

BIODATA PENULIS

Muhammad Atsa S dilahirkan di Bogor, 9 Maret 1995 yang merupakan anak kedua dari pasangan Bapak Deden Jubaedi dan Ibu Umi Kulsum. Penulis memulai pendidikan formal di SDIT Ummul Quro Bogor pada tahun 2001-2007. Penulis melanjutkan pendidikannya di SMPN 2 Bogor pada tahun 2007-2010, kemudian penulis melanjutkan pendidikannya di SMAN 3 Bogor pada tahun 2010-2013. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan jenjang S-1 Departemen Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur Kemitraan.

Penulis mengambil bidang studi Mekanika Benda Padat dengan tugas akhir spesifik pada Optimasi Topologi. Semasa kuliah, penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun organisasi. Penulis pernah menjadi asisten praktikum Mekanika Fluida 1. Penulis juga turut serta Mechanical Engineering English Community (MEC). Penulis dapat dihubungi melalui email atsasuwardi21@gmail.com