

PROYEK AKHIR - VM191837

**DESAIN DAN PERENCANAAN *OVERHEAD CRANE TYPE
DOUBLE GIRDER 10TX20M* UNTUK WORKSHOP
KONSTRUKSI**

ALVIEN NOFRIYADI PUTRA
NRP 10211810000035

Dosen Pembimbing I
Ir. Winarto, DEA
NIP. 19601213 198811 1 001

Dosen Pembimbing II
Ir. Eddy Widiyono, M.Sc
NIP. 19601025 198701 1 001

Program Studi Sarjana Terapan
Teknologi Rekayasa Manufaktur
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya



PROYEK AKHIR - VM191837

**DESAIN DAN PERENCANAAN *OVERHEAD CRANE TYPE
DOUBLE GIRDER 10TX20M* UNTUK WORKSHOP
KONSTRUKSI**

ALVIEN NOFRIYADI PUTRA
NRP 10211810000035

Dosen Pembimbing I
Ir. Winarto, DEA
NIP. 19601213 198811 1 001

Dosen Pembimbing II
Ir. Eddy Widiyono, M.Sc
NIP. 19601025 198701 1 001

Program Studi Sarjana Terapan
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022



FINAL PROJECT - VM191837

**DESIGN AND PLANNING OF OVERHEAD CRANE TYPE
DOUBLE GIRDER 10TX20M FOR CONSTRUCTION
WORKSHOP**

ALVIEN NOFRIYADI PUTRA
NRP 10211810000035

Advisor I
Ir. Winarto, DEA
NIP. 19601213 198811 1 001

Advisor II
Ir. Eddy Widiyono, M.Sc
NIP. 19601025 198701 1 001

Bachelor of Applied Science and Engineering Program
Department Industrial Mechanical Engineering
Faculty of Vocational
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022

LEMBAR PENGESAHAN

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN DAN PERENCANAAN OVERHEAD CRANE TYPE DOUBLE
GIRDER 10TX20M UNTUK WORKSHOP KONSTRUKSI

PROYEK AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
Memperoleh gelar Sarjana Terapan pada
Program Studi D-4 Teknologi Rekayasa Manufaktur
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **ALVIEN NOFRIYADI PUTRA**

NRP : 10211810000035

Disetujui oleh Dosen Pembimbing :

Ir. Winarto, DEA

NIP. 19601213 198811 1 001

Ir. Eddy Widiyono, M.Sc

NIP. 19601025 198701 1 001



[Handwritten signature]
.....

[Handwritten signature]
.....

Disetujui oleh Dosen Penguji :

Ir. Nur Husodo, M.S

NIP. 19610421 198701 1 001

Ir. Budi Luwar Sanyoto, MT.

NIP. 19621114 199003 1 002

[Handwritten signature]
.....

[Handwritten signature]
.....

PERNYATAAN ORISINALITAS

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : ALVIEN NOFRIYADI PUTRA / 10211810000035
Departemen : Teknik Mesin Industri
Dosen Pembimbing / NIP : Ir. Winarto, DEA / 19601213 198811 1 001

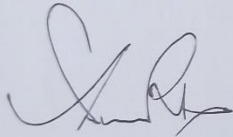
dengan ini menyatakan bahwa Proyek Akhir dengan judul “DESAIN DAN PERENCANAAN OVERHEAD CRANE TYPE DOUBLE GIRDER 10TX20M UNTUK WORKSHOP KONSTRUKSI” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 07 Agustus 2022

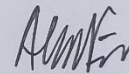
Mengetahui

Dosen Pembimbing



(Ir. Winarto, DEA)
NIP. 19601213 198811 1 001

Mahasiswa,



(Alvien Nofriyadi Putra)
NRP. 10211810000035

DESAIN DAN PERENCANAAN OVERHEAD CRANE TYPE DOUBLE GIRDER 10TX20M UNTUK WORKSHOP KONSTRUKSI

Nama Mahasiswa : Alvien Nofriyadi Putra
NRP : 10211810000035
Departemen : Teknik Mesin Industri
Dosen Pembimbing : Ir. Winarto, DEA

Abstrak

Salah satu perusahaan konstruksi di Indonesia memiliki workshop yang salah satunya bertempat di Kabupaten Jombang, Jawa Timur sering menerima pekerjaan bidang konstruksi. Pekerjaan pada bidang konstruksi pasti membutuhkan pesawat angkat sebagai alat bantu yang berguna untuk memindahkan material dari satu tempat ke tempat lainnya. Tetapi pesawat angkat yang berada di workshop tersebut hanya sebuah *forklift* yang memiliki beban angkat maksimum 5 ton dengan ketinggian maksimum 6 meter. Dengan permasalahan tersebut maka pihak manajemen perusahaan merencanakan untuk membuat sebuah *crane* dengan jenis *overhead double girder type* berkapasitas angkat maksimum 10 ton.

Dalam perencanaan ini, spesifikasi dari *overhead crane* memiliki panjang girder 20 meter dengan beban angkat maksimal 10 ton. Masalah yang perlu diperhatikan adalah posisi pembebanan yaitu di titik 5 meter, 10 meter dan 15 meter. Dari hasil perhitungan, diketahui bahwa tegangan tertinggi berada saat posisi pembebanan di titik 10 meter yang merupakan titik tengah dan merupakan titik kritis dari *girder*. Hal lain yang dibahas dalam perencanaan ini adalah *runway rail* yang merupakan rel dari *overhead crane*. *Runway rail* berbentuk *H beam* yang membentang dengan lebar 20 meter. *Girder* dan *beam* akan dihitung menggunakan perhitungan teoritis dan dibandingkan menggunakan simulasi pada *software* elemen hingga.

Dari hasil perencanaan pembebanan ini dapat diketahui bahwa defleksi yang diinginkan yaitu $>25\text{mm}$ untuk *girder* dan $<15\text{mm}$ untuk *runway rail*, serta *safety factor* harus ditentukan sesuai dengan beban yang diangkat agar desain *girder* dan *runway rail* dapat dinyatakan aman.

Kata kunci : pesawat angkat, *crane*, *girder*, *runway rail*, *safety factor*

DESIGN AND PLANNING OF OVERHEAD CRANE TYPE DOUBLE GIRDER 10TX20M FOR CONSTRUCTION WORKSHOP

Name : Alvien Nofriyadi Putra
NRP : 10211810000035
Major : Manufacturing Engineering Technology
Supervisor : Ir. Winarto, DEA

Abstract

One of the construction companies in Indonesia has a workshop, one of which is located in Jombang Regency, East Java, which often accepts construction work. Work in the construction sector definitely requires a lift as a useful tool to move materials from one place to another. However, the lift in the workshop is only a forklift which has a maximum lifting load of 5 tons with a maximum height of 6 meters. With these problems, the company's management plans to make a crane with an overhead double girder type with a maximum lifting capacity of 10 tons.

In this plan, the specifications of the overhead crane have a girder length of 20 meters with a maximum lifting load of 10 tons. The problem that needs to be considered is the loading position, namely at 5 meters, 10 meters and 15 meters. From the calculation results, it is known that the highest stress is at the loading position at the 10 meter point which is the midpoint and is the critical point of the girder. Another thing that is discussed in this plan is the runway rail which is the rail of the overhead crane. The runway rail is in the form of an H beam that spans a width of 20 meters. Girder and beam will be calculated using theoretical calculations and compared using simulations on finite element software.

From the results of this loading plan, it can be seen that the desired deflection is $>25\text{mm}$ for the girder and $<15\text{mm}$ for the runway rail, and the safety factor must be determined according to the load being lifted so that the girder and runway rail design can be declared safe.

Keywords: *lift aircraft, crane, girder, runway rail, safety factor*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, berkah, dan hidayah-Nya sehingga proyek akhir ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Proyek akhir ini yang berjudul “**DESAIN DAN PERENCANAAN OVERHEAD CRANE TYPE DOUBLE GIRDER 10TX20M UNTUK WORKSHOP KONSTRUKSI**”. Dalam penyusunan laporan ini, penyusun menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Winarto, DEA sebagai Dosen Pembimbing Pertama Proyek Akhir
2. Bapak Ir. Eddy Widiyono, M.Sc, sebagai Dosen Pembimbing Kedua Proyek Akhir
3. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT., sebagai Kepala Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi, ITS
4. Bapak Ir. Budi Luwar Sanyoto, MT., sebagai Dosen Penguji Proyek Akhir
5. Bapak Ir. Nur Husodo, M.S., sebagai Dosen Penguji Proyek Akhir
6. Bapak Ir. Joko Sarsetiyanto, MT. sebagai dosen wali selama perkuliahan
7. Ibu Dr. Atria Pradityana, S.T., M.T., sebagai Koordinator Program Studi
8. Ibu Harvieyantie Wulandanie, S.Psi, yang tidak ada hentinya memberikan dukungan baik berupa doa, pengalaman serta finansial kepada penulis hingga bisa sampai di titik ini
9. Sahabat-sahabat saya, keluarga besar D3MITS 18 yang selalu mendukung selama perkuliahan hingga menulis laporan proyek akhir
10. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu

Terima kasih atas dukungan dan nasehatnya selama ini. Penyusunan laporan ini telah diusahakan semaksimal mungkin, namun sebagaimana manusia biasa tentunya masih terdapat kesalahan dan kekurangan dalam tulisan ini. Untuk itu, kritik dan saran yang membangun sangat penyusun harapkan untuk perbaikan dan penyempurnaan tulisan saya kedepannya.

Surabaya, 1 Juni 2022

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	vii
Abstrak	xi
Abstract.....	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR SIMBOL	xxiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah.....	1
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
1.6 Sistematika Penulisan	2
BAB II DASAR TEORI.....	3
2.1 Pengertian <i>Crane</i>	3
2.2 <i>Overhead Crane</i>	3
2.2.1 Jenis – jenis <i>Overhead Crane</i>	4
2.2.2 Komponen <i>Overhead Crane</i>	5
2.2.3 Cara Kerja <i>Overhead Crane</i>	8
2.3 Pembuatan Desain CAD.....	9
2.4 Perhitungan Momen Inersia.....	9
2.4.1 Momen <i>Bending</i>	10
2.5.1 Tegangan	12
2.5.2 Defleksi.....	12
2.6 Metode Elemen Hingga.....	13
2.7 Material.....	14
2.8 <i>Safety Factor</i>	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Studi Literatur.....	18
3.2 Pembuatan Desain CAD.....	19
3.3 Pemilihan Bahan Material.....	21
3.4 Perhitungan Momen Inersia dan Momen <i>Bending</i>	21
3.5 Perhitungan Tegangan dan Defleksi.....	21
3.6 Perencanaan <i>Safety Factor</i>	22
3.7 Simulasi pada <i>Ansys</i>	22
3.8 Analisa Data.....	23
3.9 Kesimpulan	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Hasil Desain.....	24
4.2 Spesifikasi <i>Girder</i>	24
4.3 Perhitungan Momen Inersia <i>Girder</i>	29
4.4 Momen <i>Bending</i>	31
4.4.1 Pembebanan di titik $a = 5000\text{mm}$	31
4.4.2 Pembebanan di titik $a = 10000\text{ mm}$	34

4.4.3	Pembebanan di titik a = 15000 mm.....	37
4.5	Tegangan dan Defleksi	40
4.5.1	Pembebanan di titik a = 5000 mm.....	40
4.5.2	Pembebanan di titik a = 10000 mm.....	40
4.5.3	Pembebanan di titik a = 15000 mm.....	41
4.6	Spesifikasi <i>Runway Rail</i>	41
4.6	Perhitungan Momen Inersia <i>Runway Rail</i>	46
4.7	Momen Bending	47
4.7.1	Pembebanan di titik a = 3000mm.....	48
4.7.2	Pembebanan di titik a = 6000 mm.....	51
4.7.3	Pembebanan di titik a = 9000 mm.....	54
4.8	Tegangan dan Defleksi	57
4.8.1	Pembebanan di titik a = 3000 mm.....	57
4.8.2	Pembebanan di titik a = 6000 mm.....	57
4.9	Hasil Simulasi Tegangan Pada <i>Girder</i>	59
4.9.1	Validasi Data Tegangan.....	61
4.10	Hasil Simulasi Defleksi Pada <i>Girder</i>	61
4.10.1	Validasi Data Defleksi	63
4.11	Hasil Simulasi Tegangan Pada <i>Runway Rail</i>	63
4.11.1	Validasi Data Tegangan.....	65
4.12	Hasil Simulasi Defleksi Pada <i>Runway Rail</i>	65
4.12.1	Validasi Data Defleksi	67
4.13	Safety Factor	67
4.14	Analisa Data	68
BAB V	KESIMPULAN.....	70
5.1	Kesimpulan.....	70
5.2	Saran.....	70
LAMPIRAN	71
BIODATA PENULIS	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Overhead Crane (PT. Karya Master Mandiri Indonesia, 2014).....	4
Gambar 2.2 Overhead Crane Single Girder (PT. Karya Master Mandiri Indonesia, 2014).....	4
Gambar 2.3 Overhead Crane Double Girder (PT. Karya Master Mandiri Indonesia, 2014)	5
Gambar 2.4 Girder Crane (American Fabricators & Engineers, 2020).....	5
Gambar 2.5 Runway Rail	6
Gambar 2.6 Trolley Single Girder	6
Gambar 2.7 Trolley Double Girder	7
Gambar 2.8 Hoist Crane	7
Gambar 2.9 End Truck	8
Gambar 2.10 Crane Gear Wheel.....	8
Gambar 2.11 Momen Bending Dua Beban	10
Gambar 2.12 Momen Bending	11
Gambar 2.13 Tumpuan Roll	11
Gambar 2.14 Software Ansys 18.2.....	13
Gambar 3.1 Overhead Crane Double Girder (PT. Karya Master Mandiri Indonesia, 2014) ...	18
Gambar 3.2 Double Girder Crane.....	18
Gambar 3.3 Double Girder Crane.....	18
Gambar 3.4 Double Girder Crane.....	19
Gambar 3.5 Runway Rail	19
Gambar 3.6 Runway Rail	19
Gambar 3.7 Runway Rail	19
Gambar 3.8 Tampak Depan Girder Crane.....	20
Gambar 3.9 Tampak Atas Girder Crane.....	20
Gambar 3.10 Tampak Samping Girder Crane	20
Gambar 3.11 Tampak Depan Runway Rail.....	20
Gambar 3.12 Tampak Atas Runway Rail.....	20
Gambar 3.13 Tampak Samping Runway Rail.....	21
Gambar 3.14 Diagram Alir Simulasi menggunakan Ansys	22
Gambar 4.1 Desain 3D	24
Gambar 4.2 Desain 3D Girder.....	25
Gambar 4.3 Tampak Samping Girder	25
Gambar 4.4 Tampak Depan Girder	25
Gambar 4.5 Profile Girder Box	26
Gambar 4.6 Mass Properties Double Girder	27
Gambar 4.7 Center of Gravity	29
Gambar 4.8 Free Body Diagram Potongan a = 5000 mm	31
Gambar 4.10 Skema Potongan Saat Pembebanan a = 5000 mm.....	31
Gambar 4.10 Potongan 1	32
Gambar 4.11 Potongan 2	32
Gambar 4.12 Bending Moment Diagram	33
Gambar 4.13 Free Body Diagram saat Pembebanan a = 10000 mm.....	34
Gambar 4.14 Skema Potongan Saat Pembebanan a = 10000 mm.....	34

Gambar 4.15 Potongan 1.....	35
Gambar 4.16 Potongan 2.....	35
Gambar 4.17 Bending Moment Diagram.....	36
Gambar 4.18 Free Body Diagram saat Pembebanan $a = 15000$ mm	37
Gambar 4.19 Skema Potongan saat Pembebanan $a = 15000$ mm.....	37
Gambar 4.20 Potongan 1.....	38
Gambar 4.21 Potongan 2.....	38
Gambar 4.22 Bending Moment Diagram.....	39
Gambar 4.23 3D Runway Rail.....	42
Gambar 4.24 Tampak Depan Runway Rail	42
Gambar 4.25 Tampak Samping Runway Rail	43
Gambar 4.26 Profile Runway Rail.....	43
Gambar 4.27 Center of Gravity.....	46
Gambar 4.28 Free Body Diagram saat pembebanan $a = 3000$ mm	48
Gambar 4.29 Skema potongan saat pembebanan $a = 3000$ mm	48
Gambar 4.30 Potongan 1.....	49
Gambar 4.31 Potongan 2.....	49
Gambar 4.32 Bending Moment Diagram.....	50
Gambar 4.33 Free Body Diagram Saat Pembebanan $a = 6000$ mm	51
Gambar 4.34 Skema Potongan Saat Pembebanan $a = 6000$ mm	51
Gambar 4.35 Potongan 1.....	52
Gambar 4.36 Potongan 2.....	52
Gambar 4.37 Bending Moment Diagram.....	53
Gambar 4.38 Free Body Diagram saat Pembebanan $a = 9000$ mm	54
Gambar 4.39 Skema Potongan Saat Pembebanan $a = 9000$ mm	54
Gambar 4.40 Potongan 1.....	55
Gambar 4.41 Potongan 2.....	55
Gambar 4.42 Bending Moment Diagram.....	56
Gambar 4.43 Pembebanan di titik $a = 5000$ mm.....	59
Gambar 4.44 Pembebanan di titik $a = 10000$ mm.....	60
Gambar 4.45 Pembebanan di titik $a = 15000$ mm.....	60
Gambar 4.46 Pembebanan di titik $a = 5000$ mm.....	61
Gambar 4.47 Pembebanan di titik $a = 10000$ mm.....	62
Gambar 4.48 Pembebanan di titik $a = 15000$ mm.....	62
Gambar 4.49 Pembebanan di Titik $a = 3000$ mm	63
Gambar 4.50 Pembebanan di Titik $a = 6000$ mm	64
Gambar 4.51 Pembebanan di Titik $a = 9000$ mm	64
Gambar 4.52 Pembebanan di titik $a = 3000$ mm.....	65
Gambar 4.53 Pembebanan di titik $a = 6000$ mm.....	66
Gambar 4.54 Pembebanan di titik $a = 9000$ mm.....	66
Gambar 4.55 Pembebanan 10 Ton di Titik $a = 10000$ mm.....	67
Gambar 4.56 Pembebanan 5 Ton di titik $a = 6000$ mm	68

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Girder	20
Tabel 3.2 Spesifikasi Runway Rail.....	21
Tabel 3.3 Pembebanan Girder Crane.....	23
Tabel 3.4 Pembebanan Runway Rail.....	23
Tabel 4.1 Spesifikasi Girder	26
Tabel 4.2 Ringkasan Perhitungan Titik Berat, Luas dan Momen Statis Girder	27
Tabel 4.3 Ringkasan Perhitungan Momen Inersia.....	30
Tabel 4.4 Potongan 1	32
Tabel 4.5 Potongan 2	33
Tabel 4.6 Potongan 1	35
Tabel 4.7 Potongan 2	36
Tabel 4.8 Potongan 1	38
Tabel 4.9 Potongan 2	39
Tabel 4.10 Ringkasan Hasil Perhitungan Tegangan dan Defleksi	40
Tabel 4.11 Ringkasan Hasil Perhitungan Tegangan dan Defleksi	41
Tabel 4.12 Ringkasan Hasil Perhitungan Tegangan dan Defleksi	41
Tabel 4.13 Spesifikasi Runway Rail.....	43
Tabel 4.14 Ringkasan Perhitungan Titik Berat, Luas, dan Momen Statis Runway Rail.....	44
Tabel 4.15 Ringkasan Perhitungan Momen Inersia.....	47
Tabel 4.16 Potongan 1	49
Tabel 4.17 Potongan 2	50
Tabel 4.18 Potongan 1	52
Tabel 4.19 Potongan 2	53
Tabel 4.20 Potongan 1	55
Tabel 4.21 Potongan 2	56
Tabel 4.22 Ringkasan Hasil Perhitungan Tegangan dan Defleksi	57
Tabel 4.23 Ringkasan Hasil Perhitungan Tegangan dan Defleksi	58
Tabel 4.24 Ringkasan Hasil Perhitungan Tegangan dan Defleksi	59
Tabel 4.25 Ringkasan Perbandingan Tegangan	61
Tabel 4.26 Ringkasan Perbandingan Defleksi.....	63
Tabel 4.27 Ringkasan Perbandingan Tegangan	65
Tabel 4.28 Ringkasan Perbandingan Defleksi.....	67
Tabel 4.29 Ringkasan Perbandingan Tegangan pada Girder	68
Tabel 4.30 Ringkasan Perbandingan Defleksi pada Girder.....	68
Tabel 4.31 Ringkasan Perbandingan Tegangan Pada Runway Rail.....	69
Tabel 4.32 Ringkasan Perbandingan Defleksi Pada Runway Rail	69

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR SIMBOL

- I_{xx} = momen inersia terhadap sumbu netral (mm^4)
- IG = momen inersia terhadap tiap profil pada masing – masing sumbu yang melalui titik pusatnya (mm^4)
- B = Lebar (mm)
- H = Tinggi (mm)
- A = Luasan tiap profil (mm^2)
- d = Jarak tiap profil dari titik berat profil terhadap sumbu netral (mm)
- σ = Tegangan (N/mm^2)
- P = Beban (N)
- A = Luas Permukaan (mm^2)
- δ = Defleksi (mm)
- a = Jarak dari beban ke tumpuan (mm)
- g = Beban Struktur (N/mm)
- L = Bentangan (mm)
- E = Modulus Elastisitas (N/mm^2)
- F = Vektor dari *element nodal forces*
- k = Matriks
- d = Vektor dari *element nodal degrees of freedom* yang tidak diketahui
- SF = *Safety Factor*
- σ_{yield} = Kekuatan Tarik *Yield Material*
- σ_{max} = Tegangan Kerja

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perusahaan konstruksi wajib memiliki Workshop sebagai tempat mengerjakan suatu proyek. Bisa meliputi pekerjaan fabrikasi dan manufaktur. Salah satu perusahaan konstruksi tempat penulis magang mempunyai workshop yang berlokasi di Kabupaten Jombang, Jawa Timur. Workshop tersebut mengerjakan proyek fabrikasi dan manufaktur. Salah satu faktor yang mempermudah proses pengerjaan fabrikasi adalah penggunaan pesawat angkat. Pesawat angkat merupakan suatu pesawat atau alat yang digunakan untuk memindahkan, mengangkat muatan baik barang atau material dalam jarak tertentu. Salah satu pesawat angkat yang berada di workshop tempat penulis magang adalah forklift. Forklift memiliki kapasitas angkat sebesar 5 ton dengan ketinggian mencapai 6 meter.

Namun forklift saja tidak sanggup untuk memenuhi beban kerja perhari yang dikerjakan di workshop tempat penulis magang. Dengan adanya permasalahan tersebut, manajemen workshop tempat penulis magang berencana untuk membuat pesawat angkat berupa Overhead Crane dengan tipe Double Girder guna mengatasi permasalahan beban kerja perhari yang ada di workshop.

Perencanaan adalah suatu proses yang diperlukan sebelum pelaksanaan proses manufaktur. Perencanaan terdiri dari pembuatan desain, pemilihan bahan material hingga fabrikasi. Sedangkan Overhead Crane adalah crane yang berupa jembatan melintang diatas kepala dengan konstruksi baja dan hoist yang berfungsi untuk mengangkat beban.

Meskipun Overhead Crane bisa memudahkan proses produksi tetapi overhead crane tetap memerlukan perawatan yang berkala. Kerusakan pada overhead crane dapat memicu potensi bahaya di area kerja, terutama kepada tenaga kerja. Perencanaan pembuatan overhead crane diperlukan untuk mengetahui tingkat keamanan saat mesin crane beroperasi yang sangat mungkin terjadi potensi defleksi lalu timbul deformasi dan kerusakan lalu mengakibatkan kecelakaan kerja yang sangat merugikan.

Dikarenakan hal tersebut, Proyek Akhir ini bertujuan untuk membuat desain dan simulasi pada *Girder Crane, Runway Rail Wheel* pada overhead crane tipe double girder menggunakan aplikasi Ansys dengan beban 10 Ton, dengan harapan nilai safety factor dapat diketahui dan masalah terkait pesawat angkat yang tidak memenuhi target minimal beban kerja perhari dapat teratasi dan tidak menghambat laju produksi.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penyusunan proyek akhir ini sebagai berikut :

1. Bagaimana rancangan desain dari Overhead Crane tipe Double Girder?
2. Berapakah tegangan, defleksi dan safety factor pada Girder Crane?
3. Berapakah tegangan, defleksi dan safety factor pada *runway rail Crane*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini dibuat agar bahasan dalam penelitian ini tidak meluas. Berikut merupakan Batasan masalah dari penelitian ini :

1. Tidak menghitung daya motor
2. Tidak menghitung *hoist crane*
3. Tidak menghitung *wire rope*
4. Beban yang digunakan maksimal 10 Ton
5. Material menggunakan ASTM A36

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini didapatkan dari permasalahan yang telah ditetapkan diatas.

