

TUGAS AKHIR-TM184835

RANCANG BANGUN DAN SIMULASI ALAT UJI BAN AIRLESS TERHADAP GAYA VERTIKAL DAN LATERAL MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

HUDA IMANU NRP 02111640000004

Dosen Pembimbing Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2020 "Halaman ini sengaja dikosongkan"



TUGAS AKHIR - TM184835

RANCANG BANGUN DAN SIMULASI ALAT UJI BAN AIRLESS TERHADAP GAYA VERTIKAL DAN LATERAL MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Huda Imanu NRP. 02111640000004

Dosen Pembimbing Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA NIP. 196508101991021001

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2020 "Halaman ini sengaja dikosongkan"



FINAL PROJECT - TM184835

DESIGN AND SIMULATION OF AIRLESS TIRE TESTER DUE TO VERTICAL AND LATERAL FORCE USING FINITE ELEMENT METHOD

Huda Imanu NRP. 02111640000004

Advisory Lecturer Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA NIP. 196508101991021001

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND SYSTEM ENGINEERING INSTITUTE OF TECHNOLOGY SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2020 "Halaman ini sengaja dikosongkan"

LEMBAR PENGESAHAN RANCANG BANGUN DAN SIMULASI ALAT UJI BAN *AIRLESS* TERHADAP GAYA VERTIKAL DAN LATERAL MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

TUGAS AKHIR

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

> Oleh : <u>Huda Imanu</u> NRP. 02111640000004



"Halaman ini sengaja dikosongkan"

RANCANG BANGUN DAN SIMULASI ALAT UJI BAN AIRLESS TERHADAP GAYA VERTIKAL DAN LATERAL MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

| Nama Mahasiswa | : Huda Imanu |
|------------------|-----------------------------------|
| NRP | : 02111640000004 |
| Departemen | : Teknik Mesin FTIRS-ITS |
| Dosen Pembimbing | : Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA |

Abstrak

Ban yang digunakan saat ini yaitu ban radial maupun ban solid atau sering dikenal dengan tubeless. Dari kedua ban tersebut. masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangannya. Maka dari itu, ban airless merupakan alternatif vang tepat untuk menjawab kekurangan masingmasing. Penulis berinovasi dengan merancang alat uji ban airless sebagai alat pengujian ban airless yang dapat dikenai beban vertikal maupun lateral guna mendukung pengembangan dan riset ban airless. Rumusan masalah penilitian yaitu: bagaimana pengaruh geometri penampang tiang alat uji ban airless terhadap deformasi poros dan tiang, dan bagaimana menentukan geometri penampang tiang pada alat uji ban airless berdasarkan batas deformasi dari defleksi ban airless.

Dalam penelitian ini alat uji ban airless sendiri dirancang dengan melihat komponen-komponen penunjang yang digunakan seperti sensor, dongkrak, maupun poros ban. Perancangan tersebut menggunakan SOLIDWORKS 2018. Kemudian, hasil perancangan disimulasikan menggunakan metode elemen hingga dengan software ANSYS 18.0: Static Structural. Metode meshing yang dilakukan yaitu dengan uniform sebesar 3,25 mm. Penentuan geometri penampang tiang adalah menggunakan batas deformasi kurang dari 1% dari defleksi pada ban airless.

Dari hasil simulasi yang dilakukan, didapatkan bahwa geometri penampang tiang alat uji mempunyai pengaruh

terhadap nilai deformasi poros, deformasi tiang holder, dan deformasi tiang polos yang dihasilkan akibat gaya vertikal maupun gaya lateral. Penambahan geometri lebar penampang berpengaruh secara signifikan dalam mengurangi nilai deformasi tersebut baik akibat gaya vertikal maupun gaya lateral. Dalam melakukan penentuan geometri penampang tiang, terdapat tiga hal yang perlu dipertimbangkan yaitu deformasi yang diizinkan, perbedaan deformasi yang dihasilkan antar penambahan geometri penampang tiang, dan biaya pembuatan dengan geometri tersebut. Penentuan geometri penampang tiang ini harus memenuhi ketiga aspek. pada penelitian ini geometri penampang tiang dengan panjang 60 mm dan lebar 40 mm merupakan pilihan yang tepat. Geometri ini memiliki nilai deformasi poros, tiang holder, dan tiang polos sebesar 0,0799, 0,0057, dan 0,0048 mm untuk gaya vertikal, serta 0,6345, 0,1518, dan 0,1946 mm untuk gaya lateral. Geometri ini sudah memenuhi batas deformasi 1% dan termasuk dalam kategori presisi sedang.

Kata kunci: geometri penampang tiang, gaya vertikal, gaya lateral, deformasi, batas deformasi.

DESIGN AND SIMULATION OF AIRLESS TIRE TESTER DUE TO VERTICAL AND LATERAL FORCE USING FINITE ELEMENT METHOD

| Name | : Huda Imanu |
|-------------------|-----------------------------------|
| Student's ID | : 02111640000004 |
| Department | : Teknik Mesin FTIRS-ITS |
| Advisory Lecturer | : Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA |

Abstract

On this day, there are two tires commonly used, radial tire and solid tire or tubeless. Both of them have advantages and disadvantages. Therefore, airless tire is a solution to complete of their disadvantages and keep of their advantages. The author innovates by designing airless tire tester due to vertical and lateral force, which is to support on research and development of airless tire. The problem on this research is: how is the effect of pile cross-sectional geometry on deformation of wheel axle and pile, and how to determine pile cross-sectional geometry on airless tire tester based on deformation limit from deflection of airless tire.

On this research, airless tire tester is designed with regard to other components, such as sensor, jack, and wheel axle. Design use SOLIDWORKS 2018. Then, the result of design is simulated and imported using finite element method to ANSYS 18.0: Static Structural. Mesh method use uniform with 3.25 mm. Determining of pile cross-sectional geometry use the deformation limit less than 1% deflection of airless tire

After simulation, the result is pile cross-sectional geometry tester has an effect on deformation of wheel axle, holder pile, and regular pile due to vertical and lateral force. The increasing of widht pile cross-sectional geometry has significant effect to decrease deformation value due to vertical and lateral force. There are 3 things to determine a suitable pile cross-sectional geometry, such as an allowable deformation, a difference deformation value beside increasing pile crosssectional geometry, and a cost to build it. Determining pile cross-sectional geometry must be consider to that things, the suitable pile cross-sectional geometry from this research is pile cross-sectional geometry with length 60 mm and width 40 mm. It has deformation value of wheel axle, holder pile, and reguler pile, such as 0,0799, 0,0057, and 0,0048 mm due to vertical force, and 0,6345, 0,1518, and 0,1946 mm due to lateral force. This geometry has qualified by 1% deflection of airless tire and it is classified on moderate precision.

Keyword: pile cross-sectional geometry, vertical force, lateral force, deformation, deformation limit

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan atas kehadirat Allah SWT berkat limpahan rahmat, hidayah, rizki dan izin-Nya sehingga laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan sangat baik.

Penyusunan laporan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademis untuk kelulusan mahasiswa program studi S1 Teknik Mesin ITS Surabaya. Penulis sadar bahwa dalam penyusunan laporan tugas akhir ini bukan semata-mata atas kemampuan penulis sendiri, melainkan ada dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak, baik secara langsung, maupun tidak langsung. Untuk itu penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

- 1. Bapak Mugiono dan Ibu Sri Hariyani, serta keluarga besar yang selalu memberikan semangat dan do'a yang tak henti-henti hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
- 2. Seluruh dosen dan staff karyawan Departemen Teknik Mesin-FTIRS ITS, khususnya Bapak Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA., yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan, baik *softskill* maupun *hardskill*.
- 3. Rekan-rekan Laboratorium Mekanika Benda Padat dan Bapak Budi yang telah memberikan bantuan proses penyelesaian tugas akhir ini.
- 4. Teman-teman M59 yang telah menemani penulis selama masa perkuliahan.

Semoga amal dan jasa yang telah diberikan dapat bermanfaat dan mendapat imbalan dari Allah SWT.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini. Untuk itu penulis meminta maaf dan mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk penyempurnaan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, Juli 2020

Penulis

| LEMBAR PENGESAHAN | i |
|---|--------|
| ABSTRAK | iii |
| KATA PENGANTAR | vii |
| DAFTAR ISI | . viii |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR GRAFIK | . xiii |
| DAFTAR TABEL | . xiv |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 2 |
| 1.4 Batasan Penelitian | 2 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 3 |
| BAB II DASAR TEORI | 5 |
| 2.1 Kajian Pustaka | 5 |
| 2.2 Dasar Teori | 13 |
| 2.2.1 Ban | 13 |
| 2.2.2 Karet | 19 |
| 2.2.3 Material | 20 |
| 2.2.3.1 Polyurethane (PU) | 20 |
| 2.2.3.1.1 Tipe Polyurethane | 20 |
| 2.2.3.2 Structural Steel | 22 |
| 2.2.4 Alat Ukur | 22 |
| 2.2.4.1 Sensor Load Cell | 22 |
| 2.2.4.2 Dial Indikator | 23 |
| 2.2.5 Defleksi | 24 |
| 2.2.5.1 Defleksi Vertikal | 25 |
| 2.2.5.2 Defleksi Lateral | 27 |
| 2.2.5.3 Batasan Defleksi <i>Beam</i> Akibat Lentur. | 31 |
| 2.2.6 Fundamental <i>Plane Frame</i> | 32 |
| 2.2.7 Metode Finit Elemen Hingga | 34 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 37 |
| 3.1 Metodologi | 37 |
| 3.1.1 <i>Flowchart</i> Penelitian | 37 |
| 3.1.2 Observasi | 38 |

