



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM 141585

ANALISA PERHITUNGAN DAN SIMULASI STATIK DAN *FATIGUE* PADA TIANG PENYANGGA SISTEM *MONOCABLE ROPEWAY*

AULIA RIZQIAPUTRI VIRIANI
NRP 02111440000121

Dosen Pembimbing
Ir. Yusuf Kaelani, M.Eng

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



TUGAS AKHIR – TM 141585

**ANALISA PERHITUNGAN DAN SIMULASI STATIK
DAN *FATIGUE* PADA TIANG PENYANGGA SISTEM
*MONOCABLE ROPEWAY***

AULIA RIZQIAPUTRI VIRIANI
NRP 0211144000121

Dosen Pembimbing
Ir. Yusuf Kaelani, M.Eng

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT – TM 141585

**STATIC AND FATIGUE CALCULATION AND
SIMULATION ANALYSIS OF POLE IN
MONOCABLE ROPEWAY SYSTEM**

AULIA RIZQIAPUTRI VIRIANI
NRP 02111440000121

Supervisor
Ir. Yusuf Kaelani, M.Eng

Department of Mechanical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**ANALISA PERHITUNGAN STATIK DAN *FATIGUE*
PADA TIANG PENYANGGA SISTEM *MONOCABLE*
*ROPEWAY***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

AULIA RIZQIAPUTRI VIRIANI
NRP. 02 11 14 4000 121

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc.E
NIP. 196511031990021001 (Pembimbing)
2. Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA
NIP. 196508101991021001 (Penguji I)
3. Ir. Julendra Bambang Ariatedja, M.T.
NIP. 196807061999031004 (Penguji II)
4. Ari Kurniawan Saputra, S.T.,M.T.
NIP. 198604012015041001 (Penguji III)

SURABAYA

JULI, 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**ANALISA PERHITUNGAN DAN SIMULASI STATIK DAN
FATIGUE PADA TIANG PENYANGGA SISTEM
MONOCABLE ROPEWAY**

Nama : Aulia Rizqiaputri Viriani
NRP : 02111440000121
Departemen : Teknik Mesin, FTI ITS
Pembimbing : Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E

ABSTRAK

Tanaman kelapa sawit merupakan salah satu tanaman yang menghasilkan keuntungan cukup besar dalam perekonomian Indonesia. Meningkatkan efektivitas alat angkut menjadi salah satu pertimbangan untuk memperbaiki sistem produksi dalam perkebunan kelapa sawit. Dalam penggunaan kedua sarana transportasi yang saat ini digunakan terdapat beberapa kekurangan seperti dibutuhkannya suatu proses pengadaan jalan, diperlukan juga adanya ketersediaan bahan bakar, dan tenaga kerja pengoperasian. Upaya untuk meningkatkan efektivitas dalam proses produksi adalah dengan memanfaatkan sistem *aerial cableway* sebagai sistem transportasi.

Pada penelitian tugas akhir ini, akan dilakukan analisa kekuatan struktur tiang penyangga (*tower*) pada *monocable ropeway*. Perhitungan analisa kekuatan ini dilakukan dengan bermacam posisi tertentu untuk melihat pengaruh adanya kemiringan dan belokan pada jalur transportasi terhadap beban yang diterima oleh tiang penyangga. Pertama-tama dilakukan pengumpulan data yang sekiranya berhubungan dengan analisa tiang penyangga pada *monocable ropeway* sehingga dapat diketahui spesifikasi dan perhitungan yang digunakan dalam menganalisa kekuatan tiang penyangga. Kemudian dilakukan perhitungan manual dan dibandingkan dengan hasil perhitungan

pada desain tiang penyangga yang telah dilakukan oleh perusahaan. Dan langkah selanjutnya adalah simulasi dengan menggunakan software Ansys.

Dari hasil perhitungan matematis mengenai tegangan Von Mises, dapat diketahui bahwa tiang dengan berbagai kondisi dapat dikatakan aman, sedangkan dari hasil simulasi, didapatkan bahwa tiang dengan berbagai kondisi tidak aman pada sambungannya, akan tetapi tiang lintasan membelok tidak aman pada tiangnya. Untuk analisa daya dukung tanah, tanah dapat dikatakan mampu menahan tiang dengan baik dalam setiap kondisi. Sedangkan pada analisa *buckling*, tegangan maksimum *buckling* yang terjadi pada tiang lebih kecil daripada *yield strength* material sehingga tiang aman dari *buckling*. Dan pada analisa *fatigue*, diketahui umur tiang pada kondisi belok, yakni 568862 siklus.

Kata kunci: Tiang penyangga, *monocable ropeway*, tegangan maksimum

STATIC AND FATIGUE CALCULATION AND SIMULATION ANALYSIS OF POLE ON MONOCABLE ROPEWAY SYSTEM

Name : Aulia Rizqiaputri Viriani
NRP : 02111440000121
Department : Teknik Mesin, FTI ITS
Supervisor : Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E

ABSTRACT

Palm oil is one of the most profitable crops in the Indonesian economy. Increasing the effectiveness of conveyance is one of the considerations to improve the production system in oil palm plantations. In the use of both transportation facilities currently in use there are some disadvantages such as the need for a road procurement process, fuel availability and operating manpower are required. To improve effectiveness in the production process, PT Dharma Satya Nusantara 2 considers to utilize the cableway aerial system as a transportation system.

In this final project, will be analyzed the strength of tower pole structure on monocable ropeway. The calculation of this power analysis is carried out in a variety of positions to see the effect of slope and turn on the transport path to the load received by the buffer pole. First of all, data collection is done with relation to buffer analysis on monocable ropeway so it can know the specification and calculation which is used in analyzing the strength of supporting pole. The next step is doing the manual calculations and compared with the results of calculations on the design of the pole buffer that has been done by the company. And the next step is simulation using Ansys software.

From the results of mathematical calculations on Von Mises stress, it can be seen that the pole with various conditions can be said to be safe, while from the simulation results, it is found that the pole with various conditions is not safe at the

connection, but the pole turns unsafe on the pole. For the analysis of soil bearing capacity, soil can be said to hold the pole well in every condition. While in buckling analysis, the maximum buckling stress that occurs on the pole is smaller than the yield strength of the material so the pole is safe from buckling. And on the fatigue analysis, it is known that the age of the pole on the turning conditions, ie 568862 cycles.

Kata kunci: Pole analysis, monocable ropeway, maximum stress

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb,

Dengan mengucap puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini, dengan judul “Analisa Perhitungan dan Simulasi Statik dan *Fatigue* pada Tiang Penyangga Sistem *Monocable Ropeway*”. Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan Tingkat Sarjana (program Studi Strata I) pada Departemen Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selain itu penulis juga dapat menambah wawasan dalam bidang analisa suatu material serta menerapkan pengetahuan yang diperoleh dibangku kuliah dengan kenyataan yang ada di lingkungan kerja.

Penulis menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna dan masih banyak kekurangan, maka dari itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak. Tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak, penulisan Tugas Akhir ini tidak mungkin akan terwujud, melalui kesempatan ini izinkan penulis menyampaikan ucapan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang tua yang telah memberi bimbingan utama, dan dukungan terbesar, serta tidak pernah putus dalam mendoakan.
2. Bapak Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc.E sebagai dosen pembimbing yang telah membimbing, serta memberikan arahan serta saran dalam penyusunan laporan ini.
3. Bapak Ir. Julendra Bambang Ariatedja, M.T. sebagai dosen pembimbing kedua yang telah bersedia meluangkan waktu untuk membimbing, serta memberikan arahan serta saran dalam penyusunan laporan ini.
4. Bapak Ir. Agus Sigit Pramono, DEA, Bapak Ari Kurniawan Saputra, S.T., M.T., dan Ibu Aida Annisa Amin S.T., M.T., sebagai dosen penguji yang telah memberikan berbagai saran dan masukan dalam penulisan laporan.

5. Bapak Mohamad Koeswono dan Bapak Eddy Yusuf Kusdira serta PT Dharma Satya Nusantara 2 yang telah bersedia direpotkan dalam pengambilan data yang diperlukan dalam penulisan Tugas Akhir.
6. Bapak Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, M.E. sebagai dosen wali yang telah memberikan bimbingannya selama kuliah.
7. Seluruh dosen, staf, dan karyawan Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember atas jasa-jasanya selama penulis menuntut ilmu.
8. Maria Rizqi Yudha Septiana sebagai partner dalam penyusunan Tugas Akhir.
9. Moh. Novan Ferdy R. sebagai salah satu teman yang bersedia membantu dalam pelaksanaan penyusunan laporan serta poster Tugas Akhir.
10. Teman-teman laboratorium Mekanika Benda Padat yang bersedia mengajarkan apabila penulis mendapat kesulitan.
11. Teman – teman angkatan 2014 dan berbagai angkatan
12. Bariq Fairuza Athallah sebagai adik yang bersedia meminjamkan pakaian dalam pelaksanaan siding Tugas Akhir.
13. Teman-teman PSM ITS serta teman-teman IFLS
14. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu selama ini.

Akhir kata, dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih dan semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkan.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb,

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJUAN PUSTAKA	5
2.1 Aerial Ropeway.....	5
2.2 Komponen <i>Aerial Ropeway</i>	7
2.3 Klasifikasi <i>Aerial Ropeway</i>	9
2.4 Hubungan Beban yang Terjadi pada Tali dengan Tiang Penyangga pada <i>Monocable Ropeway</i>	11
2.5 Analisa Tegangan.....	12
2.6 Desain Tiang pada <i>Monocable Ropeway</i> Perusahaan.....	15
2.6.1 Desain Tiang pada <i>Monocable Ropeway</i> dengan Arah Transportasi Lurus dan Kemiringan Tanah 0°	15
2.6.2 Desain Tiang pada <i>Monocable Ropeway</i> dengan Arah Transportasi Mengalami Pembelokan.....	18
2.6.3 Desain Tiang pada <i>Monocable Ropeway</i> dengan Kemiringan Tanah Sebesar α	20
2.7 Teori Kegagalan.....	21
2.7.1 Teori Kegagalan Energi Distorsi Maksimum.....	21
2.8 Simulasi <i>Finite Element</i> dengan <i>Software ANSYS</i>	22
2.9 <i>Fatigue</i>	23

2.9 <i>Buckling</i>	25
2.10 Perhitungan Daya Dukung Tanah	28
BAB III METODE PENELITIAN	30
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	30
3.2 Prosedur penelitian	32
3.2.1 Studi Literatur dan Identifikasi permasalahan.....	32
3.2.2 Pengumpulan Data dan Spesifikasi Tiang Penyangga <i>Monocable Ropeway</i>	32
3.2.3 Perhitungan Manual Tiang Penyangga untuk Analisa Kekuatan	32
3.2.4 Melakukan Simulasi dan Pengolahan Data dengan Software Ansys	47
3.2.5 Analisa Kekuatan Tiang Penyangga.....	48
3.2.6 Perhitungan Daya Dukung Tanah	48
3.2.7 Perhitungan <i>Buckling</i>	49
3.2.8 Penarikan Kesimpulan dan Saran.....	53
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	54
4.1 Mengevaluasi Hasil Analisa Kekuatan dengan Teori Kegagalan	54
4.1.1 Mengevaluasi Hasil Perhitungan dengan Teori Kegagalan	54
4.1.2 Mengevaluasi Hasil Simulasi dengan Teori Kegagalan	60
4.2 Mengevaluasi Hasil Analisa Daya Dukung Tanah	71
4.3 Mengevaluasi Hasil Analisa <i>Buckling</i>	73
4.4 Mengevaluasi Hasil Simulasi Analisa <i>Fatigue</i>	74
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	76
5.1 Kesimpulan	76
5.2 Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sejarah <i>Aerial Ropeway</i> Di Dantzig	5
Gambar 2.2 <i>Cable Car</i> In Hongkong	6
Gambar 2.3 Komponen <i>Aerial Ropeway</i>	7
Gambar 2.4 <i>Ropeway Carrier</i>	8
Gambar 2.5 <i>Monocable Aerial Ropeway System</i>	9
Gambar 2.6 <i>Bicable Aerial Ropeway System</i>	10
Gambar 2.7 <i>Free Body Diagram</i> Pada Sebagian Dari Kabel Yang Tegang (<i>Strained Rope</i>) Yang Dibebani Oleh Gravitasi Dan Satu Gaya Vertikal	11
Gambar 2.8 <i>Free Body Diagram</i> Hubungan Antara Tegangan Yang Terjadi Pada Tali Dengan Tiang Penyangga	12
Gambar 2.9 Elemen Dari Benda Yang Diberi Beban Gaya Sebesar P Dengan Ketrangan Simbol Tegangan Normal (Σ) Pada Penampangnya	13
Gambar 2.10 Elemen Dari Benda Yang Diberi Beban Gaya Sebesar V Dengan Ketrangan Simbol Tegangan Geser (T) Pada Penampangnya.....	14
Gambar 2.11 Elemen Dari Benda Disertai Tegangan-Tegangan Normal Dan Geser Pada Permukaannya	14
Gambar 2.12 Posisi Peletakkan Beban Yang Digantungkan Terhadap Tiang Penyangga	16
Gambar 2.13 Dimensi Luas Penampang Pada Tiang Penyangga	17
Gambar 2.14 Posisi Pulley Saat Pembelokan Pada <i>Monocable Ropeway</i>	18
Gambar 2.15 Pembelokan Dengan A Sebesar 60° Pada <i>Monocable Ropeway</i>	19
Gambar 2.16 Gaya Yang Terjadi Pada Tiang Dengan Kemiringan Tanah Sebesar A.....	20
Gambar 2.17 Grafik Teori Energi Distorsi Maksimum.....	22
Gambar 2.18 Grafik Pembebanan Dengan Amplitudo Konstan	24
Gambar 2.19 Diagram Soderberg <i>Failure Line</i>	25
Gambar 2.20 Persamaan Gaya Kritis Dalam Analisa Buckling Dalam Berbagai Jenis Tumpuan.....	26

Gambar 2.21 Tiang Yang Menerima Beban Aksial Eksentris Dengan Jarak Beban Aksial Sebesar F Dan <i>Free Body Diagram</i>	27
Gambar 2.22 Pondasi	28
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	31
Gambar 3.2 Dimensi Yang Diperlukan Dalam Perhitungan Analisa Kekuatan Tiang Penyangga.....	33
Gambar 3.3 <i>Free Body Diagram</i> yang Terjadi pada Tiang Penyangga dengan Lintasan Lurus	33
Gambar 3.4 Gaya Total yang Diterima oleh Tiang Penyangga dengan Lintasan Lurus	34
Gambar 3.5 Model Konstruksi Tiang Dengan Keadaan Lintasan Mengalami Pembelokan.....	36
Gambar 3.6 Gaya Yang Terjadi Pada Tiang Penyangga Dengan Lintasan Mengalami Pembelokan Dengan $A 60^\circ$ Pada <i>Monocable Ropeway</i>	36
Gambar 3.7 Gaya Yang Terjadi Pada Tiang Secara Keseluruhan Dengan Lintasan Mengalami Pembelokan Dengan $A 60^\circ$	38
Gambar 3.8 <i>Free Body Diagram</i> Tiang dengan Lintasan Mengalami Pembelokan dengan $\alpha 60^\circ$	38
Gambar 3.9 <i>Free Body Diagram</i> Tiang Dimana antara Tanah dan Tiang Membentuk Sudut 60°	41
Gambar 3.10 Beban yang Terjadi pada Titik A pada Tiang dengan Lintasan Miring dimana antara Tanah dan Tiang Membentuk Sudut 60°	42
Gambar 3.11 <i>Free Body Diagram</i> Tiang dimana antara Tanah dan Tiang Saling Tegak Lurus	44
Gambar 3.12 Beban yang Terjadi pada Titik A di Tiang dengan Lintasan Miring dimana antara Tanah dan Tiang Saling Tegak Lurus.....	45
Gambar 3.13 Dimensi Pondasi Berupa Cor	49
Gambar 4.1 Gaya Yang Terjadi Pada Tiang Penyangga Dengan Lintasan Lurus	56

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Properties Material Besi Hollow Galvanis St27.....	47
Tabel 3.2 Nilai Faktor Daya Dukung Tanah Dengan Φ 0.....	49
Tabel 3.3 Tabel Rangkuman Hasil Perhitungan	53
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Matematis Analisa Tegangan pada Tiang <i>Monocable Ropeway</i>	55
Tabel 4.2 Perbandingan Tegangan yang Diterima oleh Pondasi dan Daya Dukung Tanah pada Setiap Keadaan Pemasangan Tiang <i>Monocable Ropeway</i>	72
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Matematis Analisa <i>Buckling</i>	73

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan
σ	Tegangan	N
τ	Permukaan	Mpa
V	Tegangan Geser	N
F	Gaya Vertikal tali	N
A	Gaya	m^2
I	Luas Penampang	m^4
J	Momen Inersia	m^4
l	Inersia	m
E	Panjang	Mpa
	Modulus Elastisitas	

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Transportasi merupakan suatu kegiatan untuk memindahkan manusia atau barang dari suatu tempat ke tempat lain dengan menggunakan suatu sarana transportasi yang digerakkan oleh manusia, hewan, atau mesin. Pertumbuhan transportasi berkembang pesat seiring dengan adanya kemajuan teknologi. Dengan adanya pertumbuhan transportasi, diharapkan manusia dapat memanfaatkan hal tersebut serta dapat menggunakan sarana transportasi secara efektif dan efisien. Salah satunya adalah pemilihan sarana transportasi yang digunakan sebagai alat angkut dalam sistem produksi tanaman kelapa sawit.

Tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) merupakan salah satu tanaman yang menghasilkan keuntungan cukup besar dalam perekonomian Indonesia. Pada periode tahun 2006 hingga 2012, usaha perkebunan kelapa sawit mampu menghasilkan pemasukan negara sebesar Rp. 30,73 triliun dan devisa negara sebesar 21,30 % pada tahun 2012. Luas area perkebunan kelapa sawit di Indonesia mengalami peningkatan dari 7,364 juta hektar pada tahun 2008 menjadi 9,074 juta hektar pada tahun 2012. Hal ini menjadikan negara Indonesia sebagai produsen Crude Palm Oil (CPO) terbesar ke dua setelah Malaysia (Sipayung, 2013). Seiring dengan berkembangnya perkebunan kelapa sawit di Indonesia, meningkatkan efektivitas alat angkut menjadi salah satu pertimbangan untuk memperbaiki sistem produksi.