Berikut tujuan dari penelitian ini :

1. Mengetahui rancangan desain dari *Overhead Crane type Double Girder*
2. Mengetahui tegangan, defleksi dan safety factor dari *Girder Crane*
3. Mengetahui tegangan, defleksi dan safety factor dari *Runway Rail*

1.5 Manfaat Penelitian

Berikut adalah manfaat dari penelitian ini :

1. Awal kerusakan yang sering terjadi pada *Girder* dan *Runway Rail* bisa diminimalisir dengan cara mengetahui tegangan dan defleksi, sehingga titik kritis yang menjadi pemicu kerusakan dapat menjadi acuan dalam maintenance
2. Dengan mengetahui nilai safety factor pada *Girder* dan *Support Crane* maka desain yang dibuat telah aman dan bisa beroperasi sesuai dengan SOP

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Proyek Akhir ini dibagi menjadi 5 bab, Adapun masing masing bab berisi sebagai berikut :

Bab I Pendahuluan

Bab ini berisi tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan proposal proyek akhir.

Bab II Dasar Teori

Bab ini berisi tentang dasar dasar maupun landasan teori dan referensi yang akan digunakan guna mendukung pengerjaan proposal proyek akhir

Bab III Metodologi Penelitian

Bab ini berisi tentang langkah – langkah yang digunakan dalam pelaksanaan dan penyusunan proposal proyek akhir

Bab IV 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 V Kesimpulan

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

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Pengertian Crane

Crane adalah salah satu pesawat angkat (alat berat) yang berfungsi untuk mengangkat dan memindahkan suatu benda atau material dari satu tempat ke tempat lainnya. *Crane* dapat mengangkat secara horizontal maupun vertikal. *Crane* memiliki bagian dengan fungsi yang berbeda – beda dan saling berkaitan. Bagian ini terbagi menjadi 2 bagian utama, yaitu :

1. Body crane

- Blok (*cross beam*) yang menyilangkan ukuran variasi tergantung kebutuhan pada perusahaan yang berkaitan.
- *Sadle* : Tempat untuk menopang blok (*cross beam*)
- Roda : untuk membantu pergerakan pada *sadle* yang dipadukan dengan motor sebagai penggerak utama. Terdapat dua roda pada sisi kanan dan sisi kiri. Keempat roda berjalan diatas girder dengan bantuan transmisi
- *Seling* : sebagai tali guna membantu pengangkatan *pulley*. *pulley* atau *shave* merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk mengangkat beban.
- Rem digunakan untuk menahan beban dan juga untuk mengatur kecepatan penurunan beban dan menahan agar diam.
- *Wire rope* (tali baja)

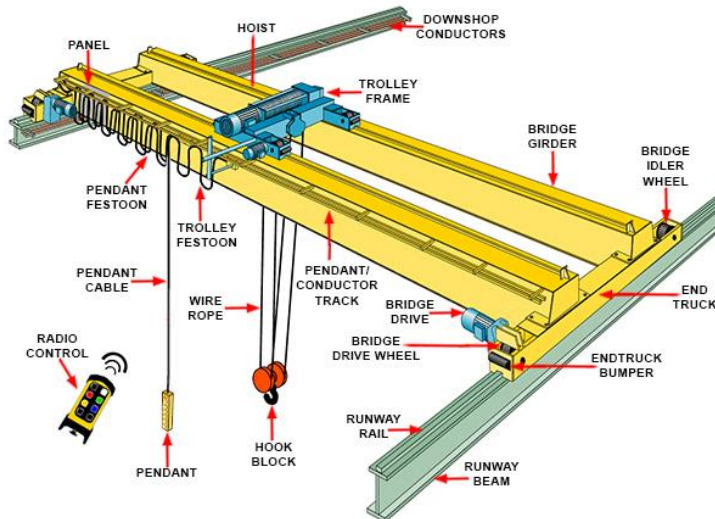
2. Sistem kelistrikan

- Motor listrik
- *Electric hoist*
- Kabel
- *Thermal overload*
- *Limit switch*

2.2 Overhead Crane

Overhead Crane (Overhead Travelling) adalah rangkaian *hoist crane* yang berupa jembatan melintang diatas kepala yang umumnya terbuat dari konstruksi rangka batang yang dilapis plat baja. Kebanyakan pemakaian *overhead crane* dipakai didalam gedung atau *indoor*. Namun tidak menutup kemungkinan *hoist crane* jenis *overhead crane* dipakai diluar ruangan atau *outdoor*. Meskipun hanya bisa memindahkan barang atau material dalam lingkup yang tidak terlalu luas, *overhead crane* bekerja seara efektif, karena gerakannya dapat ke kanan – kiri dan maju – mundur.

Overhead crane juga dapat dibuat dengan *single girder* maupun *double girder* sesuai dengan kebutuhan pada industri. Kebanyakan industri menggunakan *girder* berbentuk *beam*. Hal ini karena dinilai lebih praktis dari segi konstruksi. Meskipun begitu perencanaan pembuatan *overhead crane* tetap harus memperhatikan *safety factor* guna meminimalisir potensi atau resiko kecelakaan kerja pada saat operasional.



Gambar 2.1 *Overhead Crane*
(PT. Karya Master Mandiri Indonesia, 2014)

2.2.1 Jenis – jenis *Overhead Crane*

Dalam perusahaan bidang konstruksi, *Overhead Crane* yang digunakan umumnya memiliki dua jenis, yaitu:

1. *Overhead Crane* berpalang tunggal (*single girder*)

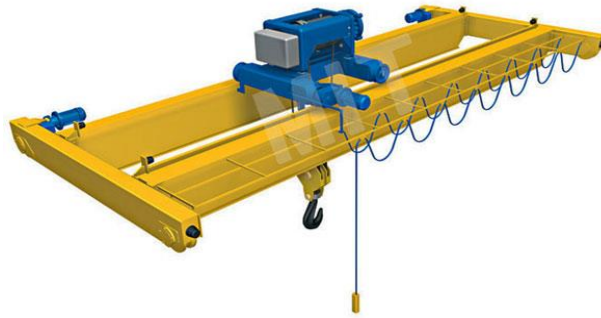
Overhead Crane berpalang tunggal adalah rangkaian *crane* yang menggunakan satu balok *rail* sebagai landasan *hoist*. Pada *single girder*, *trolley hoist* bergerak pada bagian bawah. Pada umumnya kapasitas maksimum *single girder* dapat mengangkat beban hingga 20 Ton.



Gambar 2. 2 *Overhead Crane Single Girder*
(PT. Karya Master Mandiri Indonesia, 2014)

2. *Overhead Crane* berpalang ganda (*double girder*)

Sedangkan *Overhead Crane* berpalang ganda adalah jenis *hoist crane* yang menggunakan dua balok *rail hoist* yang dirangkai sejajar. *Double girder* memiliki *rail* pada bagian atas. Beban maksimum yang dapat diangkat hingga 40 Ton.



Gambar 2.3 *Overhead Crane Double Girder*
(PT. Karya Master Mandiri Indonesia, 2014)

2.2.2 **Komponen Overhead Crane**

Berikut adalah komponen dari *overhead crane* :

1. *Girder*, *Girder* adalah tempat bagi *hoist* untuk bisa bergerak ke kanan atau ke kiri. Bentuk *girder* seperti lintasan yang memiliki 2 jenis, yaitu *single girder* dan *double girder*. *Single girder* artinya terdiri dari satu balok sedangkan *double girder* terdiri dari dua balok yang dipasang sejajar dengan ruang kosong ditengahnya. Ruang kosong tersebut nantinya akan menjadi tempat *hoist crane* untuk bergerak.



Gambar 2.4 *Girder Crane*
(American Fabricators & Engineers, 2020)

2. *Rail (Runway Rail)* adalah bagian *overhead crane* yang berfungsi sebagai lintasan untuk bergerak. *Runway rail* berada disamping kanan dan kiri. Komponen ini merupakan tempat untuk roda yang dapat menggerakkan *hoist crane* maju atau mundur.



Gambar 2. 5 *Runway Rail*

(PT. Karya Master Mandiri Indonesia, 2014)

3. *Trolley*, *trolley* merupakan komponen *crane* yang terhubung pada *hoist*, berfungsi sebagai tempat diletakkannya *hoist* dan juga dilengkapi dengan roda untuk menggerakkan *hoist* ke arah horizontal kanan dan kiri pada saat *hoist* mengangkat dan menurunkan beban.



Gambar 2. 6 *Trolley Single Girder*

(InterMESH Ltd. 1996)



Gambar 2.7 Trolley Double Girder
(Focus Technology Co., Ltd 2018)

4. *Hoist*, mesin hoist merupakan alat yang berfungsi untuk mengangkat serta menurunkan beban yang ingin dipindahkan. Pada mesin *hoist* terdapat *hook* dan tali kawat yang bisa diulur dan digulung sehingga dapat meraih muatan dengan lebih mudah. *Hoist* dapat bergerak secara horizontal ke arah kanan atau kiri pada *girder*.



Gambar 2. 8 Hoist Crane
(PT. Pearaso Perkasa, 2008)

5. *End Truck*, adalah komponen *overhead crane* yang dipasang pada kedua ujung *girder*. Terdiri atas roda, box, motor dan *gearbox*. Bagian *end truck* disambung dengan cara *side joint* (ujung *girder* menghadap keluar dengan

sisi *end truck* yang menghadap dalam atau *top joint* (bagian bawah *girder* dengan bagian atas *end truck*)



Gambar 2.9 End Truck
(PT. MHE Dewana, 2010)

6. *Crane Gear Wheel*, atau roda gigi merupakan komponen overhead crane yang berfungsi sebagai alat gerak crane secara maju dan mundur. Pada roda gigi terdapat motor listrik sehingga bisa menghasilkan kecepatan yang konstan. Serta roda gigi membantu crane untuk tetap berada di *runway rail*.



Gambar 2.10 Crane Gear Wheel

(PT. MHE Dewana, 2010)

2.2.3 Cara Kerja Overhead Crane

Berikut adalah cara kerja dari *overhead crane*, terdapat 3 gerakan, yaitu

1. Gerakan angkat dan turun (*Hoisting*), adalah gerakan *hoist* tegak lurus, menaikkan, menggantung sementara dan menurunkan beban.
2. Gerakan *travelling*, merupakan gerakan lurus datar sepanjang lintasan *rail (runway rail)*.

3. Gerakan *traversing*, adalah gerakan mengubah jarak jangkauan ke arah horizontal dengan menggunakan *trolley* yang berjalan sepanjang lintasan *rail* pada *girder*.

2.3 Pembuatan Desain CAD

Salah satu tahap dalam perancangan pembuatan desain *sketch* 2D menggunakan perangkat lunak (*software*) bernama AutoCAD. AutoCAD adalah program aplikasi komersial untuk menggambar dan mendesain dengan bantuan komputer (*computer-aided design*, CAD). AutoCAD dibuat dan dikembangkan oleh Autodesk Inc. Hingga saat ini, AutoCAD memiliki berbagai variasi, antara lain AutoCAD Civil 3D, AutoCAD Architecture, AutoCAD Electrical, AutoCAD Mechanical dan yang lainnya. AutoCAD memungkinkan pengguna menggambar dengan presisi. Ukuran dan dimensi objek dapat digambar sebagaimana mestinya. Hal ini karena AutoCAD mendefinisikan gambar melalui koordinat titik – titik sudut objek gambar. Pada tahap ini mempunyai tujuan untuk mengetahui secara detail ukuran dan dimensi *sketch* komponen yang dibutuhkan dalam pembuatan model 3D. AutoCAD tidak hanya berfungsi sebagai gambar acuan model 3D, tetapi juga digunakan untuk berbagai kepentingan sesuai dengan kreatifitas yang dimiliki penggambar, seperti membuat ilustrasi gambar, *sketch* 2D, *Free Body Diagram* dan lain lainnya.

2.4 Perhitungan Momen Inersia

Menurut Hukum Newton yang pertama, setiap benda akan mempertahankan keadaannya, yang bergerak akan cenderung terus bergerak dan benda yang diam akan cenderung tetap diam. Inersia adalah kecerendungan suatu benda fisik untuk menolak perubahan agar tetap mempertahankan keadaannya (tetap bergerak atau tetap diam), atau bisa juga dikatakan sebagai kelembaman suatu benda. Oleh karena itu Hukum Pertama Newton juga disebut sebagai Hukum Inersia atau Hukum Kelembaman. Momen Inersia adalah ukuran kelembaman suatu benda untuk berotasi terhadap porosnya. Perhitungan Momen Inersia dapat menggunakan persamaan 2.1 :

$$I_{Girder} = \frac{B \times H^3}{12} \quad (2.1)$$

Dikarenakan adanya pembebanan pada jarak tertentu maka perhitungan momen inersia pada sumbu X menggunakan teori sumbu sejajar (*Parallel Axis Theory*) yang menggunakan persamaan 2.2 :

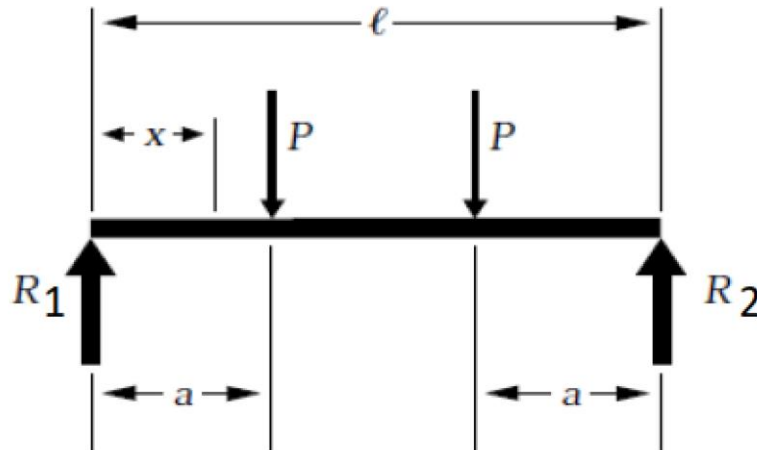
$$I_{xx} = \Sigma IG + \Sigma(A \cdot d^2) \quad (2.2)$$

Keterangan :

- I_{xx} = Momen inersia terhadap sumbu netral (mm^4)
- IG = Momen inersia terhadap tiap profil pada masing – masing sumbu yang melalui titik pusatnya (mm^4)
- B = Lebar (mm)
- H = Tinggi (mm)
- A = Luasan tiap profil (mm^2)
- d = Jarak tiap profil dari titik berat profil terhadap sumbu netral (mm)

2.4.1 Momen *Bending*

Momen *Bending* merupakan reaksi yang ketika suatu gaya diinduksikan kedalam elemen struktur atau momen eksternal yang ditetapkan pada elemen, yang menyebabkan elemen melengkung. Menurut *American Forrest & Papper Association* (2005), perhitungan momen *bending* untuk beban terpusat dapat dilihat pada persamaan 2.2. Selanjutnya untuk momen *bending* akibat beban merata menggunakan rumus pada persamaan 2.3. Berikut adalah ilustrasi untuk momen *bending* beban terpusat pada gambar 2.11 Dan momen *bending* beban merata pada gambar 2.12



Gambar 2. 11 Momen *Bending* Dua Beban
(*American Forrest & Papper Association*, 2005)

Nilai momen *Bending* maksimum terletak pada kedua P (*load*). Karena nilai P sama dan jarak antara P dengan tumpuan simetris sehingga nilai $R = P$. dibuktikan dari perhitungan dibawah ini :

$$\sum Fy = 0$$

$$R_1 + R_2 - 2P = 0$$

$$R_1 = 2P - R_2$$

$$\sum ma = 0$$

$$P \cdot a + P(L-a) - R_2 \cdot L = 0$$

$$P \cdot a + P \cdot L - P \cdot a - R_2 \cdot L = 0$$

$$P \cdot L = R_2 \cdot L$$

$$P = R_2$$

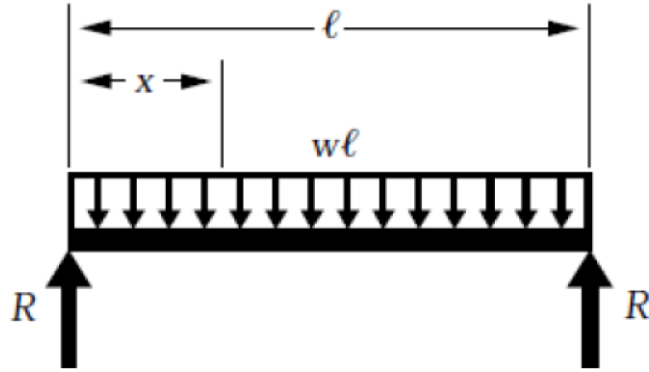
Sehingga

$$R_1 = 2P - R_2$$

$$R_1 = 2P - P$$

$$R_1 = P$$

Dari perhitungan di atas didapatkan bahwa nilai dari R1 maupun R2 adalah sebesar P. Karena nilai R1 dan R2 sama, maka nilai momen *bending* cukup dihitung satu saja dengan menggunakan rumus pada persamaan 2.4 berikut ini.



Gambar 2. 12 Momen Bending
(*American Forrest & Papper Association, 2005*)

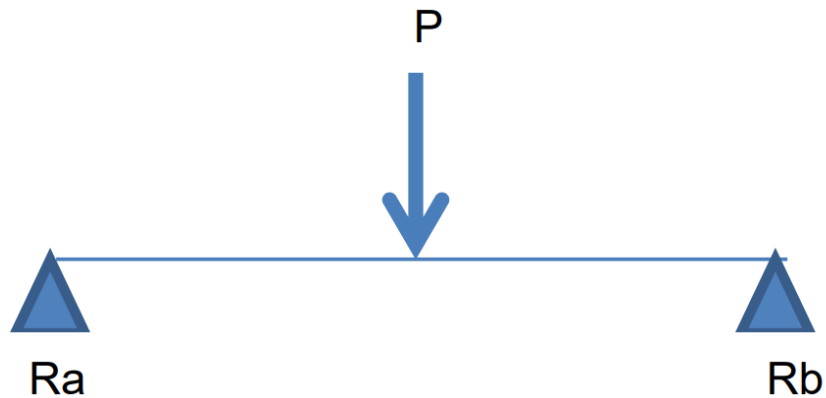
$$M_x = \frac{g \times L^2}{8} \quad (2.4)$$

Dengan :
g = beban struktur (N/mm)
L = Panjang bentangan (mm)
M_x = momen *Bending* (N.mm)

Sedangkan untuk perhitungan tegangan akibat momen *Bending* pada *Overhead Crane Double Girder* dapat dilihat pada persamaan 2.5 :

$$\sigma = \frac{M.c}{I} \quad (2.5)$$

Dengan :
M = Momen Maksimal akibat *Bending* (N.mm)
 σ = Tegangan (N/mm²)
I = Momen inersia terhadap sumbu netral (mm⁴)
c = Jarak dari sumbu netral ke penampang lintang balok paling luar



Gambar 2.13 Tumpuan *Roll*

Robert L. Mott (dalam buku “*MACHINE ELEMENT IN MECHANICAL DESIGN*”) menulis dalam pembebanan balok, rumus mencari R1 & R2

$$Ra = \frac{P \cdot b}{a + b}$$

$$Rb = \frac{P \cdot a}{a + b}$$

Dengan :

Ra : Reaksi pada titik a (N)

Rb : Reaksi pada titik b (N)

P : Beban (N)

a : Jarak dari titik a ke P

b : Jarak dari titik b ke P

2.5 Perhitungan Tegangan dan Defleksi

2.5.1 Tegangan

Tegangan normal merupakan tegangan yang terjadi ketika gaya yang diterapkan tegak lurus terhadap luas penampang material, sehingga *Principal Stress* yang merupakan nilai ekstrim dari tegangan normal yang terjadi terhadap material, (Ferdinand, 2005). Karena adanya beban yang tegak lurus terhadap sumbu memanjang mengakibatkan terjadinya momen dalam yang disebut momen *bending*. Perhitungan untuk tegangan normal dapat dilihat pada persamaan 2.6 berikut :

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.6)$$

Dengan :

σ = Tegangan (N/mm^2)

P = Beban (N)

A = Luas permukaan (mm^2)

2.5.2 Defleksi

Defleksi atau bisa juga disebut lendutan merupakan perubahan bentuk pada balok dalam arah vertikal (y) akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan pada balok atau batang material. Defleksi dapat diukur dari permukaan netral setelah terjadi deformasi. Konfigurasi yang diasumsikan dengan deformasi permukaan netral dikenal sebagai kurva elastis dari balok. Akibat adanya beban yang tegak lurus terhadap sumbu memanjang batang menyebabkan terjadinya momen dalam yang disebut momen *bending*. Maka dari itu tegangan yang terjadi didalam batang disebabkan oleh momen *bending* tersebut. Dalam penerapannya, terkadang harus ditentukan defleksi pada setiap nilai X disepanjang balok. Hubungan ini dapat ditulis dalam bentuk persamaan yang sering disebut persamaan defleksi kurva atau kurva elastis dari balok. Struktur yang diletakkan horizontal dan yang diperuntukkan memikul beban lateral, yaitu beban yang bekerja tegak lurus dengan sumbu aksial batang. Perhitungan defleksi beban yang terpusat pada *girder crane* akan menggunakan persamaan 2.7 (*American Forest & Paper Association, 2005*) :

$$\delta = \frac{P \times a}{48 \times E \times I \times x} + (3L^3 - 4a^2) \quad (2.7)$$

Sedangkan untuk pembebanan merata, perhitungan defleksi pada *Overhead Crane Double Girder* akan menggunakan persamaan 2.8 berikut :

$$\delta = \frac{5 \times g \times L^4}{384 \times E \times I_{xx}} \quad (2.8)$$

Keterangan :

δ	= Defleksi (<i>mm</i>)
P	= Beban (<i>N</i>)
a	= Jarak dari beban ke tumpuan (<i>mm</i>)
g	= Beban struktur (<i>N/mm</i>)
L	= Bentangan (<i>mm</i>)
E	= Modulus Elastisitas (<i>N/mm²</i>)
I_{xx}	= Momen inersia terhadap sumbu X (<i>mm⁴</i>)

Menurut Macrimmon (2005) Syarat defleksi pada jurnal CISC yaitu tanpa adanya impact sebesar $L/800$, dimana L adalah Panjang bentangan dan 800 sebagai faktor pembagi.

2.6 Metode Elemen Hingga



Gambar 2. 14 Software Ansys 18.2
(ANSYS, Inc, 2018)

Metode elemen hingga atau *Finite Element Analysis* merupakan metode *numerical* yang biasa digunakan untuk menyelesaikan persoalan masalah pada analisis struktur *engineering dan mathematical physics*, baik berupa beban statis maupun dinamik, bergeometri sederhana maupun kompleks, atau model struktur berdimensi 1, berdimensi 2 dan berdimensi 3. Permasalahan metode elemen hingga merupakan permasalahan dengan tingkat kompleksitas yang rumit. Seperti masalah pembebanan, material dan geometri yang kompleks. Pada umumnya permasalahan seperti ini tidak bisa diselesaikan dengan matematika analisis. Hal ini dikarenakan matematika analisis membutuhkan besaran yang harus diketahui pada setiap titik struktur yang dikaji. Sehingga dibutuhkan pendekatan differensial yang memerlukan suatu metode pendekatan terhadap besaran yang tidak diketahui pada setiap titik secara diskrit. Dimulai dengan permodelan dari suatu benda dengan membagi dalam bagian kecil yang secara keseluruhan mempunyai sifat yang sama dengan benda utuh sebelum terbagi dalam bagian yang kecil (diskritisasi). Dalam permasalahan dibagi menjadi 2 tipe kelompok, yaitu kelompok Analisis Struktur dan kelompok Analisis Non-Struktur (susatio, 2004).

Permasalahan Struktur antara lain :

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

Permasalahan Non-Struktur meliputi :

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

Pengelompokan metode elemen hingga berdasarkan jenis elemen terbagi menjadi 3, yaitu elemen 1 dimensi (*Truss element, Bar element*, dsb). Elemen 2 dimensi (*Plane element, Plate element*, dsb). Elemen 3 dimensi (*Solid element*). Persamaan umum metode elemen hingga adalah sebagai berikut :

$$f = k \times d \quad (2.9)$$

Keterangan :

F = Vektor dari *element nodal forces*

k = Matriks

d = Vector dari *element nodal degrees of freedom* yang tidak diketahui

Langkah – Langkah dalam penggunaan metode elemen hingga dalam menganalisa suatu struktur yaitu :

- 1) Menentukan tipe Analisa (statis, dinamis, *contact* atau *thermal*).
- 2) Menentukan tipe elemen 2D atau 3D
- 3) Menentukan material (E, ν, ρ, α , dsb).
- 4) Menentukan nodal struktur.
- 5) Membentuk elemen – elemen dengan menyambungkan ke nodal
- 6) Menentukan *boundary condition* dan pemberian beban.
- 7) Melakukan percobaan eksekusi dengan tujuan memperoleh hasil.
- 8) Menganalisa hasil yang didapatkan (*Displacement, Stress, Strain, Natural Frequency, Temperatur, dan Time History*).