DAFTAR ISI

| 3.1.3 Per | umusan Masalah39 |
|----------------|--|
| 3.1.4 Stud | di Literatur |
| 3.1.5 Pen | entuan Data Awal 39 |
| 3.1.6 Pro | ses Desain |
| 3.1.7 Sim | ulasi |
| 3.1.8 Var | iasi Geometri Penampang Tiang54 |
| 3.1.9 Eva | luasi |
| 3.1.10 Rea | lisasi Alat Uji Ban Airless55 |
| BAB IV HASIL D | AN PEMBAHASAN 59 |
| 4.1 Validasi | Hasil Simulasi59 |
| 4.1.1 Uji | Konvergensi 59 |
| 4.1.2 Val | idasi Struktur61 |
| 4.1.2.1 | Validasi Struktur Solid Element61 |
| 4.1.2.2 | Validasi Struktur Beam Element |
| 4.1.2.3 | Validasi Struktur Analitikal63 |
| 4.1.2.4 | Pembahasan Validasi Struktur |
| 4.2 Data Has | sil Simulasi70 |
| 4.3 Pembaha | asan dan Analisis Data70 |
| 4.3.1 Pen | garuh Geometri Penampang Tiang terhadap |
| Deformasi ak | ibat Gaya Vertikal70 |
| 4.3.1.1 | Variasi Geometri Panjang Penampang |
| Tiang | 70 |
| 4.3.1.2 | Variasi Geometri Lebar Penampang Tiang |
| | 72 |
| 4.3.1.3 | Perbandingan Variasi Geometri Panjang |
| dan Lebar | Penampang Tiang |
| 4.3.2 Pen | garuh Geometri Penampang Tiang terhadap |
| Deforması ak | ibat Gaya Lateral |
| 4.3.2.1 | Variasi Geometri Panjang Penampang |
| Tiang | |
| 4.3.2.2 | Variasi Geometri Lebar Penampang Tiang 78 |
| 4.3.2.3 | Perbandingan Variasi Geometri Panjang |
| dan Lebar | Penampang Tiang80 |
| 4.4 Penentua | an Geometri Penampang Tiang Alat Uji83 |
| 4.4.1 Perl | hitungan Nilai Defleksi Ban Airless83 |

| 4.4.2 | 2 Pembahasan Penen | tuan Geometr | i Penampang |
|---------|--------------------|--------------|-------------|
| Tian | g Alat Uji | ••••• | |
| 4.5 | Realisasi Alat Uji | | |
| BAB V K | ESIMPULAN DAN SAI | RAN | |
| 5.1 | Kesimpulan | ••••• | |
| 5.2 | Saran | •••••• | |
| DAFTAR | PUSTAKA | ••••• | |
| LAMPIR | AN | | |
| BIODAT | A PENULIS | | |

DAFTAR GAMBAR

| Gambar 2.1 Posisi Pembebanan | 5 |
|--|-----|
| Gambar 2.2 Pemodelan Beam | 7 |
| Gambar 2.3 Hasil Simulasi dan Eksperimen | 8 |
| Gambar 2.4 Alat Pengujian (Sassi, et al. 2016) | 11 |
| Gambar 2.5 Ban Radial | 14 |
| Gambar 2.6 Ban Padat | 14 |
| Gambar 2.7 Ban Airless | 15 |
| Gambar 2.8 Pembacaan Ukuran Ban | 16 |
| Gambar 2.9 Kodefikasi Ban | 17 |
| Gambar 2.10 Skala Kekerasan pada Durometer (Pittsbur | gh |
| 2018) | 21 |
| Gambar 2.11 Load Cell Type S | 23 |
| Gambar 2.12 Dial Indikator | 24 |
| Gambar 2.13 Skematik Ban dengan Tampak Samping | 25 |
| Gambar 2.14 Potongan Melintang Ban | 26 |
| Gambar 2.15 Potongan Ban (a) Melintang. (b) Melintang ya | ng |
| telah Mengalami Deformasi. | 28 |
| Gambar 2.16 Potongan Ban Menunjukkan $N\phi$ | 29 |
| Gambar 2.17 Luasan Potongan Ban | 30 |
| Gambar 2.18 Frame | 32 |
| Gambar 2.19 Analisis Member | 33 |
| Gambar 2.20 Mesh di FEM | 35 |
| Gambar 3.1 Flowchart Penelitian | 38 |
| Gambar 3.2 Ban Airless | 41 |
| Gambar 3.3 Velg ban | 41 |
| Gambar 3.4 Poros | 42 |
| Gambar 3.5 Dongkrak | 42 |
| Gambar 3.6 Tiang Polos | 43 |
| Gambar 3.7 Tiang Holder (a) Tampak Dalam (b) Tampak Lu | Jar |
| | 43 |
| Gambar 3.8 Alas | 44 |
| Gambar 3.9 Alat Uji Ban Airless | 45 |
| Gambar 3.10 Tampilan Utama ANSYS 18.0 | 46 |
| Gambar 3.11 Tampilan Utama Static Structural | 46 |
| Gambar 3.12 Tampilan Prosedur Ubah Engineering Data | 47 |