Saat ini sarana transportasi yang digunakan untuk melakukan proses pengangkutan di perkebunan kelapa sawit adalah truk dan wintor. Dengan menggunakan kedua sarana transportasi tersebut, dibutuhkan suatu proses pengadaan jalan sebagai jalur akses alat transportasi, diperlukan juga adanya ketersediaan bahan bakar dan tenaga kerja pengoperasian dari setiap alat transportasi tersebut. Produktivitas di perkebunan

kelapa sawit juga tidak bisa maksimal dengan digunakannya alat transportasi tersebut. Dengan terbatasnya jumlah alat transportasi tersebut, proses pengangkutan kelapa sawit tidak dapat dijalankan secara kontinyu. Sehingga untuk meningkatkan efektivitas dalam proses produksi di perkebunan kelapa sawit, salah satunya adalah dengan memanfaatkan sistem *aerial cableway* sebagai sistem transportasi untuk pengangkutan barang.

Salah satu sistem transportasi *aerial cableway* adalah *monocable ropeway*. *Monocable ropeway* memiliki beberapa komponen utama, antara lain *rope*, *ropeway carrier*, dan *tower* (tiang penyangga). Dalam *monocable ropeway*, tiang penyangga ini merupakan tempat digantungkannya *rope* (tali). Sedangkan tali tersebut berfungsi sebagai tempat digantungkannya beban yang akan ditransportasikan. Oleh karena itu perlu dilakukan adanya penelitian untuk mengetahui kekuatan tiang penyangga sebagai penerima beban tali beserta beban yang akan ditransportasikan.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun perumusan masalah pada penelitian ini antara lain :

1. Bagaimana analisa kekuatan struktur tiang penyangga (*tower*) pada *monocable ropeway* guna proses pengangkutan kelapa sawit ?
2. Bagaimana analisa *fatigue* tiang penyangga (*tower*) pada *monocable ropeway* untuk mengetahui umur tiang guna proses pengangkutan kelapa sawit ?
3. Bagaimana pengaruh adanya kemiringan dan belokan pada jalur transportasi terhadap beban yang diterima oleh tiang penyangga ?

1.3. Tujuan penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Menganalisa kekuatan struktur tiang penyangga (*tower*) pada *monocable ropeway* guna proses pengangkutan kelapa sawit.

2. Mengetahui umur tiang penyangga (*tower*) pada *monocable ropeway* guna proses pengangkutan kelapa sawit.
3. Mengetahui pengaruh adanya sudut kemiringan dan belokan pada jalur transportasi terhadap beban yang diterima oleh tiang penyangga.

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini antara lain :

1. Material tiang penyangga pada *monocable ropeway* adalah besi hollow galvanis 100 x 100 mm dengan ketebalan 2,8 mm
2. Kapasitas beban yang ditransportasikan adalah 50-100 kg
3. Kemiringan area sebagai jalur transportasi sebesar 30°
4. Sudut pembelokan pada jalur transportasi sebesar 60°
5. Kondisi kritis diperhitungkan pada keadaan tali menerima dua beban dengan jarak beban simetri
6. Tegangan tali pada setiap kondisi lintasan sama
7. Gaya akibat angin diabaikan
8. Kecepatan angkut pada *monocable ropeway* konstan

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai penerapan ilmu pengetahuan untuk perkembangan teknologi khususnya di bidang industri untuk memaksimalkan penggunaan transportasi.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari abstrak yang berisi rangkuman secara umum dari penelitian ini, Bab I Pendahuluan berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan. Bab II Tinjauan Pustaka berisi landasan teori yang berhubungan dengan penelitian, Bab III Metodologi Penelitian

berisi langkah – langkah penelitian, Bab IV Hasil Penelitian dan Pembahasannya, serta Bab V Kesimpulan dan Saran.

BAB II

TINJUAN PUSTAKA

2.1 *Aerial Ropeway*

Aerial Ropeway merupakan salah satu sistem transportasi. Dimana dalam melakukan kegiatan transportasi, *aerial ropeway* memanfaatkan penggunaan tali. Pada awal mulanya, sistem transportasi ini dibangun di kota Dantzig pada tahun 1644 oleh seseorang bernama Adam Wybe asal Belanda seperti yang terlihat pada gambar 2.1 *Ropeway* ini dibangun dengan tujuan sebagai alat transportasi yang menghubungkan benteng kota dengan suatu bukit di luar kota Dantzig. Awal mulanya, pembangunan tersebut difungsikan untuk memindahkan tanah sebagai bahan penguat benteng yang berada pada suatu bukit menuju pada benteng di kota Dantzig.



Gambar 2.1 Sejarah *Aerial Ropeway* di Dantzig
(Booth, 1965)

Prinsip kerja pada sistem transportasi *aerial ropeway* yaitu meletakkan suatu beban sebagai objek yang akan ditransportasikan dari suatu tempat ke tempat lain pada sebuah (atau lebih) tali sebagai penopang beban tersebut. Tali tersebut tidak hanya berfungsi sebagai penopang beban, tetapi juga dapat

digunakan sebagai jalur transportasi dan penggerak beban. Sistem transportasi ini pada umumnya dapat dijumpai di area ski atau di tempat – tempat wisata karena cocok digunakan untuk jangkauan transportasi yang tidak terlalu jauh.



Gambar 2.2 *Cable Car* in Hongkong
(Hoffmann, 2006)

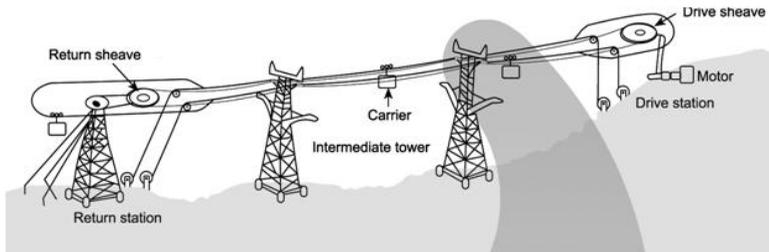
Sistem transportasi *aerial ropeway* memiliki beberapa kelebihan, antara lain lebih mudah untuk menjangkau suatu tempat yang memiliki keadaan atau jalur transportasi yang tidak rata atau terlalu curam untuk dilalui oleh alat transportasi darat, bahkan dapat juga digunakan sebagai alat transportasi antar pulau tanpa memerlukan tambahan alat transportasi laut, tidak diperlukan adanya proses pembuatan jalan dan keperluan lahan berupa tanah sebagai jalur transportasi, tidak membutuhkan kebutuhan bahan bakar, ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi gas buang dan tidak menimbulkan kebisingan.

Akan tetapi, disamping beberapa kelebihan tersebut, sistem transportasi *aerial ropeway* juga memiliki beberapa keterbatasan seperti kecepatan pada Bergeraknya *ropeway carrier* sebagai tempat diletakkannya beban yang akan ditransportasikan, kapasitas yang sangat terbatas dalam satu kali angkut

menggunakan *ropeway carrier*, serta keterbatasan jarak yang dapat dijangkau.

2.2 Komponen Aerial Ropeway

Secara umum *aerial ropeway* didukung oleh beberapa komponen, diantaranya adalah sebagai berikut.



Gambar 2.3 Komponen *Aerial Ropeway*
(Gyawali, 2004)

a. Rope

Rope merupakan komponen dari *aerial ropeway* yang memiliki fungsi sebagai tempat menanggung beban yang akan ditransportasikan dan berfungsi sebagai jalur transportasi.

b. Ropeway carrier

Ropeway carrier merupakan komponen dari *aerial ropeway* yang memiliki fungsi sebagai wadah atau tempat diletakkannya objek yang akan ditransportasikan. Untuk lebih jelasnya, *ropeway carrier* dapat dilihat pada gambar 2.3. *Ropeway carrier* secara umum terdiri dari *carriage* dan *container*. *Carriage* merupakan bagian dari *ropeway carrier* yang berfungsi sebagai penghubung antara *wire track rope* dengan *container*. *Carriage* terdiri dari *box head* dan *hanger*. Pada *box head* terdapat sebuah *pulley* yang melakukan kontak langsung pada *track rope* sehingga *pulley* tersebut berfungsi sebagai roda pada *aerial ropeway*.



Gambar 2.4 *Ropeway Carrier*
(Gyawali, 2004)

c. *Towers*

Towers berfungsi sebagai tiang – tiang penyangga dan ditempatkannya *wire rope*. Semakin panjang jalur transportasi yang dibentuk, maka semakin banyak jumlah tiang penyangga yang perlu dibangun.

d. *Tension stations*

Tension station adalah area pengaturan tegangan *rope*. *Tension station* ditempatkan pada titik tertentu di sepanjang jalur ropeway. *Wire rope* dipertahankan untuk memiliki tegangan tertentu dengan peralatan pengatur tegangan tali.

e. *Drive station*

Drive station terdiri dari mekanisme motor penggerak dan *driving sheave (pulley)*.

f. *Return station*

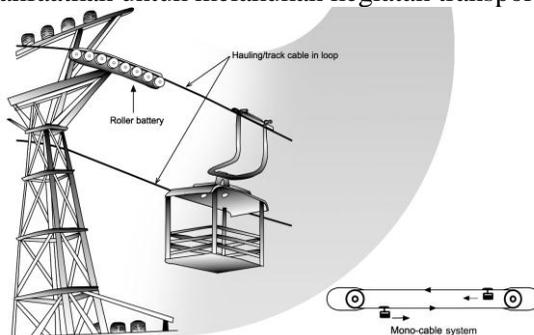
Return station terdiri dari *return sheave (pulley)* sehingga beban yang ditransportasikan dibawa kembali menuju pada *drive station*.

g. *Sheaves*

Sheaves adalah sebuah *pulley* berdiameter besar yang diletakkan pada kedua ujung jalur *ropeway*. Setelah mencapai di ujung jalur *ropeway*, *wire rope* melewati *sheave sehingga ropeways carrier* dapat berjalan kembali menuju ke posisi semula dengan arah gerak yang berlawanan terhadap arah gerak sebelum mencapai *sheave*. Terdapat dua macam *sheave* yang digunakan pada *aerial ropeway*, yakni *driving sheave* dan *return sheave*. Pada *driving sheave* terdapat motor listrik yang terhubung ke *sheave* sehingga dihasilkan gerakan rotasi pada *sheave*. Sedangkan pada *return sheave*, *sheave* tidak dilengkapi oleh motor listrik. Gerakan perpindahan *wire rope* dihasilkan dari adanya gerakan rotasi yang terjadi pada *driving sheave* dan adanya perbedaan tegangan antara *wire rope* yang masuk dan keluar dari *return sheave*.

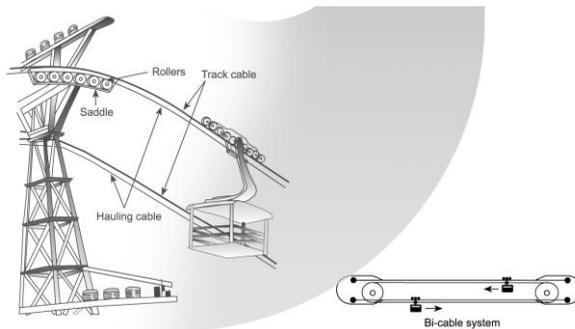
2.3 Klasifikasi *Aerial Ropeway*

Secara umum terdapat dua klasifikasi *Aerial Ropeway*, yakni *monocable ropeway* dan *bicable ropeway*. Perbedaan dari kedua klasifikasi tersebut adalah pada jumlah tali yang dimanfaatkan untuk melakukan kegiatan transportasi.



Gambar 2.5 *Monocable Aerial Ropeway System*
(Gyawali, 2004)

Pada sistem transportasi *monocable ropeway*, *ropeway carrier* digantungkan pada sebuah tali tunggal. Tali tunggal tersebut ditopang oleh beberapa *tower* dan bergerak secara kontinu. Tali tunggal tersebut diletakkan sepanjang jalur transportasi dan melalui *drive sheaves* sehingga mengakibatkan terjadinya gerakan pada beban yang ditransportasikan (*ropeway carrier*).

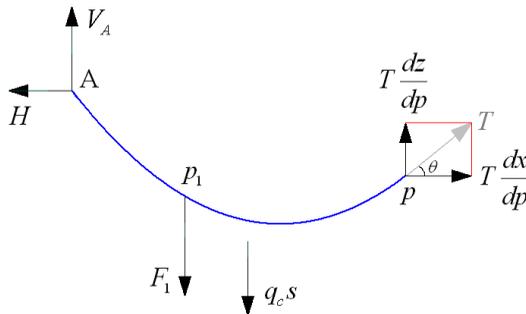


Gambar 2.6 *Bicable Aerial Ropeway System*
(Gyawali, 2004)

Sedangkan pada sistem transportasi *bicable ropeway*, *ropeway carrier* digantungkan pada tali ganda. Yang pertama adalah *track rope*. Tali ini berguna sebagai penopang beban yang akan ditransportasikan dan dipasang dalam keadaan diam (*stationary*) pada kedua ujung stasiun. Roda ditempatkan pada tali tersebut sehingga beban yang akan ditransportasikan dapat bergerak. Tali kedua adalah *hauling rope*. Tali ini diletakkan sepanjang jalur transportasi dan membentuk suatu lintasan *loop* melalui *drive sheaves* sehingga mengakibatkan terjadinya gerakan pada beban yang ditransportasikan (*ropeway carrier*).

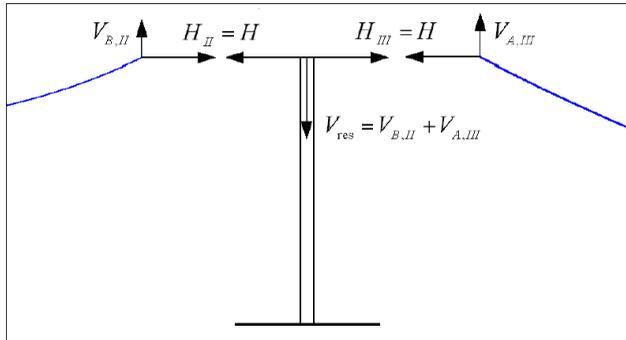
2.4 Hubungan Beban yang Terjadi pada Tali dengan Tiang Penyangga pada *Monocable Ropeway*

Pada analisa tegangan yang terjadi pada tali, digunakan beberapa persamaan. Penggunaan persamaan itu tergantung dari jumlah beban yang digantungkan pada tali. Jika telah ditentukan besar maksimal kelendutan yang diperbolehkan pada tali dan beberapa spesifikasi yang ada pada tali seperti berat tali, dimensi tali, posisi peletakkan beban, dan posisi peletakkan tiang sebagai penopang tali, maka dapat diketahui besar tegangan tali yang diperlukan, baik itu tegangan tali horizontal maupun tegangan tali vertikal. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat contoh *free body diagram* tali pada gambar 2.7 berikut.



Gambar 2.7 *Free Body Diagram* pada Sebagian dari Kabel yang Tegang (*Strained Rope*) yang Dibebeani oleh Gravitasi dan Satu Gaya Vertikal (Papini, 2010)

Dari gambar *free body diagram* tali pada gambar 2.7 tegangan vertikal yg diterima tali dilambangkan dengan huruf V_A , sedangkan tegangan horizontal dilambangkan dengan huruf H . Dari tegangan tali yang didapatkan, kemudian tegangan tersebut memiliki hubungan dengan beban yang terjadi pada tiang penyangga sebagai adanya akibat gaya aksi dan reaksi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 *Free Body Diagram* Hubungan antara Tegangan yang Terjadi pada Tali dengan Tiang Penyangga (Papini, 2010)

2.5 Analisa Tegangan

Tegangan dapat terjadi akibat adanya beban yang bekerja. Beban tersebut dapat berupa gaya aksial, gaya lintang, momen lentur maupun torsi. Dalam hubungannya dengan beban yang bekerja, tegangan dapat dikatakan sebagai besarnya gaya yang bekerja pada setiap satuan luas penampang. Nilai tegangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan matematis sebagai berikut :

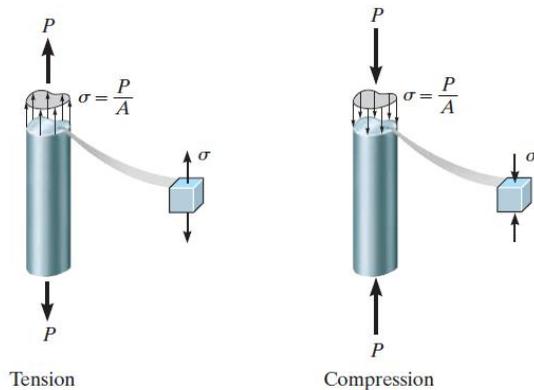
$$\sigma \text{ atau } \tau = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan σ atau τ adalah besar tegangan dengan satuan N/m^2 , F adalah gaya yang bekerja pada luasan penampang tertentu (N), dan A adalah luas penampang yang dikenai oleh gaya (m^2). Nilai tegangan juga dapat didapatkan dengan persamaan hubungan antara tegangan dan momen bending, secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

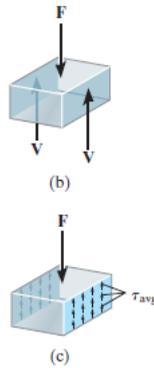
$$\sigma = \frac{M \times y}{I} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana M adalah momen bending yang dikenai luas penampang (satuan Nm), y adalah jarak dari sumbu netral ke tegangan normal (satuan m), dan I adalah momen inersia (satuan m^4).

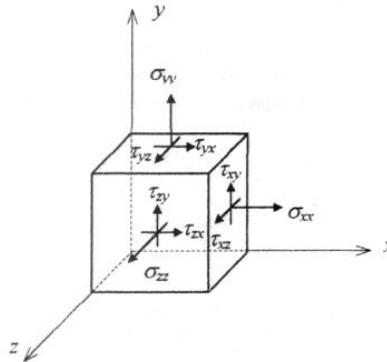
Secara umum tegangan dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu tegangan normal dan tegangan geser. Tegangan normal adalah tegangan yang arahnya tegak lurus terhadap luas penampang yang diberi beban sedangkan tegangan geser adalah tegangan yang arahnya sejajar terhadap luas penampang yang diberi beban. Tegangan normal dapat disimbolkan secara matematis sebagai σ (sigma) sedangkan tegangan geser disimbolkan dengan τ (tau). Lebih jelas mengenai penjelasan perbedaan tegangan normal dan tegangan geser dapat dilihat pada gambar 2.9, gambar 2.10, dan gambar 2.11.



