



TUGAS AKHIR - TM 141585

**ANALISIS STRUKTUR DAN *REDESIGN* TOWER
CRANE POTAIN MD 900**

SARAH EGA AGUSTIN
NRP 0211134000077

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. I NYOMAN SUTANTRA, MSc.PhD

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



FINAL PROJECT - TM 141585

**STRUCTURAL ANALYSIS AND *REDESIGN* OF
TOWER CRANE POTAIN MD 900**

SARAH EGA AGUSTIN
NRP 0211134000077

Advisor
Prof. Ir. I NYOMAN SUTANTRA, MSc.PhD

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL ENGINEERING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2018

**ANALISIS STRUKTUR DAN *REDESIGN* TOWER CRANE
POTAIN MD 900**

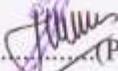
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Desain
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Noverber

Oleh :

Sarah Ega Agustin
Nrp. 0211134000077

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. I NYOMAN SUTANTRA, MSc.PhD. (Pembimbing)
(NIP .195106051978031002)
2. ALIEF WIKARTA, ST, MSc.Eng, PhD. (Penguji I)
(NIP .198202102006041002)
3. Dr. Ir. AGUS SIGIT PRAMONO, DEA. (Penguji II)
(NIP .196508101991021001)
4. ARI KURNIAWAN SAPUTRA, ST, MT (Penguji III)
(NIP .198604012015041001)

SURABAYA

Januari, 2018

ANALISIS STRUKTUR DAN REDESIGN TOWER CRANE POTAIN MD 900

Nama Mahasiswa : Sarah Ega Agustin
NRP : 0211134000077
Departemen : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. I Nyoman Sutantra,
MSc.PhD

Abstrak

Mengikuti berkembangnya jaman, pertumbuhan ekonomi nasional bergerak naik dari tahun ke tahun. Hingga saat ini, lapangan usaha penyumbang PDB terbesar Indonesia adalah sektor industri, perdagangan dan konstruksi. Dalam pelaksanaannya, alat bantu sangat memengaruhi proses kegiatan tiap sektor tersebut guna menunjang produktivitas, contohnya adalah tower crane. Dalam kenyataannya, penggunaan tower crane memiliki resiko kecelakaan kerja yang cukup besar. Penyebab primer kecelakaan tower crane saat beroperasi adalah kerusakan secara struktur dan teknik. Hal ini membuat struktur tower crane menjadi hal yang sangat penting dalam keamanan penggunaannya. Selain kekuatan struktur, umur dari tower crane sendiri merupakan hal yang penting untuk menunjang produktivitas setiap sektor.

Pada penelitian ini, dengan mengetahui data spesifikasinya, tower crane Potain MD 900 akan dimodelkan ke dalam software Solidworks. Permodelan tersebut kemudian dianalisis kekuatan strukturnya menggunakan metode elemen hingga. Pada penelitian ini, digunakan software ANSYS 18.1 untuk melakukan simulasi metode elemen hingga. Hasil dari simulasi tersebut akan digunakan sebagai dasar untuk proses redesign tower crane Potain MD 900. Redesign dilakukan dengan memodelkan desain ke dalam software Solidworks. Permodelan hasil redesign tersebut kemudian dianalisis kekuatan strukturnya menggunakan metode elemen hingga, yaitu dengan simulasi menggunakan software

ANSYS 18.1. Hasil analisis redesign tersebut akan dibandingkan dengan desain saat ini.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa pada desain saat ini tegangan maksimum terbesar terjadi ketika diberikan pembebanan 23.500 kg pada jarak 40 meter yaitu sebesar 149,488 Mpa, sedangkan tegangan minimum yang terjadi sebesar 15,0427 Mpa. Umur dari tower crane Potain MD 900 dengan desain saat ini adalah 910.377 cycle. Redesign dilakukan dengan menambahkan seamless pipe pada rangka yang memiliki titik kritis dan dengan menambahkan frame segiempat yang dihubungkan dengan tali baja menuju tower top. Berdasarkan hasil simulasi redesign jib tower crane Potain MD 900, dapat diketahui bahwa tegangan maksimum yang terjadi adalah sebesar 78,444 Mpa, sedangkan tegangan minimum yang terjadi adalah sebesar 13,2941 Mpa. Umur yang dimiliki oleh desain hasil redesign adalah 2.602.671cycle. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa hasil redesign memiliki kekuatan struktur yang lebih baik daripada desain saat ini.

Kata kunci : Tower crane, tegangan maksimum, tegangan minimum, cycle, metode elemen hingga, redesign

STRUCTURAL ANALYSIS AND REDESIGN OF TOWER CRANE POTAIN MD 900

Name : Sarah Ega Agustin
NRP : 0211134000077
Department : Teknik Mesin FTI-ITS
Supervisor : Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, MSc.PhD

Abstract

By the time, Indonesia national economy growth rise year by year. Until now, the biggest business fields that take the most part in Indonesia's GDP are industries, trade and construction sectors. In practice, supporting tool greatly influences the process of each sector's activities to support productivity, such as tower crane. In reality, the use of tower cranes has a considerable risk of work injury. The primary cause of tower crane accident during operation are structural and engineering damage. This evidence proof that tower crane's structure is important thing for user's safety. In addition to structural strength, the life of the tower crane itself is important to support the productivity of each sector.

In this research, by knowing the specification data, Potain MD 900 crane tower will be created into 3D model. The model then analyzed to know its structural strength using finite element method. In this research, ANSYS 18.1 is used to perform finite element method simulation. The results of the simulation will be used as the basis for the redesign process of Potain MD 900 tower crane. Redesign is done by creating design into Solidworks model. The modeling of redesign result analyzed using finite element method, that is simulated in ANSYS 18.1 software. The results of the redesign analysis will be compared with the current design.

Based on the research that has been done, it is found that at the current design, the largest maximum stress occurs when 23,500 kg load is given at a distance of 40 meters that is equal to 149.488 Mpa, while the minimum stress is 15,0427 Mpa. The life of Potain MD 900 tower crane with the current design is 910.377 cycles.

Redesign is done by adding seamless pipes to the frame that has critical points and by adding a rectangular frame connected with steel rope to the top tower. Based on the simulation result of jib tower crane Potain MD 900 new design, it can be seen that the maximum stress is equal to 78,444 Mpa, while minimum stress is equal to 13,2941 Mpa. Life of the newly designed jib is 2.602.671 cycle. Based on the results of research, it can be concluded that the new design has better structural strength than the current design.

Keyword : Tower crane, maximum stress, minimum stress, cycle, finite element method, redesign

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan karunia-Nya penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Tugas akhir ini merupakan persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin FTI ITS. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Mama tercinta, Ekaning Yuliarti Yakobus yang selalu memberikan doa dan dukungan yang begitu besar.
2. Bapak Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, MSc.PhD selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang membimbing penulis dengan penuh kesabaran.
3. Bapak Ari Kurniawan, S.T., M.T., Bapak Alief Wikarta, S.T., M.Sc., Ph.D., dan Bapak Dr. Agus Sigit Pramono, DEA selaku dosen penguji.
4. Segenap dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin yang telah membantu penulis atas pengetahuan dan pembelajaran yang telah diberikan.
5. Chairil Rizkyanto yang selalu bersedia memberikan motivasi dan mendengarkan curahan hati penulis.
6. Segenap keluarga *International Christian Assembly East & West Campus* dalam memberikan dukungan moral dan spiritual.
7. Widianti Gunawan Wijaya selaku mentor spiritual selama perkuliahan.
8. Teman-teman di Lab Otomotif dan Lab Rekayasa Sistem Industri serta teman-teman Teknik Mesin angkatan M55, M56, dan M57 yang telah berbagi pengalaman selama di bangku perkuliahan.

Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan maka penulis bersedia menerima kritik dan saran untuk penelitian yang lebih baik.

Surabaya 8 Januari 2018
Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 Studi Literatur.....	5
2.2 Dasar Teori.....	6
2.2.1 Crane.....	6
2.2.2 Gaya-Gaya yang Bekerja pada Tower Crane.....	12
2.2.3 Metode Elemen Hingga.....	19
2.2.4 Fatigue Analysis.....	20
BAB III METODOLOGI	23
3.1 Flowchart Penelitian.....	23
3.2 Prosedur Penelitian.....	25
3.3 Flowchart Analisa dan Redesign Tower Crane Potain MD 900.....	26
3.3.1. Flowchart Analisa Struktur Tower Crane Potain MD.....	26
3.3.2. Flowchart <i>Redesign Tower Crane</i> Potain MD 900.....	27
3.3.3. Flowchart Analisa <i>Redesign Tower Crane</i> Potain MD 900	29
3.4 Langkah-langkah <i>Finite Element Analysis</i> (FEA).....	30
3.3.1. Prosedur Analisa Struktur <i>Tower Crane</i> Potain MD 900	30
3.3.2. Prosedur Redesign <i>Tower Crane</i> Potain MD 900 ...	31

3.3.3.	Prosedur Analisa <i>Redesign Tower Crane</i> Potain MD 900 32	
	BAB IV ANALISA DATA DAN PERHITUNGAN	33
4.1	Data dan Spesifikasi Tower Crane Potain MD 900	33
4.2	Permodelan Konstruksi Jib Tower Crane Potain MD900	33
4.3	Perhitungan Gaya-Gaya yang Bekerja pada Tower Crane Potain MD900	35
4.3.1	Perhitungan Gaya Angin	35
4.3.2	Perhitungan Gaya Akibat Gerakan Hoisting	37
4.3.3	Perhitungan Gaya Ayun	39
4.3.4	Penentuan Beban Fatigue	41
4.4	Analisis Kekuatan Material Menggunakan Metode Elemen Hingga dengan ANSYS	42
4.5	Permodelan Redesign Tower Crane Potain MD900	57
4.6	Analisa Kekuatan Material Hasil Redesign Menggunakan Metode Elemen Hingga dengan ANSYS	59
4.7	Perbandingan Desain yang Ada dengan Desain Baru	63
	BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	64
5.1	Kesimpulan	65
5.2	Saran	66
	DAFTAR PUSTAKA	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Grafik Penyebab Utama Kecelakaan Kerja pada Tower Crane.....	2
Gambar 2.1 Detail <i>Tower Crane</i>	8
Gambar 2.2 <i>Jib Section</i>	9
Gambar 2.3 Counter Jib.....	9
Gambar 2.4 <i>Hoist</i> dan <i>Trolley</i>	10
Gambar 2.5 Pondasi <i>Tower Crane</i>	10
Gambar 2.6 <i>Mast Section</i>	11
Gambar 2.7 <i>Slewing Mechanism</i>	11
Gambar 2.8 Tower Top	12
Gambar 2.9 <i>Free Body Diagram</i>	13
Gambar 2.10 Struktur Atas <i>Tower Crane</i> Tanpa Beban	15
Gambar 2.11 Free Body Diagram Beban akibat Gaya Ayun	16
Gambar 2.12 Grafik Panjang <i>Jib</i> terhadap Beban Maksimal Potain MD 900	18
Gambar 2.13 Free Body Diagram Beban akibat Gaya Hoist	18
Gambar 2.14 Kurva S-N berdasarkan <i>St37 Material</i>	22
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	24
Gambar 3.2 Diagram Alir Analisa Struktur Tower Crane Potain MD 900	27
Gambar 3.4. Diagram Alir Analisa Redesign Tower Crane Potain MD 900	30
Gambar 4.1 Dimensi Profil Penyusun Jib	33
Gambar 4.2 Bagian Jib Tower Crane dan Permodelan dalam Solidwork	34
Gambar 4.3 Tampak Isometri Permodelan Jib Tower Crane	34
Gambar 4.4 Tampak Samping Jib Tower Crane Potain MD900.	34
Gambar 4.5 Permukaan Jib Tower Crane Sisi Depan	36
Gambar 4.6 Dimensi Bagian Jib Tower Crane.....	36
Gambar 4.7 Free Body Diagram Gaya-Gaya yang Bekerja pada Beban.....	38

Gambar 4.8 Free Body Diagram Beban akibat Gaya Ayun	40
Gambar 4.9 Beban 1 <i>Cycle</i> pada Tower Crane Potain MD 900..	42
Gambar 4.10. Hasil Meshing Jib Tower Crane Potain MD900...	43
Gambar 4.11 Pemberian Input Gaya pada Pembebanan 13.100 kg pada jarak 60 meter	44
Gambar 4.12 Hasil Simulasi dengan Beban 13.100 kg pada jarak 60 meter	44
Gambar 4.13 Tegangan Maksimum saat Beban 13.100 kg pada jarak 60 meter.....	45
Gambar 4.14 Tegangan Minimum pada nodal 841916	45
.....	46
Gambar 4.15 Siklus Tegangan pada Pembebanan 13.100 kg pada jarak 60 meter.....	46
Gambar 4.16 Pemberian Input Gaya pada Pembebanan 17.300 kg pada jarak 50 meter	46
Gambar 4.17 Hasil Simulasi dengan Beban 17.300 kg pada jarak 50 meter.....	47
Gambar 4.18 Tegangan Maksimum saat Beban 17.300 kg pada jarak 50 meter.....	47
Gambar 4.19 Siklus Tegangan pada Pembebanan 17.300 kg pada jarak 50 meter.....	48
Gambar 4.20 Pemberian Input Gaya pada Pembebanan 23.500 kg pada jarak 40 meter	48
Gambar 4.21 Hasil Simulasi dengan Beban 23.500 kg pada jarak 40 meter.....	49
Gambar 4.22 Tegangan Maksimum saat Beban 23.500 kg pada jarak 40 meter.....	49
Gambar 4.23 Siklus Tegangan pada Pembebanan 23.500 kg pada jarak 40 meter.....	50
Gambar 4.24 Pemberian Input Gaya pada Pembebanan 32.600 kg pada jarak 30 meter	50
Gambar 4.25 Hasil Simulasi dengan Beban 32.600 kg pada jarak 30 meter.....	51

Gambar 4.26 Tegangan Maksimum saat Beban 32.600 kg pada jarak 30 meter.....	51
Gambar 4.27 Tegangan Minimum pada Nodal 579608	52
Gambar 4.28 Siklus Tegangan pada Pembebanan 32.600 kg pada jarak 30 meter.....	52
Gambar 4.29 Pemberian Input Gaya pada Pembebanan 50.000 kg pada jarak 21.1 meter	53
Gambar 4.30 Hasil Simulasi dengan Beban 50.000 kg pada jarak 21.1 meter.....	53
Gambar 4.31 Tegangan Maksimum saat Beban 50.000 kg pada jarak 21.1 meter.....	54
Gambar 4.32 Tegangan Minimum pada Nodal 383310	54
Gambar 4.33 Siklus Tegangan pada Pembebanan 50.000 kg pada jarak 21.1 meter.....	55
Gambar 4.34 Posisi Tegangan pada Diagram Soderberg failure line.....	56
Gambar 4.35 Penambahan Seamless Pipe pada Bagian Dalam Jib	58
Gambar 4.36 Penambahan Seamless Pipe pada Bagian Dalam Jib	58
Gambar 4.37 Penambahan Seamless Pipe pada Rangka Ji	59
Gambar 4.38 Hasil Meshing Redesign Jib Tower Crane Potain MD900	60
Gambar 4.39 Hasil Simulasi Redesign dengan Beban 23.500 kg pada jarak 40 mete.....	60
Gambar 4.40 Hasil Simulasi Hasil Redesign dengan Beban 23.500 kg pada jarak 40 meter	61
Gambar 4.41 Tegangan Minimum pada Nodal 275905	61
Gambar 4.42 Siklus Tegangan pada Pembebanan 23.500 kg pada jarak 40 meter.....	62
Gambar 4.43. Posisi Tegangan pada Diagram Soderberg failure line.....	63

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Beban Maksimum Sepanjang <i>Jib</i>	17
Tabel 4.1 Tekanan Angin pada Ketinggian tertentu	35
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Gaya yang Dibutuhkan Pada Jarak dan Ketinggian Tertentu	39
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Gaya Ayun yang Terjadi Pada Jarak dan Beban Tertentu	41
Tabel 4.4 Panjang, Beban, dan Gaya yang Akan Digunakan pada Proses Simulasi.	43
Tabel 4.5 Tegangan Maksimum dan Minimum pada Masing-Masing Titik	55
Tabel 4.6. Perbandingan Desain Saat Ini dengan Desain Baru ...	64

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

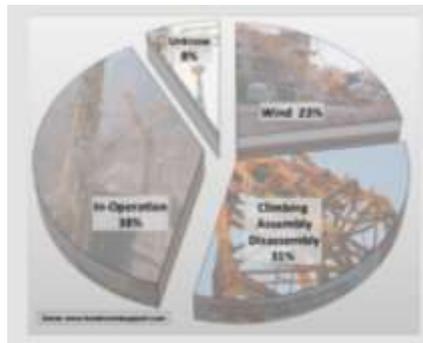
1.1 Latar Belakang Masalah

Mengikuti berkembangnya jaman, pertumbuhan ekonomi nasional bergerak naik dari tahun ke tahun. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), ekonomi Indonesia pada tahun 2016 tumbuh sebesar 5,02 persen, lebih tinggi dibandingkan tahun 2015 yang mencapai 4,88 persen. Namun hingga triwulan II 2017, perekonomian Indonesia tumbuh sebesar 5,01 persen dari tahun 2016. Hingga saat ini, lapangan usaha penyumbang PDB terbesar Indonesia adalah sektor industri, perdagangan dan konstruksi.