| Gambar 3.14 Tampilan Desain sebelum Unsuppress Body48 Gambar 3.15 Tampilan Desain sesudah Unsuppress Body49 Gambar 3.16 Tampilan Desain dengan Meshing | Gambar 3.13 Tampilan Memasukkan Desain48 |
|--|---|
| Gambar 3.15 Tampilan Desain sesudah Unsuppress Body49 Gambar 3.16 Tampilan Desain dengan Meshing | Gambar 3.14 Tampilan Desain sebelum Unsuppress Body48 |
| Gambar 3.16 Tampilan Desain dengan Meshing 49 Gambar 3.17 Tampilan Penentuan Load Vertikal 50 Gambar 3.18 Tampilan Penentuan Load Lateral 51 Gambar 3.19 Tampilan Sistem Koordinat pada Poros 52 Gambar 3.20 Tampilan Sistem Koordinat pada Tiang Polos52 Gambar 3.21 Tampilan Sistem Koordinat pada Tiang Holder 53 Gambar 3.22 Tampilan Sistem Koordinat pada Tiang Holder 53 Gambar 3.23 Tampilan Hasil Simulasi Beban Vertikal 54 Gambar 3.24 Geometri Tiang dengan Tampak Atas 54 Gambar 4.1 Mesh Quality Ukuran 3,25 mm 61 Gambar 4.2 Pemodelan Struktur Elemen Solid 62 Gambar 4.3 Pemodelan Struktur Elemen sesuai Kontak Pemodelan Beam Elemen 69 Gambar 4.5 Pemodelan Solid Elemen sesuai Kontak Pemodelan Beam Elemen 70 Gambar 4.8 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya Vertikal 89 Gambar 4.9 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya Materal 90 | Gambar 3.15 Tampilan Desain sesudah Unsuppress Body 49 |
| Gambar 3.17 Tampilan Penentuan Load Vertikal 50 Gambar 3.18 Tampilan Penentuan Load Lateral 51 Gambar 3.19 Tampilan Sistem Koordinat pada Poros 52 Gambar 3.20 Tampilan Sistem Koordinat pada Tiang Polos52 Gambar 3.21 Tampilan Sistem Koordinat pada Tiang Holder Sambar 3.22 Tampilan Sistem Koordinat pada Tiang Holder Sambar 3.23 Tampilan Hasil Simulasi Beban Vertikal Gambar 3.24 Geometri Tiang dengan Tampak Atas Sambar 3.25 Letak Alat Ukur Gambar 4.1 Mesh Quality Ukuran 3,25 mm Gambar 4.2 Pemodelan Struktur Elemen Solid Gambar 4.3 Pemodelan Struktur Elemen Beam Gambar 4.4 Pemodelan Analitikal Struktur Pemodelan Solid Elemen sesuai Kontak Pemodelan Solid Elemen dengan Kontak Sesuai 70 Gambar 4.7 Tampilan Alat Uji 89 Gambar 4.9 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya Vertikal 89 Gambar 4.9 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya | Gambar 3.16 Tampilan Desain dengan Meshing49 |
| Gambar 3.18 Tampilan Penentuan Load Lateral 51 Gambar 3.19 Tampilan Sistem Koordinat pada Poros 52 Gambar 3.20 Tampilan Sistem Koordinat pada Tiang Polos52 Gambar 3.21 Tampilan Sistem Koordinat pada Tiang Holder Sambar 3.22 Tampilan Sistem Koordinat pada Tiang Holder Sambar 3.23 Tampilan Hasil Simulasi Beban Vertikal Gambar 3.23 Tampilan Hasil Simulasi Beban Lateral Sambar 3.24 Geometri Tiang dengan Tampak Atas Gambar 3.25 Letak Alat Ukur Gambar 4.1 Mesh Quality Ukuran 3,25 mm Gambar 4.2 Pemodelan Struktur Elemen Solid Gambar 4.3 Pemodelan Struktur Elemen Beam Gambar 4.5 Pemodelan Analitikal Struktur Gambar 4.6 Pemodelan Solid Elemen sesuai Kontak Pemodelan Beam Elemen 70 Gambar 4.8 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya Vertikal 89 Gambar 4.9 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya Vertikal 90 | Gambar 3.17 Tampilan Penentuan Load Vertikal50 |
| Gambar 3.19 Tampilan Sistem Koordinat pada Poros 52 Gambar 3.20 Tampilan Sistem Koordinat pada Tiang Polos 52 Gambar 3.21 Tampilan Sistem Koordinat pada Tiang Holder 53 Gambar 3.22 Tampilan Hasil Simulasi Beban Vertikal Gambar 3.23 Tampilan Hasil Simulasi Beban Lateral 54 Gambar 3.24 Geometri Tiang dengan Tampak Atas Gambar 3.25 Letak Alat Ukur Gambar 4.1 Mesh Quality Ukuran 3,25 mm Gambar 4.2 Pemodelan Struktur Elemen Solid Gambar 4.3 Pemodelan Struktur Elemen Beam 63 Gambar 4.5 Pemodelan Solid Elemen sesuai Kontak Pemodelan Solid Elemen dengan Kontak Sesuai 70 Gambar 4.6 Pemodelan Solid Elemen dengan Kontak Sesuai 70 Gambar 4.8 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya Vertikal 89 Gambar 4.9 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya Vertikal 90 | Gambar 3.18 Tampilan Penentuan Load Lateral51 |
| Gambar 3.20 Tampilan Sistem Koordinat pada Tiang Polos52 Gambar 3.21 Tampilan Sistem Koordinat pada Tiang Holder 53 Gambar 3.22 Tampilan Hasil Simulasi Beban Vertikal Gambar 3.23 Tampilan Hasil Simulasi Beban Lateral Gambar 3.24 Geometri Tiang dengan Tampak Atas Gambar 3.25 Letak Alat Ukur Gambar 4.1 Mesh Quality Ukuran 3,25 mm Gambar 4.2 Pemodelan Struktur Elemen Solid Gambar 4.3 Pemodelan Struktur Elemen Beam Gambar 4.5 Pemodelan Solid Elemen sesuai Kontak Pemodelan Solid Elemen dengan Kontak Sesuai 70 Gambar 4.6 Pemodelan Solid Elemen dengan Kontak Sesuai 70 Gambar 4.7 Tampilan Alat Uji 89 Gambar 4.9 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya Vertikal 89 Gambar 4.9 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya | Gambar 3.19 Tampilan Sistem Koordinat pada Poros52 |
| Gambar 3.21 Tampilan Sistem Koordinat pada Tiang Holder 53 Gambar 3.22 Tampilan Hasil Simulasi Beban Vertikal 53 Gambar 3.23 Tampilan Hasil Simulasi Beban Lateral 54 Gambar 3.24 Geometri Tiang dengan Tampak Atas 54 Gambar 3.25 Letak Alat Ukur 57 Gambar 4.1 Mesh Quality Ukuran 3,25 mm 61 Gambar 4.2 Pemodelan Struktur Elemen Solid 62 Gambar 4.3 Pemodelan Struktur Elemen Beam 63 Gambar 4.5 Pemodelan Solid 64 Gambar 4.6 Pemodelan Solid 69 Gambar 4.6 Pemodelan Solid 69 Gambar 4.7 Tampilan Alat Uji 70 Gambar 4.8 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya 89 Gambar 4.9 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya 89 Gambar 4.9 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya 89 | Gambar 3.20 Tampilan Sistem Koordinat pada Tiang Polos52 |
| 53 Gambar 3.22 Tampilan Hasil Simulasi Beban Vertikal53 Gambar 3.23 Tampilan Hasil Simulasi Beban Lateral54 Gambar 3.24 Geometri Tiang dengan Tampak Atas54 Gambar 3.25 Letak Alat Ukur | Gambar 3.21 Tampilan Sistem Koordinat pada Tiang Holder |
| Gambar 3.22 Tampilan Hasil Simulasi Beban Vertikal 53 Gambar 3.23 Tampilan Hasil Simulasi Beban Lateral 54 Gambar 3.24 Geometri Tiang dengan Tampak Atas 54 Gambar 3.25 Letak Alat Ukur 57 Gambar 4.1 Mesh Quality Ukuran 3,25 mm 61 Gambar 4.2 Pemodelan Struktur Elemen Solid 62 Gambar 4.3 Pemodelan Struktur Elemen Beam 63 Gambar 4.4 Pemodelan Analitikal Struktur 64 Gambar 4.5 Pemodelan Solid 64 Gambar 4.6 Pemodelan Solid 69 Gambar 4.6 Pemodelan Solid 69 Gambar 4.7 Tampilan Alat Uji 89 Gambar 4.8 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya 89 Gambar 4.9 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya 89 Gambar 4.9 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya 90 | |
| Gambar 3.23 Tampilan Hasil Simulasi Beban Lateral 54 Gambar 3.24 Geometri Tiang dengan Tampak Atas 54 Gambar 3.25 Letak Alat Ukur 57 Gambar 4.1 Mesh Quality Ukuran 3,25 mm 61 Gambar 4.2 Pemodelan Struktur Elemen Solid 62 Gambar 4.3 Pemodelan Struktur Elemen Beam 63 Gambar 4.4 Pemodelan Analitikal Struktur 64 Gambar 4.5 Pemodelan Solid 69 Gambar 4.6 Pemodelan Solid 69 Gambar 4.7 Tampilan Alat Uji 89 Gambar 4.8 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya 89 Gambar 4.9 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya 89 Gambar 4.9 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya 89 | Gambar 3.22 Tampilan Hasil Simulasi Beban Vertikal53 |
| Gambar 3.24 Geometri Tiang dengan Tampak Atas 54 Gambar 3.25 Letak Alat Ukur 57 Gambar 4.1 Mesh Quality Ukuran 3,25 mm 61 Gambar 4.2 Pemodelan Struktur Elemen Solid 62 Gambar 4.3 Pemodelan Struktur Elemen Beam 63 Gambar 4.4 Pemodelan Analitikal Struktur 64 Gambar 4.5 Pemodelan Solid 64 Gambar 4.6 Pemodelan Solid 69 Gambar 4.6 Pemodelan Solid 69 Gambar 4.7 Tampilan Alat Uji 89 Gambar 4.8 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya 89 Gambar 4.9 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya 89 Gambar 4.9 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya 89 | Gambar 3.23 Tampilan Hasil Simulasi Beban Lateral54 |
| Gambar 3.25 Letak Alat Ukur 57 Gambar 4.1 Mesh Quality Ukuran 3,25 mm 61 Gambar 4.2 Pemodelan Struktur Elemen Solid 62 Gambar 4.3 Pemodelan Struktur Elemen Beam 63 Gambar 4.4 Pemodelan Analitikal Struktur 64 Gambar 4.5 Pemodelan Solid 64 Gambar 4.6 Pemodelan Solid 69 Gambar 4.6 Pemodelan Solid 69 Gambar 4.7 Tampilan Alat Uji 70 Gambar 4.8 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya 89 Gambar 4.9 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya 90 | Gambar 3.24 Geometri Tiang dengan Tampak Atas |
| Gambar 4.1 Mesh Quality Ukuran 3,25 mm 61 Gambar 4.2 Pemodelan Struktur Elemen Solid 62 Gambar 4.3 Pemodelan Struktur Elemen Beam 63 Gambar 4.4 Pemodelan Analitikal Struktur 64 Gambar 4.5 Pemodelan Solid 64 Gambar 4.6 Pemodelan Solid 69 Gambar 4.6 Pemodelan Solid 69 Gambar 4.6 Pemodelan Solid 69 Gambar 4.6 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya 70 Gambar 4.8 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya 89 Gambar 4.9 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya 89 Gambar 4.9 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya 89 | Gambar 3.25 Letak Alat Ukur |
| Gambar 4.2 Pemodelan Struktur Elemen Solid 62 Gambar 4.3 Pemodelan Struktur Elemen Beam 63 Gambar 4.4 Pemodelan Analitikal Struktur 64 Gambar 4.5 Pemodelan Solid Elemen sesuai Kontak 69 Gambar 4.6 Pemodelan Solid Elemen dengan Kontak Sesuai 70 Gambar 4.7 Tampilan Alat Uji 89 Gambar 4.8 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya 89 Gambar 4.9 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya 90 | Gambar 4.1 Mesh Quality Ukuran 3,25 mm |
| Gambar 4.3 Pemodelan Struktur Elemen Beam 63 Gambar 4.4 Pemodelan Analitikal Struktur 64 Gambar 4.5 Pemodelan Solid Elemen sesuai Kontak 69 Gambar 4.6 Pemodelan Solid Elemen dengan Kontak Sesuai 70 Gambar 4.7 Tampilan Alat Uji 89 Gambar 4.8 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya 89 Gambar 4.9 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya 90 | Gambar 4.2 Pemodelan Struktur Elemen Solid |
| Gambar 4.4 Pemodelan Analitikal Struktur 64 Gambar 4.5 Pemodelan Solid Elemen sesuai Kontak Pemodelan Beam Elemen 69 Gambar 4.6 Pemodelan Solid Elemen dengan Kontak Sesuai | Gambar 4.3 Pemodelan Struktur Elemen <i>Beam</i> |
| Gambar 4.5 Pemodelan Solid Elemen sesuai Kontak Pemodelan Beam Elemen 69 Gambar 4.6 Pemodelan Solid Elemen dengan Kontak Sesuai 70 Gambar 4.7 Tampilan Alat Uji 89 Gambar 4.8 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya 89 Gambar 4.9 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya 90 | Gambar 4.4 Pemodelan Analitikal Struktur |
| Pemodelan <i>Beam</i> Elemen | Gambar 4.5 Pemodelan Solid Elemen sesuai Kontak |
| Gambar 4.6 Pemodelan Solid Elemen dengan Kontak Sesuai | Pemodelan Beam Elemen |
| | Gambar 4.6 Pemodelan Solid Elemen dengan Kontak Sesuai |
| Gambar 4.7 Tampilan Alat Uji | |
| G ambar 4.8 Simulasi Ban <i>Airless</i> pada Alat Uji akibat Gaya Vertikal | Gambar 4.7 Tampilan Alat Uji |
| Vertikal | Gambar 4.8 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya |
| G ambar 4.9 Simulasi Ban <i>Airless</i> pada Alat Uji akibat Gaya Lateral90 | Vertikal |
| Lateral | Gambar 4.9 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya |
| | Lateral |
| Gambar 4.10 Hasil Simulasi Ban Airless | Gambar 4.10 Hasil Simulasi Ban Airless |
| Gambar 4.11 Hasil Simulasi Ban Airless dengan Alat Uji92 | Gambar 4.11 Hasil Simulasi Ban Airless dengan Alat Uji 92 |

DAFTAR GRAFIK

Grafik 2.1 Hasil Analisa Defleksi terhadap Letak Pembebanan; (a) Letak Pembebanan 1. (b) Letak Pembebanan 2. (c) Letak Pembebanan 3. (Jarson 2015).....7 Grafik 2.2 Perbandingan Data Simulasi dan Eksperimen Grafik 2.3 Uji Regresi Defleksi Eksperimen dan Prediksi (Rashidi, Sheikhi and Abdolalizadeh 2013)10 Grafik 4.1 Uji Konvergensi (a) Gaya Vertikal (b) Gaya Lateral Grafik 4.2 Variasi Geometri Panjang Penampang Tiang Grafik 4.3 Variasi Geometri Lebar Penampang Tiang terhadap Grafik 4.4 Shear-moment Diagram Poros dengan Geometri Penampang Tiang P=60mm L=30mm akibat Gaya Vertikal 74 Grafik 4.5 Shear-moment Diagram Poros dengan Geometri Penampang Tiang P=70mm L=30mm akibat Gaya Vertikal.75 Grafik 4.6 Shear-moment Diagram Poros dengan Geometri Penampang Tiang P=60mm L=40mm akibat Gaya Vertikal.75 Grafik 4.7 Variasi Geometri Panjang Penampang Tiang terhadap Deformasi akibat Gaya Lateral77 Grafik 4.8 Variasi Geometri Lebar Penampang Tiang terhadap Grafik 4.9 Shear-moment Diagram Poros dengan Geometri Penampang Tiang P=60mm L=30mm akibat Gaya Lateral...81 Grafik 4.10 Shear-moment Diagram Poros dengan Geometri Penampang Tiang P=70mm L=30mm akibat Gaya Lateral...81 Grafik 4.11 Shear-moment Diagram Poros dengan Geometri Penampang Tiang P=60mm L=40mm akibat Gaya Lateral...82