Gambar 2.9 Elemen dari Benda yang Diberi Beban Gaya Sebesar P dengan Ketrangan Simbol Tegangan Normal (σ) pada Penampangnya (Hibbeler, 2011)



Gambar 2.10 Elemen dari Benda yang Diberi Beban Gaya Sebesar V dengan Keterangan Simbol Tegangan Geser (τ) pada Penampangnya (Hibbeler, 2011)



Gambar 2.11 Elemen dari Benda Disertai Tegangan-Tegangan Normal dan Geser pada Permukaannya (Hibbeler, 2011)

Gambar 2.11 memperlihatkan sebuah elemen dari suatu batang atau bagian struktur beserta tegangan-tegangan yang terjadi pada permukaannya, yaitu berupa tegangan normal dan geser. Suatu elemen pada setiap bidangnya terdapat tegangan normal yang dilambangkan dengan σ_i dimana i merupakan sumbu

yang tegak lurus dengan penampang dan tegangan geser yang dilambangkan dengan τ_{ij} dimana j merupakan arah beban yang dikenakan pada penampang i .

Nilai ekstrim tegangan mempunyai pengaruh yang sangat penting dalam perhitungan analisa struktur. Nilai tegangan ekstrim dapat digunakan untuk mengetahui apakah struktur masih mampu menahan beban luar atau beban telah melampaui kekuatan yang dimiliki oleh material tersebut.

2.6 Desain Tiang pada *Monocable Ropeway* yang Diterapkan oleh PT Dharma Satya Nusantara 2

2.6.1. Desain Tiang pada *Monocable Ropeway* dengan Arah Transportasi Lurus dan Kemiringan Tanah 0°

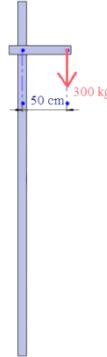
Yang menjadi dasar pertimbangan untuk melakukan desain tiang penyangga pada *monocable ropeway* adalah kekuatan struktur dari tiang, kemudahan dalam proses pemasangan dan biaya yang dikeluarkan pada saat proses pemasangan, nilai ekonomis yang relatif murah, kemudahan penyettingan, serta kemudahan dalam hal *maintenance*. Dari beberapa pertimbangan tersebut, maka kemudian tiang penyangga dirancang dengan sistem satu pilar karena kondisi tanah berupa tanah mineral yang berbukit – bukit sehingga tanah memiliki tegangan yang cukup besar untuk menopang tiang.

Dalam hal ini, tiang penyangga mendapatkan beban berupa beban vertikal dan beban berupa momen. Berikut contoh perhitungan yang digunakan untuk menganalisa kekuatan tiang penyangga pada *monocable ropeway* :

- Diketahui gaya vertikal ini merupakan penjumlahan gaya maksimum yang diterima oleh tiang penyangga, antara lain beban yang ditransportasikan sebesar 200 kg, massa kabel 60 kg, dan massa pulley serta asnya sebesar 40 kg, sehingga beban vertikal total adalah sebagai berikut :

$$F_{vertikal} = 200 + 60 + 40 = 300 \text{ kg} \dots\dots\dots(2.3)$$

- Sedangkan momen bending dapat diperhitungkan jika diketahui posisi peletakkan beban terhadap tiang seperti yang terlihat pada gambar 2.12 yaitu sebesar :



Gambar 2.12 Posisi Peletakkan Beban yang Digantungkan terhadap Tiang Penyangga (Desain *Monocable* oleh PT Dharma Satya Nusantara 2)

$$M = \text{beban total} \times \text{jarak}$$

$$M = 300 \text{ kgf} \times 50 \text{ cm}$$

$$M = 15000 \text{ kgf} - \text{cm}$$

$$M = 150000 \text{ kgf} - \text{mm} \dots\dots\dots(2.4)$$

- Diketahui bentuk dan dimensi luas penampang tiang penyangga seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.13, sehingga pada tiang penyangga akan dihasilkan tegangan tarik dan tegangan kompresi. Persamaan untuk mencari tegangan tarik yang dihasilkan :



Gambar 2.13 Dimensi Luas Penampang pada Tiang Penyangga
(Desain *Monocable* oleh PT Dharma Satya Nusantara 2)

$$S_t = \frac{M \times c}{I_x} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana $c = 0,5 a = 100 \text{ mm}$ dan I_x merupakan momen inersia sebesar :

$$I_x = I_y = \frac{a \times b^3}{12} - \frac{a' \times b'^3}{12}$$

$$I_x = I_y = \frac{100 \times 100^3}{12} - \frac{94' \times 94'^3}{12}$$

$$I_x = I_y = 1827092 \text{ mm}^4 \dots\dots\dots (2.6)$$

Sehingga besar tegangan tarik yang dihasilkan :

$$S_t = \frac{150000 \text{ kgf} - \text{mm} \times 50 \text{ mm}}{1827092 \text{ mm}^4}$$

$$S_t = 4,1 \text{ kg/mm}^2 \dots\dots\dots (2.7)$$

➤ Dan persamaan untuk mencari tegangan kompresi yang dihasilkan adalah :

$$S_c = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana F adalah gaya vertikal yang diterima oleh tiang penyangga dan A adalah luas penampang potong

melintang profile. Sehingga besar tegangan kompresi yang dihasilkan adalah :

$$S_c = \frac{300 \text{ kgf}}{(100 \times 100) - (94 \times 94) \text{ mm}^2}$$

$$S_c = \frac{300}{1164}$$

$$S_c = 0,257 \text{ kg/mm}^2 \dots\dots\dots (2.9)$$

➤ Sehingga tegangan total yang dihasilkan sebesar :

$$S_{total} = S_t + S_c$$

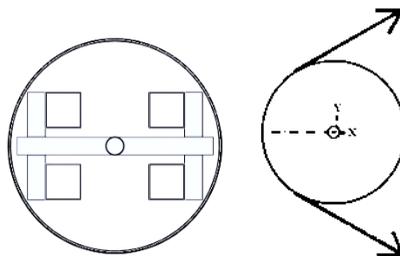
$$S_{total} = 4,1 + 0,257$$

$$S_{total} = 4,357 \text{ kg/mm}^2 \dots\dots\dots (2.10)$$

Sedangkan besar tegangan ijin dari material tiang penyangga berupa baja profile, St27 sebesar 27kg/mm² yakni lebih besar dari tegangan total yang diterima oleh tiang penyangga yakni sebesar 4,357 kg/mm². Sehingga secara analisa statis, tiang dapat menanggung beban dengan baik.

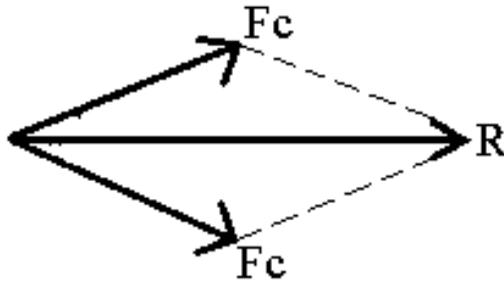
2.6.2. Desain Tiang pada Monocable Ropeway dengan Arah Transportasi Mengalami Pembelokan

Posisi pulley jika jalur transportasi *monocable ropeway* mengalami pembelokan sebesar α° dapat dilihat pada gambar 2.14. berikut.



Gambar 2.14 Posisi Pulley Saat Pembelokan pada *Monocable Ropeway*
(Desain *Monocable Ropeway* oleh PT Dharma Satya Nusantara 2)

Jika diketahui tegangan tali (F_c) yang diterapkan pada *monocable ropeway* adalah sebesar 4170 kgf dan jarak pulley ke tanah (t) adalah 310 cm, maka dapat dihitung besarnya momen yang bekerja pada tiang. Salah satu contoh perhitungan momen dilakukan pada saat pembelokan dengan α sebesar 60° .



Gambar 2.15 Pembelokan dengan α Sebesar 60° pada *Monocable Ropeway*
(Desain *Monocable Ropeway* oleh PT Dharma Satya Nusantara 2)

- Pertama-tama dilakukan perhitungan resultan tegangan tali :

$$R = 2 \times F_c \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$R = 2 \times 4170 \cos 30^\circ$$

$$R = 7222,65 \text{ kgf} \dots\dots\dots (2.11)$$

- Kemudian dilakukan perhitungan momen yang terjadi

$$M = R \times t$$

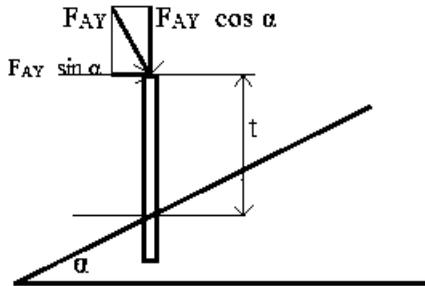
$$M = 7222,65 \times 310$$

$$M = 2239021,5 \text{ kgf} - \text{cm} \dots\dots\dots (2.12)$$

Sehingga besar momen yang terjadi pada tiang jika jalur transportasi *monocable ropeway* mengalami pembelokan sebesar 60° adalah 2239021.5 kgf-cm.

2.6.3. Desain Tiang pada *Monocable Ropeway* dengan Kemiringan Tanah Sebesar α

Dalam sub bab ini akan dilakukan perhitungan dalam mendesain tiang pada *monocable ropeway* dengan kemiringan tanah sebesar α .



Gambar 2.16 Gaya yang Terjadi pada Tiang dengan Kemiringan Tanah Sebesar α
(Desain *Monocable Ropeway* oleh PT Dharma Satya Nusantara 2)

Dimana F_A memiliki arag gaya tegak lurus bumi dan :

$F_A = \text{berat beban yang ditransportasikan} + \text{berat kabel} + \text{berat pulley}$

$$F_A = 200 + 60 + 40 = 300 \text{ kg} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dengan adanya kemiringan, maka gaya terurai menjadi dua yakni gaya yang tegak lurus dengan tiang sebesar $F_{AY} \sin \alpha$ dan gaya yang sejajar dengan tiang sebesar $F_{AY} \cos \alpha$. Sehingga tiang menerima gaya sejajar tiang dan momen sebesar :

$$M = F_{AY} \sin \alpha \times t \dots\dots\dots (2.14)$$

Sedangkan apabila tiang dipasang tegak lurus terhadap tanah, maka tidak dihasilkan momen pada tiang.

2.7 Teori kegagalan

Dalam analisa struktur, suatu struktur dapat dikatakan mengalami kegagalan (*failure*) apabila struktur tidak dapat berfungsi dengan baik untuk menerima pembebanan yang diberikan. Secara teori dapat dinyatakan bahwa kegagalan dapat terjadi apabila nilai pembebanan maksimum yang diberikan melebihi nilai limit tertentu yang dimiliki oleh material struktur. Nilai limit tersebut diketahui dari hasil uji tarik material. Secara spesifik terdapat dua kriteria suatu struktur dapat dikatakan mengalami kegagalan, antara lain :

1. Distorsi atau deformasi plastik

Kegagalan terjadi apabila nilai tegangan atau regangan maksimum yang diberikan pada suatu struktur melebihi nilai tegangan atau regangan luluh yang dimiliki oleh material struktur.

2. Patah (*fracture*)

Kegagalan ini dapat terlihat secara kasat mata. Suatu struktur mengalami kegagalan apabila struktur tersebut mengalami patah atau kerusakan. Kegagalan ini terjadi apabila nilai tegangan atau regangan maksimum yang diberikan pada suatu struktur melebihi nilai tegangan atau regangan ijin yang dimiliki oleh material struktur.

2.7.1. Teori Kegagalan Energi Distorsi Maksimum

Teori kegagalan energi distorsi maksimum juga dikenal sebagai teori tegangan geser oktahedral, atau Maxwell-Huber-Hencky-teori von Mises, umumnya digunakan untuk pengujian yield pada material yang ulet. Teori kegagalan ini mulanya diperkenalkan oleh M. T. Hueber pada tahun 1904 yang kemudian disempurnakan oleh R. Von Misses dan H. Hencky. Teori ini menyatakan bahwa kegagalan diprediksi terjadi ketika tegangan geser oktahedral maksimum yang terjadi melebihi harga limit material yang diketahui dari hasil uji tarik material standar dengan beban uniaksial.

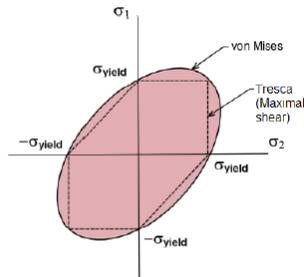
Besar tegangan geser oktahedral dapat diketahui dengan persamaan matematis berikut:

$$\tau_{oktahedral} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sigma \dots\dots\dots (2.15)$$

Dari persamaan dasar kemudian didapatkan persamaan kriteria kegagalan sebagai berikut :

$$S_{yp} = \frac{\sqrt{2}}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{1/2} \dots\dots\dots (2.16)$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa kombinasi dari tegangan-tegangan 3 dimensi suatu sistem sumbu x-y-z akan menimbulkan keluluhan (kriteria kegagalan yield) pada material bila perhitungan ruas kanan melebihi nilai S_{yp} (harga tegangan yield material). secara umum grafik kriteria kegagalan energi distorsi maksimum dapat dilihat pada gambar 2.17. Dimana dapat dikatakan aman apabila nilai tegangan geser oktahedral maksimum berada di dalam luasan berwarna merah muda seperti pada gambar 2.17.



Gambar 2.17 Grafik Teori Energi Distorsi Maksimum (Abrianto, 2016)

2.8 Simulasi *Finite Element* dengan Software ANSYS

Finite Element Method (FEM) atau biasanya disebut *Finite Element Analysis* (FEA) biasanya digunakan pada masalah-masalah rekayasa yang dianggap cukup rumit atau tidak bisa jika diselesaikan secara manual. *Finite Element Method* ini

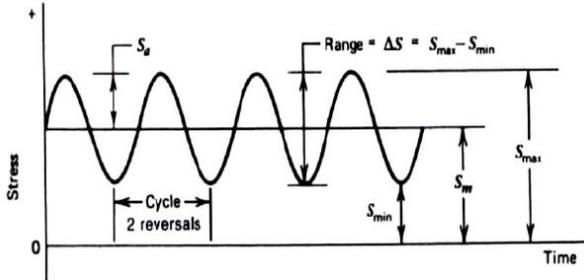
adalah suatu metode membagi suatu benda yang akan dianalisa, menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (*finite*). Bagian-bagian ini disebut dengan elemen. Antar elemen satu dengan elemen lainnya dihubungkan dengan nodal (*node*). Kemudian dibentuk suatu persamaan matematis yang merepresentasikan benda yang akan dianalisa tersebut. Proses pembagian benda menjadi beberapa bagian disebut *meshing*.

Software yang dapat digunakan untuk analisa menggunakan metode elemen hingga adalah ANSYS. ANSYS dapat menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan mekanika, baik itu secara statik dan dinamik, distribusi perpindahan panas, fluida, serta akustik dan elektromagnetik. Secara umum penyelesaian elemen hingga menggunakan ANSYS dapat dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu pendefinisian masalah (mendefinisikan dimensi, luas, volume, material, dan adanya proses *meshing*), *solution* (penentuan beban, batasan masalah, dan proses *running*), kemudian melihat hasil, dimana dapat diketahui adanya pergeseran nodal, diagram kontur tegangan atau pemetaan temperatur yang terjadi.

2.9 Fatigue

Fatigue dapat diartikan sebagai kelelahan suatu struktur akibat menerima beban yang berulang-ulang (*cyclic loading*). Sehingga apabila pada suatu logam dikenai tegangan berulang maka logam tersebut akan patah pada tegangan yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan tegangan yang dibutuhkan untuk menimbulkan perpatahan pada beban statik. Fatik atau kelelahan dapat didefinisikan sebagai proses perubahan struktur permanen secara *progressive* akibat adanya fluktuasi regangan dan tegangan sehingga struktur dapat mengalami *crack* atau patah (*fracture*). *Progressive* mengandung pengertian proses fatik terjadi selama jangka waktu tertentu atau selama pemakaian, sejak komponen atau struktur digunakan (Zulhanif, 2002).

Kerusakan *fatigue* suatu material dapat disebabkan oleh beban fluktuatif dengan nilai tegangan berkisar antara σ_{min} hingga σ_{max} .



Gambar 2.18 Grafik Pembebanan Dengan Amplitudo Konstan (Awwaluddin, 2015)

Dalam analisa *fatigue*, hasil analisa statik yang telah diperhitungkan selanjutnya digunakan untuk analisa *fatigue* dengan menggunakan pembebanan berulang dalam periode tertentu. Pada analisis fatigue, *factor of safety* (N) yang digunakan dilambangkan dengan N. dimana hubungan antara *tensile yield strength* (S_{yp}) dengan tegangan ekuivalen (σ_{eq}) adalah sebagai berikut.

$$N = \frac{S_{yp}}{\sigma_{eq}} \dots\dots\dots (2.17)$$

Tegangan ekuivalen didapatkan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\sigma_{eq} = \sigma_m + K_f \sigma_r \frac{S_{yp}}{S_e} \dots\dots\dots (2.18)$$

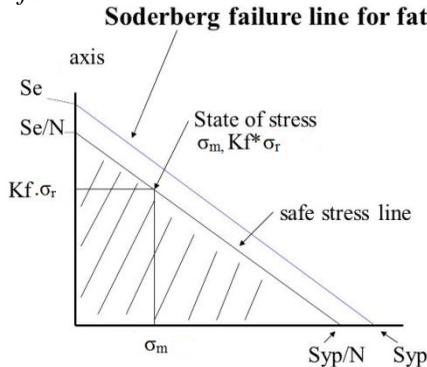
Dimana σ_m merupakan tegangan rata-rata,

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \dots\dots\dots (2.19)$$

σ_r merupakan tegangan range,

$$\sigma_r = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \dots\dots\dots (2.20)$$

S_e merupakan *endurance limit* dari material dan K_f adalah *stress concentration factor*.