Penyelesaian metode elemen hingga menggunakan matriks memerlukan sarana komputer untuk menghitung persamaan ini dikarenakan perhitungan menggunakan metode ini sangat kompleks. Perhitungan dari seluruh sistem merupakan penyelesaian persamaan serentak yang dinyatakan dalam bentuk matriks.

2.7 Material

ASTM A36 adalah baja standar yang sesuai dengan standar ASTM Internasional. Baja ASTM A36 merupakan baja umum (*mild steel*) dimana komposisi kimianya hanya karbon (C), Mangan (Mn), Silikon (Si), Sulfur (S) dan Posfor (P) yang umum diaplikasikan untuk struktur atau konstruksi. ASTM A36 memiliki banyak kemiripan dengan SS 400. Baja SS 400 adalah baja yang dibuat berdasarkan standar industri Jepang, yaitu JIS G3101. SS berarti “*Structural Steel*” yang berarti baja konstruksi, bukan baja “*Stainless Steel*”.

2.8 Safety Factor

Faktor keamanan (SF) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menentukan pembebanan yang diijinkan (*allowable load*). Faktor keamanan adalah rasio beban yang dapat menyebabkan material gagal (*fail load*) dengan pembebanan yang diijinkan (F_{allow}). Dimana nilai dari *fail load* (F_{fail}) didapat dari hasil eksperimen uji material, dan faktor keamanan.

Pembebanan yang diterapkan pada struktur secara linier berhubungan dengan tegangan yang berkembang dalam komponen struktur, seperti dalam kasus tersebut maka dapat dinyatakan faktor keamanan sebagai rasio tegangan kegagalan :

$$sf = \frac{\sigma_{fail}}{\sigma_{allow}} = \frac{\sigma_{UTS}}{\sigma_{ijin}} \quad (2.10)$$

Dimana :

sf : *Safety Factor*
 σ_{UTS} : *Ultimate Tensile Strength* (N/mm²)
 σ_{ijin} : Tegangan yang diijinkan

Joseph P Vidosic (dalam buku “ *Machine Design Projects*”) memberikan *safety factor* berdasarkan tegangan luluh , sebagai berikut : (*Deatschman*, 1990 : 10) :

1. $sf = 1,25 - 1,5$: Untuk bahan yang sesuai dengan penggunaan pada kondisi terkontrol dan tegangan yang bekerja dapat ditentukan dengan pasti.
2. $sf = 1,5 - 2,0$: Untuk bahan yang sudah diketahui, dan pada kondisi lingkungan beban dan tegangan yang tetap dan dapat ditentukan dengan mudah.
3. $sf = 2,0 - 2,5$: Untuk bahan yang beroperasi secara rata-rata dengan batasan beban yang diketahui.
4. $sf = 2,5 - 3,0$: Untuk bahan yang diketahui tanpa mengalami tes. Pada kondisi , beban dan tegangan rata-rata.
5. $sf = 3,0 - 4,5$: Untuk bahan yang sudah diketahui. Beban dan tegangan yang tidak pasti, dan kondisi lingkungan yang juga tidak pasti.
6. Beban berulang : Nomor 1 s/d 5
7. Beban kejut : Nomor 3 – 5
8. Bahan Getas : Nomor 2 – 5 dikalikan dengan 2

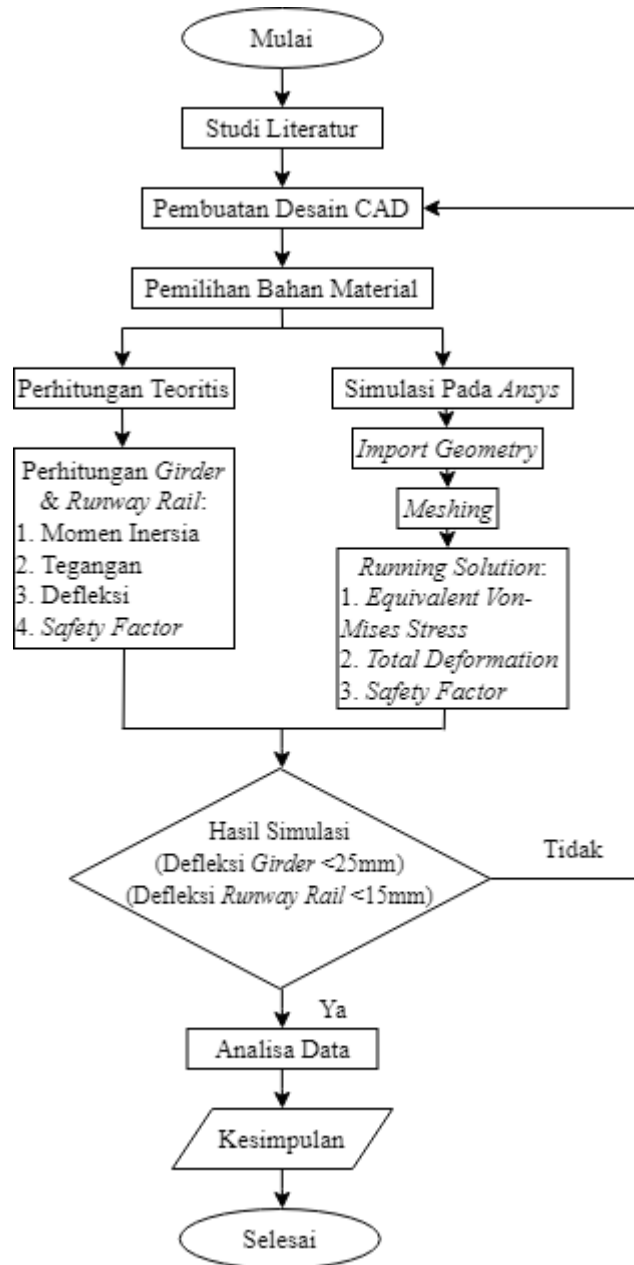
Dobrovolsky (dalam buku “*Machine Element*”), dengan menganggap faktor-faktor lain berjalan secara normal. Memberikan *safety factor* (*SF*) berdasarkan jenis beban sebagai berikut.

1. Beban statis : $SF = 1,25 - 2$
2. Beban dinamis : $SF = 2,1 - 3$
3. Beban kejut : $SF = 3,1 - 5$

(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

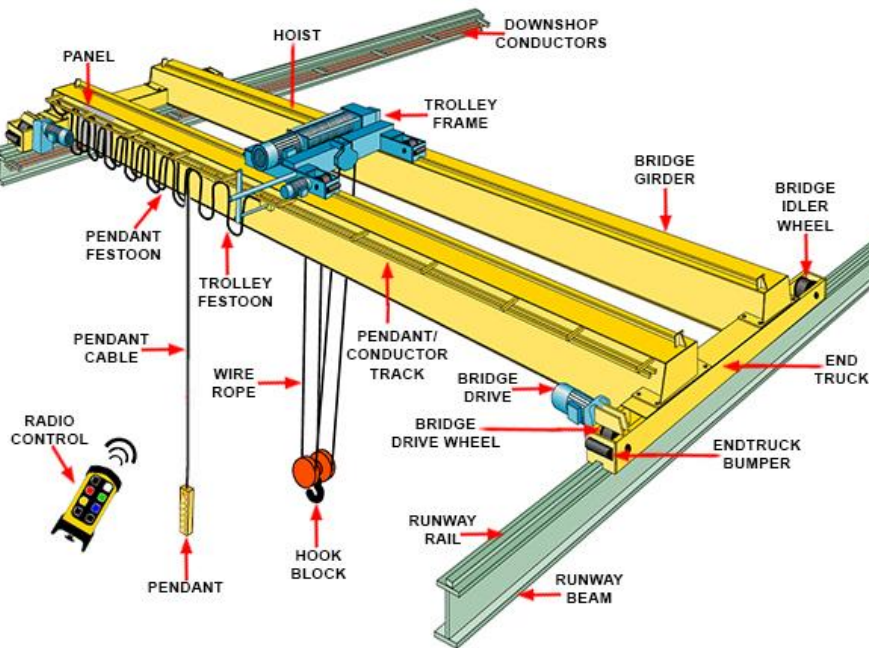
Beberapa tahapan disusun agar di dalam penyelesaian Proyek Akhir ini memperoleh tujuan sesuai yang diharapkan. Tahapan – tahapan tersebut ditunjukkan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*) seperti gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir

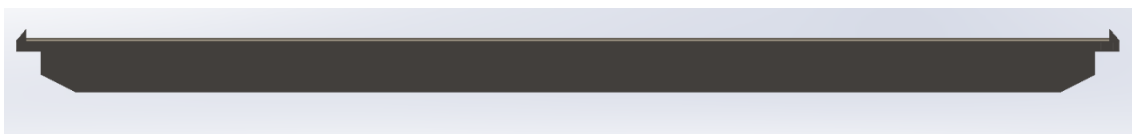
3.1 Studi Literatur

Langkah awal dari penelitian ini adalah melakukan studi literatur. Studi literatur dilakukan untuk memahami landasan teori yang berhubungan dengan pengerjaan Proyek Akhir.



Gambar 3.2 *Overhead Crane Double Girder*
(PT. Karya Master Mandiri Indonesia, 2014)

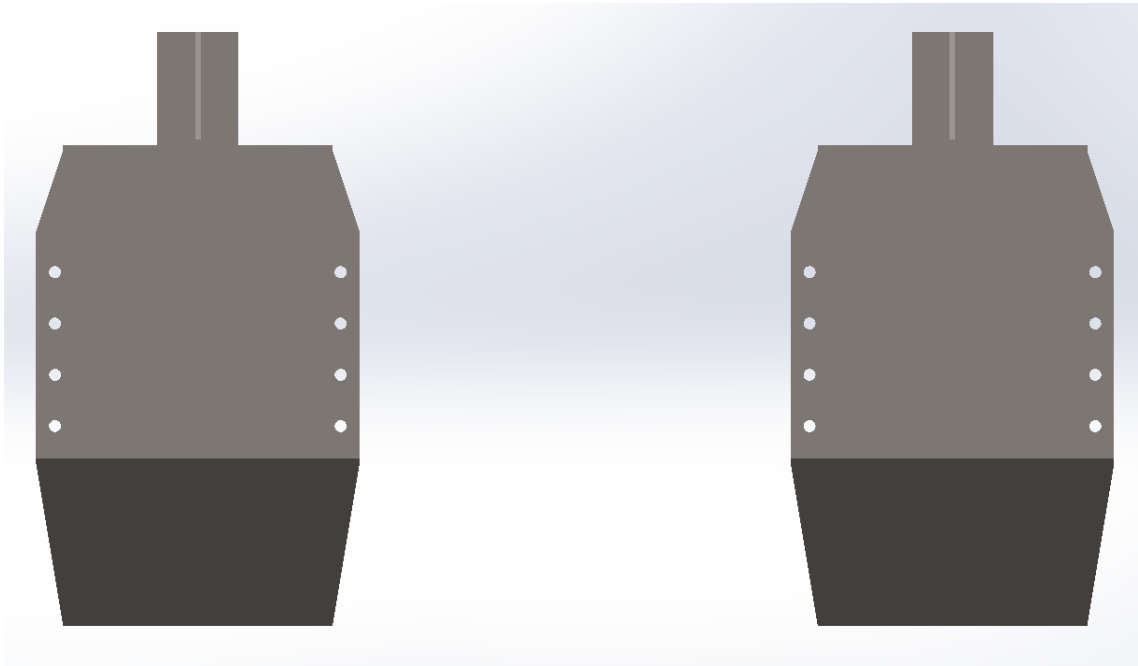
Overhead Crane Double Girder adalah jenis *overhead crane* yang menggunakan dua balok Girder yang sejajar seperti menjembatani diantara *runway rail*. Pada bagian atas girder terdapat hoist diantara 2 girder. Pada bagian bawah girder terdapat *end truck* sebagai penopang sekaligus tumpuan ketika berjalan di atas *runway rail*. *End truck* ada dibagian kanan dan kiri, terdiri dari konstruksi plat baja serta terdapat *Crane Gear Wheel* yang berfungsi menggerakkan *overhead crane*. *End Truck* juga ditopang oleh *support* berbentuk *beam* sepanjang jalur *runway rail* sebagai lintasan. Tahapan selanjutnya adalah mengumpulkan data – data yang bertujuan untuk menunjang pengerjaan Proyek Akhir, diantaranya material yang digunakan, dan gambar dari *Girder Box* serta *Runway Rail* seperti pada gambar berikut.



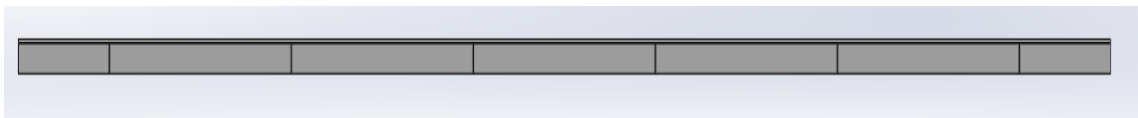
Gambar 3.3 *Double Girder Crane*



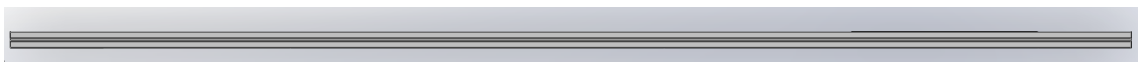
Gambar 3.4 *Double Girder Crane*



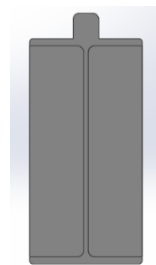
Gambar 3.5 *Double Girder Crane*



Gambar 3.6 *Runway Rail*



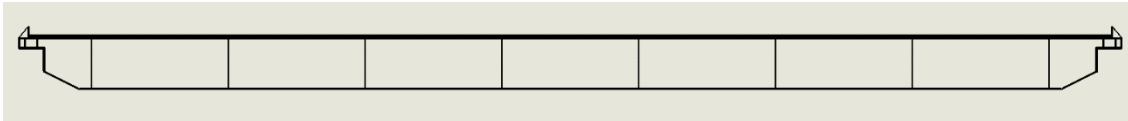
Gambar 3.7 *Runway Rail*



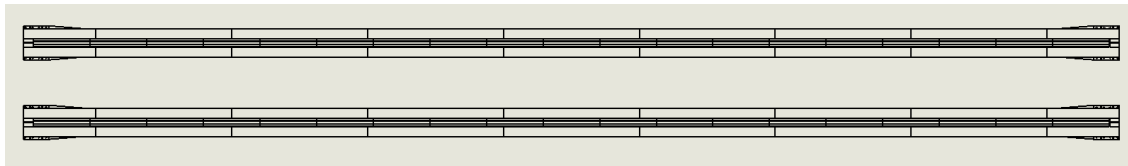
Gambar 3.8 *Runway Rail*

3.2 Pembuatan Desain CAD

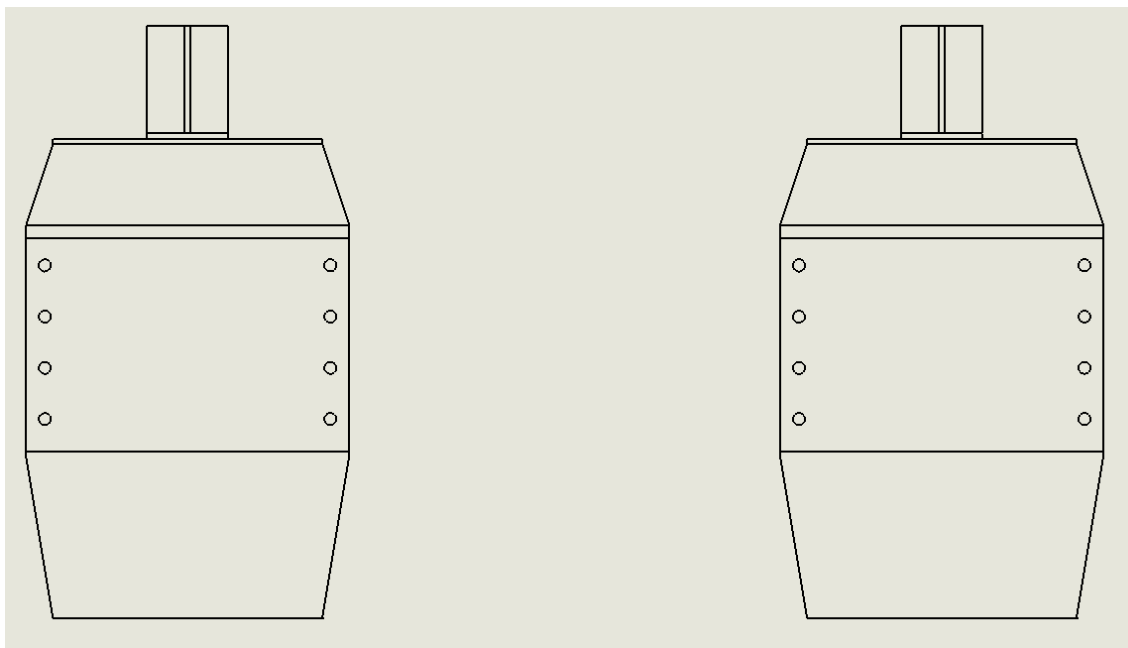
Pembuatan desain adalah langkah awal sebelum melakukan proses simulasi. Pada tahap ini desain yang dibuat adalah desain *Girder Crane* dan *Runway Rail*. Yang bertujuan untuk mengetahui detail dan mempermudah pembuatan model 3D hingga disimulasikan di *Software* elemen hingga *Ansys*. Desain dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.9 Tampak Depan *Girder Crane*



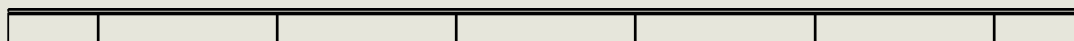
Gambar 3.10 Tampak Atas *Girder Crane*



Gambar 3.11 Tampak Samping *Girder Crane*

Tabel 3.1 Spesifikasi *Girder*

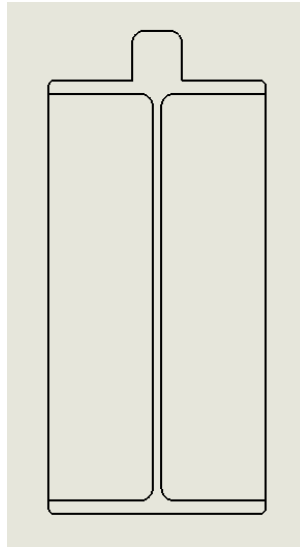
KETERANGAN	UKURAN (mm)
Tinggi girder	
Lebar girder bagian atas	
Lebar girder bagian bawah	
Panjang girder bagian atas	
Panjang girder bagian bawah	



Gambar 3.12 Tampak Depan *Runway Rail*



Gambar 3.13 Tampak Atas *Runway Rail*



Gambar 3. 14 Tampak Samping *Runway Rail*

Tabel 3.2 Spesifikasi *Runway Rail*

KETERANGAN	UKURAN (mm)
Panjang rel	
Panjang total rel	
Tinggi rel	
Lebar rel	
Lebar <i>beam</i>	
Tinggi <i>beam</i>	
Tinggi <i>beam</i> + rel	
Tinggi <i>support beam</i>	
Lebar <i>support beam</i>	

3.3 Pemilihan Bahan Material

Setelah ukuran dan dimensi dari desain *Girder Crane* dan *Runway Rail* ditentukan maka selanjutnya adalah menentukan bahan material yang akan digunakan. Dalam pemilihan material digunakan material ASTM A36. Karena material ASTM A36 memiliki sifat *Homogeneous Isotropic*. Dan material ASTM A36 adalah material yang umum digunakan pada fabrikasi atau konstruksi.

3.4 Perhitungan Momen Inersia dan Momen *Bending*

Perhitungan teoritis diperlukan sebelum menuju tahap simulasi karena menghitung momen inersia adalah kecerendungan suatu benda untuk mempertahankan keadaan putarnya, baik tetap diam atau bergerak memutar. Pada bagian *Girder Crane* dan *Runway Rail* sesuai rumus persamaan 2.2 dan untuk perhitungan momen bending menggunakan rumus persamaan 2.4.

3.5 Perhitungan Tegangan dan Defleksi

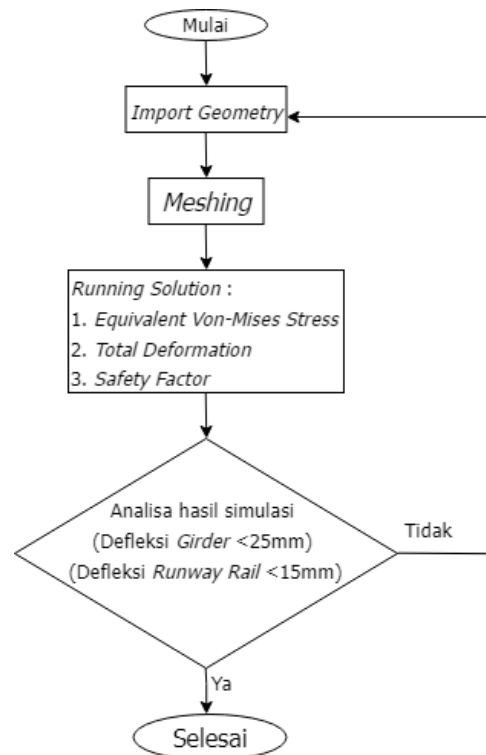
Perhitungan tegangan dan defleksi dihitung melalui perhitungan teoritis. Perhitungan teoritis diharapkan mengetahui tegangan & defleksi maksimum yang diterima oleh *Girder Crane* dan *Runway Rail* dari *overhead crane double girder*. Perhitungan tegangan dilakukan menggunakan rumus 2.3 sedangkan defleksi dengan beban 10 Ton menggunakan rumus 2.5.

3.6 Perencanaan *Safety Factor*

Pada tahap ini akan memperhitungkan nilai *safety factor* dari struktur *Girder* dan *Runway Rail* setelah diberi pembebanan maksimal menggunakan perhitungan manual dan analisis pembebanan struktur menggunakan *software* agar konstruksi pada struktur *Girder* dan *Runway Rail* terjamin keamanannya. Sehingga sangat penting mengetahui tegangan yang diperbolehkan agar tidak terjadi kegagalan pada rancang struktur *Overhead Crane* akibat dari kesalahan dalam menentukan nilai *safety factor* yang tidak memenuhi nilai aman yang seharusnya harus kurang dari tegangan ijin yang diperoleh melalui spesifikasi material.

3.7 Simulasi pada *Ansys*

Pada tahap ini memasukkan desain dan data pada *software Ansys* guna mengetahui nilai distribusi tegangan dan defleksi yang terjadi pada *overhead crane double girder* terutama pada bagian *girder* dan *runway rail* dimana dapat diketahui secara simulasi perubahan bentuk titik kritis tegangan. Berikut merupakan diagram alir langkah simulai, yaitu :



Gambar 3. 15 Diagram Alir Simulasi menggunakan *Ansys*

- Tahap pertama : Memasukkan geometri
Memasukkan geometri adalah memasukkan desain dari *software* Solidwork ke dalam *software* Ansys 18.2. selanjutnya memasukkan material yang akan digunakan, yaitu ASTM A36 kedalam *list* material yang digunakan.
- Tahap kedua : *Meshing*
Pada tahap ini, melakukan *mesh* yang sesuai dengan geometri *Girder* dan *Runway Rail*. *Mesh* ditentukan dari metode *meshing*, yaitu *Tetrahedron*. Tahap *mesh* dilakukan untuk memudahkan tahap simulasi
- Tahap ketiga : Simulasi

Setelah melakukan tahap *mesh*, tahap selanjutnya adalah menentukan bagian yang terkena gaya, lalu menentukan arah gaya. Selanjutnya menentukan tumpuan *fix*, yaitu *runway rail*. Dengan pembebanan dari *Safe Working Load* 10 Ton atau 10.000 kg. Maka selanjutnya adalah melakukan *solve* agar dapat memulai proses simulasi.

➤ Tahap keempat : Analisis hasil simulasi

Hasil yang didapat dari simulasi *static structural* desain *Girder* adalah nilai tegangan maksimum dan defleksi yang terjadi. Dan dapat diketahui berapa nilai *safety factor*. Kemudian dilakukan Analisa apakah terjadi perubahan bentuk sebelum dan sesudah diberi beban.

Selanjutnya untuk simulasi *runway rail* dilakukan menggunakan metode yang sama, tetapi menggunakan *support* dari *runway rail* sebagai tumpuan *fix*.

3.8 Analisa Data

Menganalisa nilai tegangan dan defleksi dari hasil yang telah didapatkan dari perhitungan manual dan simulasi menggunakan *software Ansys*. Hasil tersebut tidak boleh melebihi syarat defleksi dan harus melebihi syarat minimum nilai *safety factor*. Serta hasil perhitungan manual dan simulasi menggunakan *software Ansys* harus saling mendekati. Pada tahap ini mengumpulkan semua data dan perhitungan yang telah didapatkan.