DAFTAR TABEL

| Tabel 2.1 Rangkuman Penelitian Terdahulu | 11 |
|--|--------------|
| Tabel 2.2 Perbedaan Alat Pengujian | |
| Tabel 2.3 Indeks Kecepatan dan Beban pada Ko | defikasi Ban |
| | |
| Tabel 2.4 Properties Karet Alam dan Sintesis | 19 |
| Tabel 2.5 Properties Structural Steel | |
| Tabel 2.6 Batasan Defleksi Akibat Lentur (Mott 2 | 2004)31 |
| Tabel 3.1 Dimensi Komponen Lain | |
| Tabel 3.2 Geometri Tiang Alat Uji Ban Airless | 40 |
| Tabel 3.3 Properties Komponen | |
| Tabel 3.4 Data Penelitian | |
| Tabel 3.5 Spesifikasi Alat Ukur | |
| Tabel 4.1 Hasil Uji Konvergensi | |
| Tabel 4.2 Hasil Validasi Struktur Akibat Gaya Ve | ertikal68 |
| Tabel 4.3 Hasil Validasi Struktur Akibat Gaya La | teral 69 |
| Tabel 4.4 Geometri Ban | |
| Tabel 4.5 Hasil Penentuan Geometri Penampang | Tiang 60 mm |
| dan 40 mm | |
| Tabel 4.6 Hasil Simulasi Ban Airless | |

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan jumlah moda transportasi yang terbilang banyak, khususnya sepeda motor. Dilansir dari oto.detik.com, pada tahun 2019 tercantum dalam data ASEAN *Automotive Federation* (AAF) telah terjual sebanyak 3.226.619 unit sepeda motor di Indonesia. Dengan data tersebut, maka Indonesia merupakan pasar terbaik untuk dunia otomotif. Otomotif sendiri memiliki banyak komponen dengan peran penting pada masing-masingnya. Salah satu komponen tersebut adalah ban. Ban merupakan salah satu bagian dari sebuah motor, memiliki fungsi yaitu penahan beban, traksi dan pengereman, kemampuan manuver, dan kenyamanan berkendara (Ikeda, et al. 2018). Namun, teknologi ban yang digunakan di Indonesia masih terbilang kuno, mengingat di luar negeri telah menggunakan teknologi ban *airless* atau tanpa udara.

Macam-macam ban sendiri antara lain: ban solid, ban radial, dan ban airless. Ban yang digunakan di Indonesia saat ini adalah ban solid atau tubeless dan ban radial. Dikutip dari market.bisnis.com, PT. Multistrada, Tbk. mampu memproduksi ban passenger car radial atau PCR sebanyak 2,1 juta unit dan ban motor sebanyak 1,5 juta unit di tahun 2018. Tetapi, ban tersebut sering mengalami kebocoran apabila terkena paku atau benda tajam. Maka dari itu kegunaan pada keduanya, masih memiliki kekurangan antara lain: biaya perawatan ban, daya tahan ban terhadap medan terjal yang identik pada Indonesia, serta kenyamanan ban sebagai penyerap getaran (absorber). Dengan kekurangan yang dimiliki ban saat ini, sudah saatnya untuk beralih menuju ban airless yang memiliki daya tahan lebih baik daripada keduanya. Namun, ban airless masih perlu untuk diteliti dan diriset agar memiliki kenyamanan yang tak kalah dari keduanya. Penelitian tersebut perlu adanya alat pengujian yang ekonomis tetapi tetap handal dan representatif.

Maka dari itu, penulis berinovasi dengan merancang alat uji ban *airless*.

Dengan adanya latar belakang tersebut, maka didapatkan permasalahan antara lain: bagaimana pengaruh geometri penampang tiang alat uji ban *airless* terhadap deformasi poros dan tiang (Deformasi = perubahan bentuk, ukuran, dan volume pada suatu benda akibat adanya beban, istilah ini digunakan pada poros dan tiang dalam penelitian ini) dan bagaimana menentukan geometri penampang tiang pada alat uji ban *airless* berdasarkan batas deformasi dari defleksi ban *airless* (Defleksi = besarnya jarak simpangan pergeseran atau perpindahan titik pada suatu benda akibat perubahan bentuk, istilah ini digunakan pada ban *airless* dalam penelitian ini).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka didapatkan rumusan masalah antara lain sebagai berikut:

- 1. Bagaimana pengaruh geometri penampang tiang alat uji ban *airless* terhadap deformasi poros dan tiang?
- 2. Bagaimana menentukan geometri penampang tiang pada alat uji ban *airless* berdasarkan batas deformasi dari defleksi ban *airless*?

1.3 Tujuan Penelitian

Dengan rumusan masalah yang telah disebutkan, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1. Dapat mengetahui pengaruh geometri penampang tiang alat uji ban *airless* terhadap deformasi poros dan tiang.
- 2. Dapat menentukan geometri penampang tiang pada alat uji ban *airless* berdasarkan batas deformasi dari defleksi ban *airless*.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan dalam penelitian ini adalah antara lain:

- 1. Beban yang digunakan sebesar 1,5 kali dari beban normal sebesar 1875 N untuk mengatasi fenomena yang tak terduga di keadaan nyata.
- 2. Beban terletak pada tengah poros.
- 3. Massa berat poros dan tiang diabaikan.
- 4. Material yang digunakan pada alat uji ban *airless* adalah *structural steel*.
- 5. Material poros yang digunakan adalah *alumunium alloy* 7075.
- 6. Perhitungan dan analisa batas deformasi mengacu pada defleksi ban *airless* (sesuai perhitungan ban pneumatik).
- 7. Variasi geometri penampang tiang mengacu terhadap dimensi komponen penunjang pada alat uji.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini yaitu:

- 1. Memberikan studi untuk dapat mendukung penelitian terkait selanjutnya.
- 2. Membantu pemerintah dan masyarakat untuk memberikan alat pengujian yang terjangkau dan fungsional.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB II DASAR TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian sebelumnya yang memiliki keterkaitan dengan penelitian ini dan bisa dijadikan referensi yaitu penelitian dari Jahirwan U. J. pada tahun 2015, dan Dewa N. & Si Putu G. tahun 2009, dan penelitian dari Majid Rashidi tahun 2013.

Penelitian pertama dilakukan oleh Jahirwan U. J. dari Universitas Nusa Cendana dengan judul 'Analisis Pengaruh Letak Bahan Terhadap Defleksi Balok Segi Empat Dengan Tumpuan Engsel-Roll-Roll'. Penelitian ini menganalisa pengaruh letak dan bahan yang digunakan pada balok dengan tiga tumpuan, yaitu tumpuan engsel, *roll*, dan *roll*. Balok yang digunakan memiliki dimensi yaitu panjang sebesar 1000 mm, lebar 12 mm, dan tinggi 8 mm. Bahan yang digunakan yaitu baja karbon, kuningan, dan alumunium. Sedangkan, letak beban pada balok bervariasi antara L/8 atau 125 mm, L/4 atau 250 mm, dan 3L/8 atau 375 mm. Posisi pembebanan ini juga terdapat pada gambar 2.1 dibawah ini:



Gambar 2.1 Posisi Pembebanan

Dari hasil analisa penelitian tersebut didapatkan bahwa pada pembebanan kedua memiliki defleksi terbesar dari pembebanan kesatu maupun ketiga. Hal tersebut menunjukkan bahwa jarak pembebanan lebih dekat dengan tumpuan, maka defleksi memiliki nilai yang sangat kecil. Di sisi lain, bahan balok juga menentukan nilai defleksi. Balok yang terbuat dari baja karbon memiliki nilai defleksi terkecil daripada balok yang terbuat dari bahan alumunium maupun kuningan. Maka dari itu, apabila nilai modulus young bahan lebih besar maka nilai defleksi yang dihasilkan semakin kecil. Dari kedua parameter tersebut, dapat dijadikan referensi untuk penelitian penulis dalam memilih bahan pengujian khususnya tiang alat uji ban *airless* dan letak tiang terhadap poros ban *airless*. Hasil analisa diatas ditunjukkan pada grafik 2.1 dibawah ini sebagai berikut:







Penelitian kedua yang merujuk pada penelitian penulis dan dapat dijadikan referensi penulis adalah penelitian yang berjudul Simulasi dan Studi Eksperimen Defleksi *Beam Bright Mild Steel* Akibat Variasi Beban Horisontal pada tahun 2009. Penelitian tersebut ditulis oleh Dewa N. K. & Si Putu G. G. T. Penelitian tersebut menganalisa defleksi pada *beam bright mild steel* (BMS) dengan beban horisontal. Material *beam* yang digunakan adalah baja karbon tinggi ASTM 1060. *Beam* sendiri memiliki dimensi yaitu panjang 450 mm, lebar 15 mm, dan tinggi 4 mm. Beban yang digunakan pada penelitian tersebut berkisar dari 100 hingga 550 gr dengan kelipatan kenaikan sebesar 50 gr. Pada gambar 2.2 berisi pemodelan *beam* dengan dimensi yang tercantum.



Gambar 2.2 Pemodelan Beam

Penelitian ini menggunakan *software* ANSYS dengan metode FEM (*finite element method*). Hasil dari penelitian ini didapatkan sesuai pada gambar 2.3 dan grafik 2.2 dibawah ini:



Gambar 2.3 Hasil Simulasi dan Eksperimen



Grafik 2.2 Perbandingan Data Simulasi dan Eksperimen (Negara, Putra dan Tista 2009)

Hasil diatas menunjukkan bahwasanya peningkatan beban horisontal juga berdampak pada peningkatan defleksi pada

beam. Dari grafik diatas, memiliki *trendline* yang naik secara signifikan seiring dengan beban yang bertambah. Defleksi maksimum pada *beam* terjadi pada beban maksimal yang diberikan yaitu 550 gr. Perbandingan antara nilai simulasi dan eksperimen memiliki perbedaan, namun perbedaan tersebut begitu minim. Hal yang didapat dari penelitian kedua adalah dengan beban yang diberikan sama, maka perlu desain *beam* yang optimum agar mencapai defleksi yang diinginkan dan nilai simulasi berbeda dengan nilai eksperimen nantinya.