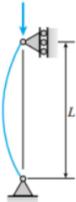
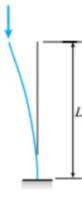
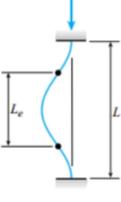
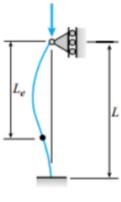
Gambar 2.19 Diagram Soderberg *Failure Line*
(Awwaluddin, 2015)

Gambar 2.19 merupakan diagram Soderberg *failure line*, dimana suatu struktur dikatakan aman apabila berada di area di bawah *area safe stress line*.

2.10 *Buckling*

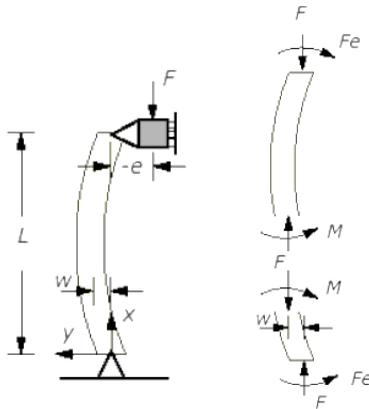
Buckling merupakan suatu jenis dari kegagalan struktur yang terjadi pada struktur kolom atau juga berbentuk tiang. *Buckling* juga dapat dikatakan sebagai suatu proses dimana suatu struktur tidak mampu mempertahankan bentuk aslinya. Hal ini terjadi akibat pembebanan secara aksial pada struktur tersebut, apabila suatu struktur memiliki perbandingan dimensi aksial yang jauh lebih besar daripada dimensi lateralnya maka struktur tersebut akan membengkok dan terdeteksi secara lateral sehingga dapat dikatakan struktur tersebut mengalami Buckling. Material mengalami Buckling atau perubahan bentuk (deformasi) karena ketidakstabilan struktur akibat pembebanan yang diterima. Suatu

tumpuan juga mempengaruhi sebuah proses Buckling. Beban kritis dalam analisa *buckling* merupakan beban maksimal yang mampu diterima oleh suatu struktur kolom sehingga kolom tidak mengalami *buckling*. Persamaan beban kritis untuk beberapa jenis tumpuan dasar ditampilkan dalam tabel pada gambar 2.20 :

(a) Pinned-pinned column	(b) Fixed-free column	(c) Fixed-fixed column	(d) Fixed-pinned column
$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$	$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{4L^2}$	$P_{cr} = \frac{4\pi^2 EI}{L^2}$	$P_{cr} = \frac{2.046 \pi^2 EI}{L^2}$
			

Gambar 2.20 Persamaan Gaya Kritis dalam Analisa Buckling dengan Berbagai Jenis Tumpuan (Bakhtiar, 2015)

Persamaan yang tertulis pada gambar 2.20 merupakan persamaan yang berlaku apabila peletakan gaya aksial tepat pada tiang tersebut, apabila gaya aksial yang terjadi pada jarak tertentu dari tiang sehingga juga menimbulkan adanya beban berupa momen seperti pada gambar 2.21 berikut, maka persamaan yang digunakan berbeda.



Gambar 2.21 Tiang yang Menerima Beban Aksial Eksentris dengan Jarak Beban Aksial Sebesar F dan *Free Body Diagram* (Sadowski, 2009)

Akibat adanya peletakkan beban eksentris, maka ditimbulkan adanya momen sesuai dengan gambar free body diagram pada gambar 2.21. Sehingga persamaan tegangan maksimum *buckling* didapatkan melalui penurunan persamaan berikut :

Tegangan yang terjadi adalah sebesar :

$$\sigma = \frac{F}{A} + \frac{My}{I}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} + \frac{F(w+e)y}{I} \dots\dots\dots (2.21)$$

Dan besar tegangan maksimumnya :

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A} + \frac{M_{max}y_{max}}{I}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} + \frac{F(w_{max}+e)c}{I} \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana

$$w_{max} = w\left(\frac{L}{2}\right) = e\left(\sec\frac{mL}{2} - 1\right)$$

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A} + \frac{F \cdot e \cdot c}{I} \sec \frac{mL}{2}$$

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A} \left[1 + \frac{A}{I} ec \sec \left(\sqrt{\frac{F}{EI}} \frac{L}{2} \right) \right] \dots\dots\dots (2.23)$$

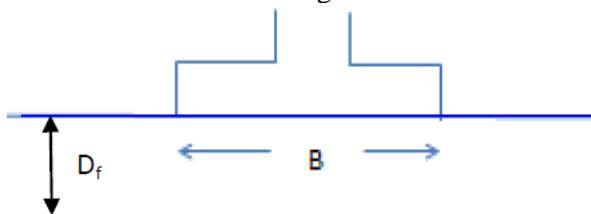
Apabila $r = \sqrt{\frac{I}{A}}$, maka

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A} \left[1 + \frac{ec}{r^2} \sec \left(\sqrt{\frac{F}{EA}} \frac{L}{2r} \right) \right] \dots\dots\dots (2.24)$$

Suatu struktur kolom dapat dikatakan aman dari *buckling* apabila σ_{max} yang didapatkan sesuai perhitungan pada persamaan 2.24 memiliki harga dibawah tegangan yield material.

2.11 Perhitungan Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah untuk menerima tekanan atau beban maksimum yang bekerja pada suatu pondasi. Salah satu metode yang sering digunakan untuk menghitung daya dukung tanah adalah metode dari Terzaghi. Analisa daya dukung yang dikemukakan Terzaghi (1943) adalah memperhitungan daya dukung tanah terhadap beban dengan kondisi pondasi berbentuk memanjang tak terhingga dengan lebar B dan terletak di atas tanah homogen.



Gambar 2.22 Pondasi
(Pramudika, 2015)

Persamaannya daya dukung tanah adalah sebagai berikut :

$$q_{ult} = c \cdot N_c + D_f \cdot \gamma \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \dots\dots\dots (2.21)$$

dimana q_{ult} merupakan daya dukung tanah maksimal, c merupakan kohesi, D_f adalah kedalaman pondasi, B adalah lebar pondasi, γ adalah berat volume tanah, dan N_c, N_q, N_γ adalah faktor daya dukung tanah (dapat dilihat pada Tabel 2.1). Untuk pondasi berbentuk persegi dan lingkaran, persamaan daya dukung yang digunakan oleh Terzaghi adalah sebagai berikut:

1. Pondasi persegi :

$$q_{ult} = 1,3 \cdot c \cdot N_c + D_f \cdot \gamma \cdot N_q + 0,4 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \dots\dots\dots (2.22)$$

2. Pondasi lingkaran :

$$q_{ult} = 1,3 \cdot c \cdot N_c + D_f \cdot \gamma \cdot N_q + 0,3 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \dots\dots\dots (2.23)$$

Dengan tabel nilai faktor daya dukung tanah sesuai pada gambar tabel 2.22 berikut :

Φ	Keruntuhan Geser Umum			Keruntuhan Geser Lokal		
	N _c	N _q	N _γ	N' _c	N' _q	N' _γ
0	5,7	1	0	5,7	1	0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35	23,7	11,7	9
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8
45	172,3	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7
48	258,3	287,9	780,1	66,8	50,5	60,4
50	347,6	415,1	1153,2	81,3	65,5	87,1

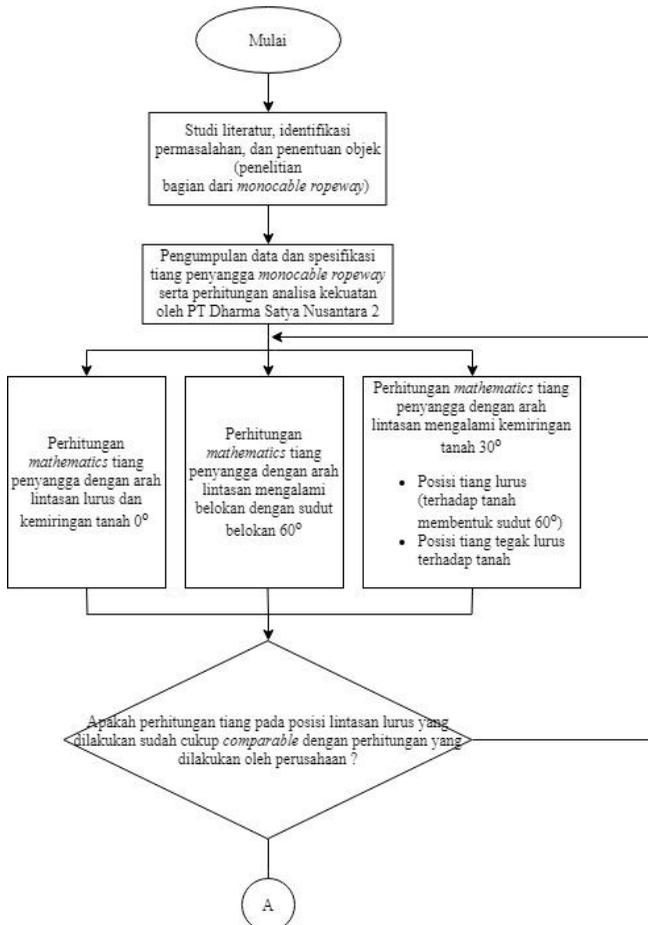
Gambar 2.22 Nilai Faktor Daya Dukung Tanah (Pramudika, 2015)

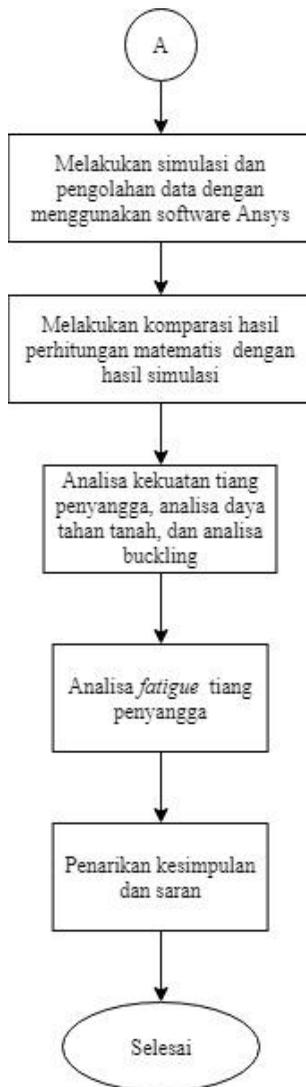
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian Tugas Akhir ini dilaksanakan mengikuti tahapan-tahapan yang ada pada diagram alir penelitian sebagai berikut.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2. Prosedur penelitian

3.2.1. Studi Literatur dan Identifikasi permasalahan

Awal mula penelitian diawali dengan dilakukannya studi literatur mengenai transportasi *monocable ropeway*. Pada tahap ini dilakukan pengumpulan materi-materi yang mendukung jalannya proses penelitian, baik itu melalui *text book*, penelusuran melalui internet, jurnal penelitian sebelumnya mengenai *monocable ropeway*, dan hasil diskusi dengan teman serta dosen pembimbing. Pada tahap ini juga dilakukan fokus atau objek spesifik apa yang akan dijadikan sebagai topik utama dalam penelitian tugas akhir.

3.2.2. Pengumpulan Data dan Spesifikasi Tiang Penyangga *Monocable Ropeway*

Pada tahapan ini dilakukan pengumpulan data dari berbagai sumber untuk kemudian dilakukan pengolahan dari data yang didapatkan. Data spesifikasi dari tiang penyangga *monocable ropeway* adalah sebagai berikut :

9. Material tiang penyangga pada *monocable ropeway* adalah besi hollow galvanis 100 x 100 mm dengan ketebalan 2,8 mm
10. Kapasitas beban yang ditransportasikan adalah 50-100 kg
11. Kemiringan area sebagai jalur transportasi sebesar 30°
12. Sudut pembelokan pada jalur transportasi sebesar 60°

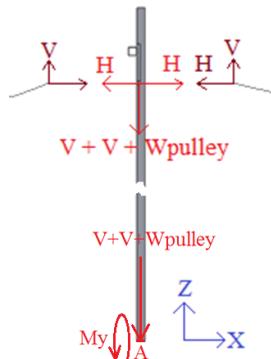
3.2.3. Perhitungan Tiang Penyangga untuk Analisa Kekuatan

Dari data-data yang telah diperoleh, kemudian dilakukan perhitungan manual untuk melihat kekuatan pada tiang penyangga. Perhitungan pada tiang penyangga dilakukan dengan tiga variasi tiang penyangga, antara lain : Posisi tiang penyangga dengan arah transportasi lurus dan kemiringan tanah 0° , posisi tiang penyangga dengan arah transportasi mengalami belokan dengan sudut belokan 60° , dan posisi tiang penyangga dengan kemiringan tanah 30° .

1. Posisi tiang penyangga dengan arah transportasi lurus dan kemiringan tanah 0°



Gambar 3.2 Dimensi Dasar yang Diperlukan dalam Perhitungan Analisa Kekuatan Tiang Penyangga



Gambar 3.3 *Free Body Diagram* yang Terjadi pada Tiang Penyangga dengan Lintasan Lurus

- Diketahui tegangan salah satu tali yang ditopang oleh tiang secara vertikal (V) adalah sebesar 1020,25 N dan horizontal (H) adalah sebesar 42133,81 N dengan keadaan tali menopang dua beban. Tegangan tali ini diperoleh dari data hasil perhitungan penelitian. Sehingga gaya yang diterima oleh tiang dalam arah sumbu x adalah :

$$F_X = H - H$$

$$F_X = 42133,81 - 42133,81$$

$$F_X = 0 \text{ N}$$

Dan gaya yang diterima oleh tiang dalam arah sumbu z adalah :

$$F_Z = V + V + m_{pulley} \cdot g$$

$$F_Z = 1020,25 + 1020,25 + 40.9,81$$

$$F_Z = 2432,9 \text{ N}$$

Sehingga gaya total yang diterima dapat dilihat pada gambar 3.4 :



Gambar 3.4 Gaya Total yang Diterima oleh Tiang Penyangga dengan Lintasan Lurus

➤ Perhitungan tegangan di A akibat F_Z :

$$\sigma_z = \frac{F_Z}{A}$$

$$\sigma_z = \frac{2432,9}{1088,64 \times 10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$\sigma_z = 2234806,64 \text{ Pa}$$

- Perhitungan tegangan di A akibat M_y :

$$M_y = F_z l_y$$

$$M_y = 2432,9 \times 0,5$$

$$M_y = 1216,45 \text{ Nm}$$

$$\sigma_z = \frac{M_y \times c}{I_y}$$

$$\sigma_z = \frac{1216,45 \times 0,05}{1715638,58 \times 10^{-12} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_z = 35451814,1 \text{ Pa}$$

- Maka tegangan total adalah sebesar :

$$\sigma_z = (2234806,64 + 35451814,1) \text{ Pa}$$

$$= 37686620,74 \text{ Pa}$$

- Sehingga dapat dihitung tegangan prinsipal sebesar :

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_z}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{zx}^2}$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{37686620,74}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{37686620,74}{2}\right)^2 + 0^2}$$

$$\sigma_1 = 37686620,74 \text{ Pa}$$

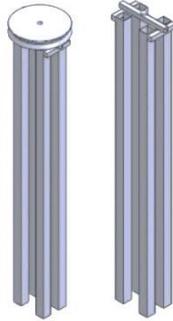
$$\sigma_2 = 0 \text{ Pa}$$

- Sehingga dapat dihitung tegangan von mises sebesar :

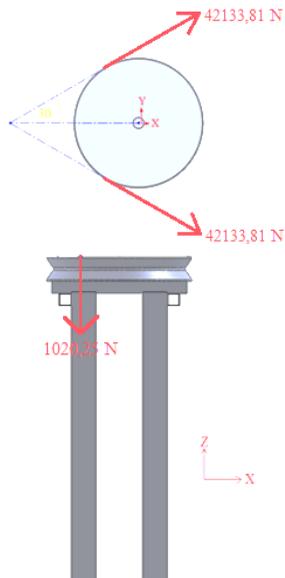
$$S_{yp} = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2^2}$$

$$S_{yp} = 37686620,74 \text{ Pa}$$

2. Posisi tiang penyangga dengan arah transportasi mengalami belokan dengan sudut belokan α sebesar 60°



Gambar 3.5 Model Konstruksi Tiang dengan Keadaan Lintasan Mengalami Pembelokan



Gambar 3.6 Gaya yang Terjadi pada Tiang Penyangga dengan Lintasan Mengalami Pembelokan dengan $\alpha 60^\circ$ pada *Monocable Ropeway*

- Diketahui tegangan tali horizontal (H) dengan keadaan tali menopang dua beban adalah 42133,81 N. Dari tegangan tali horizontal (H), maka dapat dihitung resultan tegangan tali:

$$F_X = 2 \times H \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$F_X = 2 \times 42133,81 \cos 30^\circ$$

$$F_X = 72977,89 \text{ N}$$

Dengan arah gaya F_X searah sumbu X.