Tabel 3.3 Pembebanan *Girder Crane*

Beban	Jarak	Tegangan (MPa)			Defleksi (mm)		
		Teoritis	Simulasi	Margin	Teoritis	Simulasi	Margin
10 ton	5000 mm						
	10000 mm						
	15000 mm						

Tabel 3.4 Pembebanan *Runway Rail*

Beban	Jarak	Tegangan (MPa)			Defleksi (mm)		
		Teoritis	Simulasi	Margin	Teoritis	Simulasi	Margin
10 ton	3000 mm						
	6000 mm						
	9000 mm						

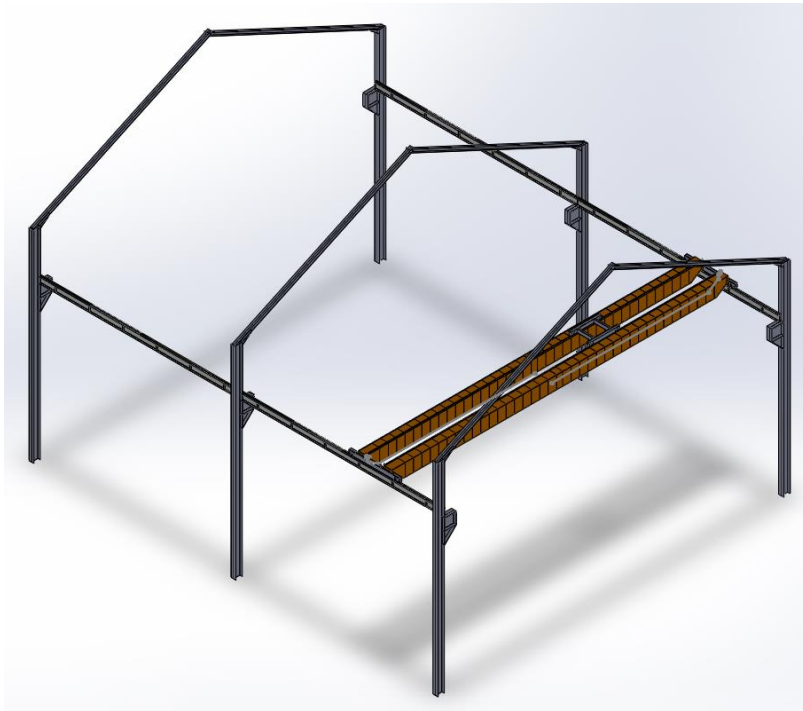
3.9 Kesimpulan

Pada tahap ini dijelaskan secara singkat dan jelas hasil dari Proyek Akhir ini. Lalu menarik kesimpulan tentang perbandingan dari perhitungan manual dan simulasi menggunakan *software Ansys*.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Desain

Pada hasil dan pembahasan proyek akhir ini dilakukan perencanaan desain dan perhitungan. Desain tidak lepas dari spesifikasi yang nantinya spesifikasi akan menjadi landasan dilakukannya perhitungan teoritis lalu dibandingkan dengan simulasi menggunakan *software* berbasis metode elemen hingga.



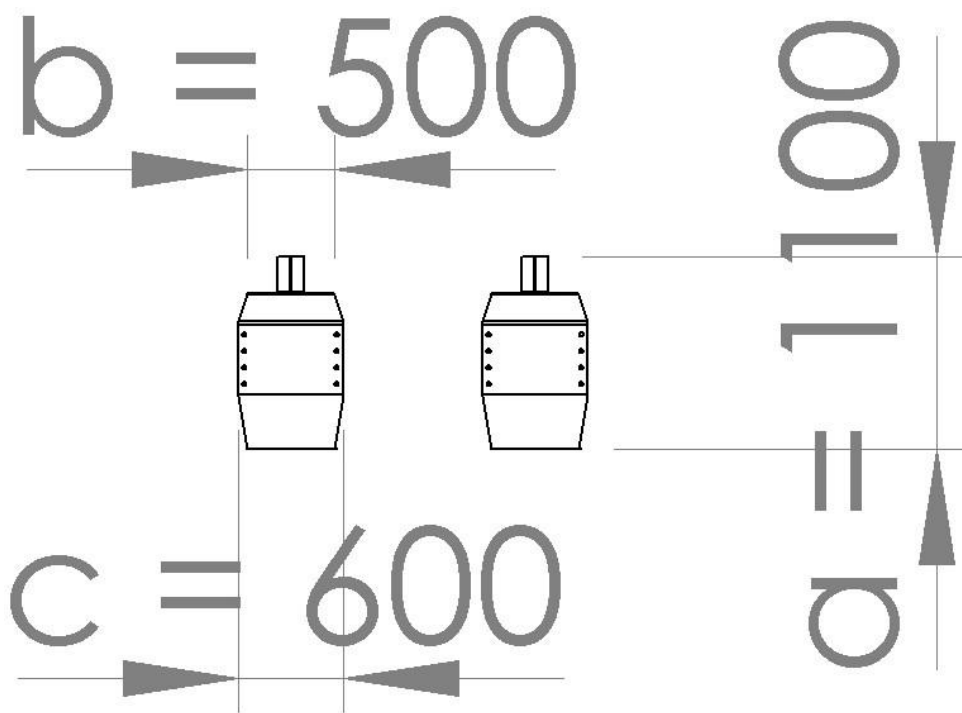
Gambar 4.1 Desain 3D

4.2 Spesifikasi Girder

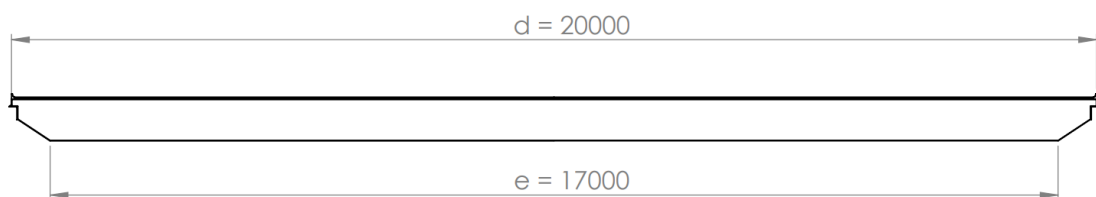
Langkah awal yang dilakukan sebelum melakukan perhitungan manual dan simulasi yaitu dengan melakukan perhitungan *Center of Gravity* (CoG) melalui perhitungan teoritis. Dengan menentukan COG diharapkan mampu menjadi pendukung saat menghitung tegangan maksimum yang terjadi pada *Girder* sehingga dapat dibandingkan saat melakukan simulasi pada *software* elemen hingga. Dimensi pada *Girder* dapat dilihat melalui gambar 4.1. Selanjutnya dilakukan permodelan sederhana dengan menggunakan *profile box*. Perhitungan manual menggunakan *profile box* dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.2 Desain 3D *Girder*



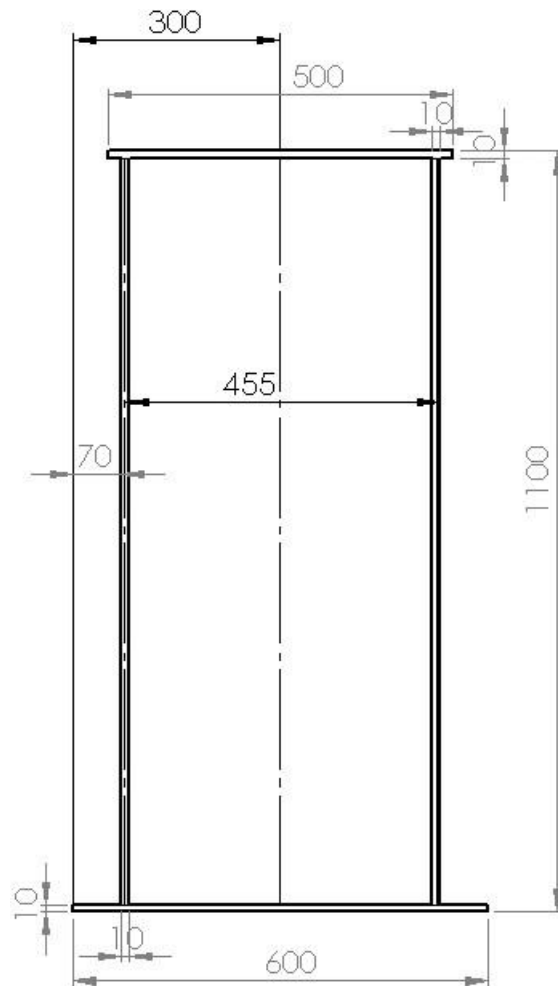
Gambar 4.3 Tampak Samping *Girder*



Gambar 4.4 Tampak Depan *Girder*

Tabel 4.1 Spesifikasi *Girder*

HURUF	KETERANGAN	UKURAN (mm)
A	Tinggi girder	1100
B	Lebar girder bagian atas	500
C	Lebar girder bagian bawah	600
D	Panjang girder bagian atas	20000
E	Panjang girder bagian bawah	17000



Gambar 4.5 Profile *Girder Box*

Gaya beban yang terjadi pada *Girder* :

Diketahui :

$W_{girder} = 5875,403 \text{ kg}$

Jumlah *girder* = 2

$W_{load} = 10 \text{ ton} = 10000 \text{ kg}$

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$

$P = ((W_{girder} \times 2) + W) \times g$

$$\begin{aligned}
&= ((5875,403 \times 2) + 10000) \times 9.81 \\
&= (11750,8063 + 10000) \times 9.81 \\
&= 213375,41 \text{ N}
\end{aligned}$$

Dengan :

- W_{girder} = massa *Girder* (kg)
 W_{load} = Beban angkat maksimum (kg)
 P = Gaya beban (N)
 g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

Mass properties of double girder
Configuration: Default
Coordinate system: -- default --

Mass = 11750806.30 grams

Volume = 1510622715.56 cubic millimeters

Gambar 4.6 Mass Properties Double Girder

Data yang diketahui yaitu pembebanan dan geometri yang didefinisikan pada Tabel 4.2 dimana pembagian luasan *girder* dibagi menjadi 4 yaitu bagian atas, bagian bawah, bagian kiri dan bagian kanan pada *girder*. Dibawah ini adalah hasil dari penentuan titik berat, perhitungan luas dan perhitungan momen statisnya pada tiap sisi *girder* sesuai pada desain terhadap sumbu netral :

Tabel 4.2 Ringkasan Perhitungan Titik Berat, Luas dan Momen Statis *Girder*

No.	Nama	b (Lebar) (mm)	H (Tinggi) (mm)	A (Luas) (mm^2)	Titik Berat		Momen Statis	
					X (mm)	Y (mm)	A.x (mm^2)	A.y (mm^2)
1	Bagian Atas	500	10	5000	300	540	1500000	2700000
2	Bagian Samping Kiri	10	1080	10800	75	550	810000	5940000
3	Bagian Samping Kanan	10	1080	10800	285	550	30780000	5940000
4	Bagian Bawah	600	10	6000	300	540	1800000	3240000
Total				32600			7188000	17820000

Setelah mendapatkan nilai dari total momen statis ($A \cdot X$) dan nilai dari total luasan setiap sisi (A), maka X dapat dihitung menggunakan rumus :

$$X = \frac{\Sigma(A \cdot X)}{\Sigma A}$$

Dengan :

X = Titik berat total (mm)

x = Jarak titik berat tiap benda (mm)

A = Luasan tiap benda (mm^2)

Maka :

$$X = \frac{7188000}{32600} = 220,5 \text{ mm}$$

Setelah mendapatkan nilai dari total momen statis ($A \cdot y$) dan nilai dari total luasan setiap sisi (A), maka Y dapat dihitung menggunakan rumus :

$$Y = \frac{\Sigma(A \cdot y)}{\Sigma A}$$

Dengan :

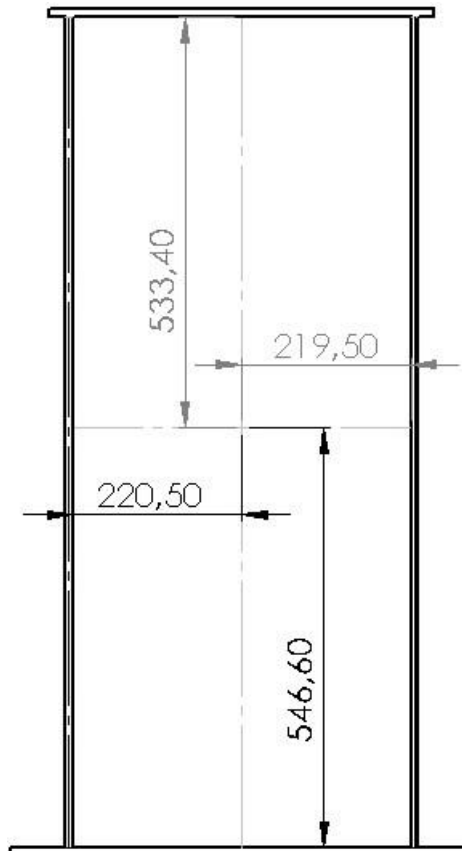
Y = Titik berat total (mm)

y = Jarak titik berat tiap benda (mm)

A = Luasan tiap benda (mm^2)

Maka :

$$Y = \frac{17820000}{32600} = 546,6 \text{ mm}$$



Gambar 4.7 *Center of Gravity*

Jadi, *Center of Gravity* adalah pada koordinat (220,5 ; 546,6)

4.3 Perhitungan Momen Inersia Girder

Untuk menentukan momen inersia girder terhadap sumbu x (I_x) maka perlu dilakukan perhitungan – perhitungan jarak lengan, dan juga momen inersia dengan menggunakan persamaan (2.1)

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

$$\begin{aligned} I_1 &= \left(\frac{1}{12}\right) \times b \times h^3 \\ &= \left(\frac{1}{12}\right) \times 500 \times 10^3 \\ &= 41666,6667 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_2 &= \left(\frac{1}{12}\right) \times b \times h^3 \\ &= \left(\frac{1}{12}\right) \times 10 \times 1080^3 \\ &= 1049760000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_3 &= \left(\frac{1}{12}\right) \times b \times h^3 \\ &= \left(\frac{1}{12}\right) \times 10 \times 1080^3 \end{aligned}$$

$$= 1049760000 \text{ mm}^2$$

$$I_4 = \left(\frac{1}{12}\right) \times b \times h^3$$

$$= \left(\frac{1}{12}\right) \times 600 \times 10^3$$

$$= 50000 \text{ mm}^2$$

$$I_{total} = 41666,6667 + 1049760000 + 1049760000 + 50000 \text{ mm}^2$$

$$= 2099611667 \text{ mm}^2$$

Di bawah ini adalah ringkasan perhitungan nilai momen inersia pada *Girder* sesuai dengan desain pada tabel 4.3 :

Tabel 4.3 Ringkasan Perhitungan Momen Inersia

No.	Nama	B (Lebar) (mm)	H (Tinggi) (mm)	A (Luas) (mm ²)	d (Jarak ke COG) (mm)	A x d ² (mm ²)	IG (mm ²)
1	Bagian Atas	500	10	5000	533,4	1422577800	41666,6667
2	Bagian Samping Kiri	10	1080	10800	0	0	1049760000
3	Bagian Samping Kanan	10	1080	10800	0	0	1049760000
4	Bagian Bawah	600	10	6000	546,6	1792629360	50000
Total						3215207160	2099611667

Dengan :

b = Lebar

h = Tinggi

A = Luas

d = Jarak dari titik berat masing masing luasan ke titik berat benda secara keseluruhan (sumbu netral)

Setelah mendapatkan nilai luasan, lengan dan momen inersia tiap sisi, maka momen inersia dapat dihitung menggunakan rumus 2.1

$$I_{xx} = \sum(IG) + \sum(A \times d^2)$$

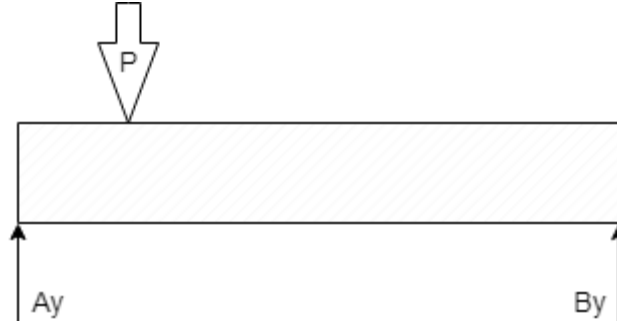
$$= 3215207160 + 2099611667$$

$$= 5314818827 \text{ mm}^2$$

4.4 Momen Bending

Selanjutnya mencari nilai momen maksimum, dengan cara mencari Gaya dan Momen Reaksi dengan menggunakan metode superposisi.

4.4.1 Pembebanan di titik a = 5000mm

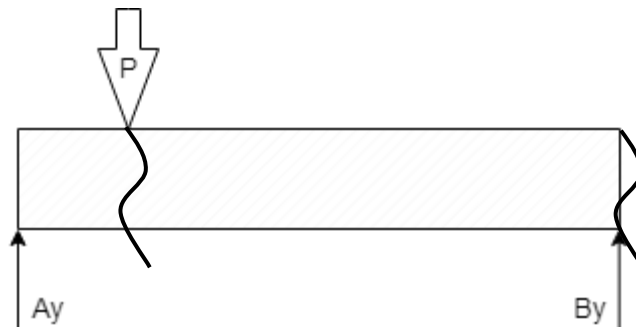


Gambar 4.8 Free Body Diagram Potongan a = 5000 mm

$$\begin{aligned} A_y &= \left(\frac{P \cdot b}{L}\right) \\ &= \frac{213375,41 \cdot 15000}{20000} \\ &= 160031,5575 \text{ N} \end{aligned}$$

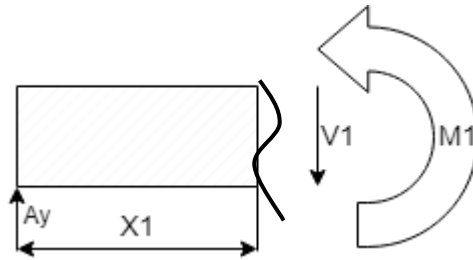
$$\begin{aligned} B_y &= \left(\frac{P \cdot a}{L}\right) \\ &= \frac{213375,41 \cdot 5000}{20000} \\ &= 53343,8525 \text{ N} \end{aligned}$$

Setelah gaya reaksi sudah diketahui, diagram momen bisa didapatkan dengan mencari nilai nilai momen di tiap potongan dengan metode balok kecil seperti gambar 4.9



Gambar 4.9 Skema Potongan Saat Pembebanan a = 5000 mm

Potongan 1



Gambar 4.10 Potongan 1

$$\sum Fy = 0$$

$$Ay - v1 = 0$$

$$V1 = Ay$$

$$V1 = 160031,5575 \text{ N}$$

$$\sum Mx = 0$$

$$Ay \cdot x1 - m1 = 0$$

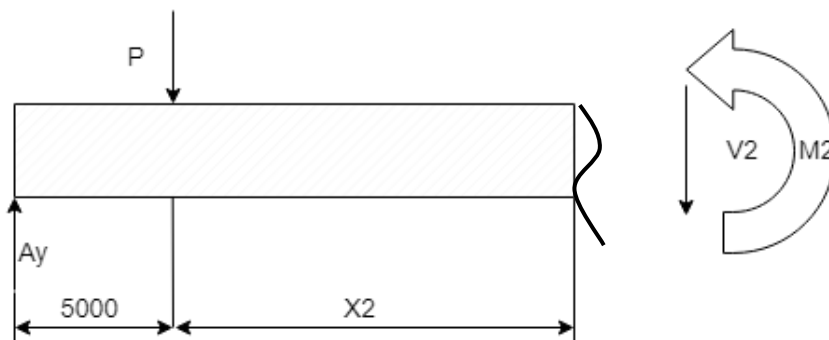
$$M1 = ay \cdot x1$$

Untuk $0 < x1 < 5000$

Tabel 4.4 Potongan 1

X1	M1 (Nm)
0	0
1000	160031557,5
2000	320063115
3000	480094672,5
4000	640126230
5000	800157787,5

Potongan 2



Gambar 4.11 Potongan 2

$$\sum Fy = 0$$

$$Ay - P - V2 = 0$$

$$V2 = Ay - P$$

$$V2 = 160031,5575 - 213375,41$$

$$V2 = 53343,8525$$

$$\sum Mx2 = 0$$

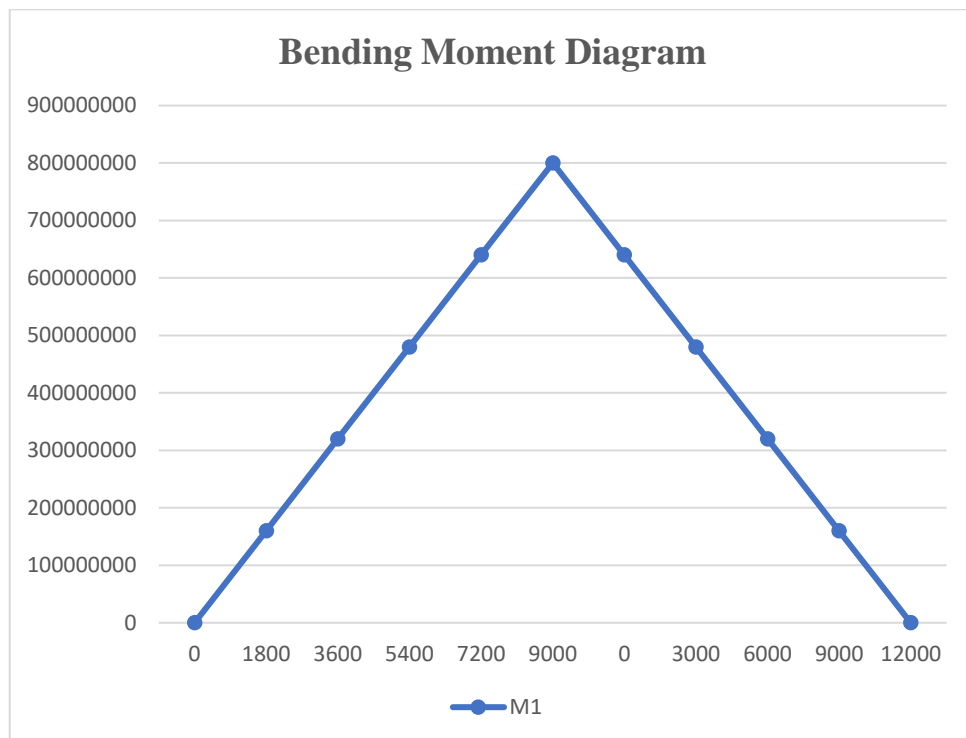
$$Ay \cdot (5000 + x2) - P \cdot x2 - m2 = 0$$

$$M2 = Ay \cdot (5000 + x2) - P \cdot x2$$

Untuk , $0 < x2 < 15000$

Tabel 4.5 Potongan 2

X2	M2 (Nm)
0	800157787.5
3000	640126230
6000	480094672.5
9000	320063115
12000	160031557.5
15000	0



Gambar 4.12 Bending Moment Diagram

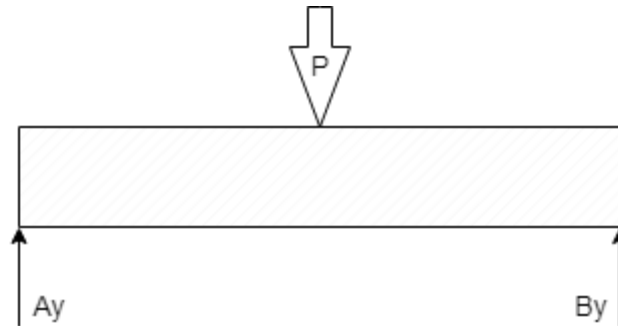
Dengan :

P = Beban

a = Jarak Ke Tumpuan A

- b = Jarak Ke Tumpuan B
- L = Total Panjang *Girder*
- Ay = Gaya Reaksi Tumpuan A
- M = Momen Bending
- X = titik tengah
- V = *Internal Force*

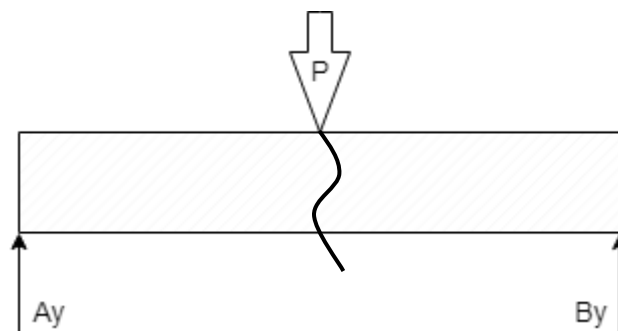
4.4.2 Pembebanan di titik a = 10000 mm



Gambar 4.13 *Free Body Diagram* saat Pembebanan a = 10000 mm

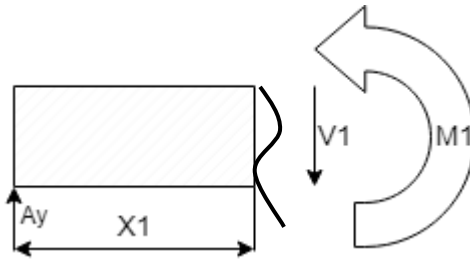
$$\begin{aligned}
 A_y &= B_y \\
 A_y &= \left(\frac{P \cdot a}{L}\right) \\
 &= \frac{213375,41 \cdot 10000}{20000} \\
 &= 106687,705 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Setelah gaya reaksi sudah diketahui, diagram momen bisa didapatkan dengan mencari nilai nilai momen di tiap potongan dengan metode balok kecil seperti gambar 4.14