Penelitian selanjutnya berjudul Prediction of Radial-Ply Tire Deflection Based on Contact Area Index, Inflation Pressure and Vertical Load dari Majid Rashidi. Pada penelitian ini, penulis melakukan eksperimen menggunakan alat uji defleksi ban (tire deflection test apparatus) dengan menggunakan empat dimensi ban yang berbeda. Penulis juga melakukan variasi luasan kontak, tekanan ban, dan gaya vertikal yang berbeda-beda. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan hubungan antara defleksi secara prediksi dan defleksi eksperimen.

Hasil data eksperimen penulis ini diuji secara statistik menggunakan metode regresi dengan data prediksi dan didapatkan grafik sesuai grafik 2.3 di bawah ini.



Grafik 2.3 Uji Regresi Defleksi Eksperimen dan Prediksi (Rashidi, Sheikhi and Abdolalizadeh 2013)

Dari hasil analisa statistik tersebut, penulis dapat menuliskan sebuah persamaan hubungan antara defleksi eksperimen dan defleksi prediksi. Rumus tersebut sebagai berikut:

 $\delta_M = 0,895\delta_P + 5,298$

dimana:

 δ_M = defleksi eksperimen

 δ_P = defleksi prediksi

Dengan hal ini, dapat diketahui defleksi secara eksperimen dengan hanya menggunakan perhitungan rumus diatas.

Kemudian, penulis juga menemukan suatu alat pengujian dari jurnal lain yang ditulis oleh Sadok Sassi dari *Qatar University*. Alat pengujian tersebut dijadikan referensi oleh penulis dalam melakukan desain. Alat pengujian tersebut tercantum pada gambar 2.4 dibawah ini:



Gambar 2.4 Alat Pengujian (Sassi, et al. 2016)

Dari penjelasan diatas, dapat dirangkum dalam sebuah tabel untuk mempermudah pembaca. Tabel 2.1 merupakan rangkuman penelitian terdahulu yang dapat dijadikan referensi oleh penulis.

| Гabel 2.1 | Rangkuman | Penelitian | Terdahulu |
|-----------|-----------|------------|-----------|
|-----------|-----------|------------|-----------|

| Judul | Hal yang Diam bil | Metod e Analis a | Medi a Anali sa | Varia bel | Beba n |
|--|--------------------------------|--|--|--|-----------------------|
| Analisis Pengaruh Letak Bahan Terhadap Defleksi Balok Segi Empat Dengan Tumpuan Engsel- Roll-Roll | Teori Deflek si Balok | Perhitu ngan Metode Tiga Mome n dan Eksperi men | Kalku lator dan Alat Uji Defle ksi | Letak Pemb ebana n, Materi al Beam | Beban Vertik al |

| Simulasi dan Studi Eksperime n Defleksi <i>Beam</i> <i>Bright Mild</i> <i>Steel</i> Akibat Variasi Beban Horisontal | Teori Deflek si Beam | FEM dan Eksperi men | ANS YS dan Ekspe rimen | Beban | Beban Horis ontal |
|---|--|--|---|--|-------------------------|
| Prediction of Radial- Ply Tire Deflection Based on Contact Area Index, Inflation Pressure and Vertical Load | Rumu s Perhit ungan Deflek si | Perhitu ngan dan Eksperi men | Kalku lator dan Alat Uji Defle ksi Ban | Dime nsi ban, luasan konta k, tekana n, gaya vertik al | Beban Vertik al |
| New Design of Flat-Proof Non- Pneumatic Tire | Alat Penguj ian | - | - | - | - |

Dengan hal ini, dapat dibedakan alat pengujian dari jurnal sebelumnya. Perbedaan tersebut tercantum pada tabel 2.2 terkait kelebihan dari alat pengujian sebelumnya.

| Kelebihan | Alat Pengujian Lama | Alat Uji Ban <i>Airless</i> |
|-----------------|------------------------|--------------------------------|
| Harga | Mahal | Terjangkau |
| Kemudahan | Sulit | Mudah |
| Pengoperasian | | |
| Beban Pengujian | Horisontal | Horisontal dan |
| | | Vertikal |

Tabel 2.2 Perbedaan Alat Pengujian

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Ban

Ban merupakan salah satu bagian dari sebuah mobil, memiliki fungsi yaitu penahan beban, traksi dan pengereman, kemampuan manuver, dan kenyamanan berkendara (Ikeda, et al. 2018). Umumnya, macam-macam ban berdasarkan pasar dapat dikategorikan menjadi tiga yaitu ban radial (*radial tires*), ban padat (*solid tires*), dan ban tanpa udara (*airless tires*).

Ban radial sering digunakan untuk transportasi massal seperti bus, truk, dan mobil *van*. Ban tersebut memiliki kemampuan dalam meningkatkan kenyamanan yang baik selama operasi. Tetapi, ban tersebut juga terdapat kerugian yaitu proses manufaktur yang sangat sulit, tingkat kenyamanan dan keamanan bergantung pada tekanan udara di dalam ban, dan dapat rusak apabila terkena paku, sekrup, dan lain-lain. Kemampuan berubah bentuk (*deformation*) dan gesek antara ban dengan jalan juga perlu diperhatikan dari prosentase energi yang hilang, yang mana energi yang hilang meningkat dari faktor tersebut sekitar 80-90% dari total energi yang hilang (Jackowski, Wieczorek dan Zmuda 2018). Ban radial tersebut memiliki wujud seperti gambar 2.5 di bawah ini.



Gambar 2.5 Ban Radial

Ban padat atau *solid tire* biasa digunakan untuk *forklift*, *dump truck*, dan lain-lain untuk menahan beban pada putaran rendah. Sebaliknya, ban padat lebih aman terhadap benda tajam dibandingkan dengan ban radial, namun ban padat memiliki tingkat kenyamanan yang lebih rendah karena kemampuan penyerapan goncangan pada ban buruk. Ban padat memiliki wujud seperti gambar 2.6 dibawah ini.



Gambar 2.6 Ban Padat

Ban tanpa udara (airless tire) didesain dan diproduksi untuk mengatasi permasalahan yang terjadi pada ban radial dan ban padat. Ban ini menyediakan keamanan dan kenyamanan di dalam kendaraan selama operasi. Ban tersebut tetap berfungsi ketika terhantam oleh benda tajam, sehingga ban ini biasa digunakan untuk kendaraan militer. Selain itu, ban airless bebas perawatan, sehingga dapat megurangi biaya perawatan ban selama operasi. Tetapi ban tersebut juga memiliki beberapa kelemahan, yaitu mahal dan sulit diimplementasikan pada kendaraan dengan kecepatan lebih dari 50 mph. Ban airless ini menjadi hal yang penting di kalangan peneliti untuk mengembangkan ban yang baik guna meningkatkan kenyamanan dan keamanan pada kendaraan. Bentuk dari ban airless tertuang pada gambar 2.7 dibawah ini.



Gambar 2.7 Ban Airless

2.2.1.1 Ukuran Ban

Ukuran ban memiliki variasi yang beragam. Ukuran ban biasanya ditunjukkan dengan angka, seperti 70/90-17. Penulisan tersebut mempunyai makna, bahwa ban memiliki lebar ban sebesar 70 mm, dengan presentase rasio antara lebar ban dengan tingginya sebesar 90%, dan diameter *velg* dalam yaitu 17 inch.

Pada gambar 2.8, gambar yang menunjukkan pembacaan ukuran ban, dapat diketahui secara jelas ukuran ban dari angka yang ditunjukkan.



Gambar 2.8 Pembacaan Ukuran Ban

Gambar diatas menjelaskan ukuran ban 215/70 R15, yang memiliki makna bahwa lebar ban yaitu 215 mm, dengan ukuran *velg* 15 inch, dan ketinggian ban sebesar 150,5 mm yang didapat dari rasio 70%. Ketinggian dari keseluruhan ban adalah penjumlahan antara ukuran *velg* (15 inch) dan ketinggian ban pada sisi atas maupun bawah (2x150,5 mm).

Adapula, pembacaan ukuran ban yang lebih detil sesuai dengan gambar 2.9 yaitu gambar kodefikasi pada ban (HSR Wheel 2019). Sedangkan tabel 2.3 merupakan tabel dari indeks kecepatan maupun beban yang terdapat pada kodefikasi ban.


Dari gambar 2.9 diatas dapat diketahui ukuran ban sebagai berikut:

- 1. P menunjukkan tipe penggunaan dari ban yang ada 3 huruf, yaitu: P = untuk kendaraan penumpang, T= untuk pemakaian sementara/khusus dan C = untuk kendaraan komersial.
- 2. Angka yang berada dibelakang huruf (205) menunjukkan lebar ban (mm).
- 3. Angka di belakang garis miring (65) menunjukkan aspek rasio dalam %
- 4. Huruf berikutnya setelah angka (R) menujukkan tipe ban yang ada 3 huruf, yaitu: R = ban radial, D = ban bias dan B = ban bias dengan sabuk.
- 5. Angka (16) setelah huruf menunjukan ukuran *velg* yang sesuai, atau ukuran diameter dalam ban.
- 6. Angka (95) merupakan kapasitas beban yang dapat ditumpu oleh ban sesuai dengan index yaitu 690 kg.
- 7. Huruf (V) merupakan simbol kecepatan yang diperbolehkan pada ban. V sendiri memiliki batas kecepatan yaitu 240 km/jam.