- Diketahui tegangan tali vertikal (V_A) dengan keadaan tali menopang dua beban adalah 1020,25 N sehingga gaya vertikal total yang diterima oleh tiang adalah sebagai berikut :

$$V = 2 \times V_A$$

$$V = 2 \times 1020,25 \text{ N}$$

$$V = 2040,5 \text{ N}$$

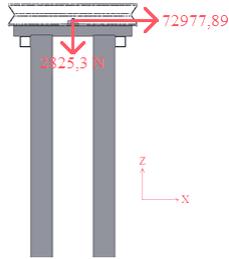
Sehingga gaya vertikal total yang diterima oleh tiang sebesar :

$$F_Z = V + \text{berat pulley}$$

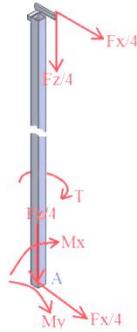
$$F_Z = 2040,5 + (80 \times 9,81)$$

$$F_Z = 2825,3 \text{ N}$$

Sehingga gaya yang terjadi pada tiang secara keseluruhan dapat terlihat pada gambar 3.7 :



Gambar 3.7 Gaya yang Terjadi pada Tiang Secara Keseluruhan dengan Lintasan Mengalami Pembelokan dengan $\alpha 60^\circ$



Gambar 3.8 *Free Body Diagram* Tiang dengan Lintasan Mengalami Pembelokan dengan $\alpha 60^\circ$

Sehingga perhitungan tegangan yang terjadi :

- Perhitungan tegangan di titik A akibat beban $F_x/4$:

$$\tau_{zx} = \frac{\frac{F_x}{4}}{A}$$

$$\tau_{zx} = \frac{72977,89}{4A}$$

$$\tau_{zx} = \frac{72977,89}{4 \times 1088,64 \times 10^{-6}}$$

$$\tau_{zx} = 16758958,43 \text{ Pa}$$

- Perhitungan tegangan di titik A akibat beban $F_Z/4$:

$$\sigma_z = \frac{\frac{F_Z}{4}}{A}$$

$$\sigma_z = \frac{2825,3}{4A}$$

$$\sigma_z = \frac{706,325}{1088,64 \times 10^{-6} m^2}$$

$$\sigma_z = 648814,12 Pa$$

- Perhitungan tegangan di titik A akibat beban momen M_Y :

$$M_Y = \frac{F_Z}{4} l_x$$

$$M_Y = \frac{2825,3}{4} 0,145$$

$$M_Y = 102,4 Nm$$

$$\sigma_z = \frac{M_Y \times c}{I_y}$$

$$\sigma_z = \frac{102,4 \times 0,05}{1715638,58 \times 10^{-12} m^4}$$

$$\sigma_z = 2984311,53 Pa$$

- Perhitungan tegangan akibat beban momen M_X :

$$M_X = \frac{F_Z}{4} l_y$$

$$M_X = \frac{2825,3}{4} 0,1$$

$$M_X = 70,63 Nm$$

$$\sigma_z = \frac{M_x \times c}{I_x}$$

$$\sigma_z = \frac{70,63 \times 0,05}{1715638,58 \times 10^{-12} m^4}$$

$$\sigma_z = 2058417,22 Pa$$

➤ Perhitungan tegangan akibat beban torsi T :

$$T = \frac{F_x}{4} l_y$$

$$T = \frac{72977,89}{4} 0,1$$

$$T = 1824,44 Nm$$

$$\tau_{zx} = \tau_{zy} = \frac{T \times c}{J}$$

$$\tau_{zx} = \tau_{zy} = \frac{1824,44 \times 0,05}{2571324,13 \times 10^{-12} m^4}$$

$$\tau_{zx} = \tau_{zy} = 35476663,15 Pa$$

➤ Maka tegangan total adalah sebesar :

$$\tau_{zx} = 16758958,43 + 35476663,15 = 52235621,58 Pa$$

$$\tau_{zy} = 35476663,15 Pa$$

$$\sigma_z = (648814,12 + 2984311,53 + 2058417,22) Pa$$

$$= 5691542,87 Pa$$

➤ Sehingga dapat dihitung tegangan prinsipal sebesar :

$$\sigma_1 = 66053748,9 Pa$$

$$\sigma_2 = -60362206,02 Pa$$

$$\sigma_3 = 0 Pa$$

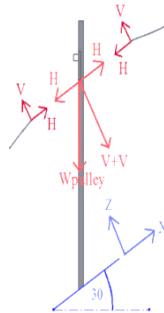
Sehingga dapat dihitung tegangan von mises sebesar :

$$S_{yp} = \frac{\sqrt{2}}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{1/2}$$

$$S_{yp} = \frac{\sqrt{2}}{2} [(126415954,9)^2 + (-60362206,02)^2 + (-66053748,9)^2]^{1/2}$$

$$S_{yp} = 109516408,1 \text{ Pa}$$

3. Posisi tiang penyangga dengan kemiringan tanah 30°
 - a. Pemasangan tiang dimana antara tanah dan tiang membentuk sudut 60°



Gambar 3.9 *Free Body Diagram* Tiang Dimana antara Tanah dan Tiang Membentuk Sudut 60°

- Diketahui tegangan salah satu tali yang ditopang oleh tiang secara vertikal (V_A) adalah sebesar 1020,25 N dan horizontal (H) adalah sebesar 42133,81 N dengan keadaan tali menopang dua beban. Sehingga gaya yang diterima oleh tiang dalam arah sumbu x :

$$F_X = H + \frac{m_{pulley} \cdot g}{\sin 30} - H$$

$$F_X = \frac{40.9,81}{\sin 30} + 42133,81 - 42133,81$$

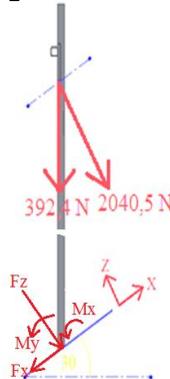
$$F_X = 784,8 \text{ N}$$

Dan gaya yang diterima oleh tiang dalam arah sumbu z adalah :

$$F_Z = V + V + \frac{m_{pulley} \cdot g}{\cos 30}$$

$$F_Z = 1020,25 + 1020,25 + \frac{40,9,81}{\cos 30}$$

$$F_Z = 2493,6 \text{ N}$$



Gambar 3.10 Beban yang Terjadi pada Titik A pada Tiang dengan Lintasan Miring dimana antara Tanah dan Tiang Membentuk Sudut 60°

- Perhitungan tegangan akibat beban F_X :

$$\tau_{zx} = \frac{F_X}{A}$$

$$\tau_{zx} = \frac{1260,4 \times 10^{-6} \text{ m}^2}{784,8}$$

$$\tau_{zx} = 622659,47 \text{ Pa}$$

- Perhitungan tegangan akibat beban F_Z :

$$\sigma_z = \frac{F_Z}{A}$$

$$\sigma_z = \frac{2493,6}{1260,4 \times 10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$\sigma_z = 1978419,55 \text{ Pa}$$

- Perhitungan tegangan akibat beban M_y :

$$M_y = (F_Z \cos 30 - F_X \sin 30)t$$

$$M_y = (2493,6 \cos 30 - 784,8 \sin 30) 3,1$$

$$M_y = 5478 \text{ Nm}$$

$$\sigma_z = \frac{M_y \times c}{I_y}$$

$$\sigma_z = \frac{5478 \times 0,058}{1983805,84 \times 10^{-12} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_z = 160158818,8 \text{ Pa}$$

- Perhitungan tegangan akibat beban M_x :

$$M_x = F_Z l_y$$

$$M_x = 2493,6 \times 0,5$$

$$M_x = 1246,8 \text{ Nm}$$

$$\sigma_z = \frac{M_x \times c}{I_x}$$

$$\sigma_z = \frac{1246,8 \times 0,05}{2652429,16 \times 10^{-12} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_z = 23502983,96 \text{ Pa}$$

Tegangan total sesuai perhitungan di atas adalah sebesar :

$$\tau_{zx} = 622659,47 \text{ Pa}$$

$$\sigma_z = (1978419,55 + 160158818, +23502983,96) \text{ Pa}$$

$$= 185640222,3 \text{ Pa}$$

- Sehingga dapat dihitung tegangan prinsipal sebesar :

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_z}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{zx}^2}$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{185640222,3}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{185640222,3}{2}\right)^2 + 622659,47^2}$$

$$\sigma_1 = 185642310,75 \text{ Pa}$$

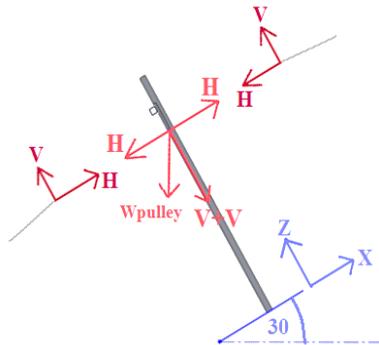
$$\sigma_2 = -2088,45 \text{ Pa}$$

Sehingga dapat dihitung tegangan von mises sebesar :

$$S_{yp} = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2}$$

$$S_{yp} = 185643355 \text{ Pa}$$

- b. Pemasangan tiang dimana antara tanah dan tiang saling tegak lurus



Gambar 3.11 *Free Body Diagram* Tiang dimana antara Tanah dan Tiang Saling Tegak Lurus

- Diketahui tegangan salah satu tali yang ditopang oleh tiang secara vertikal (V) adalah sebesar 1020,25 N dan horizontal (H) adalah sebesar 42133,81 N dengan keadaan tali menopang dua beban. Sehingga gaya yang diterima oleh tiang dalam arah sumbu x adalah :

$$F_X = H + \frac{m_{pulley} \cdot g}{\sin 30} - H$$

$$F_X = \frac{40,9,81}{\sin 30} + 42133,81 - 42133,81$$

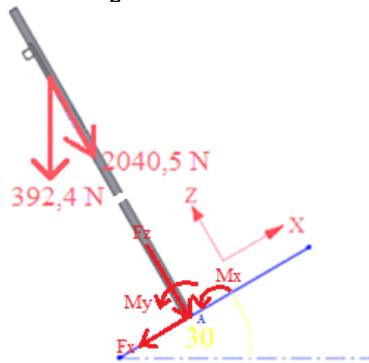
$$F_X = 784,8 \text{ N}$$

Dan gaya yang diterima oleh tiang dalam arah sumbu z adalah :

$$F_Z = V + V + \frac{m_{pulley} \cdot g}{\cos 30}$$

$$F_Z = 1020,25 + 1020,25 + \frac{40,9,81}{\cos 30}$$

$$F_Z = 2493,6 \text{ N}$$



Gambar 3.12 Beban yang Terjadi pada Titik A di Tiang dengan Lintasan Miring dimana antara Tanah dan Tiang Saling Tegak Lurus

- Perhitungan tegangan akibat beban F_X :

$$\tau_{zx} = \frac{F_X}{A}$$

$$\tau_{zx} = \frac{784,8}{1088,64 \times 10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$\tau_{zx} = 720899,47 \text{ Pa}$$

- Perhitungan tegangan akibat beban F_Z :

$$\sigma_z = \frac{F_Z}{A}$$

$$\sigma_z = \frac{2493,6}{1088,64 \times 10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$\sigma_z = 2290564,37 \text{ Pa}$$

- Perhitungan tegangan akibat beban M_y :

$$M_y = F_x t$$

$$M_y = 784,8 \times 3,1$$

$$M_y = 2432,88 \text{ Nm}$$

$$\sigma_z = \frac{M_y \times c}{I_y}$$

$$\sigma_z = \frac{2432,88 \times 0,05}{1715638,58 \times 10^{-12} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_z = 70903045,3 \text{ Pa}$$

- Perhitungan tegangan akibat beban M_x :

$$M_x = F_z l_y$$

$$M_x = 2493,6 \times 0,5$$

$$M_x = 1246,8 \text{ Nm}$$

$$\sigma_z = \frac{M_x \times c}{I_x}$$

$$\sigma_z = \frac{1246,8 \times 0,05}{1715638,58 \times 10^{-12} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_z = 36336324,4 \text{ Pa}$$

Tegangan total sesuai perhitungan di atas adalah sebesar :

$$\tau_{zx} = 720899,47 \text{ Pa}$$

$$\sigma_z = (2290564,37 + 70903045,3 + 36336324,4) \text{ Pa}$$

$$= 109529934,07 \text{ Pa}$$

➤ Sehingga dapat dihitung tegangan prinsipal sebesar

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_z}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{zx}^2}$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{109529934,07}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{109529934,07}{2}\right)^2 + 720899,47^2}$$

$$\sigma_1 = 109534678.7 \text{ Pa}$$

$$\sigma_2 = -4744,6 \text{ Pa}$$

Sehingga dapat dihitung tegangan von mises sebesar :

$$S_{yp} = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2}$$

$$S_{yp} = 109537051 \text{ Pa}$$

3.2.4. Melakukan Simulasi dan Pengolahan Data dengan Software Ansys

Pembuatan model simulasi dan pengolahan data dengan *software Ansys* dilakukan dengan tahap - tahap sebagai berikut :

- Pembuatan geometri
Pada tahap ini dilakukan pembuatan model gambar objek yang akan dilakukan simulasi.
- Material properties
Material properties yang digunakan adalah besi hollow galvanis St27 dengan properties sebagai berikut :

Tabel 3.1 Properties material besi hollow galvanis St27

<i>Yield Strength</i>	2,64779e+008 Pa
<i>Ultimate Tensile Strength</i>	3,56901e+008 Pa

Modulus elastisitas	2e+011 Pa
---------------------	------------------

- Proses *meshing*
Setelah proses pembuatan geometri, yang dilakukan selanjutnya adalah proses *meshing*. Dalam proses *meshing* ini, objek yang akan dianalisa dibagi menjadi beberapa bagian. Bagian-bagian ini disebut elemen yang tiap elemen satu dengan elemen lainnya dihubungkan dengan nodal (*node*).
- Pembuatan bidang batas dan pemberian beban pada geometri
Setelah proses *meshing*, pada geometri diberikan batasan bagian mana yang *fixed* dan peletakkan pembebanan pada geometri.
- Analisa dan hasil simulasi
Pada tahap ini dilakukan running dan akan didapatkan informasi seperti nilai tegangan von mises maksimum dan minimum dalam analisa static serta jumlah siklus dalam analisa *fatigue*.

3.2.5. Analisa Kekuatan Tiang Penyangga

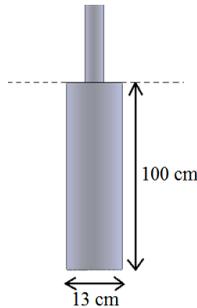
Dari proses perhitungan manual serta simulasi model pada tiang penyangga *monocable ropeway* dengan tiga variasi kondisi yang dianalisa, antara lain posisi tiang penyangga dengan arah transportasi lurus dan kemiringan tanah 0° , posisi tiang penyangga dengan arah transportasi mengalami belokan dengan sudut belokan 60° , dan posisi tiang penyangga dengan kemiringan tanah 30° , maka dapat diketahui besar tegangan yang diterima oleh tiang dan bagaimana kekuatan tiang.

3.2.6. Perhitungan Daya Dukung Tanah

Diketahui bahwa kedalaman pondasi (D_f) adalah 100 cm, lebar pondasi (B) yaitu sebesar diameter cor yaitu 30 cm, berat volume tanah mineral (γ) adalah 1700 t/m^3 , dan nilai N_c , N_q , N_γ sesuai pada table 3.2 berikut :

Tabel 3.2 Nilai faktor daya dukung tanah dengan $\Phi 0$

N_c	5,7
N_q	1
N_γ	0



Gambar 3.13 Dimensi Pondasi Berupa Cor

$$q_{ult} = 1,3 \cdot c \cdot N_c + D_f \cdot \gamma \cdot N_q + 0,3 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

$$q_{ult} = 1,3 \cdot 0,5,7 + 100 \cdot 1700 \cdot 1 + 0,5 \cdot 1700 \cdot 30 \cdot 0$$

$$q_{ult} = 170000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$q_{ult} = 16671,305 MPa$$

3.2.7. Perhitungan *Buckling*

Perhitungan *buckling* pada tiang penyangga dilakukan dengan tiga variasi tiang penyangga, antara lain : Posisi tiang penyangga dengan arah transportasi lurus dan kemiringan tanah 0° , posisi tiang penyangga dengan arah transportasi mengalami belokan dengan sudut belokan 60° , dan posisi tiang

penyangga dengan kemiringan tanah 30° . Dimana pada setiap kondisi, beban yang diterima tiang merupakan beban eksentris.

- Posisi tiang penyangga dengan arah transportasi lurus dan kemiringan tanah 0°

$$\sigma_{max} = \frac{F_{aksial}}{A} \left[1 + \frac{ec}{r^2} \sec \left(\frac{L}{2r} \sqrt{\frac{F_{aksial}}{EA}} \right) \right]$$

Dimana :

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$r = \sqrt{\frac{1715638,58 \times 10^{-12}}{1088,64 \times 10^{-6}}}$$

$$r = 0,039698195 \text{ m}$$

Sehingga :

$$\sigma_{max} = \frac{2432,9}{1088,64 \times 10^{-6}} \times \left[\left(1 + \frac{0,5 \times 0,05}{0,039698195^2} \right) \times \left[\sec \left(\frac{3,1}{2 \times 0,039698195} \sqrt{\frac{2432,9}{(2e + 011)1088,64 \times 10^{-6}}} \right) \right] \right]$$

$$\sigma_{max} = 98932904 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{max} = 98,9 \text{ MPa}$$

- Posisi tiang penyangga dengan arah transportasi mengalami belokan dengan sudut belokan α sebesar 60°

$$\sigma_{max} = \frac{F_{aksial}}{A} \left[1 + \frac{ec}{r^2} \sec \left(\frac{L}{2r} \sqrt{\frac{F_{aksial}}{EA}} \right) \right]$$

Dimana :

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$r = \sqrt{\frac{1715638,58 \times 10^{-12}}{1088,64 \times 10^{-6}}}$$

$$r = 0,039698195 \text{ m}$$

Sehingga :

$$\sigma_{max} = \frac{706,325}{1088,64 \times 10^{-6}} \left[1 + \frac{0,5 \times 0,05}{0,039698195^2} \right] \times$$

$$\sec \left(\frac{2,95}{2 \times 0,039698195} \sqrt{\frac{706,325}{(2e + 011)1088,64 \times 10^{-6}}} \right)$$

$$\sigma_{max} = 12729770,69 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{max} = 12,73 \text{ MPa}$$

- Posisi tiang penyangga dengan kemiringan tanah 30° dan tiang lurus (antara tiang dan tanah membentuk sudut 60°)

Gaya aksial yang terjadi sebesar :

$$F_{aksial} = m_{pulley} \cdot g + (2V \times \cos(30))$$

$$F_{aksial} = 40.9,81 + (2040,5 \times \cos(30))$$

$$F_{aksial} = 707,15 \text{ N}$$

Maka

$$\sigma_{max} = \frac{F_{aksial}}{A} \left[1 + \frac{ec}{r^2} \sec \left(\frac{L}{2r} \sqrt{\frac{F_{aksial}}{EA}} \right) \right]$$

Dimana :

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$r = \sqrt{\frac{1715638,58 \times 10^{-12}}{1088,64 \times 10^{-6}}}$$

$$r = 0,039698195 \text{ m}$$

Sehingga :

$$\sigma_{max} = \frac{707,15}{1088,64 \times 10^{-6}} \left[1 + \frac{0,5 \times 0,05}{0,039698195^2} \right] \times$$

$$\sec \left(\frac{3,1}{2 \times 0,039698195} \sqrt{\frac{707,15}{(2e + 011)1088,64 \times 10^{-6}}} \right)$$

$$\sigma_{max} = 15729062,14 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{max} = 15,72 \text{ MPa}$$

- Posisi tiang penyangga dengan kemiringan tanah 30° dan tiang tegak lurus terhadap tanah

$$\sigma_{max} = \frac{F_{aksial}}{A} \left[1 + \frac{ec}{r^2} \sec \left(\frac{L}{2r} \sqrt{\frac{F_{aksial}}{EA}} \right) \right]$$

Dimana :

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$r = \sqrt{\frac{1715638,58 \times 10^{-12}}{1088,64 \times 10^{-6}}}$$

$$r = 0,039698195 \text{ m}$$

Sehingga :

$$\sigma_{max} = \frac{2493,6}{1088,64 \times 10^{-6}} \left[1 + \frac{0,5 \times 0,05}{0,039698195^2} \right] \times$$

$$\sec \left(\frac{3,1}{2 \times 0,039698195} \sqrt{\frac{2493,6}{(2e + 011)1088,64 \times 10^{-6}}} \right)$$

$$\sigma_{max} = 132570743,5 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{max} = 132,6 \text{ MPa}$$

3.2.8. Penarikan Kesimpulan dan Saran

Tahap penarikan kesimpulan dan saran merupakan tahap terakhir dari penelitian Tugas Akhir ini. Setelah melakukan analisa kekuatan pada tiang penyangga *monocable ropeway*, maka dapat diketahui nilai tegangan maksimal yang terjadi pada tiang penyangga (*tower*) pada *monocable ropeway* dengan berbagai kondisi seperti belokan dan kemiringan tanah. Dimana dari hasil tersebut nantinya dapat diketahui analisa kekuatan tiang penyangga dengan besar tegangan berbeda pada setiap kondisi yang berbeda.