Gambar 4.14 Skema Potongan Saat Pembebanan a = 10000 mm

Potongan 1



Gambar 4.15 Potongan 1

$$\sum Fy = 0$$

$$Ay - v1 = 0$$

$$V1 = Ay$$

$$V1 = 106687,705 \text{ N}$$

$$\sum Mx = 0$$

$$Ay \cdot x1 - m1 = 0$$

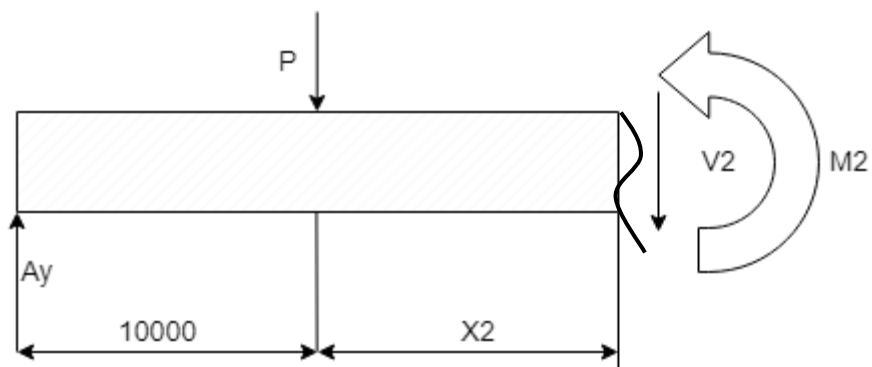
$$M1 = ay \cdot x1$$

Untuk $0 < x1 < 10000 \text{ mm}$

Tabel 4.6 Potongan 1

X1	M1 (Nm)
0	0
2000	213375410
4000	426750820
6000	640126230
8000	853501640
10000	1066877050

Potongan 2



Gambar 4.16 Potongan 2

$$\sum Fy = 0$$

$$Ay - P - V2 = 0$$

$$V2 = Ay - P$$

$$V2 = 106687,705 - 213375,41$$

$$V2 = -106687,705$$

$$\sum Mx2 = 0$$

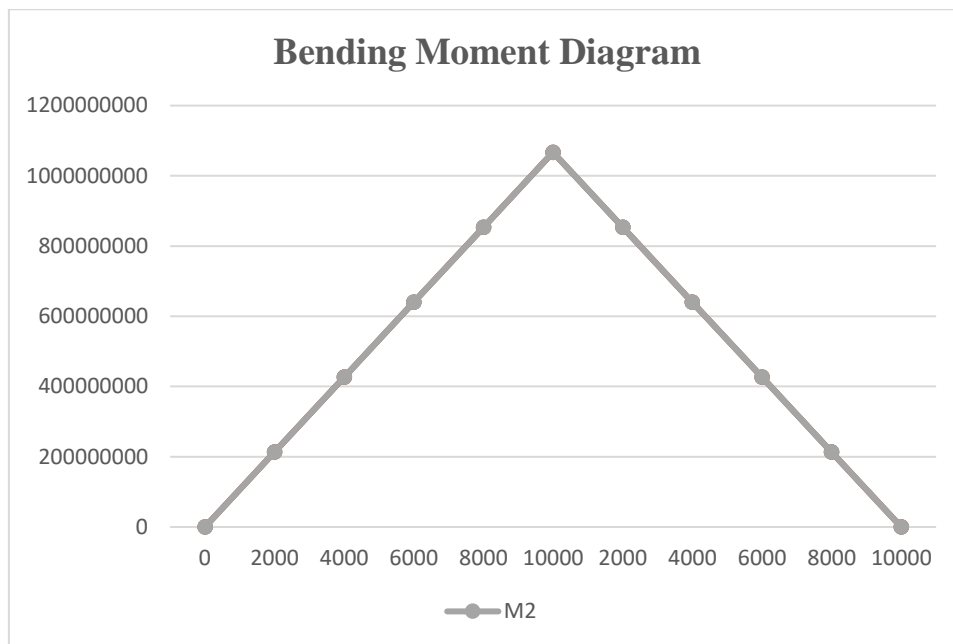
$$Ay \cdot (10000 + x2) - P \cdot x2 - m2 = 0$$

$$M2 = Ay \cdot (10000 + x2) - P \cdot x2$$

Untuk , $0 < x2 < 10000$

Tabel 4.7 Potongan 2

X2	M2 (Nm)
0	1066877050
2000	853501640
4000	640126230
6000	426750820
8000	213375410
10000	0



Gambar 4.17 Bending Moment Diagram

Dengan :

P = Beban

a = Jarak Ke Tumpuan A

b = Jarak Ke Tumpuan B

L = Total Panjang Girder

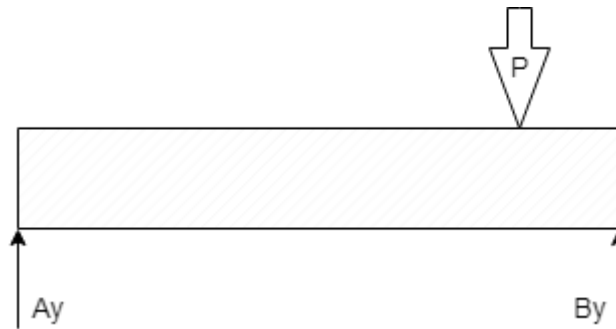
A_y = Gaya Reaksi Tumpuan A

M = Momen Bending

X = titik tengah

V = *Internal Force*

4.4.3 Pembebanan di titik a = 15000 mm

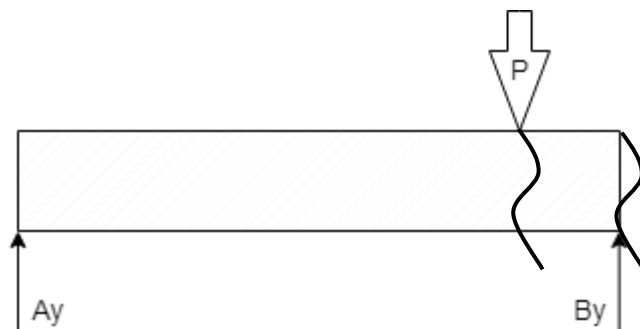


Gambar 4.18 *Free Body Diagram* saat Pembebanan a = 15000 mm

$$\begin{aligned} R_a &= \left(\frac{P \cdot b}{L}\right) \\ &= \frac{213375,41 \cdot 5000}{20000} \\ &= 53343,8525 \text{ N} \end{aligned}$$

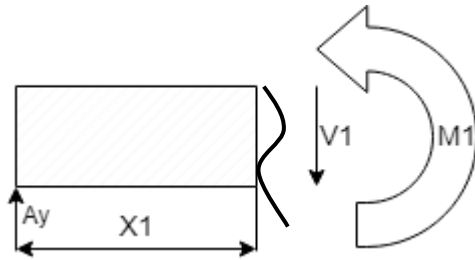
$$\begin{aligned} R_b &= \left(\frac{P \cdot a}{L}\right) \\ &= \frac{213375,41 \cdot 15000}{20000} \\ &= 160031,5575 \text{ N} \end{aligned}$$

Setelah gaya reaksi sudah diketahui, diagram momen bisa didapatkan dengan mencari nilai nilai momen di tiap potongan dengan metode balok kecil seperti gambar 4.19



Gambar 4.19 Skema Potongan saat Pembebanan a = 15000 mm

Potongan 1



Gambar 4.20 Potongan 1

$$\sum Fy = 0$$

$$Ay - v1 = 0$$

$$V1 = Ay$$

$$V1 = 53343,8525 \text{ N}$$

$$\sum Mx = 0$$

$$Ay \cdot x1 - m1 = 0$$

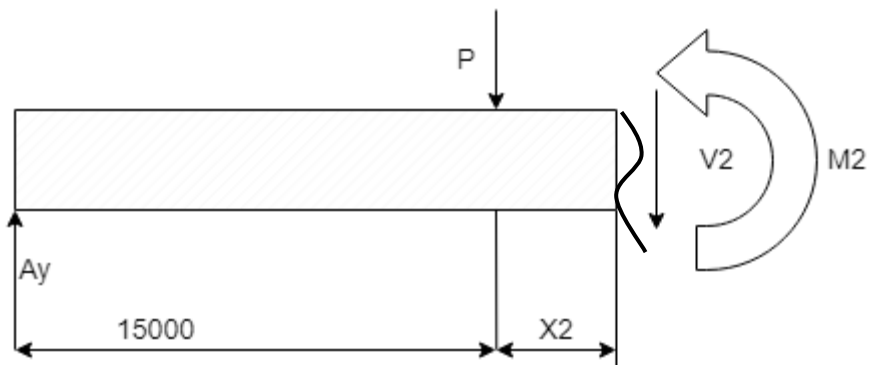
$$M1 = ay \cdot x1$$

Untuk $0 < x1 < 15000 \text{ mm}$

Tabel 4.8 Potongan 1

X1	M1 (Nm)
0	0
3000	160031557,5
6000	320063115
9000	480094672,5
12000	640126230
15000	800157787,5

Potongan 2



Gambar 4.21 Potongan 2

$$\sum Fy = 0$$

$$Ay - P - V2 = 0$$

$$V2 = Ay - P$$

$$V2 = 53343,8525 - 213375,41$$

$$V2 = -160031,5575$$

$$\sum Mx2 = 0$$

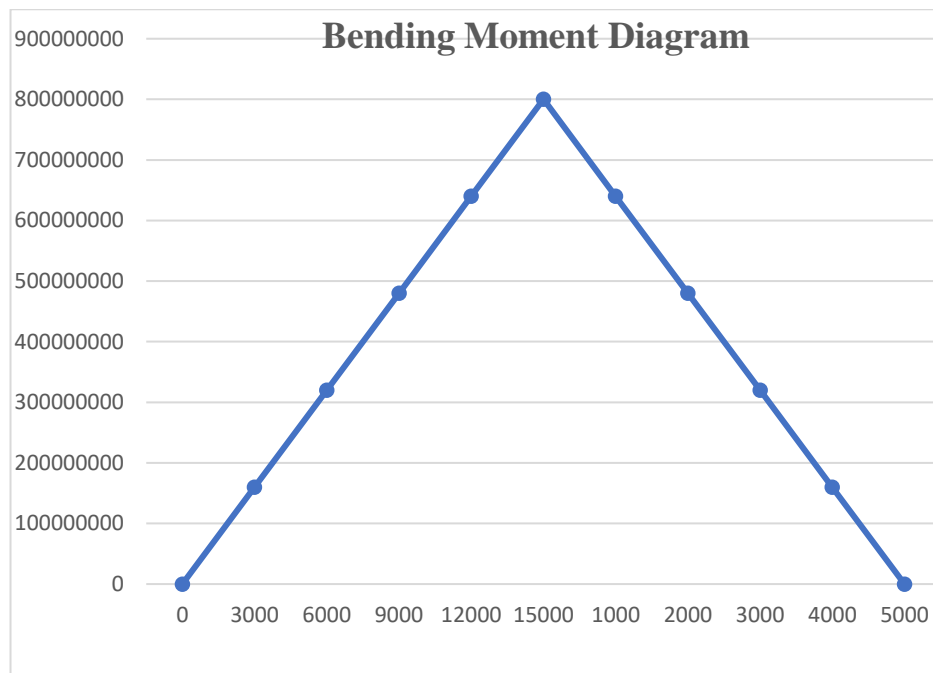
$$Ay \cdot (15000 + x2) - P \cdot x2 - m2 = 0$$

$$M2 = Ay \cdot (15000 + x2) - P \cdot x2$$

Untuk , $0 < x2 < 5000$

Tabel 4.9 Potongan 2

X2	M2 (Nm)
0	800157787,5
1000	640126230
2000	480094672,5
3000	320063115
4000	160031557,5
5000	0



Gambar 4.22 Bending Moment Diagram

Dengan :

P = Beban

a = Jarak Ke Tumpuan A

b = Jarak Ke Tumpuan B

L = Total Panjang Girder

- A_y = Gaya Reaksi Tumpuan A
 M = Momen Bending
 X = titik tengah
 V = *Internal Force*

4.5 Tegangan dan Defleksi

Setelah mendapatkan nilai momen bending maksimum, *Center of Gravity* dan momen inersia, nilai tegangan akibat bending pun dapat diketahui dengan Kembali ke persamaan 2.5

4.5.1 Pembebanan di titik a = 5000 mm

$$\sigma = \frac{M.c}{I_{xx}}$$

$$\sigma = \frac{800157787,5.556,6}{5314818827} = 83,79736714 \text{ MPa}$$

$$\delta = \frac{P(3L^2 - 4a^3)a}{48.E.I_{xx}}$$

$$\delta = \frac{213375,41(3.20000^2 - 4.5000^3)5000}{48.20000.5314818827} = 1,178468669 \text{ mm}$$

Dengan :

- σ = Tegangan
 M = Momen maksimal akibat Bending
 I_{xx} = Momen Inersia
 c = Jarak vertikal terjauh dari sumbu netral
 δ = Defleksi
 E = Modulus Elastisitas Material

Maka diperoleh hasil seperti pada Tabel 4.10

Tabel 4.10 Ringkasan Hasil Perhitungan Tegangan dan Defleksi

Beban	Tegangan (MPa)	Defleksi (mm)
10 Ton	83,79736714	1,178468669

4.5.2 Pembebanan di titik a = 10000 mm

$$\sigma = \frac{M.c}{I_{xx}}$$

$$\sigma = \frac{1066877050.556,6}{5314818827} = 111,7298229 \text{ MPa}$$

$$\delta = \frac{P(3L^2 - 4a^3)a}{48.E.I_{xx}}$$

$$\delta = \frac{213375,41(3.20000^2 - 4.10000^3)10000}{48.20000.5314818827} = 2,889519051 \text{ mm}$$

Dengan :

- σ = Tegangan
- M = Momen maksimal akibat Bending
- I_{xx} = Momen Inersia
- c = Jarak vertikal terjauh dari sumbu netral
- δ = Defleksi
- E = Modulus Elastisitas Material

Maka diperoleh hasil seperti pada Tabel 4.11

Tabel 4.11 Ringkasan Hasil Perhitungan Tegangan dan Defleksi

Beban	Tegangan (MPa)	Defleksi (mm)
10 Ton	111,7298229	2,889519051

4.5.3 Pembebanan di titik a = 15000 mm

$$\sigma = \frac{M.c}{I_{xx}}$$

$$\sigma = \frac{800157787,5.556,6}{5314818827} = 83,79736714 \text{ MPa}$$

$$\delta = \frac{P(3L^2 - 4a^3)a}{48.E.I_{xx}}$$

$$\delta = \frac{213375,41(3.20000^2 - 4.15000^3)15000}{48.20000.5314818827} = 1,956771022 \text{ mm}$$

Dengan :

- σ = Tegangan
- M = Momen maksimal akibat Bending
- I_{xx} = Momen Inersia
- c = Jarak vertikal terjauh dari sumbu netral
- δ = Defleksi
- E = Modulus Elastisitas Material

Maka diperoleh hasil seperti pada Tabel 4.12

Tabel 4.12 Ringkasan Hasil Perhitungan Tegangan dan Defleksi

Beban	Tegangan (MPa)	Defleksi (mm)
10 Ton	83,79736714	1,956771022

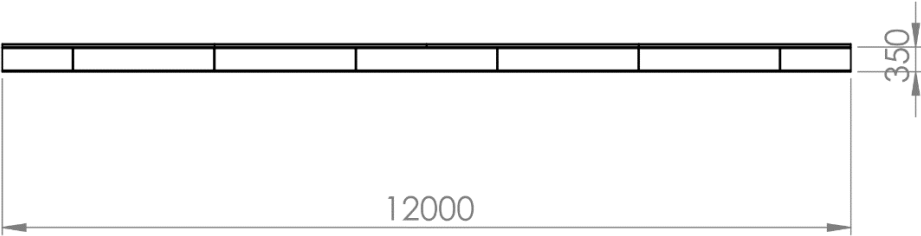
4.6 Spesifikasi Runway Rail

Setelah menghitung *Girder* maka dilanjutkan perhitungan pada *Runway Rail*. Langkah awal yaitu menentukan titik *Center of Gravity* melalui perhitungan teoritis. Dengan menentukan COG diharapkan mampu menjadi pendukung saat melakukan perhitungan tegangan maksimum yang terjadi pada *Runway Rail* sehingga dapat dibandingkan saat

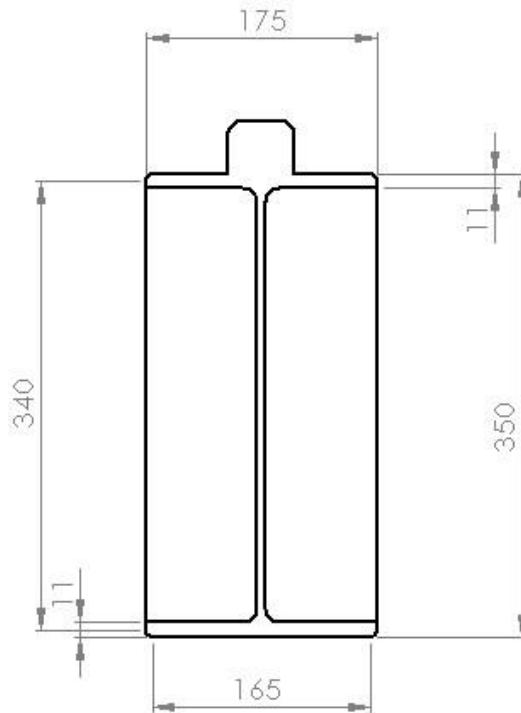
melakukan simulasi pada *software* elemen hingga. Dimensi pada *Runway Rail* dapat dilihat melalui gambar 4.19.



Gambar 4.23 3D *Runway Rail*



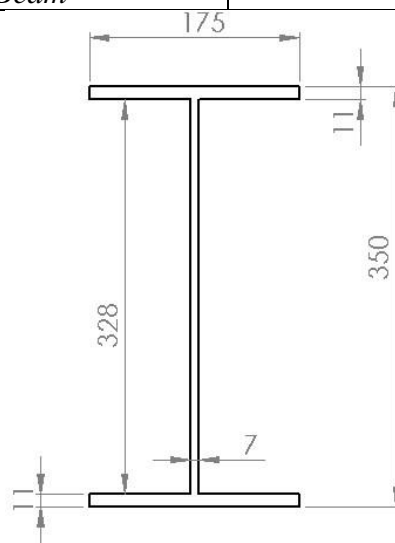
Gambar 4.24 Tampak Depan *Runway Rail*



Gambar 4.25 Tampak Samping *Runway Rail*

Tabel 4.13 Spesifikasi *Runway Rail*

KETERANGAN	UKURAN (mm)
Panjang <i>Runway Rail</i>	12000
Panjang total <i>Runway Rail</i>	120000
Tinggi <i>Runway Rail</i>	40
Lebar <i>Runway Rail</i>	40
Lebar <i>Beam</i>	175
Tinggi <i>Beam</i>	350
Tinggi <i>Beam</i> + <i>Runway Rail</i>	400
Tinggi <i>Support Beam</i>	100000
Lebar <i>Support Beam</i>	300



Gambar 4.26 Profile *Runway Rail*

Gaya beban yang terjadi pada *Beam* :

Diketahui :

$$W_{girder} = 5875,403 \text{ kg}$$

$$\text{Jumlah girder} = 2$$

$$W_{load} = 10 \text{ ton} = 10000 \text{ kg}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$P = \left(\frac{W_{girder} \times 2}{2} + W \right) \times g$$

$$= \left(\frac{5875,403 \times 2}{2} + 10000 \right) \times 9.81$$

$$= (5875,403 + 10000) \times 9.81$$

$$= 155737,703 \text{ N}$$

Dengan :

$$W_{girder} = \text{massa Girder (kg)}$$

$$W_{load} = \text{Beban angkat maksimum (kg)}$$

$$P = \text{Gaya beban (N)}$$

$$g = \text{Percepatan gravitasi (m/s}^2\text{)}$$

Data yang diketahui yaitu pembebanan dan geometri yang didefinisikan pada Tabel 4.14 dimana pembagian luasan *runway rail* dibagi menjadi 4 yaitu bagian atas, bagian bawah, bagian kiri dan bagian kanan pada *girder*. Dibawah ini adalah hasil dari penentuan titik berat, perhitungan luas dan perhitungan momen statisnya pada tiap sisi *girder* sesuai pada desain terhadap sumbu netral :

Tabel 4.14 Ringkasan Perhitungan Titik Berat, Luas, dan Momen Statis *Runway Rail*

No	Nama	B (Lebar) (mm)	h (Tinggi) (mm)	A (Luas) (mm ²)	Titik Berat		Momen Statis	
					X (mm)	Y (mm)	A.x (mm ²)	A.y (mm ²)
1	Bagian Atas	175	11	1925	87,5	175	168437,5	336875
2	Bagian Tengah	11	328	3608	87,5	175	315700	631400
3	Bagian Bawah	175	11	1925	87,5	175	168437,5	336875
Total				7458			652575	1305150

Setelah mendapatkan nilai dari total momen statis (A.X) dan nilai dari total luasan setiap sisi (A), maka X dapat dihitung menggunakan rumus :

$$X = \frac{\sum(A.X)}{\sum A}$$

Dengan :

X = Titik berat total (mm)

x = Jarak titik berat tiap benda (mm)

A = Luasan tiap benda (mm^2)

Maka :

$$X = \frac{652575}{7458} = 87,5 \text{ mm}$$

Setelah mendapatkan nilai dari total momen statis ($A.y$) dan nilai dari total luasan setiap sisi (A), maka Y dapat dihitung menggunakan rumus :

$$Y = \frac{\Sigma(A.y)}{\Sigma A}$$

Dengan :

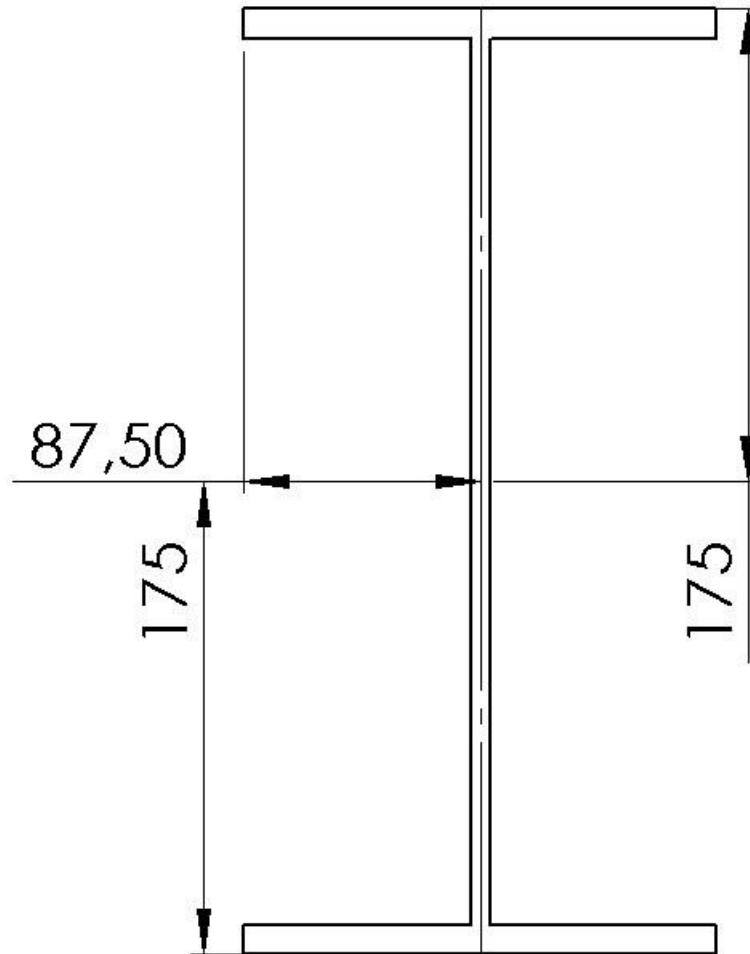
Y = Titik berat total (mm)

y = Jarak titik berat tiap benda (mm)

A = Luasan tiap benda (mm^2)

Maka :

$$Y = \frac{1305150}{7458} = 175 \text{ mm}$$



Gambar 4.27 *Center of Gravity*

Jadi, *Center of Gravity* adalah pada koordinat (87,5 ; 175)

4.6 Perhitungan Momen Inersia *Runway Rail*

Untuk menentukan momen inersia *runway rail* terhadap sumbu x (I_x) maka perlu dilakukan perhitungan – perhitungan jarak lengan, dan juga momen inersia dengan menggunakan persamaan (2.1)

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$\begin{aligned} I_1 &= \left(\frac{1}{12}\right) \times b \times h^3 \\ &= \left(\frac{1}{12}\right) \times 175 \times 11^3 \\ &= 19410,41667 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_2 &= \left(\left(\frac{1}{12}\right) \times b \times h^3\right)^2 \\ &= \left(\frac{1}{12}\right) \times 11 \times 328^3 \\ &= 32346922,67 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$I_3 = \left(\frac{1}{12}\right) \times b \times h^3$$

$$= \left(\frac{1}{12}\right) \times 175 \times 11^3$$

$$= 19410,41667 \text{ mm}^2$$

$$I_{total} = 19410,41667 + 32346922,67 + 19410,41667 \text{ mm}^2$$

$$= 64732666,17 \text{ mm}^2$$

Di bawah ini adalah ringkasan perhitungan nilai momen inersia pada *Runway Rail* sesuai dengan desain pada Tabel 4.15 :

Tabel 4.15 Ringkasan Perhitungan Momen Inersia

No.	Nama	B (Lebar) (mm)	H (Tinggi) (mm)	A (Luas) (mm ²)	d (Jarak ke COG) (mm)	A x d ² (mm ²)	IR (mm ²)
1	Bagian Atas	175	11	1925	87,5	14738281,25	19410,41667
2	Bagian Tengah	11	328	3608	0	0	32346922,67
3	Bagian Bawah	175	11	1925	87,5	14738281,25	19410,41667
Total						29476562,5	64732666,17

Dengan :

b = Lebar

h = Tinggi

A = Luas

d = Jarak dari titik berat masing masing luasan ke titik berat benda secara keseluruhan (sumbu netral)

Setelah mendapatkan nilai luasan, lengan dan momen inersia tiap sisi, maka momen inersia dapat dihitung menggunakan rumus 2.1

$$I_{xx} = \sum(IR) + \sum(A \times d^2)$$

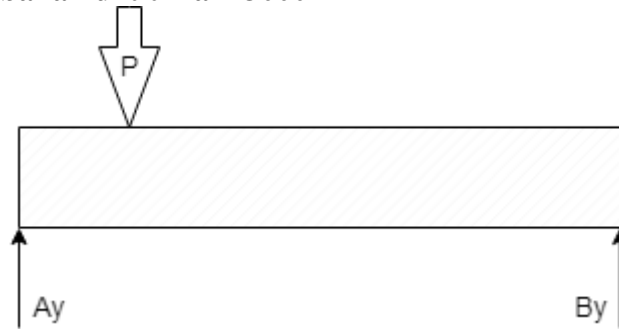
$$= 64732666,17 + 29476562,5$$

$$= 94209228,67 \text{ mm}^2$$

4.7 Momen Bending

Selanjutnya mencari nilai momen maksimum, dengan cara mencari Gaya dan Momen Reaksi dengan menggunakan metode superposisi.