| INDE | INDEX BEBAN | | | |
|------|-------------|--|--|--|
| KODE | BEBAN | | | |
| 30 | 106 kg | | | |
| 31 | 109 kg | | | |
| 32 | 118 kg | | | |
| 33 | 115 kg | | | |
| 38 | 132 kg | | | |
| 40 | 140 kg | | | |
| 41 | 145 kg | | | |
| 42 | 150 kg | | | |
| 43 | 155 kg | | | |
| 44 | 160 kg | | | |
| 45 | 165 kg | | | |
| 46 | 170 kg | | | |
| 47 | 175 kg | | | |
| 48 | 180 kg | | | |

| INDEX SPEED | | | |
|-------------|-----|--------|--|
| KODE | S | PEED | |
| В | 50 | km/jam | |
| С | 60 | km/jam | |
| D | 65 | km/jam | |
| E | 70 | km/jam | |
| F | 80 | km/jam | |
| G | 90 | km/jam | |
| J | 100 | km/jam | |
| K | 110 | km/jam | |
| L | 120 | km/jam | |
| М | 130 | km/jam | |
| N | 140 | km/jam | |
| P | 150 | km/jam | |
| Т | 190 | km/jam | |
| U | 200 | km/jam | |

| Speed Rating | Miles/Hour | Kilometers/Hour |
|-----------------|------------|-----------------|
| U | 124 | 200 |
| Н | 130 | 210 |
| V | 149 | 240 |
| Z | 150+ | 240+ |
| W | 168 | 270 |
| Y | 186 | 300 |

| Load index | Load in Kg per tyre | Load index | Load in Kg per tyre |
|---------------|------------------------|---------------|------------------------|---------------|------------------------|---------------|------------------------|---------------|---------------------------|
| 62 | 265 | 75 | 387 | 88 | 560 | 101 | 825 | 114 | 1180 |
| 63 | 272 | 76 | 400 | 89 | 580 | 102 | 850 | 115 | 1215 |
| 64 | 280 | 77 | 412 | 90 | 600 | 103 | 875 | 116 | 1250 |
| 65 | 290 | 78 | 425 | 91 | 615 | 104 | 900 | 117 | 1285 |
| 66 | 300 | 79 | 437 | 92 | 630 | 105 | 925 | 118 | 1320 |
| 67 | 307 | 80 | 450 | 93 | 650 | 106 | 950 | 119 | 1360 |
| 68 | 315 | 81 | 462 | 94 | 670 | 107 | 975 | 120 | 1400 |
| 69 | 325 | 82 | 475 | 95 | 690 | 108 | 1000 | 121 | 1450 |
| 70 | 335 | 83 | 487 | 96 | 710 | 109 | 1030 | 122 | 1500 |
| 71 | 345 | 84 | 500 | 97 | 730 | 110 | 1060 | 123 | 1550 |
| 72 | 355 | 85 | 515 | 98 | 750 | 111 | 1090 | 124 | 1600 |
| 73 | 365 | 86 | 530 | 99 | 775 | 112 | 1120 | 125 | 1650 |
| 74 | 375 | 87 | 545 | 100 | 800 | 113 | 1150 | 126 | 1700 |

 Tabel 2.3 Indeks Kecepatan dan Beban pada Kodefikasi Ban

2.2.2 Karet

Karet alam merupakan polimer isoprena (C5H8) diperoleh dari pohon *hevea brasiliensis*. Karet alam adalah bentuk alamiah dari 1,4–polyisoprene yang banyak digunakan untuk berbagai aplikasi (Tarachiwin, et al. 1858-1863). Hal ini disebabkan sifat mekanik dan elastisitasnya sangat baik. Karet alam sebagai salah satu bahan komposit utama untuk barang jadi, karet memiliki sifat mekanik yang sangat baik antara lain untuk parameter kuat tarik (tensile strength), modulus, kuat sobek (tear strength) dan kekerasan (hardness). Karet alam sebagai polimer alami selain mempunyai keunggulan, pada keadaan tertentu mengalami kelemahan. Kelemahan karet alam antara lain tidak tahan terhadap bahan kimia, pelarut organik, serangan ozon, perubahan cuaca, oksigen, sinar matahari, sinar UV, dan kelembaban.

Karet sintesis adalah karet buatan yang diolah dari minyak bumi kemudian dipolimerisasi dan memiliki sifat yang menyerupai karet alam. Berikut merupakan perbandingan *properties* antara karet alam dan sintesis yang ditunjukkan pada tabel 2.4.

| Part | Parameters | Density (kg/m ³) | Young Modul us (MPa) | Pois on Ratio | Allowab le stress (MPa) |
|------|------------|------------------------------------|-------------------------------|---------------------|-------------------------------|
| Spok | Natural | 930 | 1,9 | 0,499 | 31 |
| e | Rubber | | | / | |
| | (Karet | | | | |
| | Alam) | | | | |
| | Styrene | 992 | 0,48 | 0,49 | 36 |
| | Butadiene | | | | |
| | Rubber | | | | |
| | (Karet | | | | |
| | Sintesis) | | | | |

| Tabel 2.4 Properties | Karet Alam | dan Sintesis |
|----------------------|------------|--------------|
|----------------------|------------|--------------|

2.2.3 Material

2.2.3.1 Polyurethane (PU)

Polyurethane (PU) adalah bahan serba guna dengan potensi besar untuk digunakan dalam aplikasi yang berbeda, terutama berdasarkan pada hubungan struktur-properti mereka. Sifat mekanik, fisik, biologis, dan kimia spesifik mereka perhatian penelitian yang signifikan menarik untuk menyesuaikan PU untuk digunakan dalam aplikasi yang berbeda. Peningkatan sifat dan kinerja bahan berbasis PU dapat dicapai melalui perubahan proses produksi atau bahan baku yang digunakan dalam pembuatannya atau melalui penggunaan teknik karakterisasi lanjutan. modifikasi bahan baku dan proses produksi melalui metode yang tepat dapat menghasilkan PU yang cocok untuk beragam aplikasi spesifik.

Polyurethane (PU) terbuat dari *polyisocyanate* (OCN-R-NCO) dan senyawa *polyhydroxy* (HO-R-OH) dan terdapat sejumlah senyawa makromolekul -NHCOO yang berulang di rantai utama. *Polyurethane* dikenal sebagai 'plastik terbesar kelima'. Dalam industri modern lebih sering digunakan sebagai bahan organik polimer, karena kinerjanya yang relatif unggul sehingga dapat diterapkan secara luas dalam kehidupan seharihari. Sebagai contoh, penerapannya dalam metalurgi konstruksi bangunan, konstruksi mobil, industri ringan, industri tekstil, konstruksi bangunan, peralatan medis, energi, peralatan pertahanan dan kapal sudah diakui.(Yanping, 2018)

2.2.3.1.1 Tipe Polyurethane

Shore durometer adalah instrumen yang digunakan untuk mengukur kekerasan material, umumnya karet, elastomer, dan polimer. Pengukuran kekerasan *shore* A disebut 'durometer'. Pengujian dilakukan pada karet yang divulkanisasi menurut ASTM D2240, dan pada Cincin O lengkap menurut ASTM D1414. Instrumen Durometer terdiri dari batang baja yang dikeraskan dengan kerucut miring di ujungnya. Batang baja diisi pegas dan mengaktifkan pengukur dengan skala antara 1 dan 100. Sampel uji diposisikan lurus di bawah kerucut miring. Instrumen kemudian ditekan terhadap

bahan sampai pelat logam rata di bagian bawah diratakan dengan sampel elastomer. Dalam skalanya, angka yang lebih tinggi menentukan resistensi yang lebih unggul terhadap indentasi dan karenanya bahan yang lebih sulit. Jadi, semakin sedikit kerucut merusak sampel, semakin tinggi kekerasan material. Secara berbeda, angka yang lebih rendah pada skala durometer menunjukkan resistensi yang lebih rendah terhadap indentasi dan material yang lebih lembut, sehingga semakin banyak kerucut yang merusak sampel, semakin kecil kekerasan material. (Barnwell 2020)



Berikut adalah gambar 2.10 yang menunjukkan skala kekerasan dari Durometer:

Gambar 2.10 Skala Kekerasan pada Durometer (Pittsburgh 2018)

Dapat dilihat dari gambar 2.10, terdapat contoh beberapa *polyurethane*. Sebagai contoh pada gelang karet memiliki kekerasan 30 pada *shore* A, lalu ban kendaraan biasanya memiliki kekerasan 70 pada shore A dan ban sakteboard memiliki kekerasan sekitar 100 pada *shore* A. Untuk tipe *polyurethane* sendiri jika dibandingkan berdasarkan kekerasan diatas dibagi menjadi tiga yaitu berupa gel, karet dan plastik. Untuk pembuatan ban *airless* sendiri kita akan menggunakan *polyurethane* yang berjenis karet dengan kekerasan 35 *shore* D karena memiliki sifat yang sesuai dengan ban pada umumnya dan yang paling banyak beredar di pasaran.

2.2.3.2 Structural Steel

Structural steel merupakan salah satu kategori baja material konstruksi yang diproduksi dengan penampang atau bentuk tertentu, dan beberapa nilai kekuatan dan komposisi kimia tertentu. Komposisi baja struktural, kekuatan, ukuran, bentuk, kekuatan, dan penyimpanan dikendalikan pada sebagian besar negara maju. Baja struktural mencakup berbagai jenis baja rendah karbon dan mangan yang digunakan dalam jumlah besar untuk aplikasi teknik sipil dan kelautan.

Properties yang dimiliki oleh *structural steel* ada pada tabel 2.5 dibawah ini:

| Material | Density (kg/m ³) | Young Modul us (MPa) | Poiso n Ratio | Allowable stress (MPa) |
|---------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------|------------------------------|
| Structural Steel | 7850 | 200000 | 0,3 | 250 |

 Tabel 2.5 Properties Structural Steel

2.2.4 Alat Ukur

2.2.4.1 Sensor Load Cell

Timbangan adalah alat yang dipakai melakukan pengukuran massa suatu benda. Timbangan/neraca dikategorikan kedalam sistem mekanik dan juga elektronik /Digital. Timbangan yang menggunakan sensor berat/ *load cell* merupakan alat bantu pendeteksi berat yang dapat dibuat dari bahan *strain gauge* (sensor tekanan) dan komponen elektronik penguat Instrumen Opamp.

Load cell merupakan sensor berat yang memberikan pengukuran akurat dari gaya dan beban terdiri dari 4 buah strain gauge (Saputra, Kusriyanto dan Medilla 2016). Load cell sendiri memiliki banyak macam, antara lain *beam*, *type* S, *pancake*, *canister*, dll. Load cell type S merupakan tipe load cell yang digunakan sebagai komponen pada timbangan. *Load cell type* S tertuang pada gambar 2.11 dibawah ini.