Dari perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan hasil seperti pada table 3.3.

Tabel 3.3 Tabel Rangkuman Hasil Perhitungan

Keadaan Pemasangan Tiang	Perhitungan Tegangan Von Mises (MPa)	Perhitungan Tegangan Maksimum <i>Buckling</i> (MPa)
Lintasan lurus	37,68	98,9
Belok dengan sudut belokan 60°	109,52	12,73
Dengan kemiringan tanah membentuk sudut 30° dan posisi tiang lurus	185,64	15,72
Dengan kemiringan tanah membentuk sudut 30° dan posisi tiang tegak lurus tanah	109,5	132,6

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Mengevaluasi Hasil Analisa Kekuatan dengan Teori Kegagalan

Dari perhitungan dan simulasi yang telah dilakukan, didapatkan hasil besar tegangan yang diterima oleh tiang pada *monocable ropeway*. Perhitungan tegangan dilakukan pada kondisi pemasangan tiang yang berbeda, yaitu posisi tiang penyangga dengan arah transportasi lurus dan kemiringan tanah 0° , posisi tiang penyangga dengan arah transportasi mengalami belokan dengan sudut belokan 60° , dan posisi tiang penyangga dengan kemiringan tanah 30° . Dari besar tegangan yang telah didapatkan, maka dilakukan analisa kekuatan struktur dari segi material, apakah masih dalam batas aman atau tidak. Kemudian untuk melihat adanya pengaruh variasi pemasangan tiang. Dalam analisa kekuatan tiang, digunakan teori kegagalan energi distorsi maksimum / Von Misses karena teori ini dapat memprediksi dibawah suatu kombinasi pembebanan dengan akurasi yang lebih baik. Struktur dapat dikatakan aman (dapat bekerja dengan baik untuk menerima pembebanan yang diberikan) apabila tegangan Von Misses yang diterima oleh struktur memiliki harga kurang dari Tensile Yield Strength (Syp).

Material tiang yang digunakan oleh perusahaan PT Dharma Satya Nusantara 2 adalah besi hollow galvanis St27 berukuran 100 x 100 mm dengan ketebalan 2,8 mm dengan spesifikasi :

Tensile Yield Strength (Syp)	= 264,8 MPa
Ultimate Tensile Strength (Su)	= 356 MPa

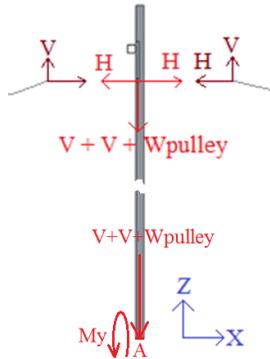
4.1.1. Mengevaluasi Hasil Perhitungan dengan Teori Kegagalan

Perhitungan analisa kekuatan tiang pada *monocable ropeway* dilakukan dengan kapasitas angkut kelapa sawit per basket sebesar 100 kg. Perhitungan besar tegangan tiang pada

monocable ropeway dilakukan dengan keadaan dimana beban yang diangkut diantara kedua tiang adalah sebanyak dua basket dan masing-masing basket memiliki kapasitas angkut 100 kg kelapa sawit. Dari perhitungan yang telah dilakukan pada tiang, diperoleh tegangan Von Mises pada setiap variasi pemasangan tiang. Hasil perhitungan yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut :

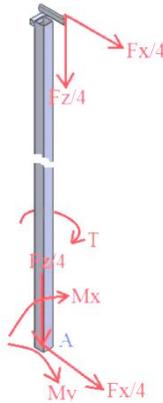
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Matematis Analisa Tegangan Pada Tiang *Monocable Ropeway*

Keadaan Pemasangan Tiang	Perhitungan Manual Tegangan Maksimum Von Mises (MPa)
Lintasan lurus	37,68
Belok dengan sudut belokan 60°	109,52
Dengan kemiringan tanah membentuk sudut 30° dan posisi tiang lurus	185,64
Dengan kemiringan tanah membentuk sudut 30° dan posisi tiang tegak lurus tanah	109,5



Gambar 4.1 Gaya yang terjadi pada tiang penyangga dengan lintasan lurus

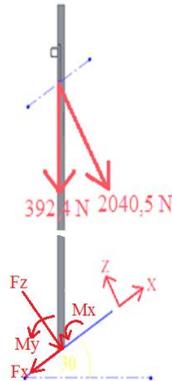
Pada kondisi pemasangan tiang dengan keadaan dimana lintasan lurus dan tanpa ada kemiringan tanah, beban yang diterima tiang dapat dilihat pada gambar 4.1. Massa beban kelapa sawit dan massa tali telah diperhitungkan sehingga menghasilkan besar tegangan tali tertentu. Sehingga tiang menerima beban berupa gaya tegangan tali, baik secara horizontal dan vertikal, serta berupa massa pulley yang ditopang. Setelah dilakukan kalkulasi penjumlahan gaya yang dilakukan, maka diketahui tiang menerima gaya searah sumbu z sebesar 2432,9 N. Dengan adanya gaya tersebut, maka tiang menerima tegangan normal akibat gaya tersebut serta tegangan normal akibat momen yang ditimbulkan oleh gaya tersebut. Sehingga diperoleh hasil tegangan Von Misses yang bekerja pada tiang dengan lintasan lurus, yakni sebesar 37,68 MPa. Sehingga struktur dapat dikatakan aman (dapat bekerja dengan baik untuk menerima pembebanan yang diberikan) karena tegangan Von Misses yang diterima oleh struktur memiliki harga kurang dari Tensile Yield Strength (Sy) sebesar 264,8 MPa dan Ultimate Tensile Strength (Su) sebesar 356 MPa. Oleh karena itu, tiang dengan keadaan lintasan lurus tidak mengalami kegagalan baik berupa deformasi plastik ataupun *fracture*.



Gambar 4.2 Gaya yang terjadi pada tiang secara keseluruhan dengan lintasan mengalami pembelokan dengan $\alpha 60^\circ$

Pada kondisi pemasangan tiang dengan keadaan dimana lintasan mengalami pembelokan dengan sudut belok 60° , beban yang diterima tiang dapat dilihat pada gambar 4.2. Massa beban kelapa sawit dan massa tali telah diperhitungkan sehingga menghasilkan besar tegangan tali tertentu. Sehingga tiang menerima beban berupa gaya tegangan tali, baik secara horizontal dan vertikal, serta berupa massa pulley yang ditopang. Setelah dilakukan kalkulasi penjumlahan gaya yang dilakukan, maka diketahui tiang menerima gaya searah sumbu x (F_x) sebesar 72977,89 N dan searah sumbu z (F_z) sebesar 2825,3 N. Dengan adanya gaya F_x maka masing-masing tiang menerima tegangan geser akibat gaya F_x , dan tegangan geser akibat torsi yang ditimbulkan oleh gaya F_x . Dan dengan adanya gaya F_z maka masing-masing tiang menerima tegangan normal akibat gaya F_z , dan tegangan normal akibat momen yang ditimbulkan oleh gaya F_z . Sehingga diperoleh hasil tegangan Von Mises yang bekerja pada tiang dengan lintasan mengalami pembelokan, yakni sebesar 109,52 MPa. Sehingga struktur dapat dikatakan aman (dapat bekerja dengan baik untuk menerima pembebanan yang diberikan) karena tegangan Von Mises yang diterima oleh

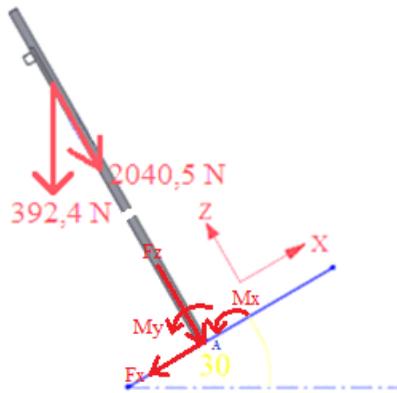
struktur memiliki harga kurang dari Tensile Yield Strength (S_y) sebesar 264,8 MPa dan Ultimate Tensile Strength (S_u) sebesar 356 MPa. Oleh karena itu, tiang yang memiliki lintasan belokan tidak mengalami kegagalan baik berupa deformasi plastik ataupun *fracture*.



Gambar 4.3 Gaya yang Terjadi Pada Tiang Dengan Lintasan Miring 30° Dimana Antara Tanah Dan Tiang Membentuk Sudut 60°

Perhitungan tiang dengan kemiringan tanah dilakukan dengan dua variasi pemasangan tiang. Pada kondisi pemasangan tiang dengan keadaan dimana lintasan mengalami kemiringan tanah sebesar 30° serta tanah dan tiang membentuk sudut 60° , beban yang diterima tiang dapat dilihat pada gambar 4.3. Massa beban kelapa sawit dan massa tali telah diperhitungkan sehingga menghasilkan besar tegangan tali tertentu. Sehingga tiang menerima beban berupa gaya tegangan tali, baik secara horizontal dan vertikal, serta berupa massa pulley yang ditopang. Setelah dilakukan kalkulasi penjumlahan gaya dan transformasi gaya, maka diketahui tiang menerima gaya searah sumbu x (F_x) sebesar 784,8 N dan searah sumbu z (F_z) sebesar 2493,6 N. Dengan adanya gaya F_x maka tiang menerima tegangan geser akibat gaya F_x , dan tegangan normal akibat momen yang ditimbulkan oleh

gaya F_x . Dan dengan adanya gaya F_z maka tiang menerima tegangan normal akibat gaya F_z , dan tegangan normal akibat momen yang ditimbulkan oleh gaya F_z . Sehingga diperoleh hasil tegangan Von Mises yang bekerja pada tiang dengan lintasan mengalami kemiringan tanah sebesar 30° serta tanah dan tiang membentuk sudut 60° , yakni sebesar 185,64 MPa. Sehingga struktur dapat dikatakan aman (dapat bekerja dengan baik untuk menerima pembebanan yang diberikan) karena tegangan Von Mises yang diterima oleh struktur memiliki harga kurang dari Tensile Yield Strength (Sy) sebesar 264,8 MPa dan Ultimate Tensile Strength (Su) sebesar 356 MPa. Oleh karena itu, tiang tidak mengalami kegagalan baik berupa deformasi plastik ataupun *fracture*.



Gambar 4.4 Gaya yang terjadi pada tiang dengan lintasan miring 30° dimana antara tanah dan tiang saling tegak lurus

Sedangkan pada kondisi pemasangan tiang dengan keadaan dimana lintasan mengalami kemiringan tanah sebesar 30° serta tanah dan tiang saling tegak lurus, beban yang diterima tiang dapat dilihat pada gambar 4.4. Massa beban kelapa sawit dan massa tali telah diperhitungkan sehingga menghasilkan besar tegangan tali tertentu. Sehingga tiang menerima beban berupa gaya tegangan tali, baik secara horizontal dan vertikal, serta berupa massa pulley yang ditopang. Setelah dilakukan kalkulasi

penjumlahan gaya dan transformasi gaya, maka diketahui tiang menerima gaya searah sumbu x (F_x) sebesar 784,8 N dan searah sumbu z (F_z) sebesar 2493,6 N. Dengan adanya gaya F_x maka tiang menerima tegangan geser akibat gaya F_x . Dan dengan adanya gaya F_z maka masing-masing tiang menerima tegangan normal akibat gaya F_z , dan tegangan normal akibat momen yang ditimbulkan oleh gaya F_z . Sehingga diperoleh hasil tegangan Von Mises yang bekerja pada tiang dengan lintasan mengalami kemiringan tanah sebesar 30° serta tanah dan tiang saling tegak lurus, yakni sebesar 109,5 MPa. Sehingga struktur dapat dikatakan aman (dapat bekerja dengan baik untuk menerima pembebanan yang diberikan) karena tegangan Von Mises yang diterima oleh struktur memiliki harga kurang dari Tensile Yield Strength (Sy) sebesar 264,8 MPa dan Ultimate Tensile Strength (Su) sebesar 356 MPa. Oleh karena itu, tiang tidak mengalami kegagalan baik berupa deformasi plastik ataupun *fracture*.

Jika dilakukan perbandingan pemasangan tiang dengan lintasan lurus, tegangan yang diterima tiang dengan keadaan saling tegak lurus dengan tanah menerima tegangan Von Mises yakni sebesar 109,5 MPa yang memiliki harga lebih rendah dibandingkan dengan keadaan tiang lurus (tiang membentuk sudut 60° dengan tiang) yakni sebesar 185,64 MPa. Sehingga pemasangan tiang dengan keadaan saling tegak lurus dengan tanah dapat dikatakan lebih kuat.

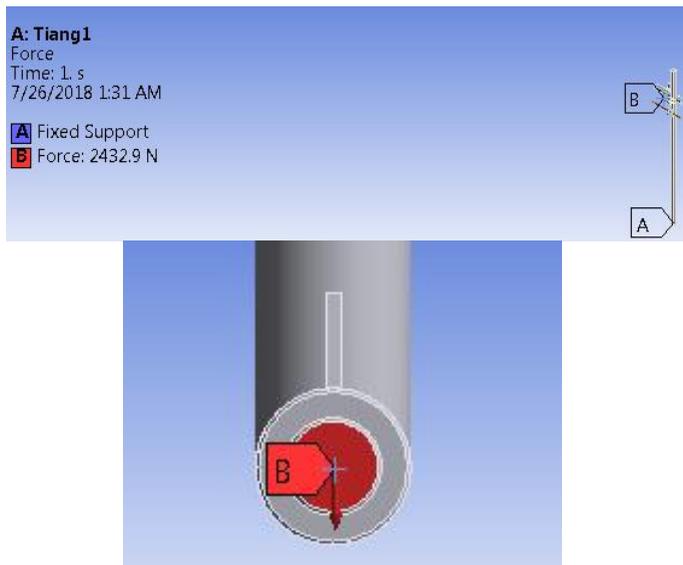
4.1.2. Mengevaluasi Hasil Simulasi dengan Teori Kegagalan

Simulasi analisa kekuatan tiang pada *monocable ropeway* dilakukan dengan menggunakan *Ansys Workbench 18.0* metode *static structural*. Kapasitas angkut kelapa sawit per basket sebesar 100 kg. Simulasi yang dilakukan pada tiang *monocable ropeway* dalam keadaan dimana beban yang diangkut diantara kedua tiang adalah sebanyak dua basket dan masing-masing basket memiliki kapasitas angkut 100 kg kelapa sawit. Simulasi ini dilakukan untuk menganalisa kekuatan tiang pada *monocable ropeway*, dan melihat adanya pengaruh variasi pemasangan tiang.

Dari simulasi yang telah dilakukan pada tiang, diperoleh tegangan Von Mises pada setiap variasi pemasangan tiang.