4.7.1 Pembebanan di titik a = 3000mm

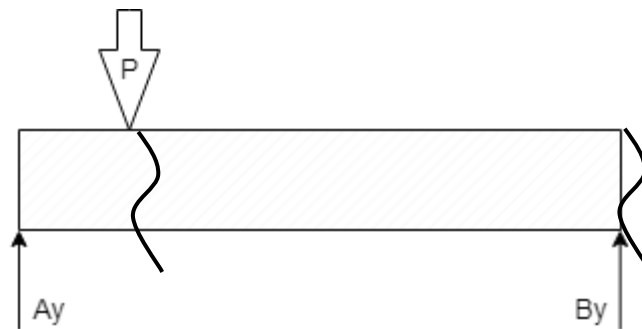


Gambar 4.28 Free Body Diagram saat pembebanan a = 3000 mm

$$\begin{aligned} R_a &= \left(\frac{P \cdot b}{L}\right) \\ &= \frac{155737,703 \cdot 9000}{12000} \\ &= 116803,2773 \text{ N} \end{aligned}$$

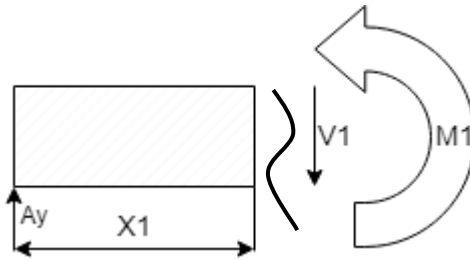
$$\begin{aligned} R_b &= \left(\frac{P \cdot a}{L}\right) \\ &= \frac{155737,703 \cdot 3000}{12000} \\ &= 38934,42575 \text{ N} \end{aligned}$$

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 4.29



Gambar 4.29 Skema potongan saat pembebanan a = 3000 mm

Potongan 1



Gambar 4.30 Potongan 1

$$\sum Fy = 0$$

$$Ay - v1 = 0$$

$$V1 = Ay$$

$$V1 = 116803,2773 \text{ N}$$

$$\sum Mx = 0$$

$$Ay \cdot x1 - m1 = 0$$

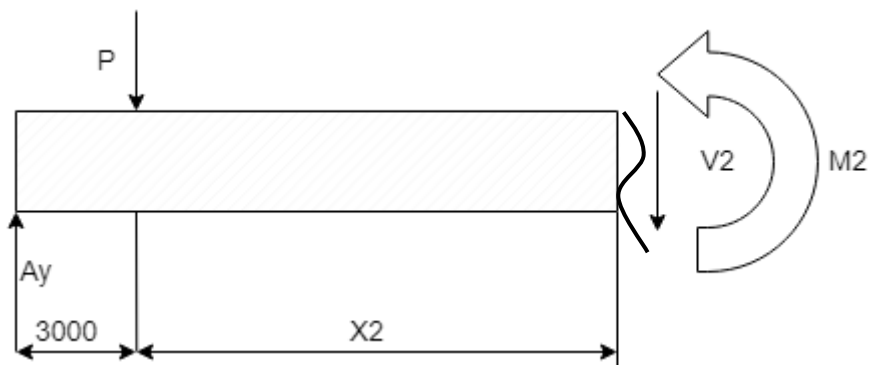
$$M1 = ay \cdot x1$$

$$\text{Untuk } 0 < x1 < 3000$$

Tabel 4.16 Potongan 1

X1	M1 (Nm)
0	0
600	70081966,4
1200	140163932,8
1800	210245899,1
2400	280327865,5
3000	350409831,9

Potongan 2



Gambar 4.31 Potongan 2

$$\sum Fy = 0$$

$$Ay - P - V2 = 0$$

$$V2 = Ay - P$$

$$V2 = 116803,2773 - 155737,703$$

$$V2 = -38934,4257$$

$$\sum Mx2 = 0$$

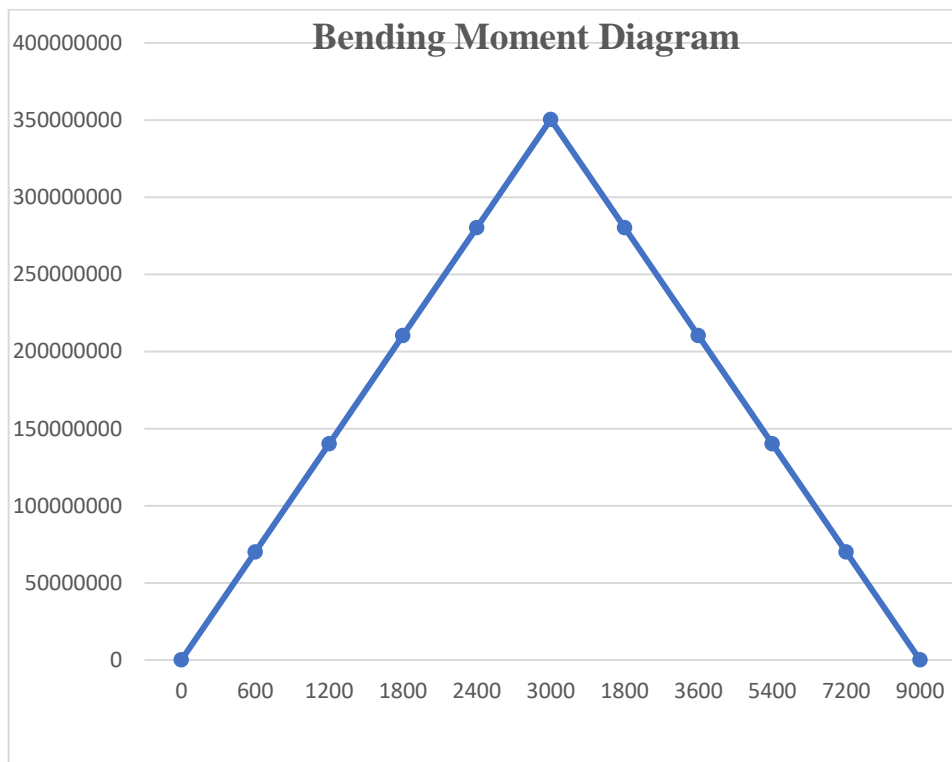
$$Ay \cdot (3000 + x2) - P \cdot x2 - m2 = 0$$

$$M2 = Ay \cdot (3000 + x2) - P \cdot x2$$

Untuk , $0 < x2 < 9000$

Tabel 4.17 Potongan 2

X2	M2 (Nm)
0	350409831,9
1800	280327865,5
3600	210245899,1
5400	140163932,8
7200	70081966,4
9000	0



Gambar 4.32 Bending Moment Diagram

Dengan :

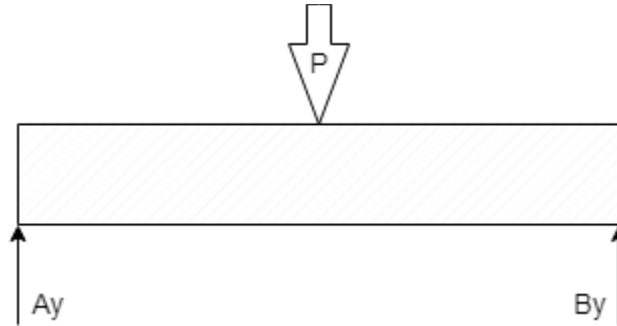
P = Beban

a = Jarak Ke Tumpuan A

b = Jarak Ke Tumpuan B

- L = Total Panjang *Runway Rail*
- Ay = Gaya Reaksi Tumpuan A
- M = Momen Bending
- X = titik tengah
- V = *Internal Force*

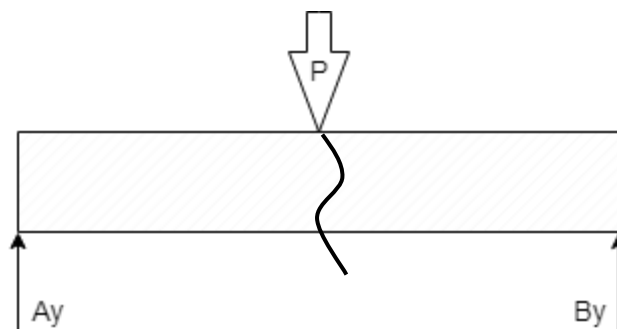
4.7.2 Pembebanan di titik a = 6000 mm



Gambar 4.33 *Free Body Diagram* Saat Pembebanan a = 6000 mm

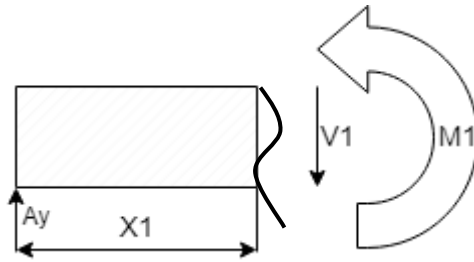
$$\begin{aligned}
 R_a &= R_b \\
 R_a &= \left(\frac{P \cdot b}{L}\right) \\
 &= \frac{155737,703 \cdot 6000}{12000} \\
 &= 77868,8515 \text{ N}
 \end{aligned}$$

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 4.34



Gambar 4.34 Skema Potongan Saat Pembebanan a = 6000 mm

Potongan 1



Gambar 4.35 Potongan 1

$$\sum Fy = 0$$

$$Ay - v1 = 0$$

$$V1 = Ay$$

$$V1 = 77868,8515 \text{ N}$$

$$\sum Mx = 0$$

$$Ay \cdot x1 - m1 = 0$$

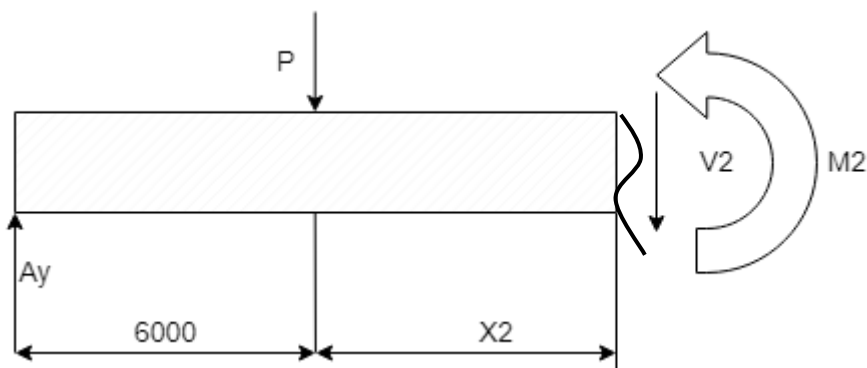
$$M1 = ay \cdot x1$$

Untuk $0 < x1 < 6000$

Tabel 4.18 Potongan 1

X1	M1 (Nm)
0	0
1200	93442621,8
2400	186885243,6
3600	280327865,4
4800	373770487,2
6000	467213109

Potongan 2



Gambar 4.36 Potongan 2

$$\sum Fy = 0$$

$$Ay - P - V2 = 0$$

$$V2 = Ay - P$$

$$V2 = 160031,5575 - 155737,703$$

$$V2 = 53343,8525$$

$$\sum Mx2 = 0$$

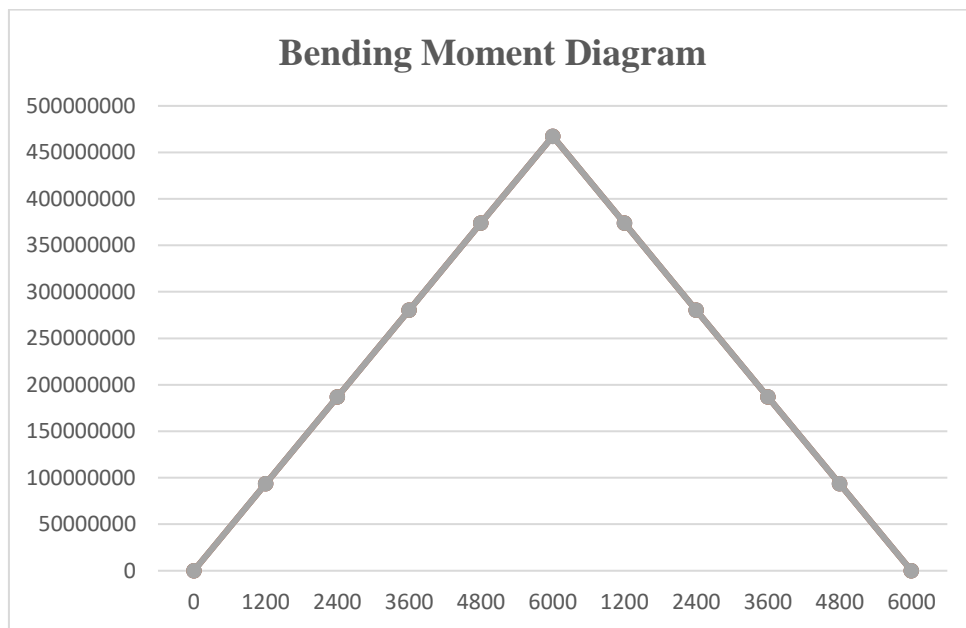
$$Ay \cdot (6000 + x2) - P \cdot x2 - m2 = 0$$

$$M2 = Ay \cdot (9000 + x2) - P \cdot x2$$

Untuk , $0 < x2 < 6000$

Tabel 4.19 Potongan 2

X2	M2 (Nm)
0	467213109
1200	373770487,2
2400	280327865,4
3600	186885243,6
4800	93442621,8
6000	0



Gambar 4.37 Bending Moment Diagram

Dengan :

P = Beban

a = Jarak Ke Tumpuan A

b = Jarak Ke Tumpuan B

L = Total Panjang *Runway Rail*

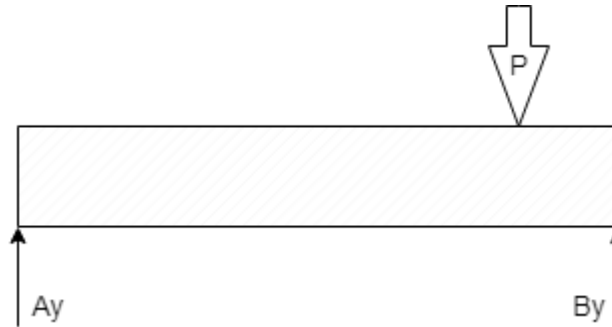
Ay = Gaya Reaksi Tumpuan A

M = Momen Bending

X = titik tengah

V = *Internal Force*

4.7.3 Pembebanan di titik $a = 9000$ mm

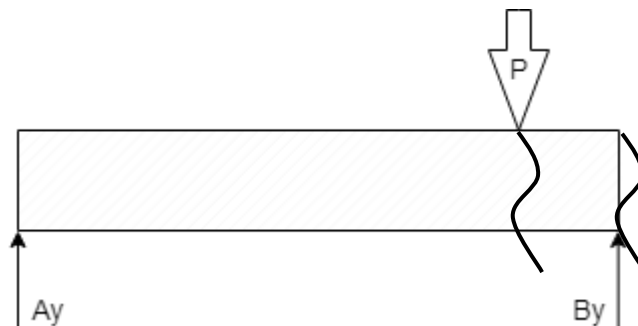


Gambar 4.38 *Free Body Diagram* saat Pembebanan $a = 9000$ mm

$$\begin{aligned} A_y &= \left(\frac{P \cdot b}{L}\right) \\ &= \frac{155737,703 \cdot 3000}{12000} \\ &= 38934,42575 \text{ N} \end{aligned}$$

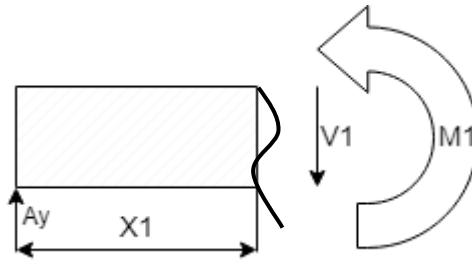
$$\begin{aligned} B_y &= \left(\frac{P \cdot a}{L}\right) \\ &= \frac{155737,703 \cdot 9000}{12000} \\ &= 116803,2773 \text{ N} \end{aligned}$$

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 4.39



Gambar 4.39 Skema Potongan Saat Pembebanan $a = 9000$ mm

Potongan 1



Gambar 4.40 Potongan 1

$$\sum Fy = 0$$

$$Ay - v1 = 0$$

$$V1 = Ay$$

$$V1 = 38934,42575 \text{ N}$$

$$\sum Mx = 0$$

$$Ay \cdot x1 - m1 = 0$$

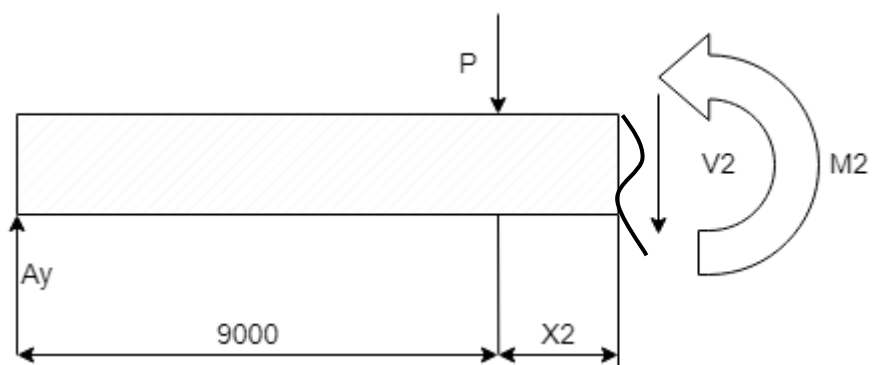
$$M1 = ay \cdot x1$$

$$\text{Untuk } 0 < x1 < 9000$$

Tabel 4.20 Potongan 1

X1	M1 (Nm)
0	0
1800	70081966,4
3600	140163932,7
5400	210245899,1
7200	280327865,4
9000	350409831,8

Potongan 2



Gambar 4.41 Potongan 2

$$\sum Fy = 0$$

$$Ay - P - V2 = 0$$

$$V2 = Ay - P$$

$$V2 = 160031,5575 - 155737,703$$

$$V2 = 53343,8525$$

$$\sum Mx2 = 0$$

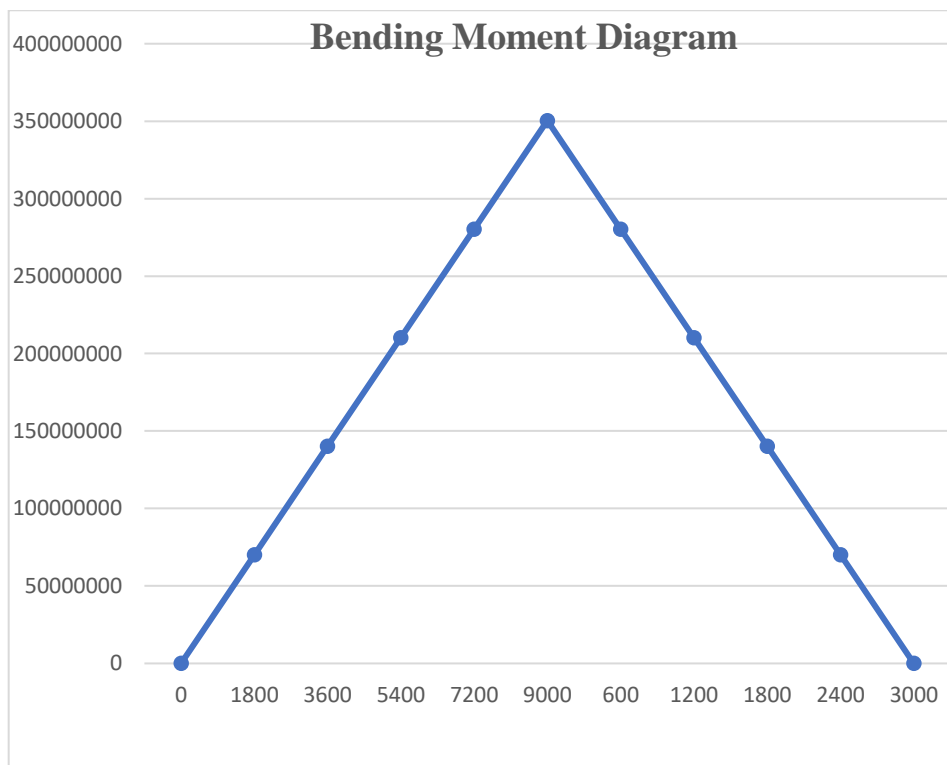
$$Ay \cdot (9000 + x2) - P \cdot x2 - m2 = 0$$

$$M2 = Ay \cdot (9000 + x2) - P \cdot x2$$

Untuk , $0 < x2 < 3000$

Tabel 4.21 Potongan 2

X2	M2 (Nm)
0	350409831,8
600	280327865,4
1200	210245899,1
1800	140163932,7
2400	70081966,4
3000	0



Gambar 4.42 Bending Moment Diagram

Dengan :

P = Beban

a = Jarak Ke Tumpuan A

- b = Jarak Ke Tumpuan B
- L = Total Panjang *Runway Rail*
- Ay = Gaya Reaksi Tumpuan A
- M = Momen Bending
- X = titik tengah
- V = *Internal Force*

4.8 Tegangan dan Defleksi

Setelah mendapatkan nilai momen bending maksimum, *Center of Gravity* dan momen inersia, nilai tegangan akibat bending pun dapat diketahui dengan Kembali ke persamaan 2.5

4.8.1 Pembebanan di titik a = 3000 mm

$$\sigma = \frac{M.c}{I_{xx}}$$

$$\sigma = \frac{350409831,8.175}{94209228,67}$$

$$\sigma = 65,09099101 \text{ MPa}$$

$$\delta = \frac{P(3L^2 - 4a^3)a}{48.E.I_{xx}}$$

$$\delta = \frac{155737,703(3.12000^2 - 4.3000^3)3000}{48.20000.94209228,67}$$

$$\delta = 1,972787556 \text{ mm}$$

Dengan :