Tidak dapat dipungkiri bahwa setiap sektor dari tiga lapangan usaha terbesar tersebut sangat mendominasi kegiatan ekonomi di Indonesia. Dalam pelaksanaannya, alat bantu sangat memengaruhi proses kegiatan tiap sektor tersebut guna menunjang produktivitas. Salah satu contohnya adalah alat pemindah bahan, yaitu *tower crane*. *Tower crane* dapat menunjang kegiatan sektor perdagangan ekspor dan impor khususnya ekspedisi lewat jalur laut yang menggunakan peti kemas, karena dapat membantu mengangkut peti kemas tersebut ke kapal-kapal ekspedisi. Dalam bidang industri, salah satunya dalam produksi kapal, *tower crane* juga dapat membantu proses pemindahan bahan baku, komponen setengah jadi maupun barang jadi. Pada bidang konstruksi sendiri, sangat banyak pemanfaatan *crane* selama pembangunan gedung-gedung dan bangunan tinggi untuk mengangkat bahan baku bangunan. Dapat disimpulkan, *tower crane* merupakan salah satu alat pemindah bahan yang dapat membantu proses kegiatan dalam bidang industri, perdagangan maupun konstruksi.

Dalam kenyataannya, penggunaan *tower crane* memiliki resiko kecelakaan kerja yang cukup besar. Berdasarkan kompas.com, sepanjang tahun 2017, setidaknya lebih dari 5 kasus kecelakaan kerja yang disebabkan oleh *tower crane*. Menurut data internasional yang diambil hingga tahun 2010, terdapat beberapa faktor *tower crane* menjadi penyebab kecelakaan kerja. Dapat

dilihat dari Gambar 1.1, penyebab kecelakaan *tower crane* terbesar adalah pada saat beroperasi sebesar 38%, kemudian pemasangan dan pelepasan komponen pemanjatan sebesar 31%, pengaruh angin sebesar 23%, sedangkan 8% sisanya belum dapat diketahui penyebabnya. Penyebab primer kecelakaan crane saat beroperasi adalah kerusakan secara struktur dan teknik. Selain kerusakan struktur, life cycle dari tower crane merupakan hal yang tidak kalah penting karena dapat meningkatkan produktivitas sektor usaha. Hal ini membuat kekuatan struktur dan umur crane menjadi hal yang sangat penting dalam keamanan penggunaan crane.



Gambar 1.1 Grafik Penyebab Utama Kecelakaan Kerja pada Tower Crane

(sumber: towercranesupport.com)

Mengingat pentingnya peran *tower crane* dalam sektor industri, perdagangan dan konstruksi, maka diharapkan *tower crane* mampu memiliki daya angkut yang sesuai dengan kebutuhan, aman digunakan, dan memiliki umur yang panjang. Maka dari itu, pada penelitian ini akan dilakukan analisa struktur pada crane Potain MD900 sebagai bahan pertimbangan untuk *redesign crane* guna meningkatkan produktivitas dalam ketiga sektor tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun beberapa permasalahan yang ada pada penelitian ini antara lain:

1. Bagaimanakah kekuatan struktur pada *crane* Potain MD 900 saat ini?
2. Bagaimanakah *redesign tower crane* Potain MD 900?
3. Bagaimanakah perbandingan kekuatan struktur pada *crane* Potain MD 900 saat ini dengan desain yang baru?

1.3 Batasan Masalah

Dalam melakukan analisa diperlukan ruang lingkup dan pembatasan permasalahan agar pembahasan yang akan dilakukan dan penarikan kesimpulan lebih terarah. Beberapa batasan permasalahan yang diambil adalah sebagai berikut :

1. Peralatan yang diteliti adalah *crane* Potain MD900
2. Gaya hembus angin dianggap konstan.
3. Analisa hanya pada bagian *jib*.
4. Material elemen adalah *uniform*.
5. Gaya yang diperhitungkan adalah berat *jib*, gaya angin, gaya ayun, dan berat beban yang diangkat.
6. Pengaruh pengelasan diabaikan dan dianggap baik dan kuat.
7. Pengaruh temperatur diabaikan.
8. Selama beban terangkat pada kecepatan konstan, beban dianggap stabil.
9. Beban gempa diabaikan.
10. Pengaruh korosi diabaikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan-tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui kekuatan struktur pada *tower crane* Potain MD saat ini.
2. Mengetahui dan memahami *redesign tower crane* Potain MD 900.

3. Mengetahui perbandingan kekuatan struktur pada *tower crane* Potain MD saat ini dengan desain yang baru.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat-manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai media untuk penelitian dan pengembangan dalam bidang pesawat pemindah bahan.
2. Sebagai bahan rujukan dalam penelitian tentang analisa struktur pesawat pemindah bahan selanjutnya.
3. Sebagai bahan pertimbangan dalam pengembangan crane Potain MD 900 terutama dari segi strukturnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas mengenai dasar teori dan tinjauan pustaka yang digunakan sebagai acuan dan langkah-langkah dalam melakukan penelitian sehingga permasalahan yang dibahas dapat terselesaikan dengan baik. Adapun dasar teori dan tinjauan pustaka yang digunakan adalah berdasarkan *tower crane* Potain MD 900.

2.1 Studi Literatur

Berbagai penelitian terdahulu mengenai analisa struktur *tower crane* sudah dilakukan oleh beberapa orang. Beberapa orang tersebut antara lain adalah Rinto Eko Bintoro dalam tugas akhirnya tentang analisa tegangan pada struktur *tower crane* dengan menggunakan ANSYS 8.0. Tugas akhir tersebut berisi tentang pencarian tegangan maksimum yang dapat diterima crane, defleksi maksimum, serta daerah kritis pada *jib tower crane* Liebherr 30 LC. Dalam tugas akhirnya didapat kesimpulan bahwa tegangan kritis terbesar dengan pembebanan maksimum 2500 kg pada jarak pembebanan sejauh 8,325 m dari pusat sumbu *tower* yaitu sebesar 0,1947 Mpa. Crane tersebut menggunakan material ST37-2 dimana material tersebut adalah material yang umum digunakan untuk produksi *Tower Crane*. Dengan angka keamanan 2 dan Tegangan Luluh (Sy) sebesar 235 Mpa, maka didapatkan tegangan ijin sebesar 117,5 MPa . Defleksi maksimum struktur yang terjadi juga masih di bawah defleksi ijinnya. Defleksi terbesar terjadi di ujung struktur *jib* yaitu sebesar $0,934 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 9,34 \text{ mm}$. Pada struktur *jib* defleksi ijinnya adalah sebesar 37,5 mm. Dari hasil analisa tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa struktur utama *Tower Crane* yang berupa *jib*, *counter jib* serta *tower* ternyata aman, karena tegangan yang terjadi masih dibawah tegangan ijin dari bahan, selain itu defleksi dari struktur juga masih lebih kecil dibandingkan defleksi ijinnya.[1]

Komang Muliana Pranatha dalam tugas akhirnya membuat perbandingan antara *Triangle Tower Crane* dengan *Fourangle*

Tower Crane. Dari hasil analisa pada struktur *Triangle Tower Crane*, maka dapat diperoleh kesimpulan bahwa pada struktur *Fourangle Tower Crane*, defleksi maksimum yang terjadi tanpa memperhitungkan gaya angin sebesar 10,966 mm sedangkan pada struktur *Triangle Tower Crane* didapatkan defleksi maksimum sebesar 10,966 mm. Pada struktur *Triangle Tower Crane*, dengan memperhitungkan gaya angin didapatkan defleksi maksimum sebesar 37,4 mm ketika defleksi ijin maksimum yang didapatkan harus $\leq 37,5$ mm, sehingga besar defleksi yang terjadi masih dalam keadaan aman. Pada struktur *Fourangle Tower Crane*, tegangan maksimum (kritis) yang terjadi tanpa memperhitungkan gaya angin sebesar 0.1947 Mpa, sedangkan pada struktur *Triangle Tower Crane* didapatkan tegangan maksimum sebesar 0,19 Mpa. Pada struktur *Triangle Tower Crane* dengan memperhitungkan gaya angin didapatkan tegangan maksimum sebesar 174 Mpa ketika tegangan maksimum yang didapatkan harus ≤ 185 Mpa, sehingga besar tegangan maksimum yang terjadi masih dalam keadaan aman. Berat struktur rangka *tower* dari *Triangle Tower Crane* sebesar 2674,5 kg, sedangkan berat struktur rangka dari *Fourangle Tower Crane* sebesar 2950 kg.[2]

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Crane

2.2.1.1 Definisi crane

Crane merupakan alat bantu mekanis untuk memindahkan benda dari suatu titik ke titik lainnya. *Crane* bekerja dengan menggunakan tali sebagai pemindah benda. Crane juga merupakan salah satu alat bantu yang dapat meningkatkan produktivitas dan pertumbuhan ekonomi dalam konstruksi, pertambangan, penebangan, operasi maritim, dan pemeliharaan fasilitas produksi dan layanan. Crane mulai digunakan sejak tahun 1930 untuk menggantikan derek sebagai alat *hoisting* pokok dalam pembangunan gedung-gedung yang tinggi.[3]

Crane memiliki banyak jenis berdasarkan fungsi dan susunan komponennya. Jenis-jenis crane tersebut antara lain *Mounted Crane, Rough Terrain Crane, Sidecliff Crane, All Terrain Crane, Crawler Crane, Floating Crane, Railroad Crane, Tower Crane, Aerial Crane, Self-erecting Crane, Telescopic Crane, Level Luffing Crane, Hammerhead Crane, Gantry Crane, Overhead Crane*, dan lainnya.[4]

Pada penelitian ini, digunakan Crane dengan jenis *Tower Crane*. *Tower Crane* yang digunakan dalam penelitian adalah merk Potain MD 900.

2.2.1.2 Tower crane

Tower crane merupakan alat yang digunakan untuk mengangkut material secara *vertical* dan *horizontal* dari suatu tempat ke tempat lain pada ruang gerak yang terbatas. Yang perlu diperhatikan dalam pemanfaatan *tower crane* adalah berat, ukuran, dan radius angkat dari beban terberat, tinggi maksimum berdiri bebas alat, dan berat mesin yang ditopang struktur.

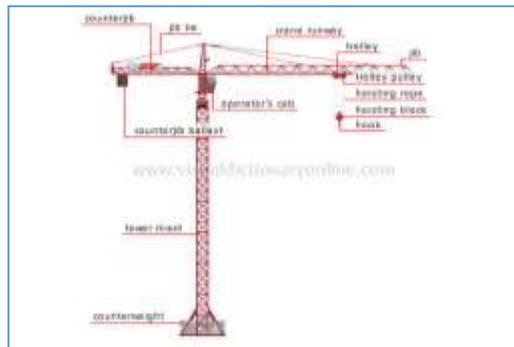
Penggunaan *tower crane* memerlukan perencanaan yang seksama. Hal ini dikarenakan *crane* dipasang tetap (*fixed installation*) di tempat dengan jangka waktu pelaksanaan pekerjaan yang lama. Dari posisi tetapnya, *tower crane* harus mampu menjangkau semua area yang diperlukan untuk mengangkat beban ke tempat yang diinginkan. *Tower crane* dirancang dengan ketinggian tertentu dan *boom* yang memiliki daya jangkauan yang cukup jauh. Selain itu *tower crane* mampu melayani pengangkutan bahan yang berat sesuai dengan kapasitas angkat maksimumnya.

Tower crane biasanya digunakan untuk mengangkat beban terpadu (*load*), seperti rangka besi, kepingan atap bangunan, batu bata dalam jumlah yang banyak, dan sebagainya. Namun terkadang juga dapat digunakan untuk mengangkat bahan curah (*bulk load*), seperti pasir dan coran semen. Untuk bahan curah, *tower crane*

membutuhkan wadah muatan seperti bucket, yang kemudian dihubungkan dengan kait nantinya.[5]

2.2.1.3 Komponen tower crane

Pada prinsipnya, *Tower Crane* merupakan pesawat pengangkat dan pengangkut yang memiliki mekanisme gerakan yang cukup lengkap, yakni kemampuan mengangkat muatan (*lifting*), menggeser (*trolleying*), menahannya tetap di atas bila diperlukan, dan membawa muatan ke tempat yang ditentukan (*slewing and travelling*). Operasi kerja yang identik dan muatan yang seragam yang diangkutnya, memungkinkan fasilitas transport dilakukan secara otomatis. Bukan hanya untuk memindahkan, melainkan juga untuk proses bongkar muatan barang atau material lainnya.[6]



Gambar 2.1 Detail *Tower Crane*

Pada Gambar 2.1, ditunjukkan spesifikasi *tower crane* berkaitan dengan operasi pengangkatan dan pemindahan material yaitu *Counter Jib*, *Jib Tie*, *Crane Runway*, *Trolley*, *Jib*, dan lain lain. Penjelasan dari bagian-bagian crane adalah sebagai berikut.

1. *Jib* atau *Boom*

Jib atau *Boom* merupakan lengan *tower crane* yang ditunjukkan oleh Gambar 2.2 terdiri dari elemen-elemen besi yang tersusun menjadi satu bagian rangka batang. Pemasangan *jib* harus sesuai dengan keperluan dan

persyaratan menurut standar, baik panjang yang minimum maupun yang mencapai maksimum. Pemasangan *jib* ini akan memengaruhi momen dari beban yang diangkat. Untuk tiap panjang *jib* tertentu, terdapat batasan beban maksimum yang dapat diangkat.



Gambar 2.2 *Jib Section*

2. Counter Jib

Selain *jib*, juga terdapat *counter jib* yang berfungsi sebagai *jib* penyeimbang terhadap *boom* yang terpasang. Dapat dilihat pada Gambar 2.3, *counter jib* dilengkapi dengan *counter weight*, yang berfungsi sebagai beban penyeimbang.



Gambar 2.3 Counter Jib

3. Hoist dan Trolley

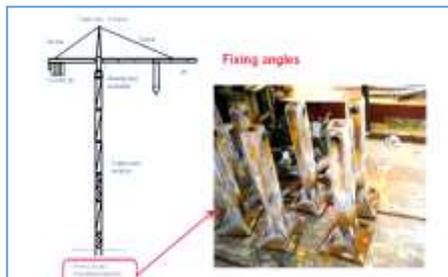
Hoist adalah bagian *tower crane* yang berfungsi sebagai alat angkut arah vertikal. *Trolley* adalah bagian *tower crane* yang berfungsi sebagai alat angkut *tower crane* arah horisontal. Seling merupakan bagian *tower crane* yang berupa kabel baja dan menjadi bagian *hoist*. Pemakaian seling bisa diubah-ubah diameternya atau dapat ditambahkan (*double-seling*), tergantung pada kebutuhan di lapangan. Susunan *hoist*, *trolley* dan seling dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Hoist dan Trolley

4. Pondasi

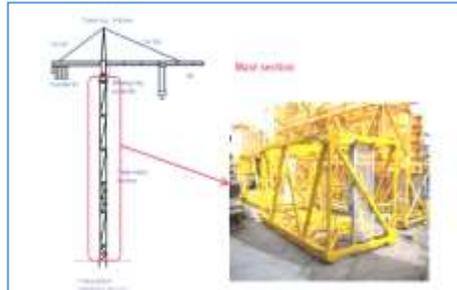
Pondasi digunakan untuk menopang *Tower crane* agar dapat berdiri tegak di atas tanah. Bagian pondasi dapat dilihat pada Gambar 2.5 pada halaman berikutnya.



Gambar 2.5 Pondasi Tower Crane

5. Mast Section

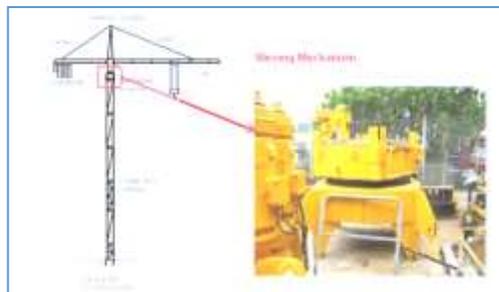
Mast Section merupakan tiang vertikal atau rangka yang berdiri di atas *base* atau dasar. *Mast section* ditunjukkan oleh Gambar 2.6. Rangka ini berfungsi sebagai penyangga agar *jib* dapat berdiri tegak, sehingga dapat memindahkan dan mengangkat barang dengan baik.