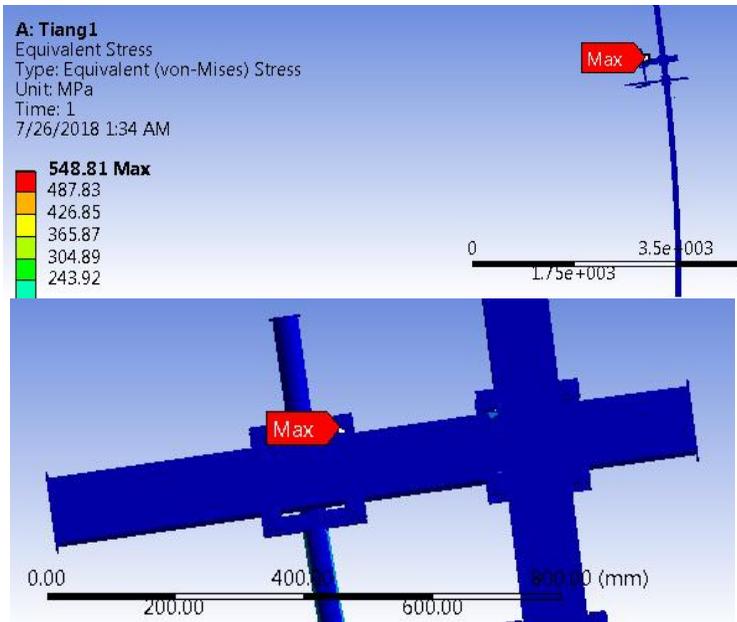
- Pembahasan hasil simulasi berupa tegangan Von Mises maksimum yang terjadi pada tiang dengan lintasan lurus

Pada simulasi tiang dengan lintasan lurus, diberikan beban pada pusat luasan dan kondisi fixed pada bagian bawah tiang seperti pada gambar 4.5 :



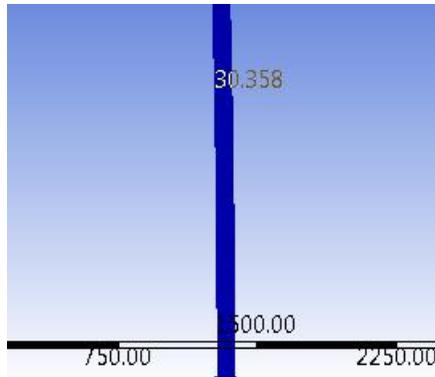
Gambar 4.5 Keadaan Pembebanan dan Boundary pada Tiang dengan Lintasan Lurus

Kemudian dilakukan running pada *software* Ansys Workbench 18.0 sehingga didapatkan hasil berupa tegangan maksimal Von Mises yang dapat dilihat pada gambar 4.6 :



Gambar 4.6 Hasil Simulasi Berupa Tegangan Von Mises yang Terjadi pada Tiang dengan Lintasan Lurus

Dari hasil simulasi diperoleh hasil tegangan Von Mises maksimum adalah sebesar 548,81 MPa. Dimana pada gambar menunjukkan bahwa tegangan maksimum terjadi bukan pada tiang, akan tetapi pada mur pada penyambung antara tiang dengan pipa yang berhubungan dengan pulley. Pulley sendiri mengalami kontak langsung dengan tali dan beban yang ditransportasikan. Sedangkan pada tiang, tegangan rata-rata terbesar yang terjadi dapat dilihat pada gambar 4.7 :

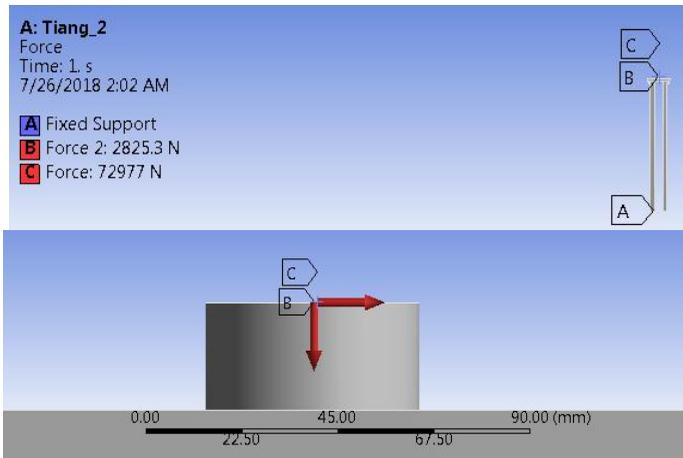


Gambar 4.7 Tegangan Rata-Rata Terbesar yang Diterima oleh Tiang dengan Lintasan Lurus

Sehingga dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa bagian sambungan (material sama dengan tiang) antara tiang dan pulley tidak dapat dikatakan aman karena memiliki tegangan Von Mises yang jauh lebih besar dari dari *Tensile Yield Strength* (S_y) material yakni sebesar 264,8 MPa dan *Ultimate Tensile Strength* (S_u) sebesar 356 MPa. Sedangkan dari tegangan rata-rata terbesar tiang yaitu sekitar 30-40 MPa, untuk struktur tiangnya sendiri dapat dikatakan aman karena tegangan yang diterima memiliki harga lebih kecil dari *Tensile Yield Strength* (S_y) material.

- Pembahasan hasil simulasi berupa tegangan Von Mises maksimum yang terjadi pada tiang dengan lintasan belok

Pada simulasi tiang dengan lintasan belok, diberikan beban pada pusat luasan dan kondisi *fixed* pada bagian bawah tiang seperti pada gambar 4.8 berikut :

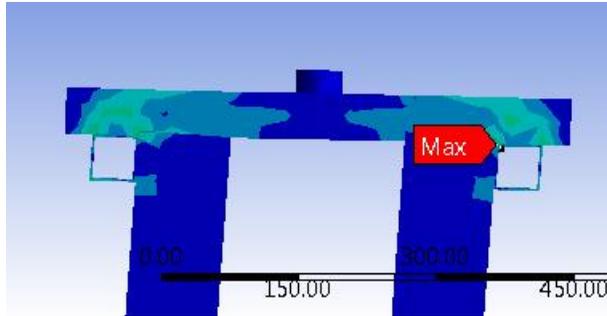


Gambar 4.8 Keadaan Pembebanan dan Boundary pada Tiang dengan Lintasan Belok

Kemudian dilakukan running pada *software* Ansys Workbench 18.0 sehingga didapatkan hasil berupa tegangan maksimal Von Mises yang dapat dilihat pada gambar 4.10 berikut :

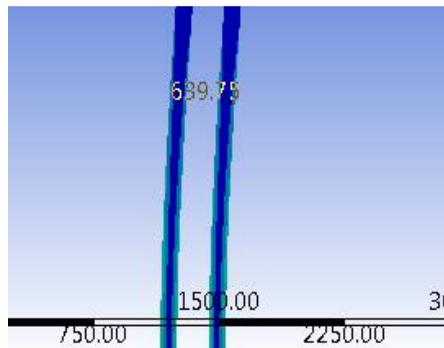


Gambar 4.9 Hasil Simulasi Berupa Tegangan Von Mises yang Terjadi pada Tiang dengan Lintasan Belok



Gambar 4.10 Hasil Simulasi Berupa Tegangan Von Mises yang Terjadi dan Letak Tegangan Von Mises Maksimal pada Tiang dengan Lintasan Belok

Dari hasil simulasi diperoleh hasil tegangan Von Mises maksimum adalah sebesar 3734,1 MPa. Dimana pada gambar menunjukkan bahwa tegangan maksimum terjadi pada sambungan tiang. Sedangkan pada tiang, tegangan rata-rata terbesar yang terjadi dapat dilihat pada gambar 4.11 berikut :



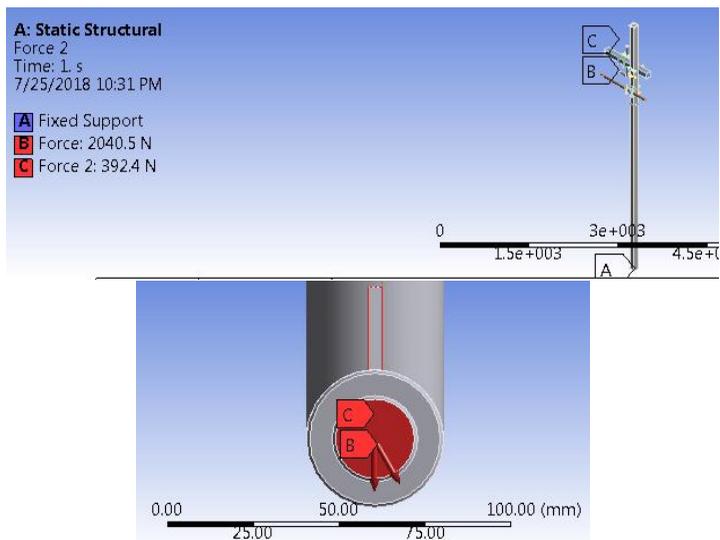
Gambar 4.11 Tegangan Rata-Rata Terbesar Yang Diterima Oleh Tiang Dengan Lintasan Belok

Sehingga dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa struktur dapat mengalami kegagalan karena nilai maksimum tegangan Von Mises memiliki harga yang lebih tinggi

melebihi batas normal dari *Tensile Yield Strength* (S_y) material sebesar 264,8 MPa dan *Ultimate Tensile Strength* (S_u) sebesar 356 MPa. Oleh karena itu, tiang dengan keadaan lintasan mengalami pembelokan dapat mengalami kegagalan baik berupa *fracture*.

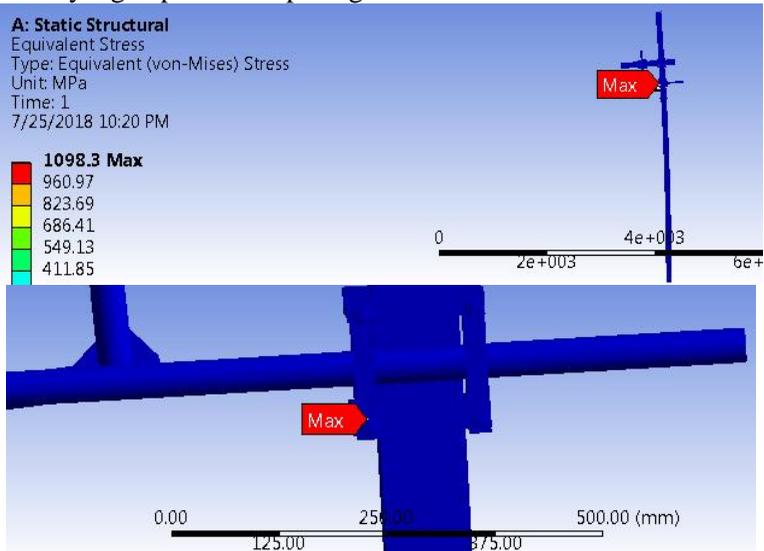
- Pembahasan hasil simulasi berupa tegangan Von Mises maksimum yang terjadi pada tiang dengan lintasan miring 30° dimana antara tanah dan tiang membentuk sudut 60°

Pada simulasi tiang dengan lintasan miring 30° dan tiang dipasang lurus, diberikan beban pada pusat luasan dan kondisi fixed pada bagian bawah tiang seperti pada gambar 4.12 berikut :



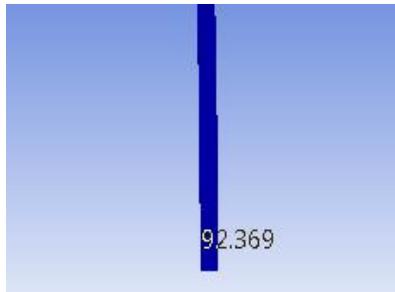
Gambar 4.12 Keadaan Pembebanan dan Boundary pada Tiang dengan Lintasan Miring 30° Dimana antara Tanah dan Tiang Membentuk Sudut 60°

Kemudian dilakukan running pada *software* Ansys Workbench 18.0 sehingga didapatkan hasil berupa tegangan maksimal Von Mises yang dapat dilihat pada gambar 4.13 berikut :



Gambar 4.13 Hasil Simulasi Berupa Tegangan Von Mises yang Terjadi pada Tiang dengan Lintasan Miring 30° Dimana antara Tanah dan Tiang Membentuk Sudut 60°

Dari hasil simulasi diperoleh hasil tegangan Von Mises maksimum adalah sebesar 1098,3 MPa. Dimana pada gambar menunjukkan bahwa tegangan maksimum terjadi bukan pada tiang, akan tetapi pada mur pada penyambung antara tiang dengan pipa yang berhubungan dengan pulley. Pulley sendiri mengalami kontak langsung dengan tali dan beban yang ditransportasikan. Sedangkan pada tiang, tegangan rata-rata terbesar yang terjadi dapat dilihat pada gambar 4.14 berikut :

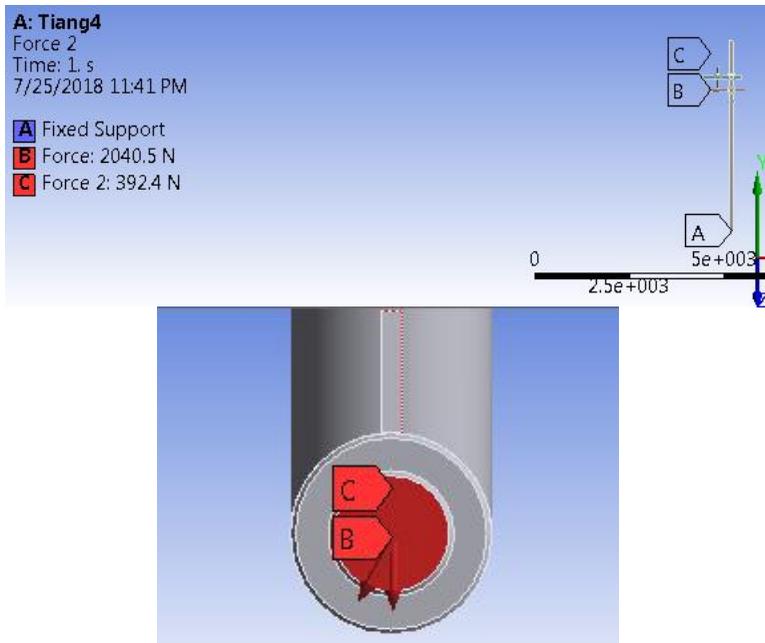


Gambar 4.14 Tegangan Rata-Rata Terbesar yang Diterima oleh Tiang dengan Lintasan Miring 30° Dimana antara Tanah dan Tiang Membentuk Sudut 60°

Sehingga dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa bagian sambungan (material sama dengan tiang) antara tiang dan pulley tidak dapat dikatakan aman karena memiliki tegangan Von Mises yang jauh lebih besar dari dari *Tensile Yield Strength* (Syp) material yakni sebesar 264,8 MPa dan *Ultimate Tensile Strength* (Su) sebesar 356 MPa. Sedangkan dari tegangan rata-rata terbesar tiang yaitu sekitar 90-100 MPa, untuk struktur tiangnya sendiri dapat dikatakan aman karena tegangan yang diterima memiliki harga lebih kecil dari *Tensile Yield Strength* (Syp) material.

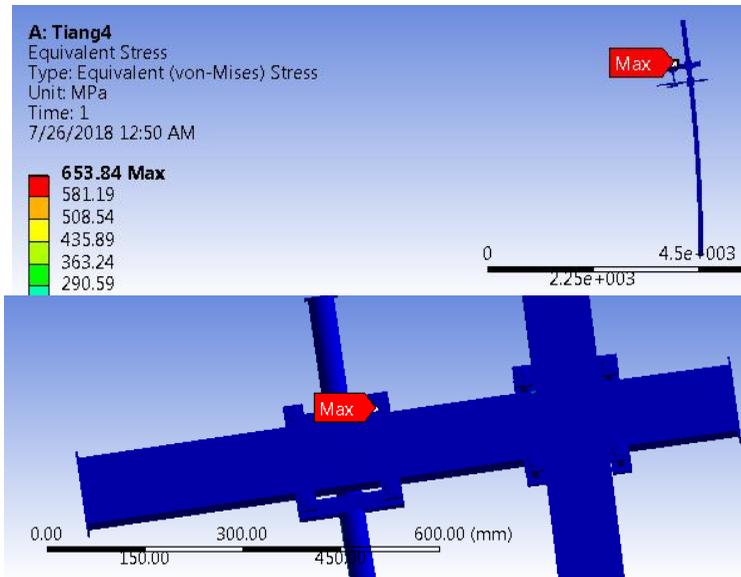
- Pembahasan hasil simulasi berupa tegangan Von Mises maksimum yang terjadi pada tiang dengan lintasan miring 30° dimana antara tanah dan tiang tegak lurus

Pada simulasi tiang dengan lintasan miring 30° dan tiang tegak lurus tanah, diberikan beban pada pusat luasan dan kondisi fixed pada bagian bawah tiang seperti pada gambar 4.15 berikut :



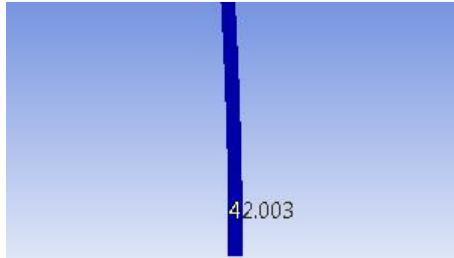
Gambar 4.15 Keadaan Pembebanan dan Boundary pada Tiang dengan Lintasan Miring 30° Dimana antara Tiang Tegak Lurus Terhadap Tanah

Kemudian dilakukan running pada *software* Ansys Workbench 18.0 sehingga didapatkan hasil berupa tegangan maksimal Von Mises yang dapat dilihat pada gambar 4.15 :



Gambar 4.16 Hasil Simulasi Berupa Tegangan Von Mises yang Terjadi pada Tiang dengan Lintasan Miring 30° Dimana Tiang Tegak Lurus Terhadap Tanah

Dari hasil simulasi diperoleh hasil tegangan Von Mises maksimum adalah sebesar 653,84 MPa. Dimana pada gambar menunjukkan bahwa tegangan maksimum terjadi bukan pada tiang, akan tetapi pada mur pada penyambung antara tiang dengan pipa yang berhubungan dengan pulley. Pulley sendiri mengalami kontak langsung dengan tali dan beban yang ditransportasikan. Sedangkan pada tiang, tegangan rata-rata terbesar yang terjadi dapat dilihat pada gambar 4.16 berikut :



Gambar 4.17 Tegangan Rata-Rata Terbesar yang Diterima oleh Tiang dengan Lintasan Miring 30° Dimana Tiang Tegak Lurus Terhadap Tanah

Sehingga dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa bagian sambungan (material sama dengan tiang) antara tiang dan pulley tidak dapat dikatakan aman karena memiliki tegangan Von Mises yang jauh lebih besar dari dari *Tensile Yield Strength* (Syp) material yakni sebesar 264,8 MPa dan *Ultimate Tensile Strength* (Su) sebesar 356 MPa. Sedangkan dari tegangan rata-rata terbesar tiang yaitu sekitar 40-50 MPa, untuk struktur tiangnya sendiri dapat dikatakan aman karena tegangan yang diterima memiliki harga lebih kecil dari *Tensile Yield Strength* (Syp) material.

Jika dilakukan perbandingan pemasangan tiang dengan lintasan lurus, tegangan yang diterima tiang dengan keadaan saling tegak lurus dengan tanah menerima tegangan yang memiliki harga lebih rendah dibandingkan dengan keadaan tiang lurus (tiang membentuk sudut 60° dengan tiang). Sehingga pemasangan tiang dengan keadaan saling tegak lurus dengan tanah dapat dikatakan lebih kuat.