σ = Tegangan

M = Momen maksimal akibat Bending

I_{xx} = Momen Inersia

c = Jarak vertikal terjauh dari sumbu netral

δ = Defleksi

E = Modulus Elastisitas Material

Maka diperoleh hasil seperti pada Tabel 4.22

Tabel 4.22 Ringkasan Hasil Perhitungan Tegangan dan Defleksi

Beban	Tegangan (MPa)	Defleksi (mm)
5 Ton	65,09099101	1,972787556

4.8.2 Pembebanan di titik a = 6000 mm

$$\sigma = \frac{M.c}{I_{xx}}$$

$$\sigma = \frac{856557366,5.175}{94209228,67}$$

$$\sigma = 159,1113113 \text{ MPa}$$

$$\delta = \frac{P(3L^2 - 4a^3)a}{48.E.I_{xx}}$$

$$\delta = \frac{155737,703(3.12000^2 - 4.6000^3)6000}{48.20000.94209228,67}$$

$$\delta = 3,167552069 \text{ mm}$$

Dengan :

σ = Tegangan

M = Momen maksimal akibat Bending

I_{xx} = Momen Inersia

c = Jarak vertikal terjauh dari sumbu netral

δ = Defleksi

E = Modulus Elastisitas Material

Maka diperoleh hasil seperti pada Tabel 4.23

Tabel 4.23 Ringkasan Hasil Perhitungan Tegangan dan Defleksi

Beban	Tegangan (MPa)	Defleksi (mm)
5 Ton	159,1113113	3,167552069

4.8.3 Pembebanan di titik a = 9000 mm

$$\sigma = \frac{M.c}{I_{xx}}$$

$$\sigma = \frac{350409831,8.175}{94209228,67}$$

$$\sigma = 65,09099101 \text{ MPa}$$

$$\delta = \frac{P(3L^2 - 4a^3)a}{48.E.I_{xx}}$$

$$\delta = \frac{155737,703(3.12000^2 - 4.9000^3)9000}{48.20000.94209228,67}$$

$$\delta = 1,604137737 \text{ mm}$$

Dengan :

σ = Tegangan

M = Momen maksimal akibat Bending

I_{xx} = Momen Inersia

c = Jarak vertikal terjauh dari sumbu netral

δ = Defleksi

E = Modulus Elastisitas Material

Maka diperoleh hasil seperti pada Tabel 4.24

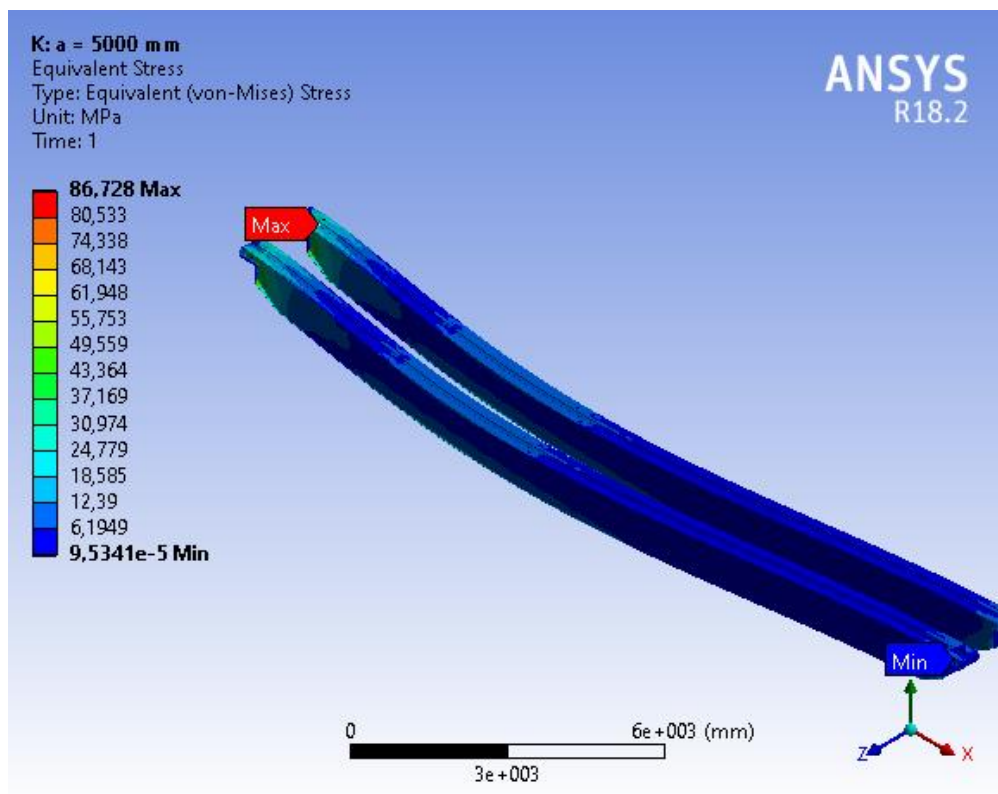
Tabel 4.24 Ringkasan Hasil Perhitungan Tegangan dan Defleksi

Beban	Tegangan (MPa)	Defleksi (mm)
5 Ton	65,09099101	1,604137737

4.9 Hasil Simulasi Tegangan Pada Girder

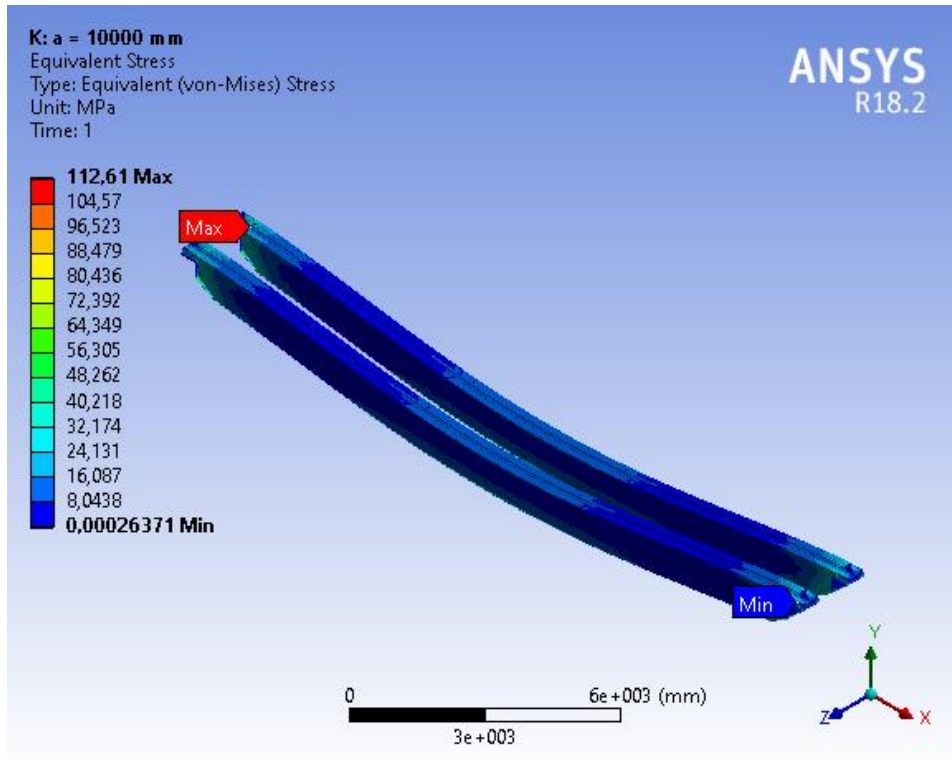
Dalam proses validasi, hasil simulasi diharapkan akan bernilai tidak jauh berbeda dari hasil perhitungan teoritis. Langkah pertama yang dilakukan adalah memasukkan *geometry* yang telah dibuat, lalu menentukan jenis material yang digunakan yaitu menggunakan ASTM A36, dengan *yield strength* material 250 MPa.

a = 5000mm



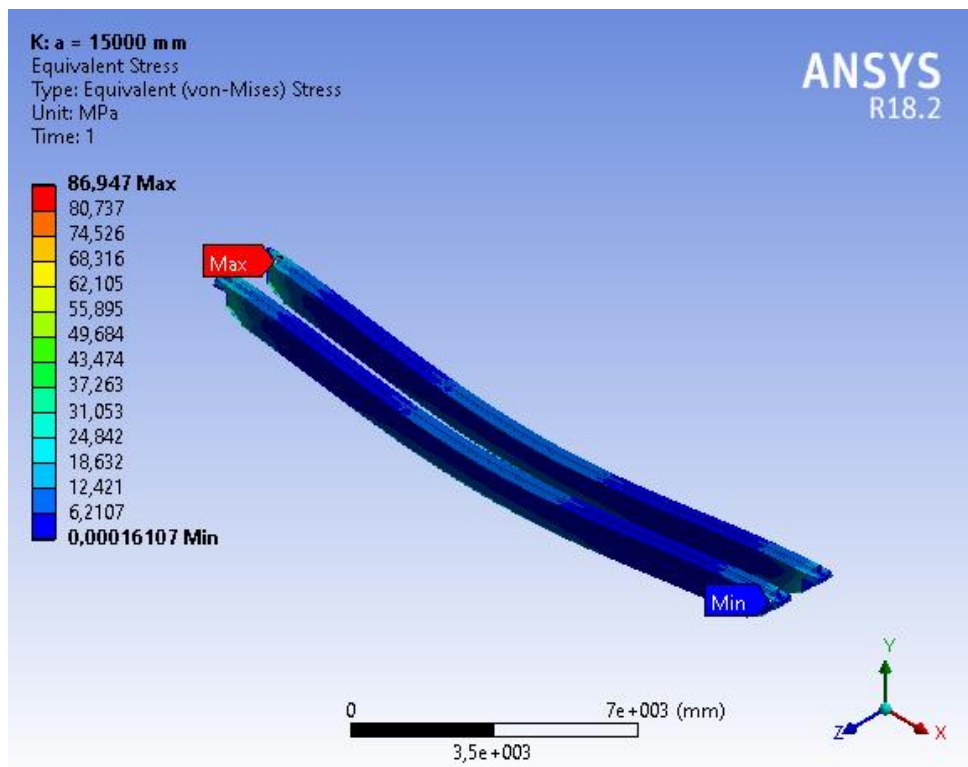
Gambar 4.43 Pembebanan di titik a = 5000 mm

a = 10000 mm



Gambar 4.44 Pembebanan di titik a = 10000 mm

a = 15000 mm



Gambar 4.45 Pembebanan di titik a = 15000 mm

4.9.1 Validasi Data Tegangan

Dari hasil perhitungan teoritis dan simulasi dibandingkan sebagai syarat validasi data dengan *margin error* maksimal +/- 5%

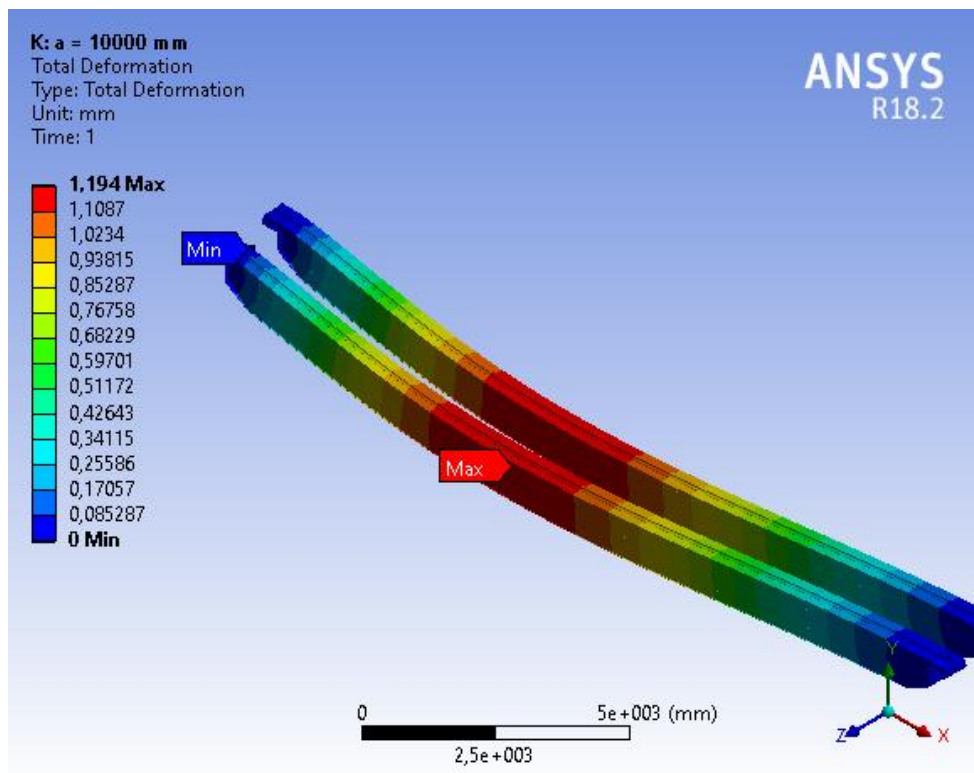
Tabel 4.25 Ringkasan Perbandingan Tegangan

Jarak	Teoritis	Simulasi	Margin %	Allowable σ
	(MPa)			
5000 mm	83,80	86,72	3,48	250
10000 mm	111,73	112,61	0,09	
15000 mm	83,80	86,94	3,75	

4.10 Hasil Simulasi Defleksi Pada Girder

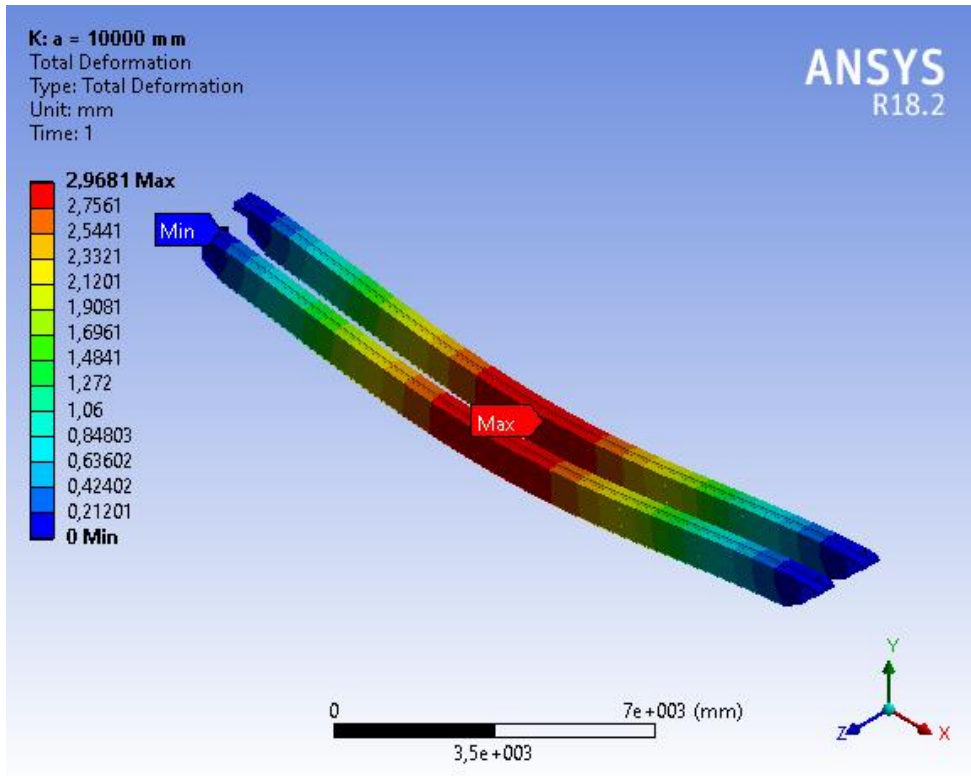
Hasil simulasi dalam proses validasi diharapkan akan bernilai tidak jauh berbeda dari hasil perhitungan teoritis. Hal pertama yang dilakukan adalah memasukkan *Geometry* yang telah dibuat, kemudian menentukan jenis material, lalu *meshing*, selanjutnya menentukan gaya dan arah gaya. Sesuai dengan nilai defleksi yang diijinkan maka defleksi harus <25mm.

a = 5000 mm



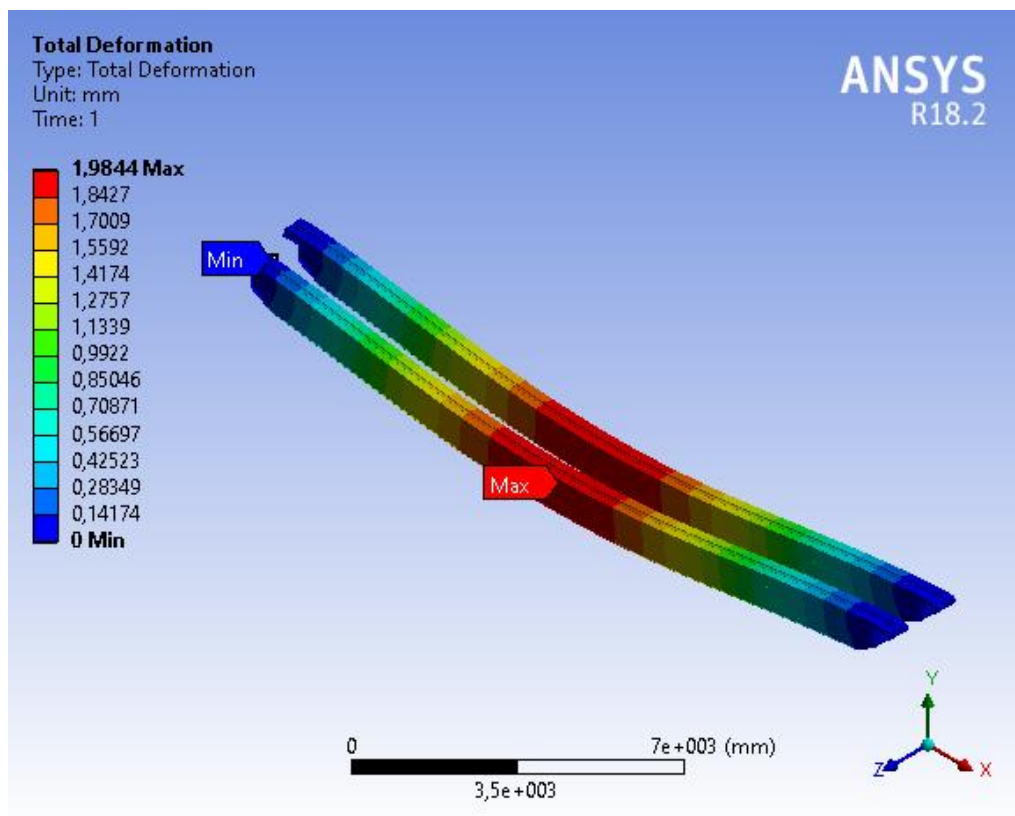
Gambar 4.46 Pembebanan di titik a = 5000 mm

a = 10000 mm



Gambar 4.47 Pembebanan di titik a = 10000 mm

a = 15000 mm



Gambar 4.48 Pembebanan di titik a = 15000 mm

4.10.1 Validasi Data Defleksi

Dari hasil perhitungan teoritis dan simulasi dibandingkan sebagai syarat validasi data dengan *margin error* maksimal $\pm 5\%$

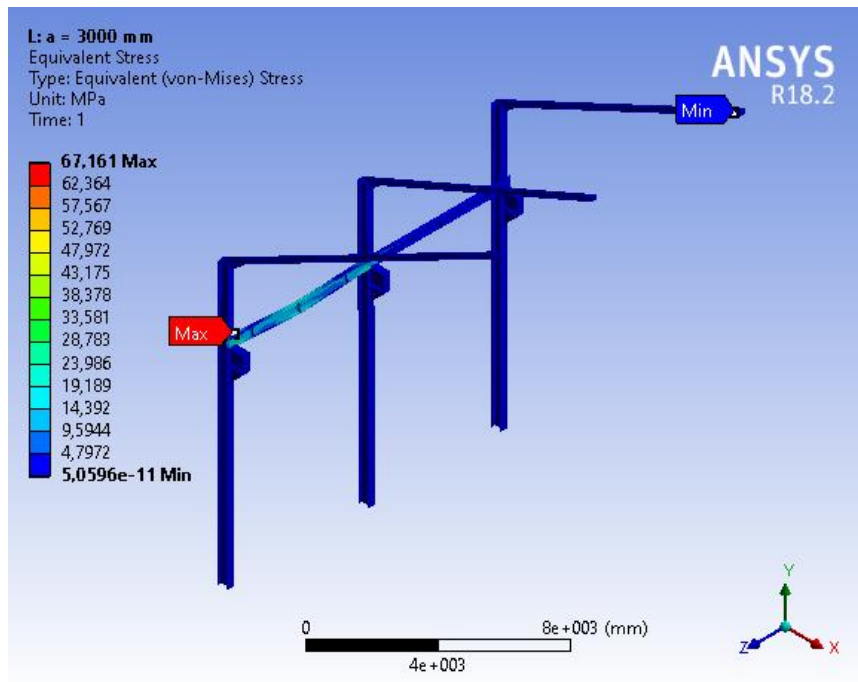
Tabel 4.26 Ringkasan Perbandingan Defleksi

Jarak	Teoritis	Simulasi	Margin %	Allowable σ
	(mm)			
5000 mm	1,18	1,19	0,85	25 mm
10000 mm	2,89	2,97	2,76	
15000 mm	1,96	1,98	1,02	

4.11 Hasil Simulasi Tegangan Pada Runway Rail

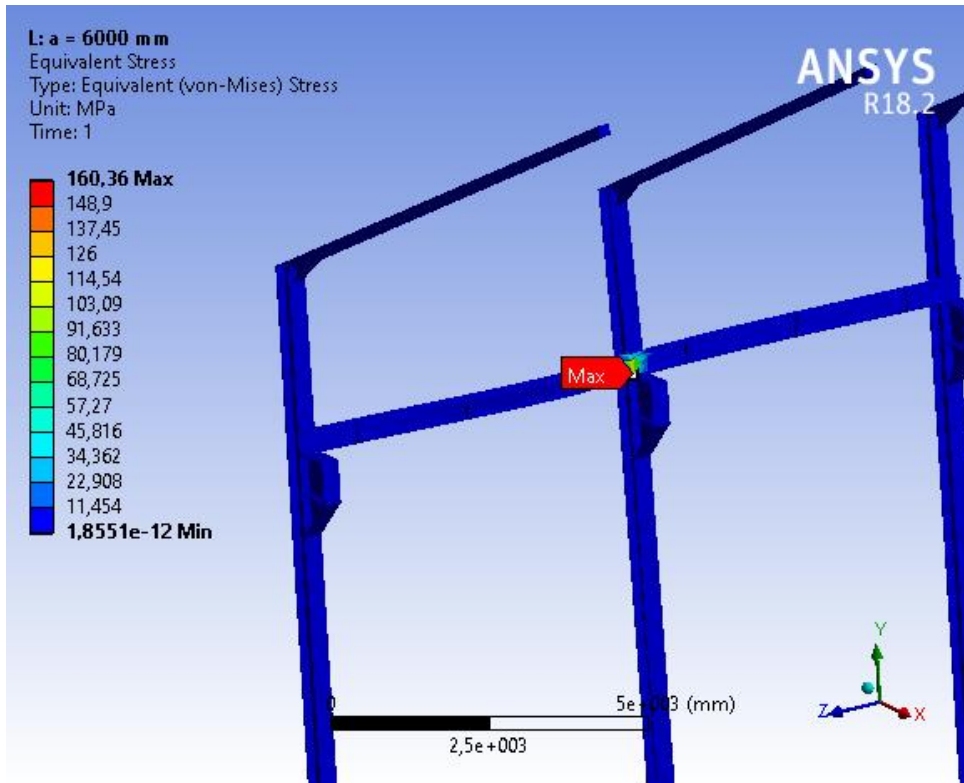
Dalam proses validasi, hasil simulasi diharapkan akan bernilai tidak jauh berbeda dari hasil perhitungan teoritis. Langkah pertama yang dilakukan adalah memasukkan *geometry* yang telah dibuat, lalu menentukan jenis material yang digunakan yaitu menggunakan ASTM A36, dengan *yield strength* material 250 MPa.