Gambar 2.6 *Mast Section*

6. Slewing Mechanism

Slewing mechanism adalah suatu alat penghubung antara rangka dan *jib* agar dapat berputar sesuai dengan arah yang diinginkan. Bagian mekanisme slewing dapat dilihat pada Gambar 2.7. Mekanisme slewing ini dapat berputar 360°, sehingga dapat menjangkau seluruh area gedung ataupun bangunan lainnya.



Gambar 2.7 *Slewing Mechanism*

7. Tower Top

Tower top adalah bagian paling atas dari *tower crane*. *Tower top* berfungsi untuk penyangga dan penyeimbang antara *jib* dan *counter jib*. Bagian *tower top* dapat dilihat pada Gambar 2.8.[2]



Gambar 2.8 Tower Top

2.2.2 Gaya-Gaya yang Bekerja pada Tower Crane

Konstruksi *Tower crane* akan menimbulkan berbagai macam gaya – gaya yang bekerja karena struktur bangunannya. Gaya – gaya tersebut antara lain:

- a. Gaya berat dari konstruksi
- b. Gaya angin
- c. Gaya sentrifugal / ayun
- d. Gaya *trolley dan hoisting*

2.2.2.1. Gaya Angin

Gaya angin didefinisikan sebagai beban merata (*span loading*) dalam persatuan proyeksi panjang ke arah konstruksi. Gaya angin yang terjadi pada obyek dinyatakan dalam:

$$F = q \cdot A \cdot C_d \quad (2.1)$$

dimana:

- F : gaya pada permukaan elemen sesuai arah angin (N)
 q : tekanan permukaan elemen pada ketinggian tertentu (N/m²)
 A : luasan (m²)
 C_d : koefisien drag total

Tekanan permukaan elemen pada ketinggian tertentu dapat dihitung secara matematis dengan persamaan berikut

$$q = \frac{1}{2} \rho V^2 \left[\frac{h}{h_0} \right]^{2p} \quad (2.2)$$

dimana:

q : tekanan permukaan elemen pada ketinggian tertentu (N/m^2)

h : ketinggian (dihitung tiap-tiap kenaikan 10 meter)

h_0 : ketinggian referensi (10 meter)

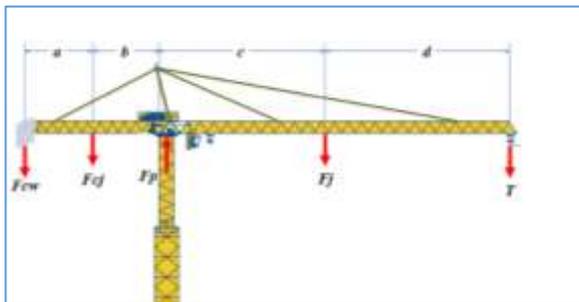
V : kecepatan angin (m/s)

ρ : massa jenis udara ($1,3 \text{ kg/m}^3$)

p : *Power Law Exponent* ($\frac{1}{7}$ untuk daerah terbuka atau pantai, $\frac{1}{3}$ untuk daerah hutan dan perkotaan)

2.2.2.2. Momen Bending

Seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.9, gaya berat yang disebabkan oleh *jib*, *counter jib*, dan *counter weight* menyebabkan momen ditinjau dari titik tumpu crane yaitu pada slewing mechanism. Untuk mencari besar momen bending pada bagian horizontal (bagian *jib*, *counter jib*, *counter weight*) dari *Tower crane*, dianalisa sebagai berikut:



Gambar 2.9 Free Body Diagram

Dengan mengasumsikan arah positif adalah CW dengan momen pada pusat rangka (F_p):

$$-(F_{cw})(a + b) - (F_{cj})(b) + (F_j)(c) + (T)(c + d) = M_{fp} \quad (2.3)$$

dimana:

F_{cw} : gaya berat beban *counter weight*

F_{cj} : gaya berat rangka *counter jib*

F_j : gaya berat *jib*

T : tegangan tali

M_{fp} : momen yang terjadi pada pusat rangka

2.2.2.3. Center of Gravity

Gaya berat dari konstruksi *tower crane* juga memengaruhi tegangan pada struktur *tower crane*. Gaya berat yang terjadi terpusat pada *center of gravity* tower crane. *Center of gravity* tower crane ditentukan dengan menggunakan analisa gaya yang bekerja pada crane. Analisa gaya – gaya yang bekerja pada sumbu Y (arah vertikal) adalah sebagai berikut:

$$\Sigma F_y = 0 \quad (2.4)$$

$$-F_{cw} - F_{cj} - F_j - W_m + F_p = 0 \quad (2.5)$$

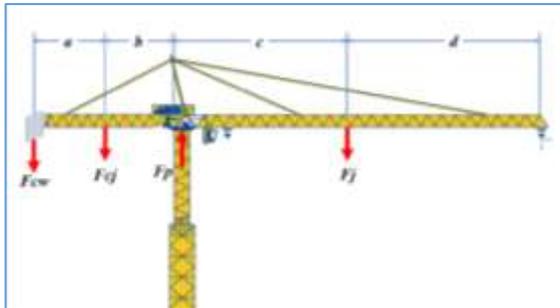
$$F_p = F_{cw} + F_{cj} + F_j + W_m \quad (2.6)$$

Mencari *center of gravity* (Cg) dengan adanya beban :

$$C_g = \frac{\text{Momen}}{\text{Gaya Berat}} \quad (2.7)$$

$$C_g = \frac{M_{fp}}{F_p} \quad (2.8)$$

Free Body Diagram dari *tower crane* tanpa beban ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Struktur Atas *Tower Crane* Tanpa Beban

Mencari *center of gravity* (C_g) tanpa adanya beban:

$$\Sigma F_y = 0 \quad (2.9)$$

$$-F_{cw} - F_{cj} - F_j + F_p = 0 \quad (2.10)$$

$$F_p = F_{cw} + F_{cj} + F_j \quad (2.11)$$

Dengan mengasumsikan arah positif adalah CW dengan momen pada pusat rangka (F_p):

$$\Sigma M_{F_{pl}} = 0 \quad (2.12)$$

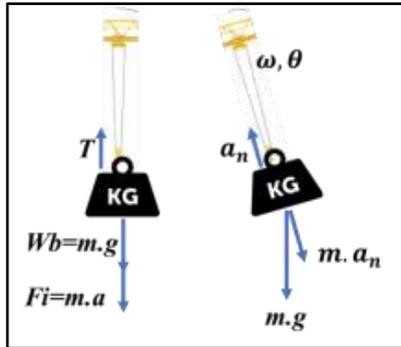
$$M_{F_{pl}} = -F_{cw}(a + b) - F_{cj}(b) + F_j(c) \quad (2.13)$$

Mencari C_g tanpa beban yang diangkat:

$$Cg_1 = \frac{M_{F_{pl}}}{F_{p_1}} \quad (2.14)$$

2.2.2.4. Gaya Ayun Tower

Gerakan yang terjadi saat *jib* melakukan slewing dan rangka dalam keadaan berputar, akan terjadi sudut yang besarnya tertentu terhadap sumbu vertikal. Gerakan ini disebut gaya ayun. Gaya ayun terjadi karena adanya gerakan slewing pada tower crane. Pada gambar 2.11 ditunjukkan bahwa akan terjadi perubahan perhitungan beban yang disebabkan oleh sudut dan kecepatan sudut yang terjadi, yaitu adanya kecepatan normal dan beban yang diakibatkan oleh percepatan normal.



Gambar 2.11 Free Body Diagram Beban akibat Gaya Ayun

Dengan mengetahui percepatan dan waktu yang dibutuhkan dalam proses hoisting hingga mencapai kecepatan konstan, maka dapat diketahui jarak yang ditempuh oleh beban secara vertikal hingga mencapai kondisi sesaat sebelum konstan dengan persamaan berikut.

$$\Delta h = V_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \quad (2.15)$$

dimana:

h : Jarak saat beban akan mencapai kecepatan konstan

V_0 : Kecepatan awal

t : waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kecepatan konstan

a : percepatan awal yang dibutuhkan oleh beban

Berdasarkan jari-jari dan kecepatan angkat yang diketahui, maka dapat diketahui percepatan normal yang terjadi dengan perhitungan sebagai berikut

$$a_n = \omega^2 r \quad (2.16)$$

Dimana :

a_n : percepatan normal

ω : kecepatan slewing

r : jari-jari (panjang seling saat akan mencapai kecepatan konstan)

Setelah mengetahui percepatan normal yang terjadi, maka gaya yang diakibatkan oleh gaya ayun dapat dicari dengan persamaan dibawah ini.

$$F = m \cdot a_n \cdot \cos\theta \quad (2.17)$$

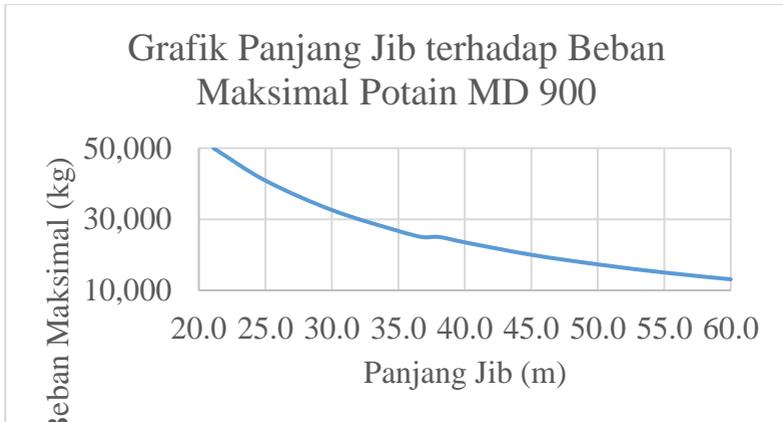
2.2.2.5. Gaya Akibat Gerakan Trolley

Pada *tower crane*, beban dapat dipindahkan dengan menggunakan tali dari ujung *tower crane* menuju titik pusat atau sesuai jarak yang ditentukan. Pada kasus ini gaya gerakan *trolley* dapat diabaikan dengan syarat beban yang diangkat sesuai dengan beban yang diijinkan pada desain awal dari *jib tower crane* jenis Potain MD 900 yang ditunjukan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Beban Maksimum Sepanjang *Jib*

Panjang Jib (m)	60,0	55,0	50,0	45,0	40,0	38,1
Beban Maksima l (Kg)	13.10	15.00	17.30	20.00	23.50	25.00
	0	0	0	0	0	0
Panjang Jib (m)	36,8	35,0	30,0	25,0	21,1	
Beban Maksima l (Kg)	25.00	26.70	32.60	40.90	50.00	
	0	0	0	0	0	

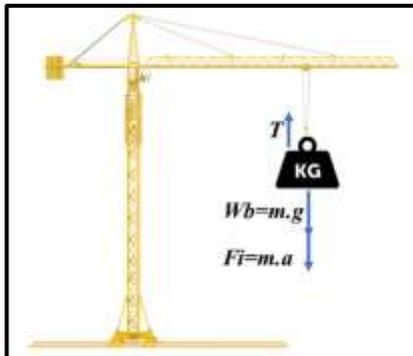
Dari Tabel 2.1 dapat dilihat bahwa dengan panjang *jib* 21,1 meter *tower crane* Potain MD 900 dapat mengangkat beban sebesar 50 ton, sedangkan pada panjang maksimum yaitu 60 meter, crane tersebut hanya dapat mengangkat beban sebesar 13,1 ton. Hal ini menunjukkan bahwa semakin panjang *jib* maka semakin kecil beban yang dapat diangkat yang juga dapat dilihat dari Gambar 2.12.[7]



Gambar 2.12 Grafik Panjang *Jib* terhadap Beban Maksimal Potain MD 900

2.2.2.6. Gaya Hoisting/Gaya Angkat

Gerakan mengangkat dipengaruhi oleh berat *trolley*, berat beban, dan ditambah berat *hook*. Ketiga komponen tersebut akan memengaruhi gaya *hoisting* berupa gaya yang melawan (resistensi) terhadap gerakan. Dari gambar 2.13 dapat dilihat free body diagram beban yang diakibatkan oleh gaya hoisting.



Gambar 2.13 Free Body Diagram Beban akibat Gaya Hoist

2.2.3 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan suatu metode numeris untuk menentukan penyelesaian matematis terhadap suatu permasalahan teknis/*engineering*. Metode ini memiliki ciri yang khas yaitu membagi model analisa struktur menjadi beberapa bagian kecil yang disebut elemen. Proses pembagian struktur menjadi banyak elemen dinamakan proses diskritisasi yang diawali dengan meletakkan sejumlah node pada struktur. Node merupakan titik hubung antar elemen dan kemudian node-node tersebut dihubungkan satu sama lainnya sesuai dengan bentuk geometri elemen yang digunakan.

Setiap elemen memiliki bentuk geometri yang lebih sederhana dibandingkan bentuk geometri keseluruhan struktur. Karena elemen mempunyai bentuk yang sederhana, maka model matematisnya dapat diuraikan lebih mudah daripada menguraikan model matematis keseluruhan struktur secara langsung. Dengan menggabungkan model matematis dari semua elemen akan didapatkan model matematis struktur, proses penggabungannya dilakukan dengan terlebih dulu menentukan model matematis untuk setiap elemen. Semua elemen hasil proses diskritisasi selanjutnya apabila digabungkan menjadi satu akan menyerupai karakteristik struktur.

Dari model matematika setiap elemen akan diperoleh persamaan standar yang menjelaskan dua nilai besaran yaitu gaya dan *displacement*. Usaha penggabungan model matematika setiap elemen menjadi satu bentuk model matematika struktur dinamakan proses *assembly*. Melalui proses ini akan dihasilkan suatu persamaan yang cukup besar ukurannya, selanjutnya dengan memberikan pembebanan dan menentukan *boundary condition* terhadap struktur maka persamaan tersebut dapat diselesaikan dan parameter yang belum diketahui selanjutnya dapat ditentukan. Nilai yang sudah diperoleh dari perumusan tiap-tiap elemen selanjutnya disubstitusikan kembali ke persamaan model matematika struktur, maka akan didapat tegangan di tiap-tiap

elemen. Pada akhirnya bila tegangan–tegangan tersebut digabungkan akan diperoleh gambaran distribusi tegangan struktur secara keseluruhan.[8]

2.2.4 Fatigue Analysis

Sejak tahun 1830 telah diketahui bahwa logam yang mengalami tegangan berulang akan rusak pada tegangan yang jauh lebih rendah dibanding tegangan yang diperlukan untuk menimbulkan perpatahan pada penerapan beban tunggal. Fenomena ini disebut dengan *fatigue* (kelelahan). Umumnya kerusakan akibat *fatigue* terjadi setelah periode penggunaan yang cukup lama.[9]

Kegagalan *fatigue* yang terjadi akibat jumlah siklus tegangan 10^4 – 10^5 dikategorikan sebagai *low-cycle*, sedangkan batasan untuk *high-cycle fatigue* umumnya lebih dari 10^6 . Kategori *high-cycle* umumnya dialami oleh struktur *crane* akibat beban kerja/muatan yang diatasi dan bersifat berulang.

Terdapat beberapa istilah yang menyangkut teori *fatigue*, dan pengertiannya seperti pada penjelasan di halaman berikutnya.

1. *Cyclic stress/load* merupakan variasi pada tegangan atau beban yang berulang terhadap waktu.
2. *Mean stress* (σ_m) merupakan tegangan rata-rata yang didapat antara tegangan maksimum dan tegangan minimum, dengan persamaan 2.17.

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad (2.17)$$

3. *Maximum stress* (σ_{\max}) merupakan nilai tegangan maksimum yang terjadi pada keseluruhan suatu material ketika pembebanan.
4. *Minimum stress* (σ_{\min}) merupakan nilai tegangan maksimum yang terjadi pada keseluruhan suatu material ketika pembebanan.
5. *Stress range* merupakan selisih tegangan maksimal terhadap tegangan minimal, dengan persamaan 2.18.

$$\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} \quad (2.18)$$

6. *Amplitude of stress* didefinisikan sebagai nilai setengah dari selisih tegangan maksimal terhadap tegangan minimal, yang diformulasikan sebagai persamaan 2.19.

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad (2.15)$$

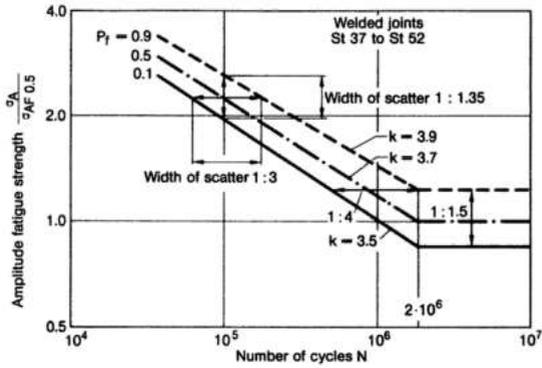
7. *Cycle (N)* adalah siklus dimana beban bermula dari posisi rata-rata pada waktu tertentu dan kembali ke posisi yang sama setelah beberapa interval waktu.
8. *Stress ratio (R)* merupakan rasio tegangan R didefinisikan sebagai rasio tegangan minimum terhadap tegangan maksimal. Menggunakan persamaan 2.20.