Gambar 2.11 Load Cell Type S

Load cell memiliki fleksibiltas terhadap subyek yang akan diukur; baik berbentuk serbuk maupun padatan. *Load cell* digunakan pada alat timbang berat badan untuk mendapatkan perhitungan Angka Kecukupunan Gizi (AKG) seseorang (Aulia, et al. 2016)

2.2.4.2 Dial Indikator

Dial Indikator (*Bore Gauge*) atau juga dikenal dengan *Cylinder Gauge* ialah alat ukur yang dipakai guna mengukur diameter silinder. Pada bagian atas terdapat dial *gauge* dan bagian bawahnya terdapat *measuring point* yang bisa bergerak bebas. Dial *gauge* yang terletak di bagian atas bisa dilepas dengan cara melonggarkan *securing position* dial *gauge*-nya. Sedangkan ujung batang pengukur (*measuring point*) akan bergerak bila ditekan dan jjarum pada dial *gauge* antara 0-2 mm akan bergerak dari harga standarnya. Di sisi lain terdapat *replacement rod* yang panjangnya beragam tergantung pada kebutuhan, yang dilengkapi dengan *replacement securing thread* merupakan semacam mur pengikat yang berfungsi untuk mengunci supaya *replacement rod* dan *washer* tidak lepas ketika *bore gauge* digunakan.

Kegunaan dial *gauge* seperti yang telah kita ketahui adalah untuk : mengukur kerataan permukaan bidang datar, mengukur kerataan permukaan serta kebulatan sebuah poros, dan mengukur kerataan permukaan dinding silinder. Adapun jenis jenis dial *gauge* sendiri ada berbagai macam sesuai dengan skala yang digunakan, beberapa jenis dial *gauge* antara lain (Junaidi 2016) (Hestukoro, et al. n.d.):

- 1. Dial *gauge* dengan nilai skala 0,01 mm, jenis ini dapat digunakan untuk mengukur dengan batas ukuran sampai dengan 10 mm.
- 2. Dial *gauge* dengan nilai skala 0,01 mm, jenis ini mempunyai batas ukur sampai dengan 1 mm.
- 3. Dial *gauge* dengan nilai skala 0,0005 mm dan jenis ini mempunyai batas ukur sampai 0,025 mm.



Gambar 2.12 Dial Indikator

2.2.5 Defleksi

Analisa dimensi digunakan sebagai alat dasar untuk pengumpulan data eksperimen pada kekakuan vertikal maupun lateral pada ban pneumatik. Analisa tersebut dibantu dengan penyederhanaan gaya defleksi (*simplified force-deflection*) suatu model untuk ban tersebut pada kedua mode yaitu vertikal dan lateral.

2.2.5.1 Defleksi Vertikal

Gaya vertikal yang dihasilkan dari defleksi vertikal pada suatu ban berikatan dengan tekanan inflasi dan ukuran, serta geometri ban. Hal tersebut memungkinkan untuk menggunakan teori sederhana sebagaimana diuraikan dengan memberikan persamaan sederhana yang berhubungan dengan defleksi pada ban terkait gaya vertikal, kemudian mengubah persamaan tersebut menjadi bentuk tak berdimensi. Pengubahan ini berguna untuk memberikan langkah penurunan (*derivation*), supaya perkiraan yang dibentuk lebih terlihat jelas (Nybakken dan Clark 1969).

Proses deformasi ditandai dengan perhitungan geometri dari luasan yang mengalami kontak pada permukaan datar. Dari gambar 2.13, gambar yang menjelaskan skematik ban dengan permukaan datar dengan tampak samping, didapatkan bahwa defleksi vertikal sebagai berikut:



Gambar 2.13 Skematik Ban dengan Tampak Samping

$$\Delta v = \frac{d}{2}(1 - \cos \theta)$$

dimana: $\Delta v =$ defleksi vertikal d = diameter luar

 θ = sudut perpotongan antara ban dengan bidang tanah Panjang potongan kontak dirumuskan sebagai berikut:

dimana *L* merupakan panjang potongan kontak yang ditunjukkan pada gambar 2.13.

Asumsi $\Delta v \ll d$, maka dapat ditulis

$$\Delta v = \frac{\theta^2}{2} \frac{d}{2}$$

dan

$$\frac{L}{d} \simeq \theta$$

yang mana menghasilkan

$$\Delta v \simeq \frac{L^2}{4d}$$



Gambar 2.14 Potongan Melintang Ban

Dengan mengasumsikan potongan melintang berupa lingkaran sesuai gambar 2.14, maka defleksi vertikal dan lebar kontak dapat berhubungan seperti berikut:

$$\Delta v = r_1 (1 - \cos \beta)$$

dimana:

 r_1 = radius potongan melintang ban

$$\Delta v = r_1 \frac{\beta^2}{2}$$
$$\frac{b}{2r_1} \simeq \beta$$

dan

$$\Delta v = \frac{b^2}{8r_1}$$

Perkiraan lebih lanjut diasumsikan

$$r_1 \simeq w/2$$

dimana w merupakan lebar ban. Maka persamaan menjadi

$$\Delta v \simeq \frac{b^2}{4w}$$

Sekarang, diasumsikan bahwa potongan kontak berbentuk ellips dengan rata-rata nilai tekanan sama dengan tekanan inflasi, beban vertikal dapat diperkirakan sebagai berikut:

$$P \simeq \pi \frac{L}{2} \frac{b}{2} P_0$$

atau

$$P \simeq \pi P_0 \Delta v \sqrt{dw}$$

dimana:

P = beban vertikal $P_0 = tekanan inflasi$ $\Delta v = defleksi vertikal$ d = dimater luar banw = lebar tapak ban

2.2.5.2 Defleksi Lateral

Hubungan antara elastis dan pengaruh tekanan telah didiskusikan oleh Dodge, Clark, dan Johnson, yang telah mengembangkan metode agak rumit untuk menentukan kontribusi pada setiap pengaruh, dan karenanya total pegas lateral konstan. Analisa tersebut terurama diarahkan pada ban otomotif, pada daerah tekanan rendah. Dengan asumsi tersebut, analisa kekuatan lateral akan menjadi sederhana (Nybakken dan Clark 1969).

Pertama-tama mengembangkan persamaan yang berhubungan dengan parameter ban ke semua pondasi elastis lateral baik modulus, atau kekakuan, yang dibutuhkan pada teori pegas pada pondasi elastis, serta berhubungan dengan parameter ban pada tegangan yang ada pada pegas.

Pada gambar 2.15 (a) ditunjukkan potongan melintang ban, dan satunya merupakan potongan melintang ban yang telah mengalami deformasi lateral yang ada pada gambar 2.15 (b).



Gambar 2.15 Potongan Ban (a) Melintang. (b) Melintang yang telah Mengalami Deformasi.

Untuk dinding sisi sebelah kanan, mengambil momen O_{R} memberikan

$$Q_1 H \cos \alpha = \frac{P_o w}{2} H \sin \alpha + P_o H.H/2$$

Untuk α kecil,

$$Q_1 \simeq P_o \frac{w}{2} \frac{\Delta H}{H} + P_o \frac{H}{2}$$

Untuk dinding sisi sebelah kiri, mengambil momen $O_{\rm L}$ memberikan

$$-Q_2 H \cos \alpha + \frac{P_o w}{2} H \sin \alpha$$
$$= P_o H \cdot \frac{H}{2} - Q_2 \simeq P_o \frac{H}{2} - P_o \frac{w}{2} \frac{\Delta H}{H}$$

Jumlah kekuatan sisi Q adalah diberikan sebagai berikut

$$Q = Q_1 + Q_2 = P_0 \frac{w \,\Delta H}{H}$$
$$\frac{Q}{\Delta H} = P_0 \frac{w}{H} = K_L$$

dimana K_L adalah pondasi modulus lateral pada pegas.

Kuantitas lainnya dibutuhkan untuk analisa ini yaitu tegangan pegas. Teori tekanan vessel dapat digunakan untuk mendapatkan perkiraan persamaan untuk tegangan. Berdasarkan gambar 2.16, teori membran diprediksi

$$\frac{N_{\phi}}{r} + \frac{N_{\theta}}{r_o} = \frac{P_o}{t}$$

dimana:

 N_{ϕ} : gaya per satuan luasan pada bagian arah lingkar

r : jari-jari bagian ban

 N_{θ} : gaya per satuan luasan pada ban seluruhnya arah lingkar

 r_o : jari-jari seluruhnya ban

*P*_o : Tekanan inflasi

t : Ketebalan membran



Gambar 2.16 Potongan Ban Menunjukkan N_o

Berdasarkan gambar 2.16, N_{ϕ} bertindak pada luasan $2\pi r_o t$ dan P_o bertindak pada luasan $\pi (r_o^2 - (r_o - r)^2)$. Persamaan dua gaya ini diberikan seperti berikut

$$N_{\phi} 2\pi r_o t = \pi P_o (r_o^2 - (r_o - r)^2)$$

atau

$$N_{\phi} = \frac{P_o r}{2r_o t} (2r_o - r)$$

Substitusi-kan pada persamaan untuk N_{ϕ} pada persamaan membran. N_{θ} menjadi

$$\frac{P_o}{2r_o t}(2r_o - r) + \frac{N_\theta}{r_o} = \frac{P_o}{t}$$

atau



Gambar 2.17 Luasan Potongan Ban

Berdasarkan gambar 2.17 dapat dilihat bahwa daerah dimana N_{θ} bertindak dapat diperkirakan menjadi

$$Area = C t$$

dimana *C* merupakan bagian keliling ban sesungguhnya. Kemudian, tegangan T diberikan sebagai berikut

$$T = \frac{P_o r}{2t} (C t) = \frac{P_o r C}{2}$$

Sekarang, diasumsikan bahwa

$$r = w/2$$

dimana

w : lebar bagian

r : jari-jari bagian

jadi panjang tapak efektif adalah sebagian kecil f pada keliling ban sepenuhnya.

$C = 2\pi r(f)$

Kita telah memiliki persamaan untuk dua kuantitas yang dibutuhkan guna persamaan tali pada pondasi elastis. Persamaan keseimbangan ini adalah

$$T\frac{d^2u}{dx^2} - K_L u = 0$$

dimana

T : tegangan tali

u : perpindahan, lateral

x : koordinat, keliling

 K_L : modulus pondasi

Dengan pengolahan rumus tersebut, didapatkan bahwasanya beban titik lateral pada ban sebagai berikut

$$S = \Delta H P_o w \sqrt{\frac{w}{H}} \sqrt{f\pi}$$

dimana

S : beban titik lateral

 ΔH : defleksi lateral

 P_o : tekanan inflasi

w : lebar bagian

H : tinggi bagian

f : tak berdimensi.