a = 3000 mm



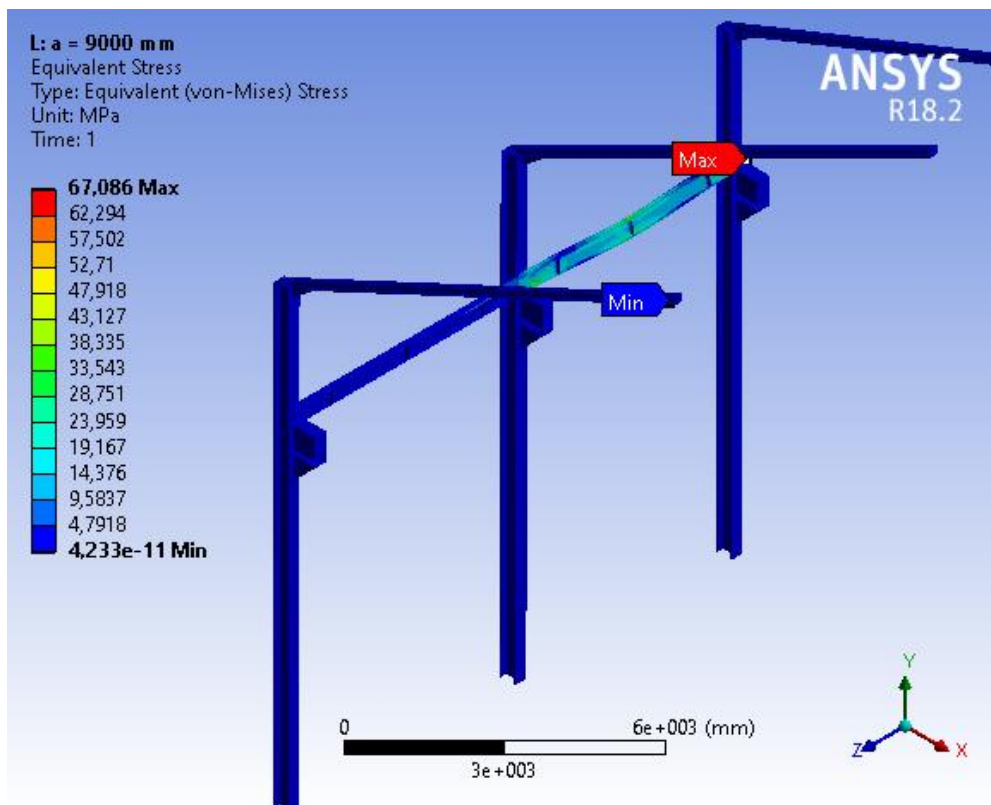
Gambar 4.49 Pembebanan di Titik a = 3000 mm

a = 6000 mm



Gambar 4.50 Pembebanan di Titik a = 6000 mm

a = 9000 mm



Gambar 4.51 Pembebanan di Titik a = 9000 mm

4.11.1 Validasi Data Tegangan

Dari hasil perhitungan teoritis dan simulasi dibandingkan sebagai syarat validasi data dengan *margin error* maksimal $\pm 5\%$

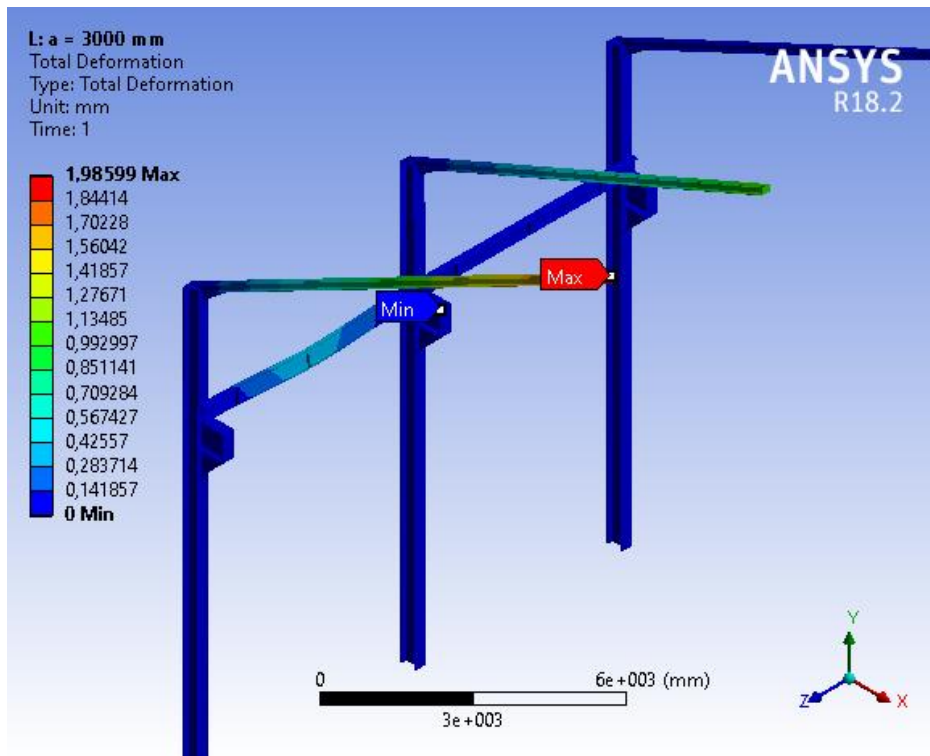
Tabel 4.27 Ringkasan Perbandingan Tegangan

Jarak	Teoritis	Simulasi	Margin %	Allowable σ
	(MPa)			
3000 mm	65,09	67,2	3,24	250
6000 mm	159,11	160,36	0,79	
9000 mm	65,09	67,08	3,05	

4.12 Hasil Simulasi Defleksi Pada *Runway Rail*

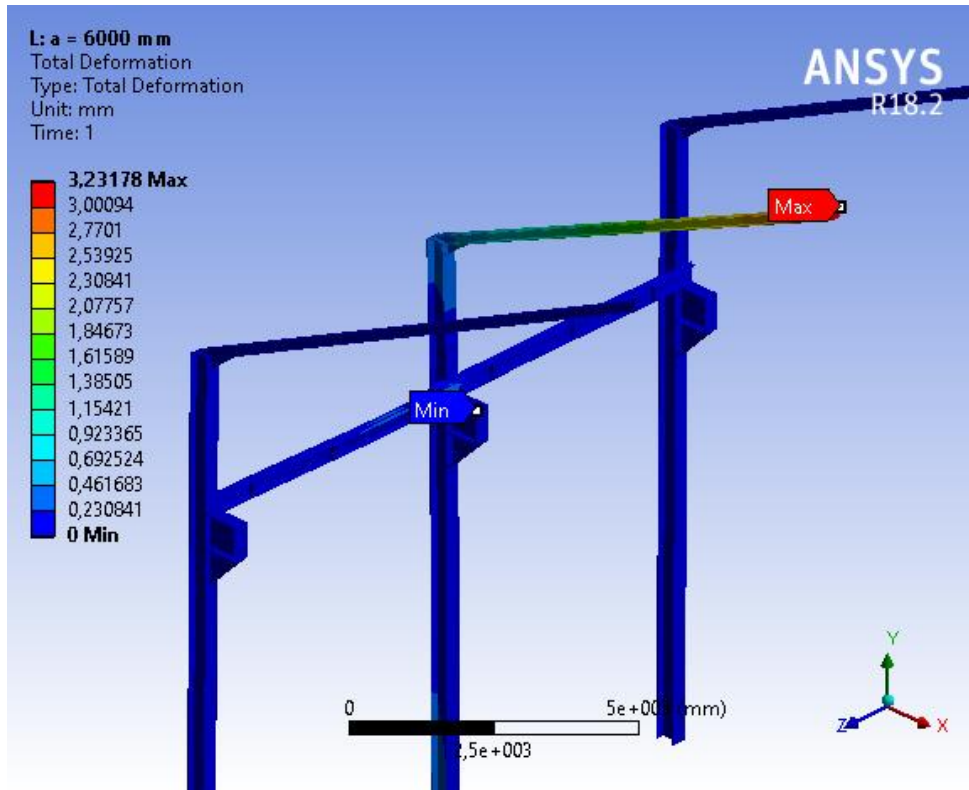
Hasil simulasi dalam proses validasi diharapkan akan bernilai tidak jauh berbeda dari hasil perhitungan teoritis. Hal pertama yang dilakukan adalah memasukkan *Geometry* yang telah dibuat, kemudian menentukan jenis material, lalu *meshing*, selanjutnya menentukan gaya dan arah gaya. Sesuai dengan nilai defleksi yang diijinkan maka defleksi harus $<15\text{mm}$.

a = 3000 mm



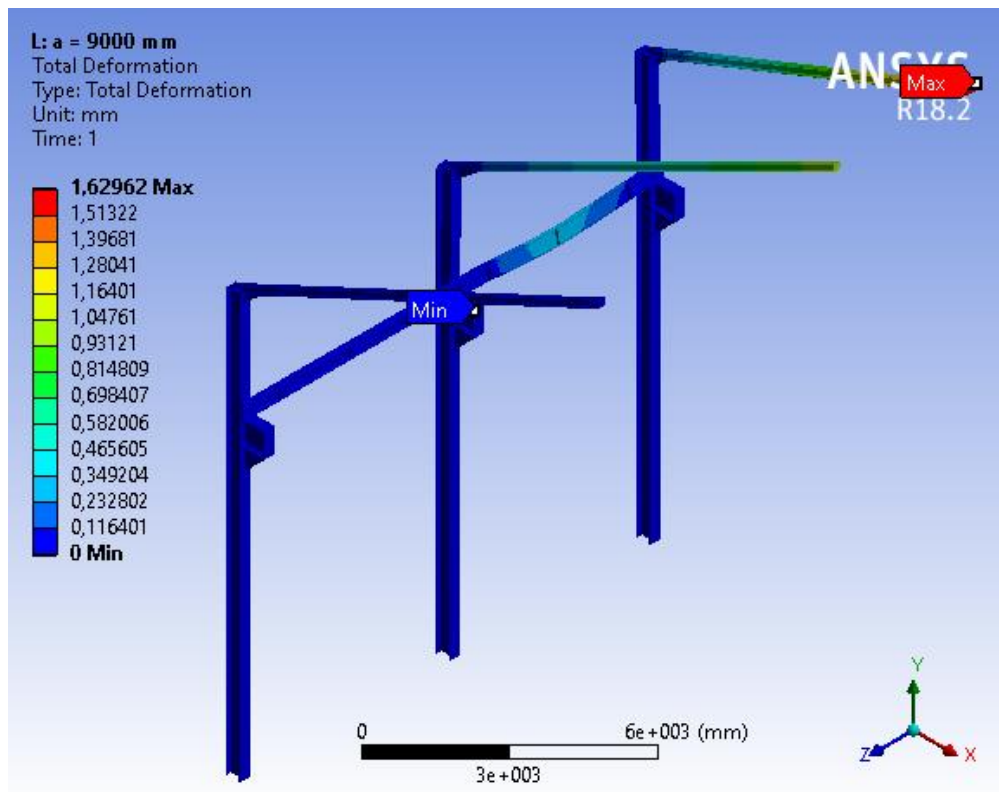
Gambar 4.52 Pembebanan di titik a = 3000mm

a = 6000 mm



Gambar 4.53 Pembebanan di titik a = 6000 mm

a = 9000 mm



Gambar 4.54 Pembebanan di titik a = 9000 mm

4.12.1 Validasi Data Defleksi

Dari hasil perhitungan teoritis dan simulasi dibandingkan sebagai syarat validasi data dengan *margin error* maksimal $\pm 5\%$

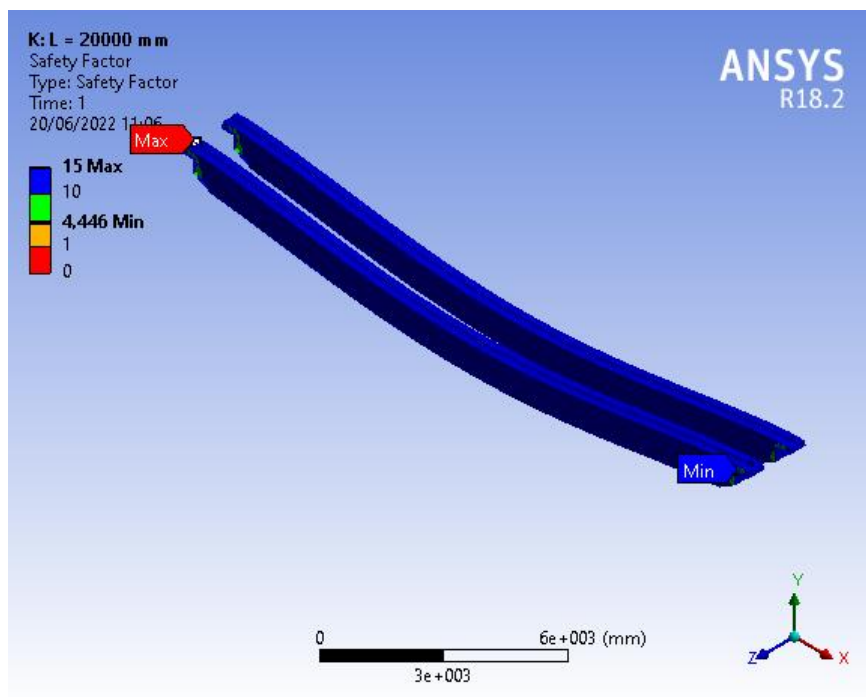
Tabel 4.28 Ringkasan Perbandingan Defleksi

Jarak	Teoritis	Simulasi	Margin %	Allowable σ
	(mm)			
3000 mm	1,97	1,99	1,06	15 mm
6000 mm	3,17	3,23	1,89	
9000 mm	1,60	1,63	1,86	

4.13 Safety Factor

Hasil simulasi harus diatas angka yang telah ditentukan, yaitu 3. Agar *Overhead Crane Double Girder* aman untuk digunakan dan menghindari kecelakaan kerja. Perhitungan nilai *Safety Factor* dilakukan dibagian tengah *Girder* karena merupakan titik yang paling rawan.

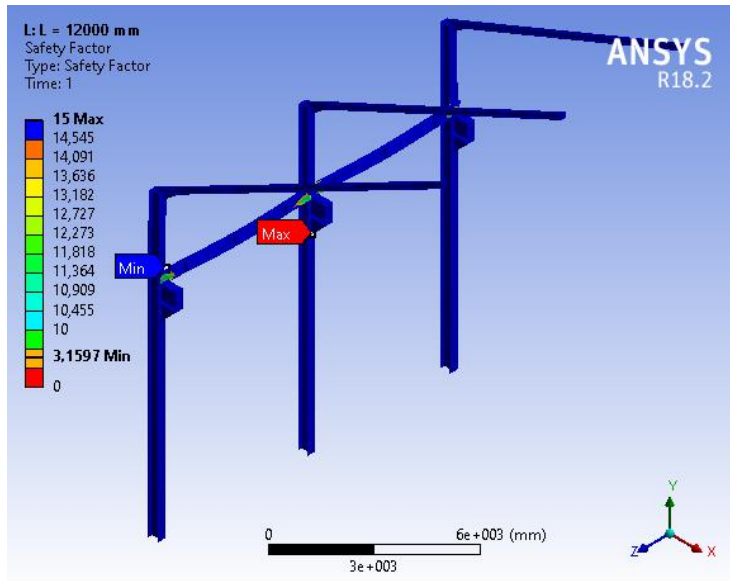
Safety factor ditentukan melalui jenis beban, jenis beban yang digunakan adalah beban dinamis sehingga memiliki nilai 3. Pada gambar 4.42 adalah gambar simulasi menggunakan *software* elemen hingga.



Gambar 4.55 Pembebanan 10 Ton di Titik a = 10000 mm

Dari hasil simulasi didapatkan SF sebesar 4,446. Maka dinyatakan telah memenuhi standar yang telah ditentukan, yaitu lebih besar dari 3.

Berikutnya perhitungan *Safety Factor* pada *Runway Rail* juga dilakukan di titik yang paling rawan, yaitu pada titik tengah. Pada gambar 4.49 adalah gambar simulasi menggunakan *software* elemen hingga.



Gambar 4.56 Pembebanan 5 Ton di titik $a = 6000$ mm

Dari hasil simulasi didapatkan SF sebesar 3,16 maka dinyatakan telah memenuhi standar yang telah ditentukan, yaitu lebih besar dari 3.

4.14 Analisa Data

Dari hasil perhitungan teoritis dan simulasi yang telah dilakukan, selanjutnya dapat dilakukan tahap Analisa data yang ditemukan untuk di analisis yang berikutnya dapat diambil kesimpulan pada Bab V.

Tabel 4.29 Ringkasan Perbandingan Tegangan pada Girder

Jarak	Teoritis	Simulasi	Margin %	Allowable σ
	(MPa)			
5000 mm	83,80	86,72	3,48	250
10000 mm	111,73	112,61	0,09	
15000 mm	83,80	86,94	3,75	

Pembebanan sebesar 10 Ton mengalami tegangan tertinggi di titik 10000 mm sebesar 111,73 MPa pada perhitungan teoritis sedangkan pada simulasi mengalami tegangan sebesar 112,61 Mpa sehingga memiliki *margin error* 0,09% sehingga telah memenuhi standar yaitu <250 MPa sesuai dengan kekuatan taril material ASTM A36.

Tabel 4.30 Ringkasan Perbandingan Defleksi pada Girder

Jarak	Teoritis	Simulasi	Margin %	Allowable σ
	(mm)			
5000 mm	1,18	1,19	0,85	25 mm
10000 mm	2,89	2,97	2,76	
15000 mm	1,96	1,98	1,02	

Pembebanan sebesar 10 Ton mengalami defleksi tertinggi di titik 10000 mm sebesar 2.01 mm pada perhitungan teoritis sedangkan pada simulasi mengalami defleksi sebesar 0,34 mm sehingga memiliki *margin error* -8,30% sehingga telah memenuhi standar defleksi maksimal yaitu <25 mm.

Tabel 4.31 Ringkasan Perbandingan Tegangan Pada *Runway Rail*

Jarak	Teoritis	Simulasi	Margin %	Allowable σ
	(MPa)			
3000 mm	65,09	67,2	3,24	250
6000 mm	159,11	160,36	0,79	
9000 mm	65,09	67,08	3,05	

Tabel 4.32 Ringkasan Perbandingan Defleksi Pada *Runway Rail*

Jarak	Teoritis	Simulasi	Margin %	Allowable σ
	(mm)			
3000 mm	1,97	1,99	1,06	15 mm
6000 mm	3,17	3,23	1,89	
9000 mm	1,60	1,63	1,86	

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari perhitungan teoritis serta simulasi yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil dari penelitian ini didapatkan rancangan desain dari *Overhead Crane type Double Girder* yang aman. Dibuktikan dari hasil perhitungan manua, tegangan yang di dapatkan tidak melebihi tegangan yang diijinkan, selanjutnya defleksi pada perhitungan manual tidak melebihi syarat maksimum defleksi.
2. Berdasarkan desain dari *Girder Crane* didapatkan perencanaan berupa nilai tegangan maksimal yang terjadi pada *Girder* jika dihitung melalui perhitungan teoritis yaitu 111,73 MPa dan 112,61 MPa pada simulasi yang terjadi pada titik kritis yaitu pada titik 10000mm di titik tengah *Girder*. Selanjutnya untuk Defleksi didapatkan perencanaan berupa nilai defleksi melalui perhitungan teoritis maksimal yaitu 2,89 mm dan 2,97 mm pada simulasi. Serta untuk nilai *Safety Factor* yang ditentukan berdasarkan beban dinamis yaitu 3, dan sebesar 4,44 dari simulasi. Maka *Girder Crane* dapat dinyatakan aman.
3. Berdasarkan desain *Runway Rail* didapatkan perencanaan berupa nilai tegangan maksimal yang terjadi pada *Runway Rail* dari perhitungan teoritis sebesar 159,11 MPa serta dari simulasi sebesar 160,36 MPa pada sisi tengah di titik 6000 mm. Sedangkan nilai defleksi tertinggi dari perhitungan teoritis sebesar 3,17 mm serta dari simulasi sebesar 3,23 mm pada sisi tengah di titik 6000 mm. selanjutnya untuk nilai *Safety Factor* ditentukan berdasarkan beban dinamis adalah 3, dan sebesar 3,16 dari simulasi. Maka *Runway Rail* dapat dinyatakan aman.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian dan pembahasan, selanjutnya didapatkan saran sebagai berikut :

1. Dalam proses perencanaan *Overhead Crane*, masih diperlukan perencanaan pada bagian lain. Seperti perencanaan jika terjadi *swing* dari *wire rope* pada saat mengangkat beban. Selanjutnya merencanakan *support* dari *runway rail* yang berupa *frame workshop* agar dilakukan *buckling test*.
2. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan *mesh* yang jauh lebih detail dan lebih kecil, dengan menggunakan komputer yang lebih baik.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

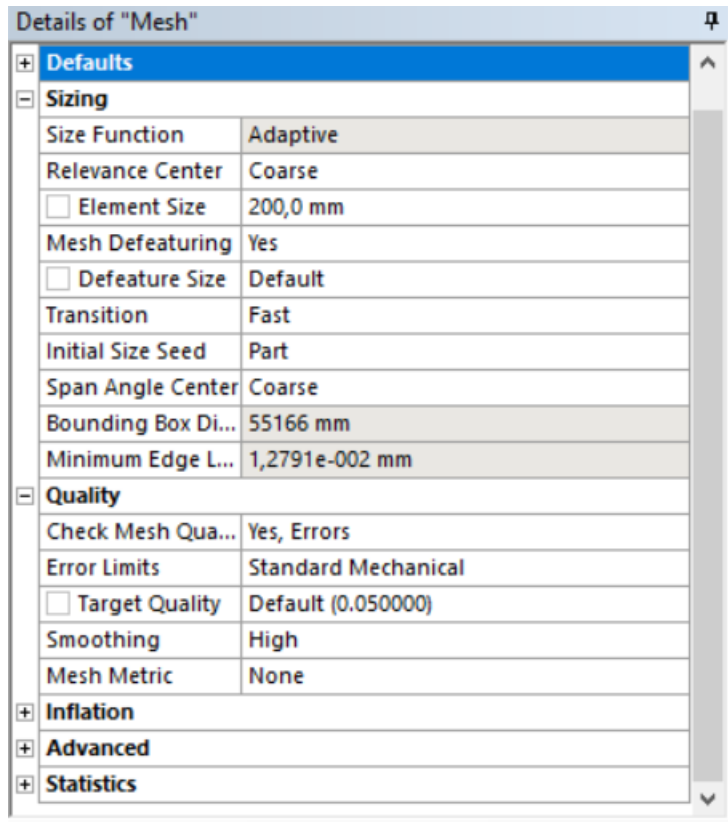
DAFTAR PUSTAKA

- American Forrest & Papper Association. (2005). *Beam Design Formulas With Shear And Moment Diagrams*. Washington, DC: American Forrest & Papper Association Inc.
- American institute of Steel Steel Structures. (2016). *AISC Specification For structural Steel Buildings*. Chicago: AISC Inc.
- Susatio. Yerri. (2004.) *Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga*. Yogyakarta: Andi.
- Daiyan, Iqbal Nur. 2018. “Analisa Pengujian Koefisien Gesek Material Baja S20C Terhadap Perunggu”. Tugas Akhir. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya
- Maccrimmon R.A. (2005). *Guide For The Design Crane Supporting Steel Structures First Edition*. Canadian Institute of Steel Construction. Markham, Ontario.
- Vidosic, Joseph P. 1957 *Machine Design Projects*. Michigan University. New York, United States of America

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran 1. Mesh Information



Lampiran 2. Data Sheet Material

Properties of Outline Row 3: ASTM A36				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	7850	g cm ⁻³	
4	Isotropic Elasticity			
5	Derive from	Shear Modulus and Poisson's...		
6	Young's Modulus	1,9984E+12	Pa	
7	Poisson's Ratio	0,26		
8	Bulk Modulus	1,3878E+12	Pa	
9	Shear Modulus	7,93E+11	Pa	
10	Tensile Yield Strength	250	MPa	
11	Tensile Ultimate Strength	400	MPa	

BIODATA PENULIS



Penulis, Alvien Nofriyadi Putra merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Lahir pada tanggal 13 November 1999 di Surabaya, Jawa Timur. Penulis memulai Pendidikan di TK Aisyah. Kemudian melanjutkan Pendidikan di SD Muhammadiyah 18 Surabaya, SMP Negeri 19 Surabaya, SMA Negeri 14 Surabaya. Setelah menempuh Pendidikan di bangku SMA pada tahun 2018, penulis melanjutkan pendidikannya di Perguruan Tinggi di D4 Teknologi Rekayasa Manufaktur, Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama masa Perkuliahan penulis aktif mengikuti kegiatan akademik maupun non – akademik. Penulis aktif dalam kepengurusan Himpunan Mahasiswa Departemen Teknik Mesin Industri sebagai staff Departemen Kewirausahaan (2019-2020). Kemudian melanjutkan sebagai Kepala Departemen Kewirausahaan (2020-2021). Selain itu penulis juga mengikuti salah satu Tim Riset Robotika di ITS yaitu Tim Banyubramanta ITS yang bergerak dalam bidang robot *under water* sebagai divisi mekanik (2019-2020). Kemudian melanjutkan sebagai Kepala Divisi Mekanik (2020-2021). Penulis juga aktif mengikuti kepanitian seperti event Student Engineering Challenge 2.0 (SEC) yang diadakan oleh Departemen Teknik Mesin Industri ITS sebagai sie keamanan & perizinan untuk siswa/I SMA/K sederajat (2019). Selanjutnya penulis mengikuti event Servis Gratis yang diadakan oleh BSO Bengkel HMDM ITS sebagai sie perlengkapan (2019).

Berbagai pelatihan yang pernah diikuti penulis selama kuliah antara lain LKMM Pra-TD BEM FV ITS 2018, PKTI TD HMDM ITS 2018, LKMM TD HMDM ITS 2020. Kemudian penulis juga pernah mengikuti kegiatan KKN Pembuatan dan Uji Coba Dandang Bertekanan Untuk Pembuatan Lontong di Petemon, Kecamatan Sawahan, Kota Surabaya. Penulis dapat dihubungi melalui email alvinputra62@gmail.com.