$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad (2.20)$$

9. *Fatigue life (N)* adalah banyaknya siklus yang dialami oleh suatu material atau konstruksi sebelum mengalami kegagalan (*breakdown*)

Kurva S-N adalah karakteristik *fatigue* yang umum digunakan dari suatu benda ketika mengalami tegangan berulang (siklis). Kurva tersebut diperoleh dari tes spesimen baja yang diberi beban berulang dengan jumlah siklus N sampai terjadi kegagalan yang umumnya diawali dengan retak. Jumlah N berbanding terbalik dengan rentang tegangan $\Delta\sigma$ (tegangan maks – tegangan min).

Kurva ini menyediakan informasi karakteristik *fatigue* dengan amplitudo pembebanan konstan. Kurva S-N yang digunakan berdasarkan material yang digunakan yaitu St37 ditunjukkan pada Gambar 2.14.

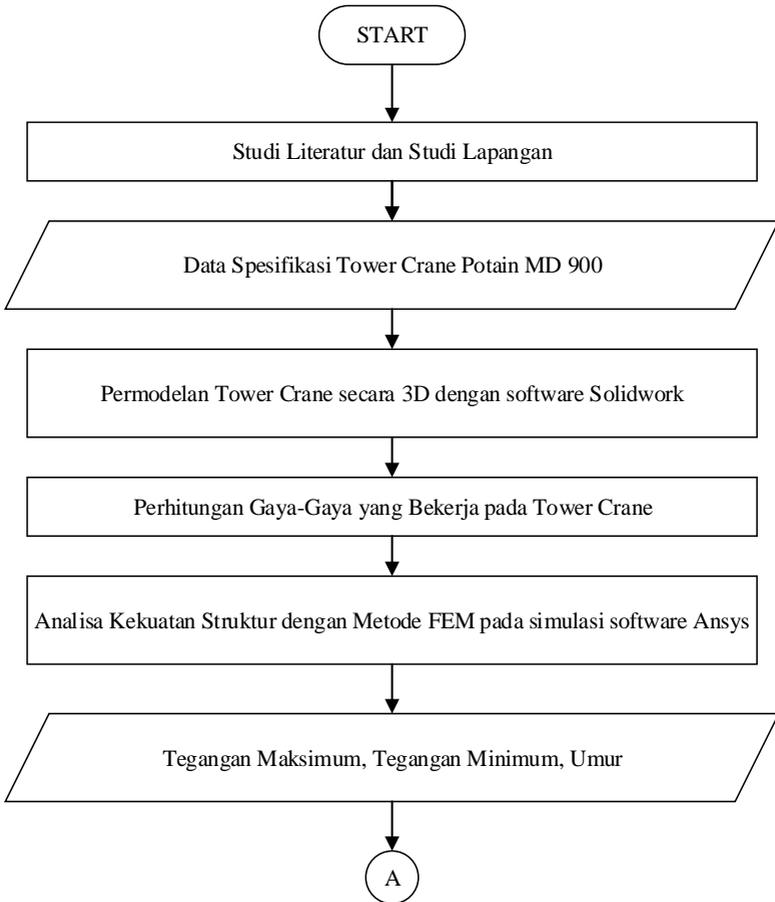


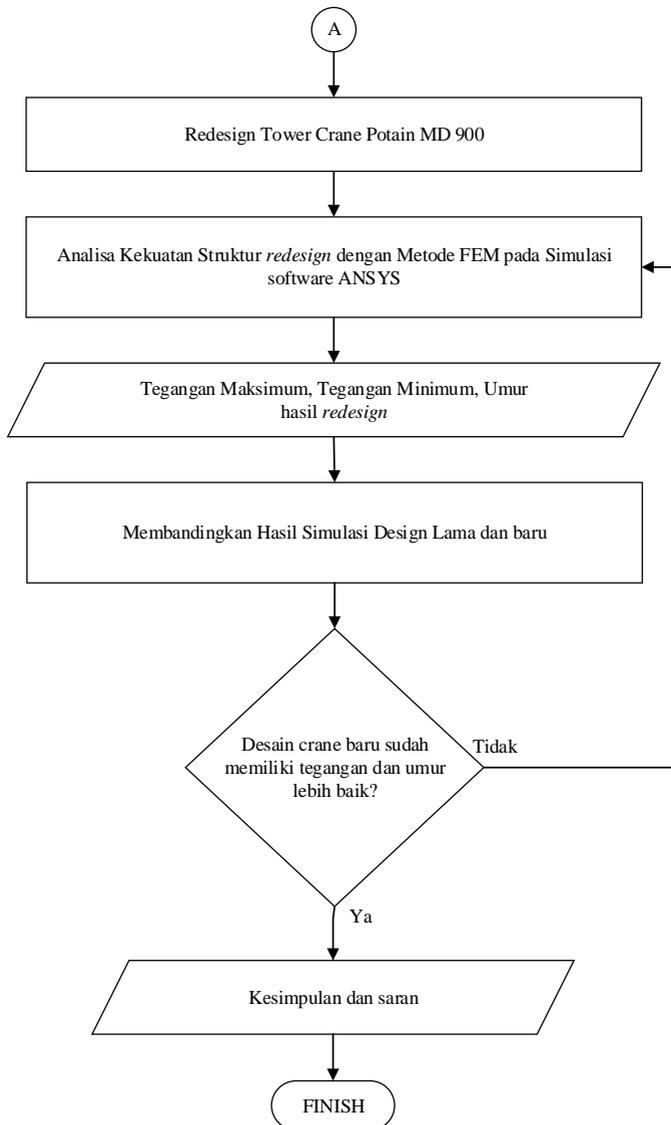
Gambar 2.14 Kurva S-N berdasarkan *St37 Material*

BAB III METODOLOGI

3.1 Flowchart Penelitian

Dalam subbab ini dijelaskan mengenai langkah-langkah yang dijadikan sebagai acuan dalam penulisan tugas akhir ini seperti dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Prosedur Penelitian

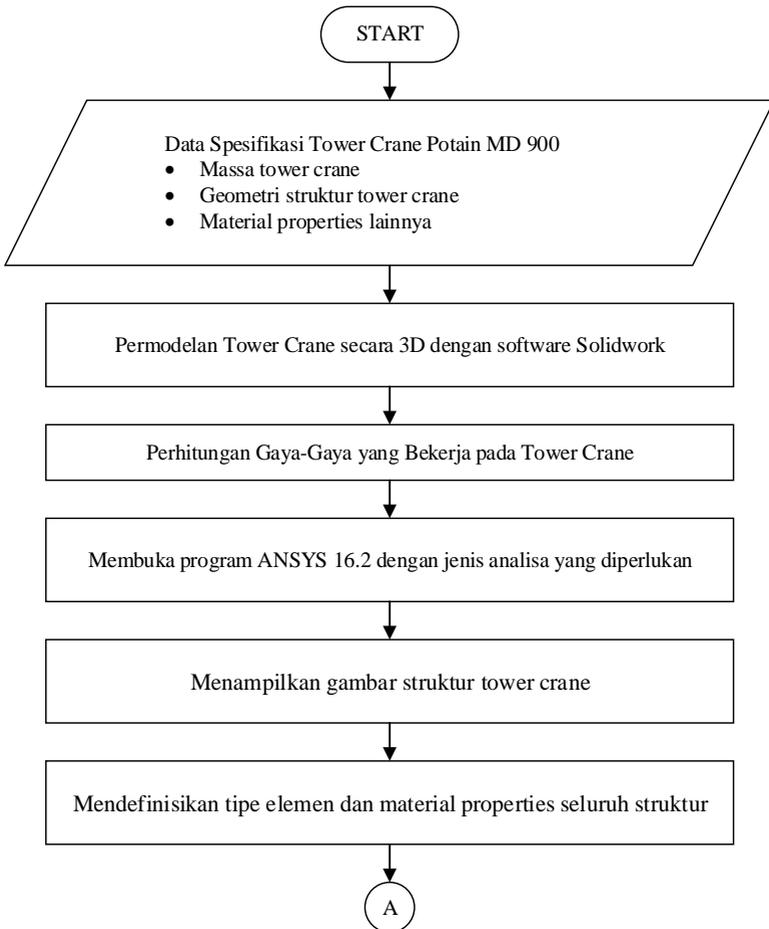
Pada penulisan tugas akhir ini, prosedur penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut :

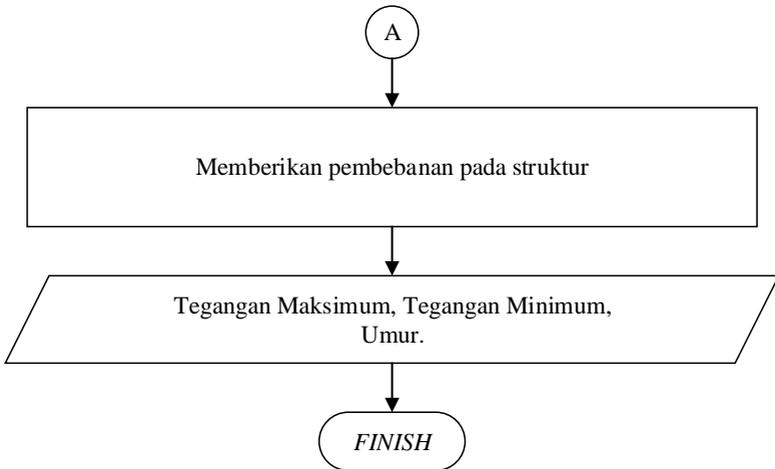
- Tahap awal dilakukan dengan mempelajari referensi dari buku, jurnal penelitian dan hasil penelitian sebelumnya tentang analisa struktur crane. Kemudian melakukan studi lapangan *Tower Crane* Potain MD 900.
- Didapatkan data spesifikasi *Tower Crane* Potain MD 900 berupa dimensi dan beban maksimum pada panjang tertentu.
- Tahap kedua adalah memodelkan hasil dari studi lapangan ke dalam software 3D.
- Tahap ketiga adalah melakukan perhitungan gaya-gaya yang bekerja pada *tower crane*.
- Tahap keempat adalah melakukan analisa struktur *tower crane* Potain MD 900 dengan menggunakan metode elemen hingga.
- Dari proses analisa struktur dengan menggunakan FEM, didapatkan tegangan maksimal, tegangan minimal, serta umur dari grafik S-N.
- Tahap kelima adalah mendesain ulang *Tower Crane* Potain MD900.
- Tahap keenam adalah mensimulasikan kembali hasil redesign dengan FEM.
- Dari proses simulasi didapatkan tegangan baru maksimal, tegangan baru minimal, serta umur.
- Tahap ketujuh adalah membandingkan hasil simulasi sebelum dan sesudah redesign.
- Apabila hasil redesign lebih baik, maka akan didapat kesimpulan dan saran.

3.3 Flowchart Analisa dan Redesign Tower Crane Potain MD 900

3.3.1. Flowchart Analisa Struktur Tower Crane Potain MD 900

Dalam subbab ini dijelaskan mengenai langkah-langkah yang dijadikan sebagai acuan dalam analisa struktur tower crane Potain MD 900 seperti dapat dilihat pada Gambar 3.2.

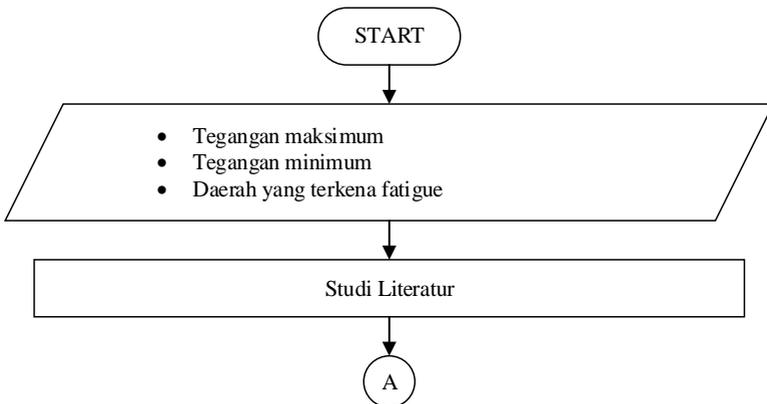


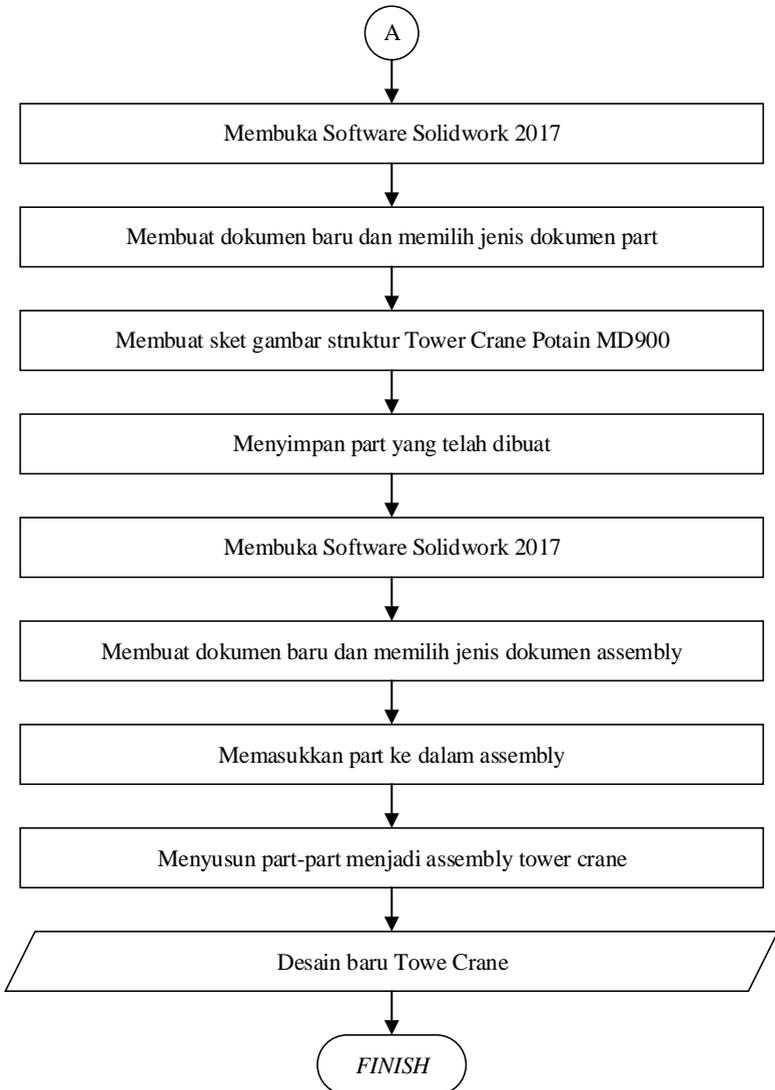


Gambar 3.2 Diagram Alir Analisa Struktur Tower Crane Potain MD 900

3.3.2. Flowchart *Redesign Tower Crane Potain MD 900*

Dalam subbab ini dijelaskan mengenai langkah-langkah yang dijadikan sebagai acuan dalam redesign struktur tower crane Potain MD 900 seperti dapat dilihat pada Gambar 3.3.