4.2 Mengevaluasi Hasil Analisa Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah untuk menerima tekanan atau beban maksimum yang bekerja pada suatu pondasi. Dari perhitungan yang telah dilakukan untuk analisa daya dukung tanah, diperoleh hasil q_{ult} sebesar 16671,305 MPa. Dari pengertian daya dukung tanah, maka tanah dapat dikatakan

mampu menahan beban dengan baik dan dapat dikatakan aman apabila beban yang terjadi pada tanah memiliki harga lebih kecil dari daya dukung tanah. Untuk mengetahui hasil daya dukung tanah, maka terlebih dahulu dilakukan perbandingan hasil tegangan maksimum seperti pada tabel 4.3. Dari table diketahui bahwa tanah dapat menerima beban pada setiap keadaan pemasangan tiang dengan baik.

Tabel 4.2 Perbandingan Tegangan Yang Diterima Oleh Pondasi Dan Daya Dukung Tanah Pada Setiap Keadaan Pemasangan Tiang *Monocable Ropeway*

Keadaan Pemasangan Tiang	Tegangan Maksimum Von Mises (MPa)	Daya Dukung Tanah (MPa)	Kesimpulan
Lurus	49,135	16671,305	Aman
Belok dengan sudut 60°	4520,9	16671,305	Aman
Dengan kemiringan tanah membentuk sudut 30° dan posisi tiang lurus	181,67	16671,305	Aman
Dengan kemiringan tanah membentuk sudut 30° dan posisi tiang tegak lurus tanah	119,92	16671,305	Aman

4.3 Mengevaluasi Hasil Analisa *Buckling*

Dalam perhitungan analisa *buckling* diperoleh hasil berupa tegangan maksimum *buckling* dalam satuan MPa. Dalam kasus ini, kondisi beban vertikal yang diterima tiang merupakan beban eksentris. Tiang dapat dikatakan mampu menahan beban vertikal dari adanya *buckling* dengan baik dan dapat dikatakan aman apabila tegangan maksimum *buckling* memiliki harga lebih kecil dari *yield strength* material. Dalam hal ini, yang dimaksud dengan aman dari suatu analisa *buckling* berarti bahwa struktur tersebut tidak akan mengalami tekukan. Hasil perhitungan analisa *buckling* dapat dilihat pada tabel 4.4. Dari hasil yang didapatkan maka dapat disimpulkan bahwa tiang pada setiap keadaan pemasangan tiang dapat dikatakan aman dari *buckling*.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Matematis Analisa *Buckling*

Keadaan Pemasangan Tiang	Perhitungan Tegangan Maksimum <i>Buckling</i> (MPa)	<i>Yield Strength</i> Material (MPa)	Kesimpulan
Lintasan lurus	98,9	264,8	Aman
Belok dengan sudut belokan 60°	12,73	264,8	Aman
Dengan kemiringan tanah membentuk sudut 30° dan pemasangan tiang lurus	15,72	264,8	Aman
Dengan kemiringan tanah membentuk sudut 30° dan pemasangan tiang tegak lurus terhadap tanah	132,6	264,8	Aman

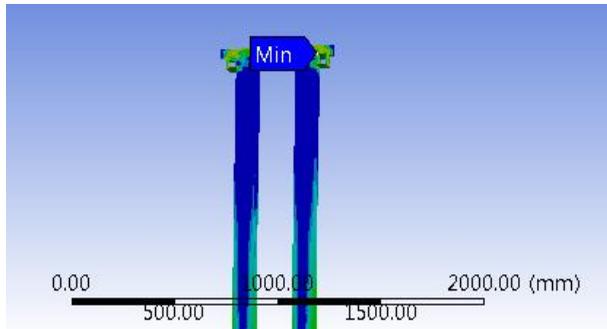
4.4 Mengevaluasi Hasil Simulasi Analisa *Fatigue*

Untuk melakukan simulasi *fatigue*, terlebih dahulu diperhitungkan besarnya rasio, yang nantinya digunakan sebagai data input dalam simulasi dengan menggunakan *Ansys Workbench 18.0*. Simulasi *fatigue* dilakukan dengan variasi beban maksimum yakni dengan dua beban terletak pada tali dengan jarak antar beban dan tiang simetri dan beban minimum dengan beban terletak tepat pada tiang dan tepat ditengah tali. Rasio merupakan perbandingan antara tegangan pada saat beban minimum dan tegangan pada saat beban maksimum. Dimana tegangan pada saat beban maksimum telah dilakukan perhitungan pada bab 3. Dengan cara yang sama, dilakukan perhitungan tegangan minimum. Dari penelitian mengenai tegangan tali, diketahui bahwa tegangan tali vertikal pada saat pembebanan maksimum dan minimum memiliki nilai yang sama, perbedaan tegangan tali terletak pada tegangan tali horizontal. Pada kasus tiang dengan lintasan lurus dan miring, tegangan tali horizontal saling menghilangkan, sehingga dapat dikatakan bahwa tiang dengan lintasan lurus dan miring tidak mengalami beban *fatigue*. Oleh karena itu simulasi *fatigue* dilakukan pada tiang dengan lintasan belok. Setelah dilakukan perhitungan dengan cara yang sama, diperoleh tegangan maksimum pada saat pembebanan minimum sebesar 1842684,43 Pa. Sehingga rasio :

$$R = \frac{\sigma_{1min}}{\sigma_{1max}}$$

$$R = \frac{1842684,43}{66053748,9}$$

$$R = 0,03$$



Gambar 4.18 Hasil simulasi *fatigue* berupa siklus yang terjadi pada tiang dengan lintasan mengalami pembelokan dengan sudut 60°

Dari hasil simulasi, didapatkan umur tiang minimal adalah 568862 siklus pada tiang dengan lintasan mengalami belokan, dimana umur minimal tersebut terletak pada sambungan tiang.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisa perhitungan dan simulasi pada tiang *monocable ropeway*, didapatkan kesimpulan hasil analisa sebagai berikut:

1. Pada analisa tegangan Von Mises pada tiang, didapatkan hasil perhitungan matematis tiang pada kondisi lintasan lurus adalah 37,68 MPa, tiang dengan lintasan belokan adalah 109,52 MPa, tiang dengan lintasan miring dan pemasangan tiang lurus adalah 185,64 MPa, dan tiang dengan lintasan miring dan pemasangan tegak lurus terhadap tanah adalah 109,5 MPa. Dimana tiang dalam berbagai kondisi dapat dikatakan aman karena memiliki nilai tegangan dibawah *yield strength* material. Sedangkan pada simulasi tegangan Von Mises didapatkan hasil tiang pada kondisi lintasan lurus adalah 548,81 MPa, tiang dengan lintasan belokan adalah 3734,1 MPa, tiang dengan lintasan miring dan pemasangan tiang lurus adalah 1098,3 MPa, dan tiang dengan lintasan miring dan pemasangan tegak lurus terhadap tanah adalah 653,84 MPa. Dimana tiang dalam berbagai kondisi memiliki nilai tegangan maksimum pada sambungan tiang, sehingga sambungan tiang tidak dapat dikatakan aman karena memiliki nilai tegangan dibawah *yield strength*. Sedangkan dalam analisa daya tahan tanah, tanah masih mampu menahan beban dalam berbagai kondisi pemasangan tiang. Dan dalam analisa buckling tiang dapat dikatakan aman dari *buckling* karena tegangan *buckling* yang terjadi akibat gaya vertikal eksentris memiliki harga kurang dari *yield strength* material.
2. Analisa *fatigue* dilakukan untuk mengetahui umur tiang *monocable ropeway*. Dalam hal ini tiang yang menerima beban *fatigue* adalah tiang dengan keadaan lintasan belok. Tiang dengan belokan memiliki umur 568862 siklus.

3. Dari analisa Von Mises yang terjadi, tiang dengan lintasan belokan menerima tegangan terbesar, kemudian dilanjutkan dengan tiang dengan lintasan miring dan pemasangan tiang lurus, tiang dengan lintasan miring dan pemasangan tiang tegak lurus tanah, dan tegangan terrendah yaitu tiang dengan lintasan lurus.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

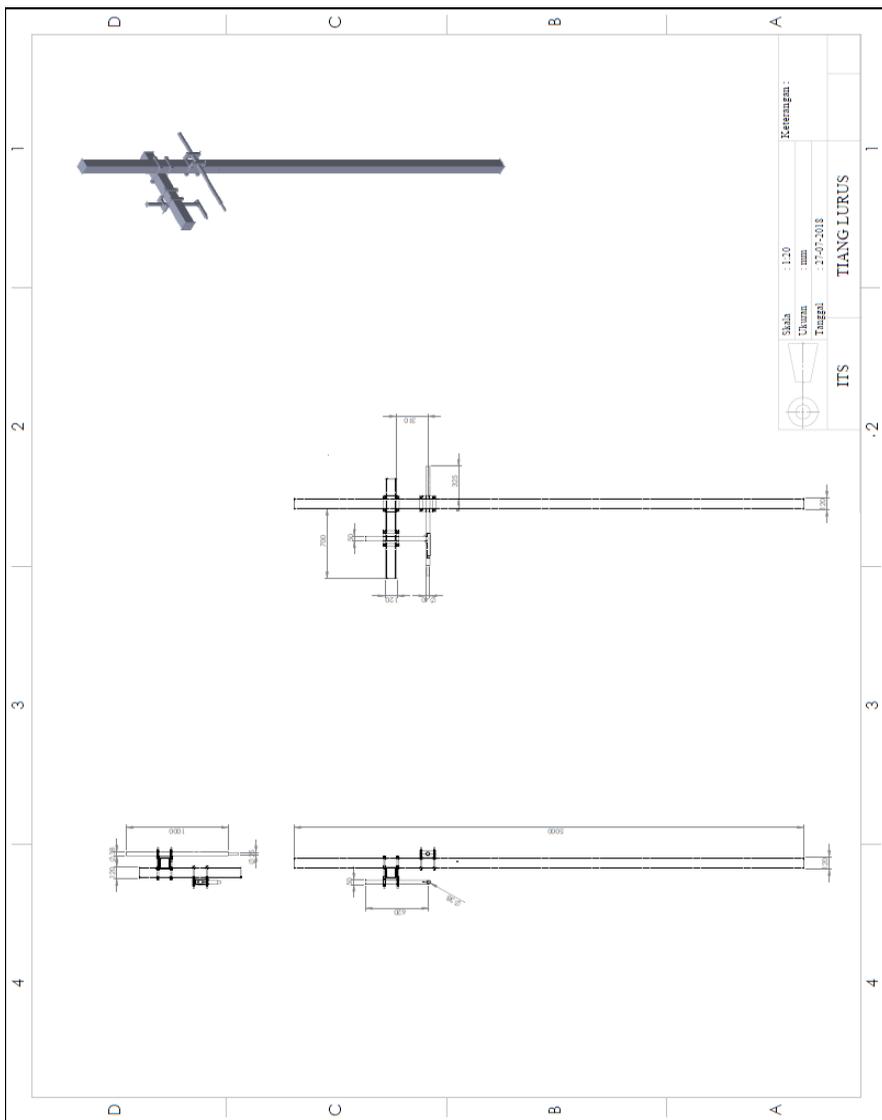
1. Perlu dilakukan simulasi lebih lanjut untuk mengetahui kekuatan tiang terhadap beban dinamis dan beban angin.
2. Perlu dilakukan perhitungan yang teliti untuk mendapatkan hasil yang akurat.
3. Diperlukan adanya permodelan serta detail yang mendekati details dari objek yang disimulasikan.
4. Perlu dilakukan adanya perhitungan atau simulasi tegangan tali yang akurat untuk mengetahui beban yang diterima oleh tiang *monocable ropeway* dan dapat mengetahui beban *fatigue* yang terjadi pada tiang.

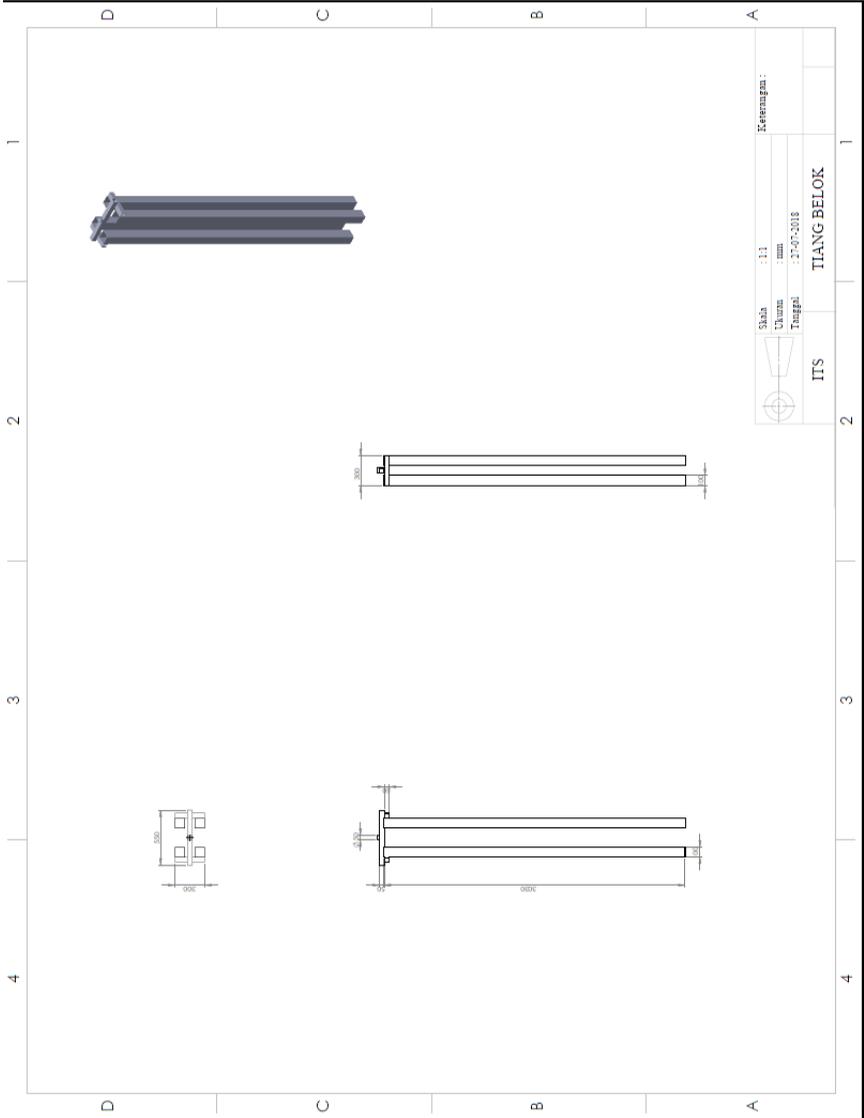
DAFTAR PUSTAKA

- Bakhtiar, Yusuf. 2015. **Analisis *Buckling* Terhadap Tabung Plat Tipis Menggunakan Metode Elemen Hingga**. Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah : Surakarta.
- Booth, Walter G. 1965. ***The Design And Application of Aerial Ropeway***. McMaster University : Ontario.
- Gyawali, Dipak dkk. 2004. ***Ropeways in Nepal***. Nepal Water Conservation Foundation : Nepal.
- Hibbeler, R. C. 2011. ***Mechanics of Materials***. Pearson Prentice Hall : USA.
- Hoffmann, Klaus. 2006. ***Recent Developments in Cable-Drawn Urban Transport Systems***. Vienna University : Austria.
- Ichsan, Diana Kamaliyah. 2016. **Analisis Frekuensi Optimum Pengujian *Pedalling Fatigue* pada Berbagai Rangka Sepeda Tipe *Trekking* dengan Metode Elemen Hingga**. Departemen Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember : Surabaya.
- Papini, Daniel. 2010. ***On Shape Control of Cables Under Vertical Static Loads***. Lund University : Sweden.
- Pramudika, Yudha. 2015. **Perbandingan Daya Dukung Pondasi Menerus Pada Tanah Pasir Berlapis dengan Metode Analitis dan Metode Elemen Hingga**. Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara : Medan.
- Sadowski, Adam J. 2009. ***Buckling In Eccentrically Discharged Silos And The Assumed Pressure Distribution***. ASCE Journal of Engineering Mechanics : Amerika
- Sutikno, Endi. 2011. **Analisis Tegangan Akibat Pembebanan Statis pada Desain *Carbody Tec Railbus* dengan Metode Elemen Hingga**. Teknik Mesin Universitas Brawijaya : Malang.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN





BIOGRAFI PENULIS



Penulis Aulia Rizqiaputri Viriani, memiliki nama panggilan Aulia atau dengan panggilan akrab Kiki, adalah anak pertama dari dua bersaudara. Lahir di Jayapura, 29 Juli 1996. Penulis beberapa kali berpindah domisili dan menempuh pendidikan formal antara lain TK Muhajirin Surabaya, SD Saraswati Tabanan Bali, SDN 4 Penganjuran Banyuwangi, SD Giki 2 Gubeng Surabaya, SMPN 39 Surabaya, dan SMAN 6 Surabaya. Kemudian melanjutkan studi pada tahun 2014 di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dengan nomor mahasiswa (NRP) 02111440000121. Di Departemen Teknik Mesin ini penulis mengambil Bidang Studi Desain, khususnya di laboratorium Mekanika Benda Padat. Selama masa perkuliahan, penulis mengikuti Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Paduan Suara Mahasiswa (PSM) ITS dan sempat mengikuti kompetisi dalam lingkup Institut pada tahun 2016 dalam bidang paduan suara dan berhasil mendapatkan juara 1 Grup Paduan Suara Terbaik, serta juara 1 Grup Alto dalam Paduan Suara. Penulis juga sempat mengikuti beberapa kepanitiaan, seperti dalam acara KFest 2015 dan Mechanical Competition 2017. Dari kegiatan yang telah diikuti, telah terlihat mengenai hobi penulis, yaitu menyanyi. Penulis sempat memiliki pekerjaan sampingan sebagai admin dan mendapatkan penghasilan sebagai sedikit uang tambahan. Harapan penulis kedepannya adalah agar karya ini dapat bermanfaat untuk para pembaca dan dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya yang terkait. Kritik dan saran yang bersifat membangun dapat dikirim ke auliakiki29@gmail.com. Prinsip yang dimiliki oleh penulis adalah “*Don't treat anyone like if you don't wanna be treated like*”.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”