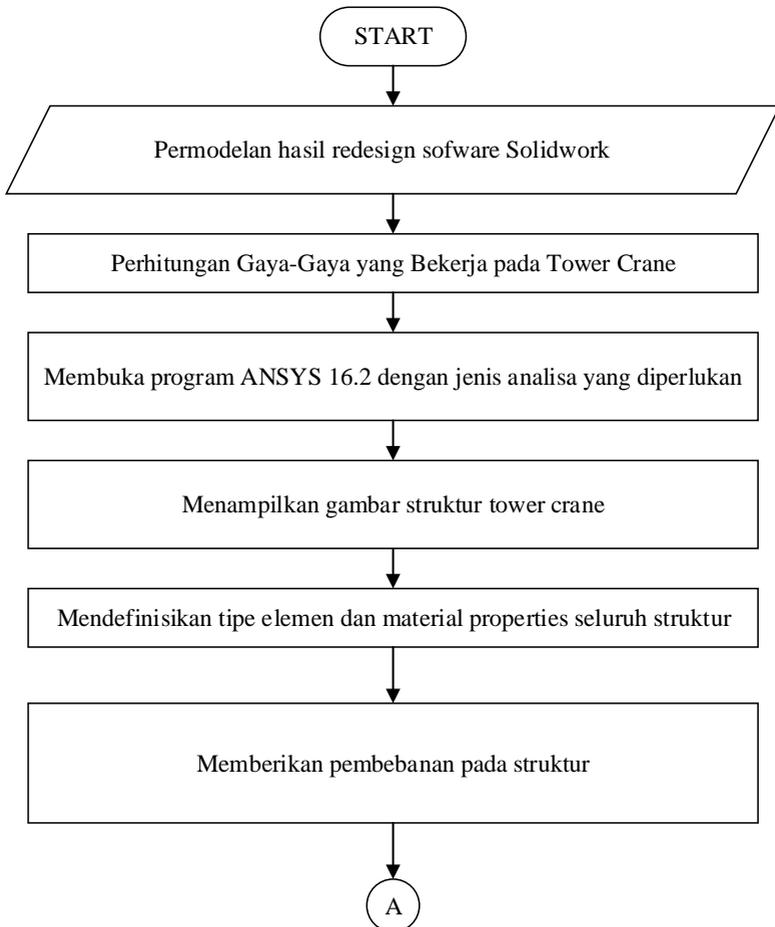


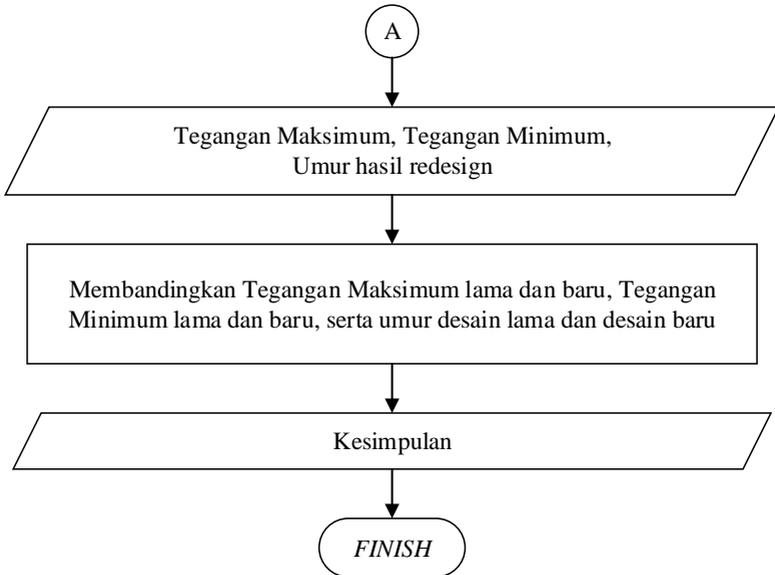


Gambar 3.3 Diagram Alir Redesign Tower Crane Potain MD900

3.3.3. Flowchart Analisa *Redesign Tower Crane Potain MD 900*

Dalam subbab ini dijelaskan mengenai langkah-langkah yang dijadikan sebagai acuan dalam analisa redesign struktur tower crane Potain MD 900 seperti dapat dilihat pada Gambar 3.4.





Gambar 3.4. Diagram Alir Analisa Redesign Tower Crane Potain MD 900

3.4 Langkah-langkah *Finite Element Analysis (FEA)*

3.3.1. Prosedur Analisa Struktur *Tower Crane Potain MD 900*

- Tahap awal adalah mendapatkan data spesifikasi *Tower Crane Potain MD 900*, yaitu massa *tower crane*, geometri struktur *tower crane*, dan material properties lainnya.
- Tahap kedua adalah memodelkan hasil dari studi lapangan ke dalam software Solidwork. Hasil permodelan ini disimpan pada format *STEP.
- Tahap ketiga adalah melakukan perhitungan gaya-gaya yang bekerja pada *tower crane* menggunakan persamaan 2.1 hingga 2.15.
- Tahap keempat adalah membuka program ANSYS 18.1 dan memilih jenis analisa yang diperlukan yaitu static structural.
- Tahap kelima adalah menampilkan hasil permodelan *tower crane* dalam format *STEP ke dalam ANSYS 16.2.

- Tahap keenam adalah mendefinisikan tipe elemen dan material properties seluruh struktur dan memasukkan input ke ANSYS.
- Tahap ketujuh adalah memberikan pembebanan pada struktur berdasarkan gaya-gaya yang sudah dihitung.
- Dari proses analisa struktur dengan menggunakan FEM, didapatkan tegangan maksimal, tegangan minimal, serta umur.

3.3.2. Prosedur Redesign *Tower Crane Potain MD 900*

- Tahap awal adalah melakukan studi literatur mengenai kekuatan material produksi dalam negeri untuk mendapatkan mechanical properties material tersebut.
- Tahap kedua adalah membuka software Solidwork 2017.
- Tahap ketiga adalah membuat dokumen baru dengan memilih jenis dokumen part.
- Tahap keempat adalah membuat sket gambar struktur setiap part dari *Tower Crane Potain MD 900*. Sket dibuat berdasarkan daerah kritis hasil simulasi desain *Tower Crane Potain MD 900* saat ini.
- Tahap kelima adalah menyimpan part yang telah dibuat dalam format *sldprt.
- Setelah part-part selesai dibuat, tahap keenam adalah membuka kembali software solidwork 2017
- Tahap ketujuh adalah dengan membuat dokumen baru dan memilih jenis dokumen assembly.
- Tahap kedelapan adalah memasukkan semua part ke dalam dokumen baru tersebut.
- Tahap kesembilan adalah menyusun semua part menjadi assembly *tower crane*.
- Tahap kesepuluh adalah hasil menyimpan hasil assembly dengan format *STEP.
- Didapat desain baru *tower crane* yang siap disimulasikan.

3.3.3. Prosedur Analisa *Redesign Tower Crane Potain MD 900*

- Tahap awal adalah mendapatkan hasil redesign *tower crane* yang dilakukan menggunakan software solidwork dalam format *STEP
- Tahap kedua adalah melakukan perhitungan gaya-gaya yang bekerja pada *tower crane* menggunakan persamaan 2.1 hingga 2.15
- Tahap ketiga adalah membuka program ANSYS 18.1 dan memilih jenis analisa yang diperlukan
- Tahap keempat adalah menampilkan hasil permodelan *tower crane* dalam format *STEP ke dalam ANSYS 18.1
- Tahap kelima adalah mendefinisikan tipe elemen dan material properties seluruh struktur dan memasukkan input ke ANSYS.
- Tahap keenam adalah memberikan pembebanan pada struktur berdasarkan gaya-gaya yang sudah dihitung.
- Dari proses analisa struktur dengan menggunakan FEM, didapatkan tegangan maksimal, tegangan minimal, serta umur dari grafik S-N hasil redesign.
- Tegangan maksimal, tegangan minimal, serta umur dari desain *tower crane* lama dibandingkan dengan desain *tower crane* baru.
- Didapatkan kesimpulan dari perbandingan.

BAB IV ANALISIS DATA DAN PERHITUNGAN

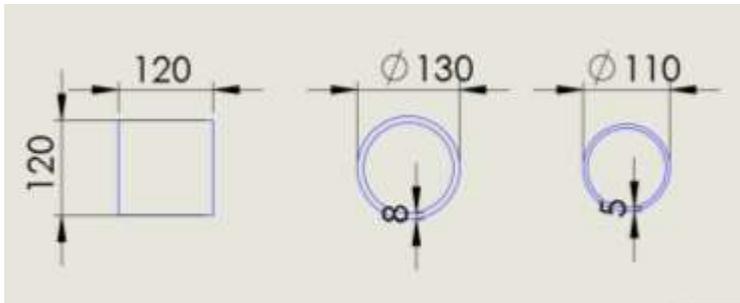
4.1 Data dan Spesifikasi Tower Crane Potain MD 900

Dari data referensi didapatkan data – data teknis pada Fourangle Tower Crane Potain MD 900, yaitu:

- Merk : Potain
- Model : MD 900 SWL 50 Ton
- Tahun pembuatan : 1989
- Negara asal : Perancis
- Panjang Jib : 60 m
- Ketinggian Tower : 98,98 m
- Kecepatan putar Jib : 0 – 0,7 rpm
- Kecepatan Trolley sepanjang Jib: 0 - 33 m/min
- Kecepatan angkat (hoisting) : 17,5 m/min
- Massa Tower Crane : 221 ton

4.2 Permodelan Konstruksi Jib Tower Crane Potain MD900

Pada permodelan menggunakan perangkat lunak solidwork, terlebih dahulu ditentukan dimensi dari profil bagian jib tower crane. Jib tersusun dari seamless pipe dengan material ST37-2 dan berbentuk balok. Ukuran dari masing-masing profil tersebut dalam ukuran milimeter dapat dilihat melalui gambar 4.1.



Gambar 4.1 Dimensi Profil Penyusun Jib

Berdasarkan dimensi dari profil bagian jib tower crane, permodelan dilakukan dan didapatkan hasil seperti gambar 4.2.



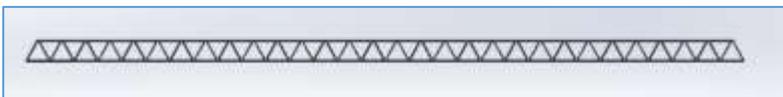
Gambar 4.2 Bagian Jib Tower Crane dan Permodelan dalam Solidworks

Permodelan dari jib tower crane Potain MD 900 dalam solidwork apabila dilihat dari sudut pandang isometri adalah seperti gambar 4.3.



Gambar 4.3 Tampak Isometri Permodelan Jib Tower Crane

Permodelan dari jib tower crane Potain MD 900 dalam solidwork apabila dilihat dari sudut pandang sisi samping adalah seperti gambar 4.4.



Gambar 4.4 Tampak Samping Jib Tower Crane Potain MD900

4.3 Perhitungan Gaya-Gaya yang Bekerja pada Tower Crane Potain MD900

4.3.1 Perhitungan Gaya Angin

Perhitungan gaya angin dimulai dengan menghitung nilai tekanan angin. Nilai tekanan dihitung dengan diskrit ketinggian 10 meter, jadi tekanan merata dihitung tiap 10 meter. Dengan asumsi daerah operasi tower crane berada di pantai sehingga faktor power law (p) sebesar $1/7$, maka perhitungan untuk ketinggian 0-10 meter menggunakan persamaan 2.2 adalah seperti perhitungan di bawah ini.

$$q = \frac{1}{2} \rho V^2 \left[\frac{h}{h_0} \right]^{2p}$$

$$q = \frac{1}{2} \left(1,3 \frac{kg}{m^3} \right) \left(25 \frac{m}{s} \right)^2 \left[\frac{10}{10} \right]^{2 \left(\frac{1}{7} \right)}$$

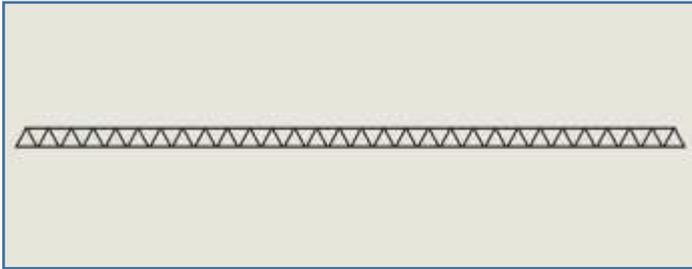
$$q = 406,25 \text{ N/m}^2$$

Dengan menggunakan persamaan 2.2 dan contoh perhitungan seperti di atas, maka tekanan angin pada ketinggian 10-20 meter, 20-30 meter, dan ketinggian selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.1

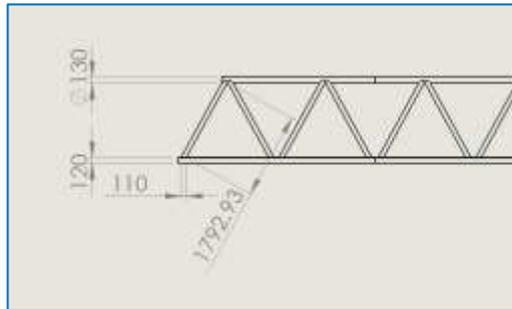
Tabel 4.1 Tekanan Angin pada Ketinggian tertentu

Ketinggian (m)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50
Tekanan Angin (N/m ²)	406,45	495,224	556,049	603,685	643,427
Ketinggian (m)	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
Tekanan Angin (N/m ²)	677,832	708,353	735,9	761,087	784,346

Setelah mengetahui tekanan angin pada ketinggian tertentu, maka selanjutnya dicari jumlah luasan permukaan yang terkena gaya angin. Karena pada penelitian ini yang dianalisa adalah bagian jib saja, maka perhitungan luasan permukaan tower crane yang terkena gaya angin dihitung dari permukaan jib sisi depan seperti pada gambar 4.10. Perhitungan luasan jib tower crane yang terkena gaya angin dari sisi depan pada ketinggian tertentu dapat dihitung melalui dimensi jib sisi depan yang dapat dilihat pada gambar 4.11



Gambar 4.5 Permukaan Jib Tower Crane Sisi Depan



Gambar 4.6 Dimensi Bagian Jib Tower Crane

Berdasarkan dimensi yang dimiliki oleh bagian jib, maka dapat dihitung luas permukaannya seperti berikut

- Menghitung pipa baja rangka atas

$$L = p \cdot l$$

$$L = (59.846,393 \text{ mm})(130 \text{ mm})$$

$$L = 7.780.031,09 \text{ mm}^2$$

$$L = 7,78 \text{ m}^2$$

- Menghitung baja rangka bawah

$$L = p \cdot l$$

$$L = (61.668,39 \text{ mm})(120 \text{ mm})$$

$$L = 7.400.206,8 \text{ mm}^2$$

$$L = 7,4 \text{ m}^2$$

- Menghitung pipa baja rangka segitiga

$$L = p \cdot l$$

$$L = (1.763,34 \text{ mm})(110 \text{ mm})(60)$$

$$L = 11.638.044 \text{ mm}^2$$

$$L = 11,638 \text{ m}^2$$

- Luasan total

$$L_{total} = 7,78 \text{ m}^2 + 7,4 \text{ m}^2 + 11,638 \text{ m}^2$$

$$L_{total} = 26,818 \text{ m}^2$$

Dari perhitungan luasan ketiga komponen, maka didapatkan luas total bagian jib yang terkena gaya angin yaitu sebesar $26,818 \text{ m}^2$.

Setelah menghitung tekanan dan luasan pada jib, maka gaya angin dari arah depan yang mengenai jin tower crane dapat dihitung dengan persamaan 2.1 yaitu sebagai berikut

$$F = q \cdot A \cdot C_d$$

$$F = (784,346 \text{ N/m}^2)(26,818 \text{ m}^2)(2)$$

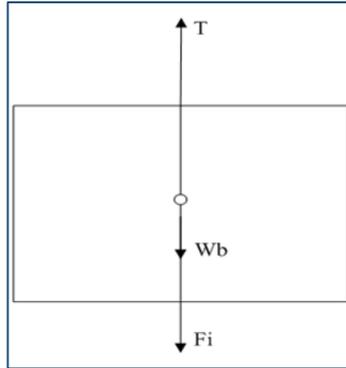
$$F = 42.069,182 \text{ N}$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan maka didapatkan hasil bahwa gaya angin yang mengenai jib tower crane adalah sebesar $42.069,182 \text{ N}$.

4.3.2 Perhitungan Gaya Akibat Gerakan Hoisting

Gerakan hoisting atau pengangkatan beban secara vertikal yang dilakukan oleh tali pada trolley akan menimbulkan gaya tegang tali. Besar gaya tegang tali dipengaruhi oleh gaya angkat awal. Gaya angkat awal dipengaruhi oleh percepatan dan massa beban yang akan diangkat. Percepatan yang dimaksud adalah percepatan yang terjadi pada beban saat kondisi awal hingga

kecepatan konstan. Free body diagram dari gaya-gaya yang bekerja pada beban dapat dilihat pada gambar 4.12.



Gambar 4.7 Free Body Diagram Gaya-Gaya yang Bekerja pada Beban

Dari data Tower Crane Potain MD 900, didapatkan hasil bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kecepatan konstan 8,7 m/min dari kecepatan awal yaitu 0 m/min adalah 50 sekon. Dari data tersebut kemudian dapat dihitung percepatan yang terjadi sebagai berikut

$$V_t = V_0 + at$$

$$a = \frac{8,7 \text{ m/min} + 0}{50 \text{ s}}$$

$$a = \frac{8,7 \text{ m}}{\text{min}} \left[\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right] \frac{1}{50 \text{ s}}$$

$$a = 0,0029 \text{ m/s}^2$$

Dari hasil perhitungan di atas, didapatkan percepatan sebesar 0,0029 m/s². Berdasarkan beban yang diangkat pada jarak 60 meter, maka dapat dihitung gaya tegang tali sebagai berikut.

$$\Sigma F = 0$$

$$T - W_b - F_i = 0$$

$$T = W_b + F_i$$

$$T = mg + ma$$

$$T = m(g + a)$$

$$T = 13.100 \text{ kg} (9,81 \text{ m/s}^2 + 0,0029 \text{ m/s}^2)$$

$$T = 128.548,99 \text{ N}$$

Dari perhitungan tersebut dapat diketahui bahwa gaya angkat yang diperlukan ketika tower crane hendak mengangkat beban sebesar 13.100 kg pada jarak jib 60 meter adalah 128.548,99 N. Dengan metode perhitungan yang sama, maka dapat diketahui gaya yang diperlukan pada jarak dan beban tertentu dengan hasil seperti pada tabel 4.2.

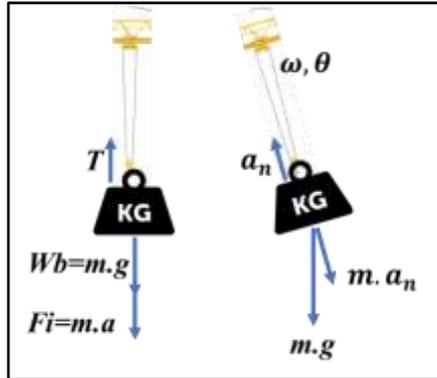
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Gaya yang Dibutuhkan Pada Jarak dan Ketinggian Tertentu

No.	Jarak (m)	Beban (kg)	Gaya Tegang Tali (N)
1	60	13.100	128.548,99
2	55	15.000	147.193,50
3	50	17.300	169.763,17
4	45	20.000	196.258,00
5	40	23.500	230.603,15
6	38,1	25.000	245.322,50
7	35	26.700	262.004,43
8	30	32.600	319.900,54
9	25	40.900	401.347,61
10	21,1	50.000	490.645,00

4.3.3 Perhitungan Gaya Ayun

Gaya ayun yang terjadi akan memengaruhi beban yang diangkat pada proses hoisting. Pada gambar 2.12 ditunjukkan bahwa akan terjadi perubahan perhitungan beban yang disebabkan

oleh sudut yang terjadi, yaitu adanya percepatan normal dan gaya normal yang diakibatkan oleh percepatan normal.



Gambar 4.8 Free Body Diagram Beban akibat Gaya Ayun

Dengan mengetahui percepatan dan waktu yang dibutuhkan dalam proses hoisting hingga mencapai kecepatan konstan, maka dapat diketahui jarak yang ditempuh oleh beban secara vertikal hingga mencapai kondisi sesaat sebelum konstan dengan perhitungan sebagai berikut

$$\Delta h = V_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

$$\Delta h = (0)(50 \text{ s}) - \frac{1}{2}(0,0029 \text{ m/s}^2)(50 \text{ s})^2$$

$$\Delta h = 3,625 \text{ m}$$

Pada penggunaannya, tower crane Potain MD 900 biasa dioperasikan pada ketinggian minimum 2 meter dari permukaan tanah. Sehingga, jarak total untuk mencapai kecepatan konstan adalah 5,625 meter. Untuk mengetahui jari-jari atau panjang tali trolley, dapat dilihat dari panjang tali pada ketinggian saat akan mencapai kondisi kecepatan konstan. Panjang tali trolley untuk tower crane potain MD 900 50 ton adalah 85,4 m, maka jari jarinya adalah 79,7 m. Berdasarkan jari-jari dan kecepatan angkat yang diketahui, maka dapat diketahui percepatan normal yang terjadi dengan perhitungan sebagai berikut

$$a_n = \omega^2 r$$

$$a_n = \left(\frac{7}{600} \text{ rps}\right)^2 (79,7 \text{ m})$$

$$a_n = 0,0108 \text{ m/s}^2$$

Setelah mengetahui percepatan normal yang terjadi, maka gaya yang diakibatkan oleh gaya ayun dapat dicari. Dengan mengasumsikan sudut mendekati nol, maka perhitungan gaya ayun untuk beban sebesar 13.100 kg pada jarak jib 60 meter adalah sebagai berikut

$$F = m \cdot a_n \cdot \cos\theta$$

$$F = (13.100 \text{ kg})(0,0108 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})(1)$$

$$F = (141.48 \text{ N})$$

Dengan metode perhitungan yang sama, maka dapat diketahui gaya ayun yang terjadi pada jarak dan beban tertentu dengan hasil seperti pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Gaya Ayun yang Terjadi Pada Jarak dan Beban Tertentu

No.	Jarak (m)	Beban (kg)	Gaya Ayun (N)
1	60	13.100	141.48
2	55	15.000	162
3	50	17.300	186.84
4	45	20.000	216
5	40	23.500	253.8
6	38,1	25.000	270
7	35	26.700	288.36
8	30	32.600	352.08
9	25	40.900	441.72
10	21,1	50.000	540

4.3.4 Penentuan Beban Fatigue

Logam yang mengalami tegangan berulang akan rusak pada tegangan yang jauh lebih rendah dibanding tegangan yang

diperlukan untuk menimbulkan perpatahan pada penerapan beban tunggal. Fenomena ini disebut dengan *fatigue* (kelelahan). Kegagalan *fatigue* disebabkan oleh beban dinamis yang berupa beban siklis. *Fatigue* yang terjadi akibat jumlah siklus tegangan 10^4 – 10^5 dikategorikan sebagai *low-cycle*, sedangkan batasan untuk *high-cycle fatigue* umumnya lebih dari 10^6 .

Pada tower crane Potain MD 900, beban 1 siklus didefinisikan sebagai beban saat mengangkat (hoisting), berputar (slewing), kemudian menurunkan beban. Beban 1 siklus yang terjadi pada tower crane Potain MD 900 dapat dilihat pada gambar 4.9

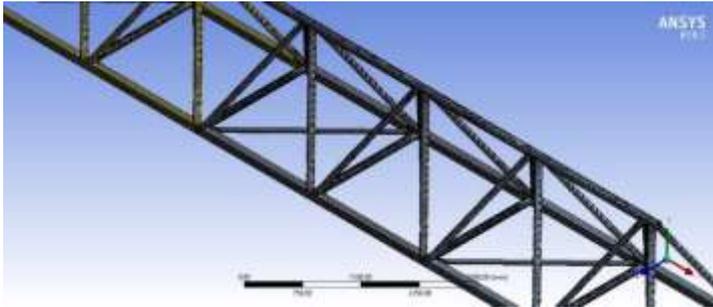


Gambar 4.9 Beban 1 *Cycle* pada Tower Crane Potain MD 900

4.4 Analisis Kekuatan Material Menggunakan Metode Elemen Hingga dengan ANSYS

Analisis kekuatan material bagian jib tower crane diawali dengan membuat mesh permodelan dalam perangkat lunak ANSYS 18.1. Dimulai dengan mengubah format file permodelan dari *.sldasm menjadi *.STEP, file model tersebut kemudian diimpor ke dalam perangkat lunak ANSYS 18.1. Pada program ANSYS 18.1, permodelan jib tower crane Potain MD900 diberikan pengaturan yaitu size function diatur adaptive, ukuran elemen yaitu sebesar 100mm, dengan relevance center medium, span angle center medium, dan smoothing medium. Dari proses meshing yang dilakukan, diperoleh hasil yaitu terdapat 493.200 elements dan

964.712 nodes. Hasil meshing dari permodelan jib tower crane dapat dilihat pada gambar 4.10



Gambar 4.10. Hasil Meshing Jib Tower Crane Potain MD900

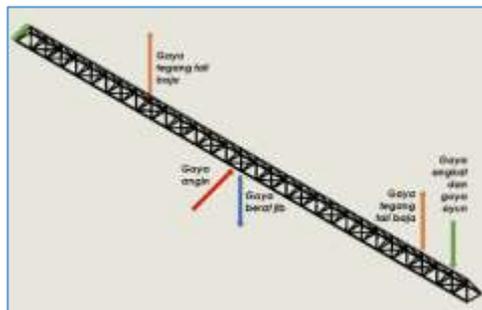
Setelah meshing selesai dilakukan, maka langkah selanjutnya adalah menentukan gaya-gaya yang akan diberikan pada proses simulasi. Pada penelitian ini, digunakan 5 titik dengan panjang tertentu pada proses simulasi guna mencari tegangan maksimum. 5 titik tersebut adalah pada panjang jib 21,1 meter, 30 meter, 40 meter, 50 meter, dan 60 meter. Gaya yang akan diberikan merupakan gaya berat dari jib sendiri, gaya tegang tali, gaya ayun, dan gaya angin yang selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Panjang, Beban, dan Gaya yang Akan Digunakan pada Proses Simulasi.

Panjang Jib (m)	Beban (kg)	Gaya Angin (N)	Gaya Tegang Tali (N)	Gaya Ayun (N)
60,0	13.100	42.069,182	128.548,99	141.48
50,0	17.300	42.069,182	169.763,17	186.84
40,0	23.500	42.069,182	230.603,15	253.8
30,0	32.600	42.069,182	319.900,54	352.08
21,1	50.000	42.069,182	490.645,00	540

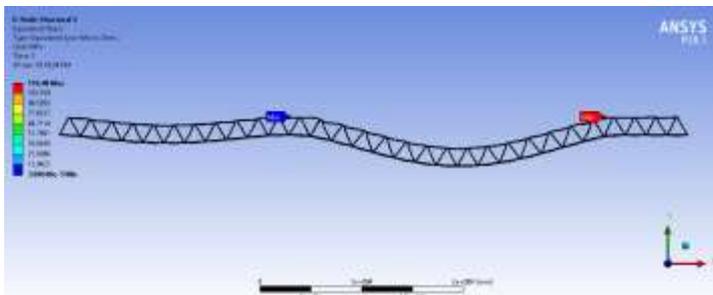
Setelah mengetahui beban, gaya, dan jarak yang akan digunakan dalam proses simulasi, maka selanjutnya adalah menginput gaya tersebut dalam fitur static structural yang terdapat pada ANSYS 18.1. Proses simulasi kemudian dilakukan dengan menggunakan fitur solution.

Analisa pertama adalah dengan memberikan beban sebesar 13.100 kg pada jarak 60 meter. Gaya berat jib tower crane, gaya angin, gaya angkat dan gaya ayun diberikan pada jib tower crane seperti pada gambar 4.11

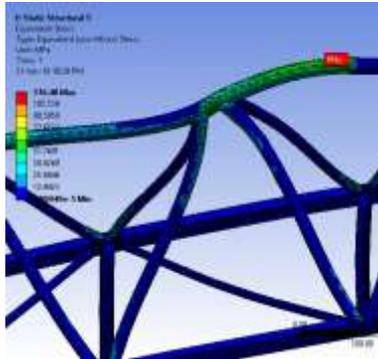


Gambar 4.11 Pemberian Input Gaya pada Pembebanan 13.100 kg pada jarak 60 meter

Dari hasil simulasi yang dilakukan dengan beban sebesar 13.100 kg pada jarak 60 meter, didapat hasil seperti pada gambar 4.12.

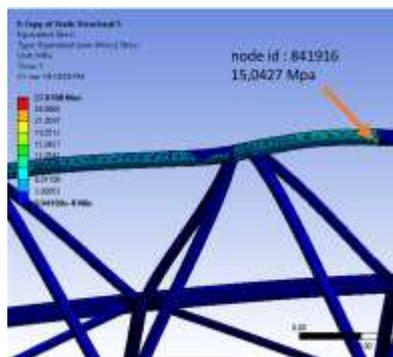


Gambar 4.12 Hasil Simulasi dengan Beban 13.100 kg pada jarak 60 meter

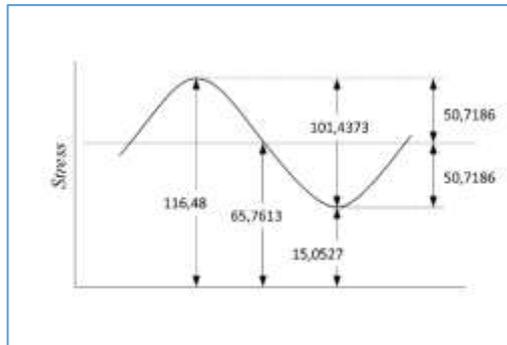


Gambar 4.13 Tegangan saat Beban 13.100 kg pada jarak 60 meter pada nodal 841916

Pada gambar 4.12 dapat diketahui bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada jib tower crane Potain MD 900 adalah sebesar 116,48 Mpa. Dapat dilihat pada gambar 4.13, tegangan tersebut terjadi pada jib berada di nodal nomor 841916. sedangkan tegangan pada kondisi minimum yang terjadi pada nodal tersebut adalah saat tidak diberi pembebanan yaitu 15,0427 Mpa, seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.14. Tegangan maksimum dan minimum dalam satuan Mpa yang terjadi juga dapat dilihat pada siklus tegangan seperti gambar 4.15.

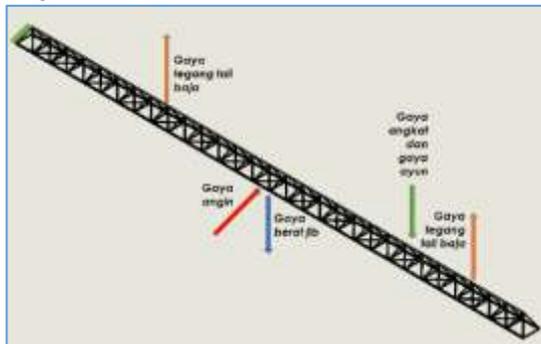


Gambar 4.14 Tegangan saat Kondisi Minimum pada nodal 841916



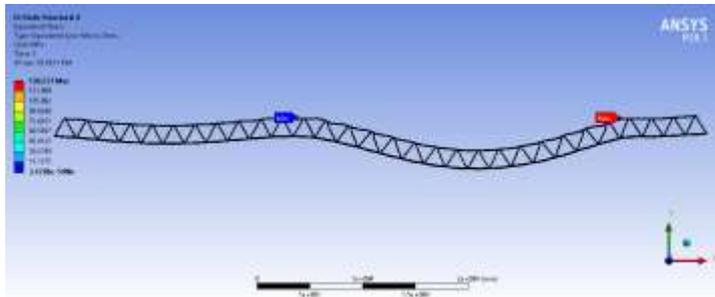
Gambar 4.15 Siklus Tegangan pada Pembebanan 13.100 kg pada jarak 60 meter

Analisa kedua adalah dengan memberikan beban sebesar 17.300 kg pada jarak 50 meter. Gaya berat jib tower crane, gaya angin, gaya angkat dan gaya ayun diberikan pada jib tower crane seperti pada gambar 4.16

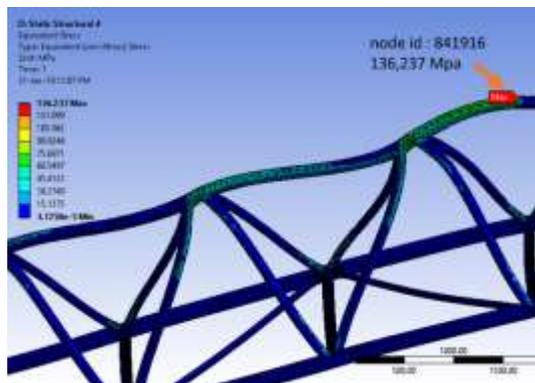


Gambar 4.16 Pemberian Input Gaya pada Pembebanan 17.300 kg pada jarak 50 meter

Dari hasil simulasi yang dilakukan dengan beban sebesar 17.300 kg pada jarak 50 meter, didapatkan hasil seperti pada gambar 4.17.

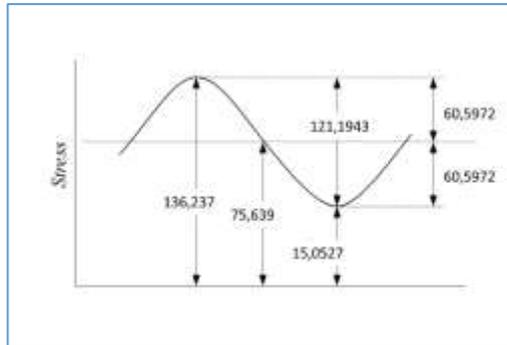


Gambar 4.17 Hasil Simulasi dengan Beban 17.300 kg pada jarak 50 meter



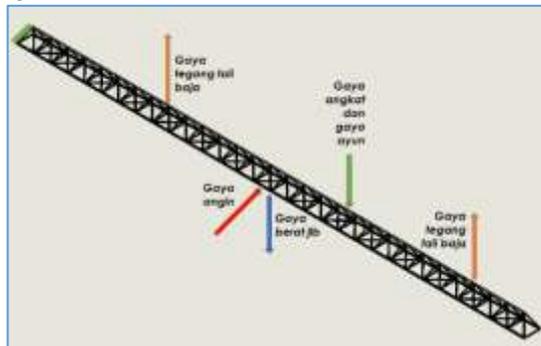
Gambar 4.18 Tegangan saat Beban 17.300 kg pada jarak 50 meter pada nodal 841916

Pada gambar 4.17 dapat diketahui bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada jib tower crane Potain MD 900 adalah sebesar 136,237 Mpa. Dapat dilihat pada gambar 4.18, tegangan tersebut berada di nodal nomor 841916. sedangkan tegangan minimum yang terjadi pada nodal tersebut saat tidak diberi pembebanan adalah 15,0427 Mpa, seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.14. Tegangan maksimum dan minimum dalam satuan Mpa yang terjadi juga dapat dilihat pada siklus tegangan seperti gambar 4.19.



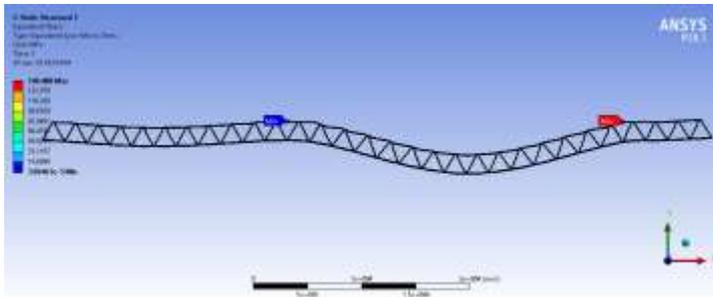
Gambar 4.19 Siklus Tegangan pada Pembebanan 17.300 kg pada jarak 50 meter

Analisa ketiga adalah dengan memberikan beban sebesar 23.500 kg pada jarak 40 meter. Gaya berat jib tower crane, gaya angin, gaya angkat dan gaya ayun diberikan pada jib tower crane seperti pada gambar 4.20.



Gambar 4.20 Pemberian Input Gaya pada Pembebanan 23.500 kg pada jarak 40 meter

Dari hasil simulasi yang dilakukan dengan beban sebesar 23.500 kg pada jarak 40 meter, didapatkan hasil seperti pada gambar 4.21.

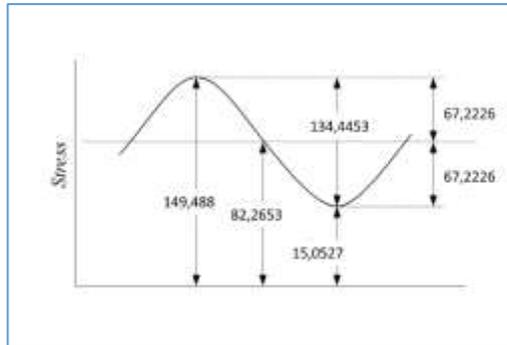


Gambar 4.21 Hasil Simulasi dengan Beban 23.500 kg pada jarak 40 meter



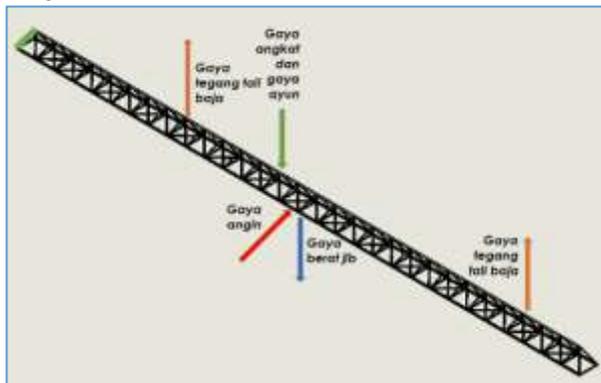
Gambar 4.22 Tegangan saat Beban 23.500 kg pada jarak 40 meter pada nodal 841916

Pada gambar 4.21 dapat diketahui bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada jib tower crane Potain MD 900 adalah sebesar 149,488 Mpa. Dapat dilihat pada gambar 4.22, tegangan tersebut berada di nodal nomor 841916. sedangkan tegangan saat kondisi minimum yang terjadi pada nodal tersebut adalah saat tidak diberi pembebanan yaitu 15,0427 Mpa, seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.14. Tegangan maksimum dan minimum dalam satuan Mpa yang terjadi juga dapat dilihat pada siklus tegangan seperti gambar 4.23.



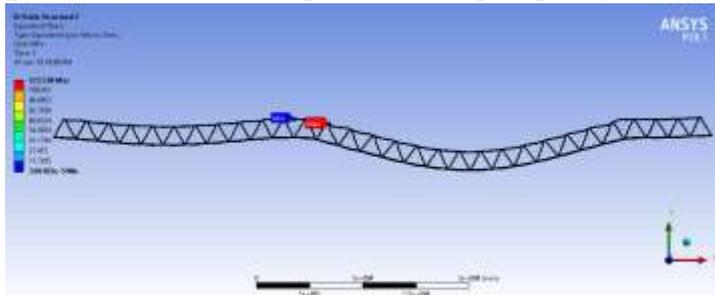
Gambar 4.23 Siklus Tegangan pada Pembebanan 23.500 kg pada jarak 40 meter

Analisa keempat adalah dengan memberikan beban sebesar 32.600 kg pada jarak 30 meter. Gaya berat jib tower crane, gaya angin, gaya angkat dan gaya ayun diberikan pada jib tower crane seperti pada gambar 4.24.

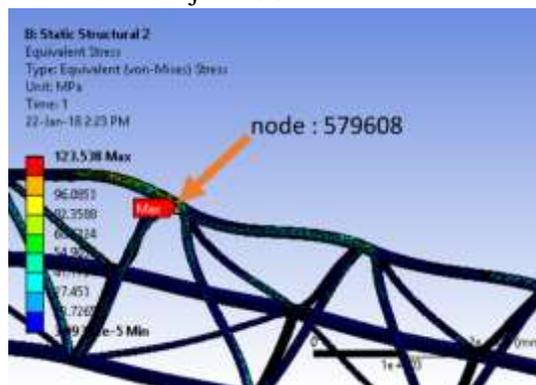


Gambar 4.24 Pemberian Input Gaya pada Pembebanan 32.600 kg pada jarak 30 meter

Dari hasil simulasi yang dilakukan dengan beban sebesar 32.600 kg pada jarak 30 meter, didapatkan hasil seperti pada gambar 4.25.



Gambar 4.25 Hasil Simulasi dengan Beban 32.600 kg pada jarak 30 meter



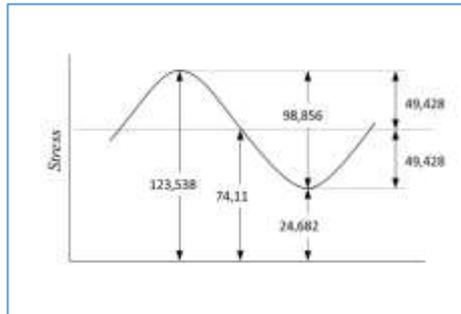
Gambar 4.26 Tegangan saat Beban 32.600 kg Pada Jarak 30 meter pada Nodal 579608

Pada gambar 4.25 dapat diketahui bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada jib tower crane Potain MD 900 adalah sebesar 123,538 Mpa. Dapat dilihat pada gambar 4.22, tersebut berada di nodal nomor 579608. sedangkan tegangan saat kondisi minimum yang terjadi pada nodal tersebut adalah saat tidak diberi pembebanan yaitu 24,0682 Mpa, seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.27. Tegangan maksimum dan minimum dalam satuan

Mpa yang terjadi juga dapat dilihat pada siklus tegangan seperti gambar 4.28.

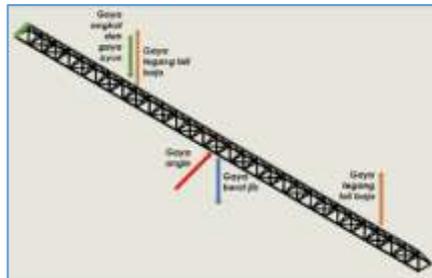


Gambar 4.27 Tegangan saat Kondisi Minimum pada Nodal 579608



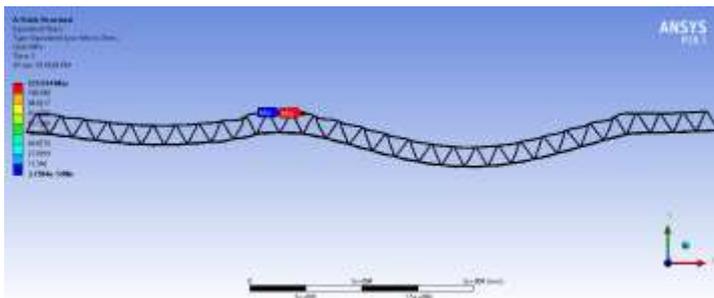
Gambar 4.28 Siklus Tegangan pada Pembebanan 32.600 kg pada jarak 30 meter

Analisa kelima adalah dengan memberikan beban sebesar 50.000 kg pada jarak 21,1 meter. Gaya berat jib tower crane, gaya angin, gaya angkat dan gaya ayun diberikan pada jib tower crane seperti pada gambar 4.29.



Gambar 4.29 Pemberian Input Gaya pada Pembebanan 50.000 kg pada jarak 21.1 meter

Dari hasil simulasi yang dilakukan dengan beban sebesar 50.000 kg pada jarak 21.1 meter, didapatkan hasil seperti pada gambar 4.30.

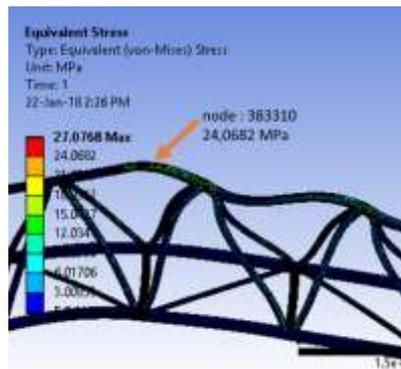


Gambar 4.30 Hasil Simulasi dengan Beban 50.000 kg pada jarak 21.1 meter

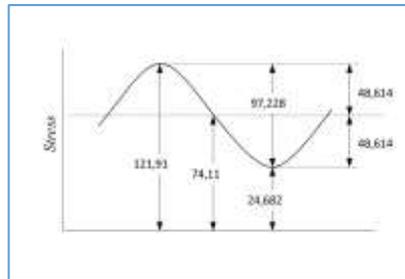
Pada gambar 4.30 dapat diketahui bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada jib tower crane Potain MD 900 adalah sebesar 121,91 Mpa. Dapat dilihat pada gambar 4.31, tegangan tersebut terjadi pada nodal nomor 383310. Tegangan pada kondisi minimum yang terjadi pada nodal tersebut saat tidak diberi pembebanan adalah 24,0682 Mpa, seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.32. Tegangan maksimum dan minimum dalam satuan Mpa yang terjadi juga dapat dilihat pada siklus tegangan seperti gambar 4.33.



Gambar 4.31 Tegangan saat Beban 50.000 kg pada Jarak 21.1 meter pada Nodal 383310.



Gambar 4.32 Tegangan saat Kondisi Minimum pada Nodal 383310



Gambar 4.33 Siklus Tegangan pada Pembebanan 50.000 kg pada jarak 21.1 meter

Hasil dari simulasi pada 5 titik berbeda menghasilkan tegangan maksimum dan tegangan minimum yang berbeda pula. Hasil dari simulasi 5 titik berbeda dengan beban tertentu dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Tegangan Maksimum dan Minimum pada Masing-Masing Titik

Panjang Jib (m)	Beban (kg)	Teg. Maks (Mpa)	Teg Min (Mpa)	Nodal	Amplitudo
60,0	13.100	116,48	15,0427	841916	50,71865
50,0	17.300	136,237	15,0427	841916	60,59715
40,0	23.500	149,488	15,0427	841916	67,22265
30,0	32.600	123,538	24,6820	579608	49,428
21,1	50.000	121,91	24,6820	383310	48,614

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa tegangan maksimum yang paling besar terjadi pada saat pembebanan 23.500 kg pada jarak 40 meter yaitu sebesar 149,488 Mpa. Tegangan maksimum tersebut terjadi pada pada nodal nomor 841916.

Apabila dianalisa secara statis, dengan material ST 37-2 yang memiliki tegangan yield sebesar 235 Mpa dan dengan angka keamanan 1,5 sehingga tegangan ijin menjadi sebesar 165,67 Mpa, tegangan maksimum terbesar yang terjadi masih masuk dalam kategori aman. Namun pada kenyataannya, tower crane

mendapatkan beban secara dinamis yaitu beban fatigue. Oleh karena itu, walaupun secara statis dapat tower crane dikategorikan aman, perlu dilakukan analisa beban secara dinamis menggunakan analisa beban fatigue.

Setelah mengetahui tegangan maksimum dan tegangan minimum yang terjadi, maka umur dari suatu titik dapat diketahui dengan analisa fatigue. Dalam penelitian ini, digunakan analisa fatigue Soderberg. Perhitungan umur dalam cycle adalah sebagai berikut

$$S_{yp} = 235 \text{ MPa}$$

$$SF = 1,5$$

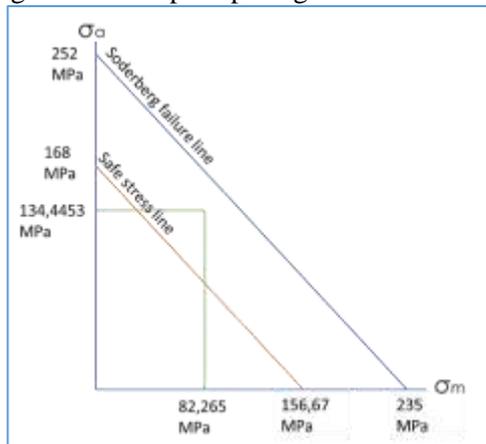
$$K_f = 2$$

$$\Delta\sigma = 134,4453 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{eq} = \frac{235 \text{ MPa}}{1,5} = 156,67 \text{ MPa}$$

$$S_e = 252 \text{ MPa}$$

Dari perhitungan tersebut, maka dapat diketahui posisi keamanan dari titik yang dianalisa seperti pada gambar 4.34



Gambar 4.34 Posisi Tegangan pada Diagram Soderberg failure line

Dari gambar 4.32 dapat diketahui bahwa tegangan yang dihasilkan sudah berada pada posisi di bawah Soderberg *failure line*, namun berada di atas soderberg safe line, sehingga tegangan yang dihasilkan tidak masuk kategori aman.

Untuk menghitung umur siklus dari jib, akan dilakukan berdasarkan plot kurva S-N untuk *material* ini menurut gambar 2.14. Dengan $A = 67,5 \times 10^8$ dan $m = 3$ sehingga N dapat diketahui sebagai berikut. Rentang tegangan $\Delta\sigma$ diubah dari satuan MPa ke Ksi terlebih dahulu.

$$N = \frac{A}{\Delta\sigma^m}$$

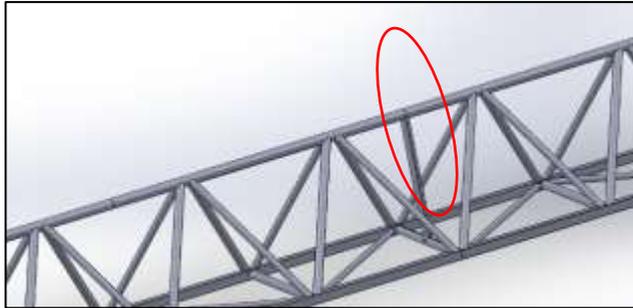
$$N = \frac{67,5 \times 10^8}{19,499677^3}$$

$$N = 910.377 \text{ cycle}$$

Hasil perhitungan tersebut menunjukkan umur siklus yang dimiliki *jib tower crane* tersebut yaitu sebesar 910.377. Hasil analisa struktur jib tower crane Potain MD 900 yang menyatakan bahwa tower crane tidak aman ini menandakan perlunya redesign secara struktur.

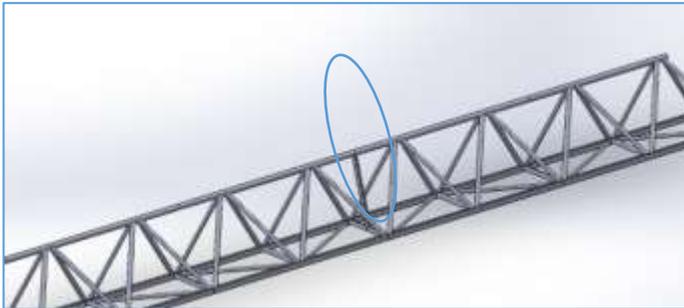
4.5 Permodelan Redesign Tower Crane Potain MD900

Pada permodelan menggunakan perangkat lunak solidwork, terlebih dahulu ditentukan dimensi dari profil bagian redesign jib tower crane. Proses redesign yang dilakukan adalah dengan penambahan seamless pipe dengan diameter 110 milimeter pada bagian dalam jib yang bagian atasnya dihubungkan dengan tali baja pertama seperti pada gambar 4.35. Hal ini dilakukan karena letak 2 titik kritis yaitu nodal nomor 579608 dan 383310 berada di dekat koneksi tali baja dan jib.



Gambar 4.35 Penambahan Seamless Pipe pada Bagian Dalam Jib

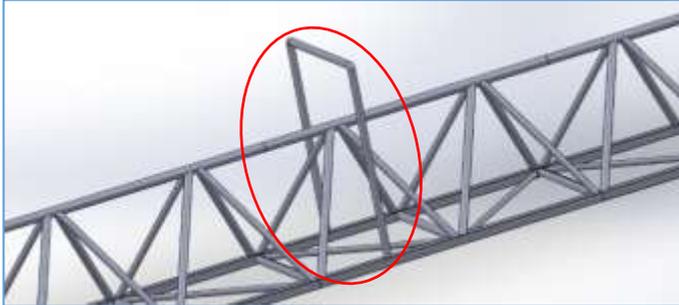
Penambahan seamless pipe juga dilakukan pada bagian dalam jib yang bagian atasnya dihubungkan dengan tali baja kedua seperti pada gambar 4.36. Hal ini dilakukan karena 3 titik kritis berada pada nodal nomor 841916 yang dekat dengan koneksi jib ke tali baja.



Gambar 4.36 Penambahan Seamless Pipe pada Bagian Dalam Jib

Selain menambahkan seamless pipe pada bagian dalam jib, hal ini juga dilakukan pada bagian luar jib. Seamless pipe ditambahkan pada rangka luar jib sehingga membentuk bingkai persegi panjang yang kemudian pada ujungnya akan dihubungkan dengan tali baja yang dikaitkan pada tower top seperti pada gambar 4.37. Hal ini dilakukan karena pada titik tersebut, terjadi defleksi

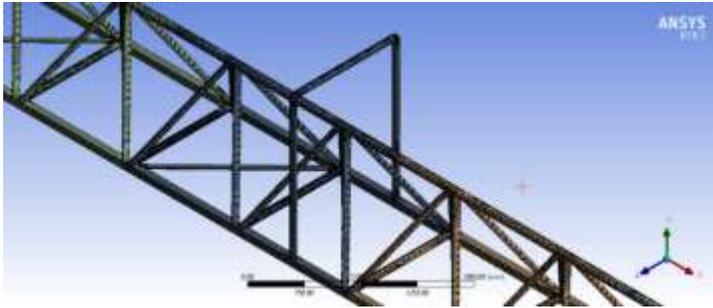
paling besar sehingga pada proses redesign diberikan support agar momen bending yang terjadi berkurang.



Gambar 4.37 Penambahan Seamless Pipe pada Rangka Jib

4.6 Analisa Kekuatan Material Hasil Redesign Menggunakan Metode Elemen Hingga dengan ANSYS

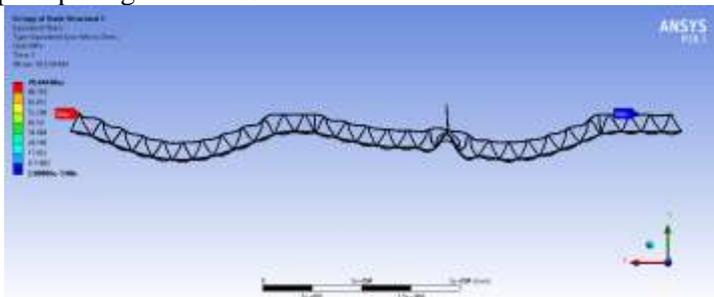
Analisis kekuatan material bagian jib tower crane diawali dengan membuat mesh permodelan dalam perangkat lunak ANSYS 18.1. Dimulai dengan mengubah format file permodelan hasil redesign dari *.sldasm menjadi *.STEP, file model tersebut kemudian diimpor ke dalam perangkat lunak ANSYS 18.1. Pada program ANSYS 18.1, permodelan hasil redesign jib tower crane Potain MD900 diberikan pengaturan yaitu size function diatur adaptive, ukuran elemen yaitu sebesar 100mm, dengan relevance center medium, span angle center medium, dan smoothing medium. Dari proses meshing yang dilakukan, diperoleh hasil yaitu terdapat 505.731 elements dan 990.215 nodes. Hasil meshing dari permodelan jib tower crane dapat dilihat pada gambar 4.38.



Gambar 4.38 Hasil Meshing Redesign Jib Tower Crane Potain MD900

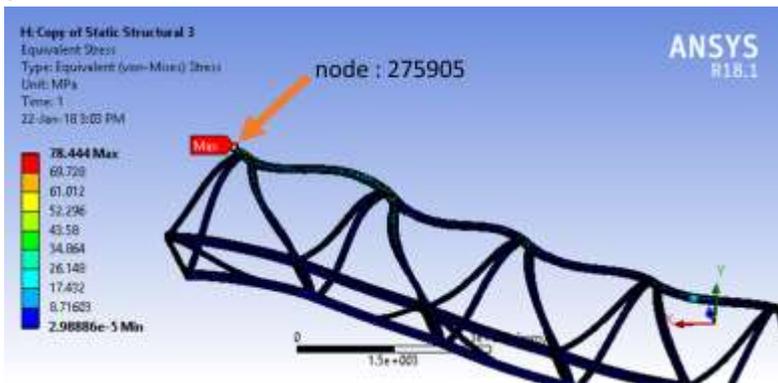
Setelah meshing selesai dilakukan, maka langkah selanjutnya adalah menentukan gaya-gaya yang akan diberikan pada proses simulasi. Pada penelitian hasil redesign ini, digunakan 1 titik yang mengakibatkan tegangan maksimum dan umur terpendek. Satu titik tersebut adalah pada saat jarak 40 meter dan dengan pembebanan 23.500 kg.

Setelah mengetahui beban, gaya, dan jarak yang akan digunakan dalam proses simulasi, maka selanjutnya adalah menginput gaya tersebut dalam fitur static structural yang terdapat pada ANSYS 18.1. Proses simulasi kemudian dilakukan dengan menggunakan fitur solution. Dari hasil simulasi yang dilakukan dengan beban sebesar 23.500 kg pada jarak 40 meter, didapat hasil seperti pada gambar 4.39.

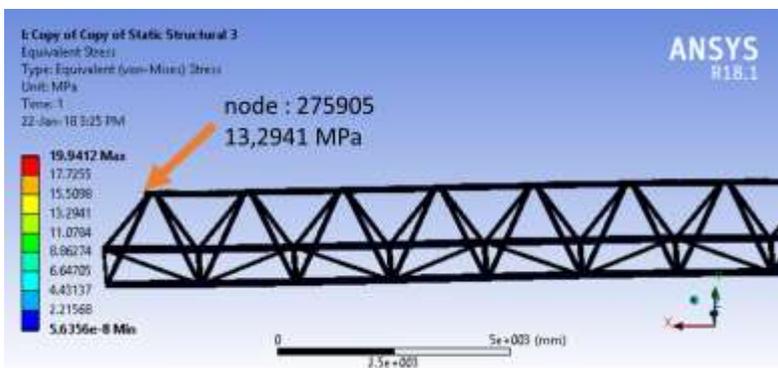


Gambar 4.39 Hasil Simulasi Redesign dengan Beban 23.500 kg pada jarak 40 meter

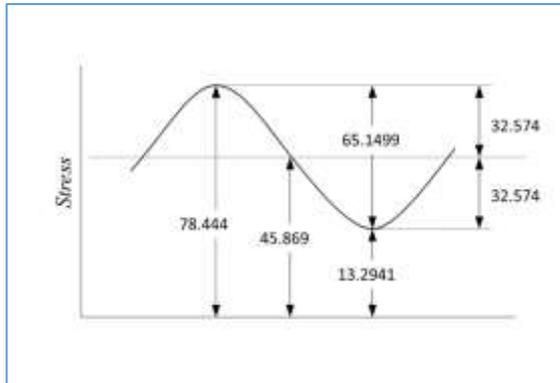
Pada gambar 4.39 dapat diketahui bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada jib tower crane Potain MD 900 adalah sebesar 78,444 Mpa. Dapat dilihat pada gambar 4.40, tegangan maksimum yang terjadi pada jib berada di nodal nomor 275905. Tegangan minimum yang terjadi pada nodal tersebut saat tidak diberi pembebanan adalah 13,2941 Mpa, seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.41. Tegangan maksimum dan minimum dalam satuan Mpa yang terjadi juga dapat dilihat pada siklus tegangan seperti gambar 4.42.



Gambar 4.40 Hasil Simulasi Hasil Redesign dengan Beban 23.500 kg pada jarak 40 meter pada nodal 275905



Gambar 4.41 Tegangan saat kondisi inimum pada Nodal 275905



Gambar 4.42 Siklus Tegangan pada Pembebanan 23.500 kg pada jarak 40 meter

Setelah mengetahui tegangan maksimum dan tegangan minimum yang terjadi, maka umur dari suatu titik dapat diketahui dengan analisa fatigue. Dalam penelitian ini, digunakan analisa fatigue Soderberg. Perhitungan umur dalam cycle adalah sebagai berikut

$$Syp = 235 \text{ MPa}$$

$$SF = 1,5$$

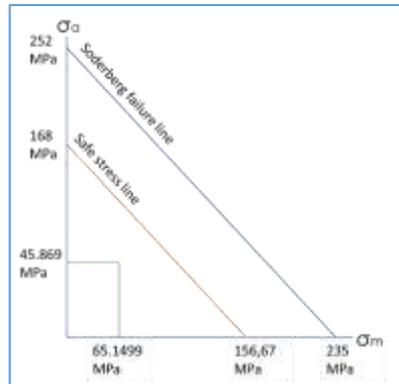
$$Kf = 2$$

$$\Delta\sigma = 134,4453 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{eq} = \frac{235 \text{ MPa}}{1,5} = 156,67 \text{ MPa}$$

$$Se = 252 \text{ MPa}$$

Dari perhitungan tersebut, maka dapat diketahui posisi keamanan dari titik yang dianalisa seperti pada gambar 4.33



Gambar 4.43. Posisi Tegangan pada Diagram Soderberg failure line

Dari gambar 4.43 dapat diketahui bahwa tegangan yang dihasilkan sudah berada pada posisi di bawah Soderberg *failure line*, bahkan dibawah *safe stress line*. Sehingga tegangan yang dihasilkan sudah masuk kategori lebih aman.

Untuk menghitung umur siklus dari jib, akan dilakukan berdasarkan plot kurva S-N untuk *material* ini menurut gambar 2.14. Dengan $A = 67,5 \times 10^8$ dan $m = 3$ sehingga N dapat diketahui sebagai berikut. Rentang tegangan $\Delta\sigma$ diubah dari satuan MPa ke Ksi terlebih dahulu.

$$N = \frac{A}{\Delta\sigma^m}$$

$$N = \frac{67,5 \times 10^8}{9,4492^3}$$

$$N = 2.602.671 \text{ cycle}$$

Hasil perhitungan tersebut menunjukkan umur siklus yang dimiliki *jib tower crane* tersebut yaitu sebesar 2.602.671 cycle.

4.7 Perbandingan Desain yang Ada dengan Desain Baru

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan, maka dapat diketahui perbandingan antara desain yang ada saat ini dengan

desain baru. Hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6. Perbandingan Desain Saat Ini dengan Desain Baru

Pembanding	Desain saat ini	Desain baru
Material	ST 37-2	ST 37-2
Tegangan Maksimum (Mpa)	149,488	78.444
Tegangan Minimum (Mpa)	15,0427	13,2941
Umur (Cycle)	910.377	2.602.671
Kategori secara Statis	Aman	Aman
Kategori secara dinamis	Tidak Aman	Aman

Dari tabel tersebut dapat dilihat pada desain saat ini, tegangan maksimum yang terjadi pada tower crane Potain MD 900 adalah sebesar 149,488 Mpa, sedangkan tegangan minimumnya adalah sebesar 15,0427. Umur dari jib tower crane pada desain saat ini adalah 910.377 cycle. Secara statis, desain jib tower crane saat ini dapat dikatakan aman. Namun, secara dinamis, jib tower crane dapat dikatakan tidak aman. Maka dari itu, diperlukan redesign jib tower crane Potain MD 900.

Pada desain baru hasil redesign diketahui bahwa tegangan maksimum yang terjadi adalah sebesar 78,444 Mpa, sedangkan tegangan minimumnya adalah sebesar 13,2941. Umur dari jib tower crane dengan desain baru adalah sebesar 2.602.671 cycle. Secara statis, jib tower crane dengan desain baru masuk dalam kategori aman. Bahkan, secara dinamis jib tower crane dengan desain baru masuk dalam kategori aman.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis struktur jib tower crane potain MD 900 yang berdasarkan studi literatur analisis data, dan simulasi kekuatan struktur serta *redesign* jib tower crane Potain MD 900 dengan menggunakan FEM adalah sebagai berikut :

1. Dari hasil simulasi yang dilakukan, didapatkan kekuatan struktur dari desain saat ini yaitu berupa tegangan maksimum pada saat pembebanan 23.500 kg pada jarak 40 meter sebesar 149,488 Mpa dan tegangan minimum sebesar 15,0427 Mpa serta umur sebesar 910.377cycle. Secara statis jib tower crane dengan desain saat ini dikatakan aman, namun secara dinamis dapat dikategorikan gagal.
2. Dalam proses redesign, digunakan seamless pipe sebagai support pada titik yang mengalami tegangan maksimum. Selain itu, digunakan frame support berbentuk segiempat untuk mengatasi bending pada pusat massa. Dari hasil simulasi yang dilakukan, didapatkan kekuatan struktur dari desain baru hasil redesign yaitu berupa tegangan maksimum pada saat pembebanan 23.500 kg pada jarak 40 meter sebesar 78,444 Mpa dan tegangan minimum sebesar 13,2941 Mpa serta umur sebesar 2.602.671cycle. Secara statis jib tower crane dengan desain baru dikatakan aman, secara dinamis juga sudah dapat dikategorikan aman.
3. Dari hasil simulasi yang dilakukan, dapat dikatakan bahwa secara struktur jib tower crane hasil redesign lebih baik daripada desain saat ini. Hal ini ditunjukkan dengan tegangan yang terjadi baik maksimum dan minimum pada jib tower crane dengan desain baru lebih kecil nilainya dibandingkan dengan desain saat ini. Umur struktur jib tower crane dengan desain baru lebih lama daripada umur struktur jib tower crane dengan desain saat ini. Berdasarkan analisa beban secara

dinamis, jib tower crane dengan desain baru dapat dikatakan aman, sedangkan jib tower crane dengan desain saat ini dapat dikatakan gagal.

5.2 Saran

1. Karena pada penelitian ini kekuatan struktur hanya dianalisis pada bagian jib saja, maka sebaiknya untuk penelitian selanjutnya juga dianalisis mengenai counterjib dan counterweight.
2. Untuk crane yang ketinggiannya mencapai lebih dari 80 meter sebaiknya diberikan tempat peristirahatan bagi operator setiap 10 meter.
3. Untuk elemen dan nodal yang mendekati nol, pada penelitian selanjutnya sebaiknya dipertimbangkan untuk modifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bintoro, Rinto E. 2008. *Analisa Tegangan Pada Struktur Tower Crane Dengan Menggunakan ANSYS 8.0*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [2] Pranatha, Komang M. 2012. *Studi Perbandingan Analisa Desain Fourangle Tower Crane dengan Analisa Desain Triangle Tower Crane Menggunakan Program Ansys 12.0*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [3] Build Safe Life Safe Conference, 2014. *Crane Safety*. New York: NYC Buildings
- [4] Norman-Spencer. 2012. *Types of Cranes*. California: Norman-Spencer Insurance Agency
- [5] Tarigan, Brian Pebrinta. 2011. *Perencanaan Tower Crane dengan Kapasitas Angkat 7 Ton, Tinggi Angkat 55 Meter, Radius 60 Meter untuk Pembangunan Gedung Bertingkat*. (Abstrak). Medan: Universitas Sumatera Utara
- [6] <https://www.ilmutekniksipil.com/keselamatan-dan-kesehatan-kerja/keselamatan-dan-kesehatan-kerja-alat-angkat> (diakses 30 Oktober 2017)
- [7] Potain MD 900 Database. 1997. Deutschland.
- [8] Moaveni, Saeed. 1999. *Finite Element Analysis: Theory and Application with ANSYS*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- [9] Bannantine, Julie A. Dan Jess J. Comer. 1990. *Fundamental of Metal Fatigue Analysis*. New Jersey : Prentice Hall

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BIODATA PENULIS



Sarah Ega Agustin, dilahirkan di Lumajang, 25 Agustus 1996. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Gatut Priyambodo dan Ekaning Yuliarti Yakobus. Penulis mengenyam pendidikan di SD Negeri Pepelegi 2 Waru, Sidoarjo pada tahun 2002-2008. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Taman Sidoarjo dalam *Internasional Based Program* selama tahun 2008-2011. Penulis kemudian mengambil jalur *Acceleration Based*

Program pada saat mengenyam pendidikan di SMA Negeri 1 Sidoarjo pada tahun 2011-2013.

Pada tahun 2013 penulis melanjutkan pendidikan tingginya di Jurusan Teknik Mesin FTI ITS, dengan bidang studi Otomotif. Selama menjadi mahasiswa, penulis memiliki pengalaman kerja praktek di CV. Karya Hidup Sentosa, sebelum akhirnya melakukan penelitian tugas akhir di PT. Dok dan Perkapalan Surabaya serta PT Lelangon Crane.

Penulis aktif dalam kegiatan kemahasiswaan dengan menjadi Staf Divisi Internal Mesin Music Club 2014-2015, dan Bendahara Mesin Music Club 2015-2016. Penulis dapat dihubungi melalui email sarahxega@gmail.com

Halaman ini sengaja dikosongkan.