2.2.5.3 Batasan Defleksi Beam Akibat Lentur

Suatu *beam* atau *frame* yang digunakan sebagai mesin memiliki batasan defleksi untuk dinyatakan diterima. Pada tabel 2.6 di bawah ini menjelaskan batas defleksi akibat lentur sesuai tingkat presisi dari mesin tersebut.

Tabel 2.6 Batasan Defleksi Akibat Lentur (Mott 2004)

| Category | Deflection Limit (mm/mm panjang <i>bean</i>) |
|----------------------|---|
| General machine part | 0,0127 - 0,0762 |

| Presisi Sedang | 0,000254 - 0,0127 |
|----------------|----------------------|
| Presisi Tinggi | 0,0000254 - 0,000254 |

2.2.6 Fundamental Plane Frame

Dalam menganalisis struktur, langkah pertama yang dilakukan yaitu mendefinisikan struktur tersebut. Struktur yang ada pada penelitian ini tergolong dalam *frame* atau *plane frame*. *Plane frame* sendiri adalah bidang *frame* yang didefinisikan sebagai kumpulan dua dimensi dari member lurus yang dihubungkan bersama oleh koneksi yang kaku (*rigid connection*) dan/atau koneksi engsel, dan mengalami beban dan reaksi yang terletak pada bidang struktur. ((Kassimali 2012)

Strukur *plane frame* memiliki derajat kebebasan yaitu tiga buah, terdiri dari gaya axial seperti pada bidang *trusses*, gaya vertikal atau *shear* seperti pada beam dan juga momen bengkok (*bending moment*). Berikut adalah salah satu contoh struktur *plane frame* yang terdapat pada gambar 2.18 di bawah ini:



Gambar 2.18 Frame

Dengan gambar tersebut, dapat dianalisis lebih dalam menggunakan metode matriks dengan cara membedah tiap membernya. Pada gambar 2.19 merupakan gambar analisis salah satu member dari *frame* tersebut.



Gambar 2.19 Analisis Member

Setelah dilakukan pembedahan tiap member, maka dapat dilakukan analisis member dengan metode matriks. Metode matriks yang digunakan pada struktur *frame* yaitu sebagai berikut:

$$\begin{array}{c} Q = \mathbf{k}\mathbf{u} + Q\mathbf{f} \\ \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \\ Q_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} & k_{15} & k_{16} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & k_{24} & k_{25} & k_{26} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & k_{34} & k_{35} & k_{36} \\ k_{41} & k_{42} & k_{43} & k_{44} & k_{45} & k_{46} \\ k_{51} & k_{52} & k_{53} & k_{54} & k_{55} & k_{56} \\ k_{61} & k_{62} & k_{63} & k_{64} & k_{65} & k_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \\ u_6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Q_{f1} \\ Q_{f2} \\ Q_{f3} \\ Q_{f4} \\ Q_{f5} \\ Q_{f6} \end{bmatrix}$$

dimana, matriks k sendiri adalah seperti di bawah ini:

$$k = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0\\ 0 & 12 & 6L & 0 & -12 & 6L\\ 0 & 6L & 4L^2 & 0 & -6L & 2L^2\\ -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & \frac{AL^2}{I} & 0 & 0\\ 0 & -12 & -6L & 0 & 12 & -6L\\ 0 & 6L & 2L^2 & 0 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix}$$

Kemudian, dari member tersebut dapat ditransformasi menuju pada koordinat global dengan cara sebagai berikut:

$$\mathbf{F} = \mathbf{T}^T Q$$

Maka diperoleh gaya-gaya yang terjadi pada setiap ujung member dan diolah untuk mengetahui struktur tersebut setimbang secara statik dengan menggunakan teori kesetimbangan benda tegar.

2.2.7 Metode Finit Elemen Hingga

Finite Element Method (FEM) atau biasanya disebut *Finite Element Analysis* (FEA), adalah prosedur numerik yang dapat dipakai untuk menyelesaikan masalah-masalah dalam bidang rekayasa *engineering*, seperti analisa tegangan pada struktur, frekuensi pribadi dan mode *shape*-nya, perpindahan panas, elektromagnetis, dan aliran fluida (*Moaveni*).Metode ini digunakan pada masalah-masalah rekayasa dimana *exact solution/ analytical solution* tidak dapat menyelesaikannya. Inti dari FEM adalah membagi suatu benda yang akan dianalisa, menjadi beberapa bagian dengan unglah hingga (*finite*). Bagian-bagian ini disebut elemen yang tiap elemen satu dengan elemen lainnya dihubungkan dengan nodal (*node*), kemudian dibangun persamaan matematis yang menjadi representasi benda tersebut. Proses pembagian benda menjadi beberapa bagian disebut *meshing*.

Gambar 2.20 menunjukkan dasar penggambaran dalam pendekatan FEM, yaitu sebuah plate yang akan dicari distribusi temperaturnya. Bentuk geometri *plate* di "meshing" menjadi bagian-bagian kecil bentuk segitiga untuk mencari solusi yang

berupa distribusi temperatur *plate*. Sebenarnya kasus ini dapat diselesaikan dengan cara langsung, yaitu dengan persamaan kesetimbangan panas (*heat balance equation*). Namun, untuk geometri yang rumit seperti *engine block* diperlukan FEM untuk mencari distribusi temperatur.



Gambar 2.20 Mesh di FEM

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi

3.1.1 *Flowchart* Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini, diperlukan langkah langkah sebagai berikut sesuai dengan gambar 3.1 yaitu *flowchart* penelitian dibawah ini:





Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

3.1.2 Observasi

Observasi merupakan langkah pertama yang dilakukan penulis dalam penelitian ini. Tujuan dilakukannya observasi adalah menentukan ruang lingkup permasalahan yang akan dijadikan penelitian. Dalam hal ini, obervasi dilakukan pada lingkup tiang pada alat pengujian defleksi ban *airless* atau alat uji ban *airless*.

3.1.3 Perumusan Masalah

Setelah melakukan observasi, penulis merumuskan masalah yang terdapat pada lingkup observasi yang dilakukan. Permasalahan akan berfokus tentang membuat permodelan atau simulasi tiga dimensi terkait geometri tiang alat uji ban *airless* dan menganalisa hasilnya sehingga akan didapatkan deformasi poros dan tiang, kemudian dilakukan penentuan geometri penampang tiang berdasarkan batas deformasi kurang dari 1% defleksi ban *airless* itu sendiri.

3.1.4 Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk mendapatkan informasi secara lebih detil serta menunjang penelitian yang akan dilakukan. Informasi yang dicari penulis berupa dasar teori *ban airless*, teori defleksi pada ban baik defleksi lateral maupun vertikal sebagai batas deformasi, teori struktur, metode elemen hingga, dan penelitian terdahulu yang dirangkum penulis.

3.1.5 Penentuan Data Awal

Data awal yang didapatkan untuk penelitian ini adalah data dimensi ban *airless*, *velg*, dan poros, serta dongkrak. Secara lebih detil, data awal dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah ini:

| Komponen | Parameter | Nilai | Satuan |
|-------------|-----------|--------|--------|
| Ban Airless | Lebar | 67,52 | mm |
| | Tinggi | 51,18 | mm |
| | Diameter | 374,87 | mm |
| Velg | Lebar | 67,52 | mm |
| | Diameter | 374,87 | mm |
| Poros | Panjang | 259,1 | mm |
| | Diameter | 18 | mm |

Tabel 3.1 Dimensi Komponen Lain

| Dongkrak | Lebar | 5,5 | inch |
|----------|---------|------|------|
| | Panjang | 16 | inch |
| | Tinggi | 3,75 | inch |

3.1.5.1 Penentuan Geometri Tiang

Setelah memiliki data dimensi komponen lain, maka dapat dilakukan desain geometri tiang pada alat pengujian alat uji ban *airless* tersebut. Geomteri tiang alat uji ban *airless* ini dirincikan pada tabel 3.2 dibawah sebagai berikut:

| Parameter | Nilai | Satuan |
|-----------|-------|--------|
| Panjang | 60 | mm |
| Lebar | 30 | mm |
| Tinggi | 537,1 | mm |
| Jarak | 150 | mm |

Tabel 3.2 Geometri Tiang Alat Uji Ban Airless

3.1.5.2 Penentuan Load

Penentuan *load* ini berdasarkan dengan bobot penumpang dan kendaraan. Penentuan ini juga diasumsikan terdapat 2 penumpang. Maka beban yang diterima pada roda dengan bobot 2 penumpang dan kendaraan sebesar 125 kg atau 1250 N. Tetapi, pada penelitian ini diberikan beban sebesar 1,5x (satu setengah kali) dari beban normal untuk menghindari kegagalan saat eksperimen. Maka beban sebesar 1875 N tersebut merupakan beban lateral maupun vertikal yang dialami oleh ban *airless* yang digunakan pada penelitian ini.

3.1.6 Proses Desain

Dalam melakukan proses desain, penulis menggunakan *software* SOLIDWORKS 2018. Penulis melakukan proses desain terlebih dahulu, sebelum desain tersebut dianalisa strukturnya menggunakan *software* ANSYS.

Langkah-langkah dalam mendesain adalah:

1. Membuat setiap *part* dalam 3D.

Part atau komponen yang ada dalam alat pengujian dibuat secara masing-masing. Pembuatan komponen ini juga mengacu pada dimensi yang ada secara nyata sesuai dengan penentuan data awal diatas dan aksesoris lainnya (sensor). Berikut adalah komponen-komponen yang terdapat pada alat pengujian alat uji ban *airless*.

a. Ban Airless



Gambar 3.2 Ban Airless

b. Velg



Gambar 3.3 Velg ban

c. Poros



Gambar 3.4 Poros

d. Dongkrak



Gambar 3.5 Dongkrak

e. Tiang

Tiang sendiri memiliki dua tipe, yaitu: tiang polos, dan tiang sebagai *holder* sensor *load cell*. Tiang polos tercantum pada gambar . Sedangkan untuk tiang *holder* tercantum pada gambar.



Gambar 3.7 Tiang *Holder* (a) Tampak Dalam (b) Tampak Luar



Gambar 3.8 Alas

2. Melakukan assembly komponen.

Setelah membuat komponen-komponen yang ada dalam alat pengujian, maka komponen tersebut digabungkan menjadi satu dengan fitur *assembly part* pada SOLIDWORKS 2018. Selain itu, juga menyatukan komponen-komponen dengan fitur *mates* dari komponen satu ke komponen lainnya. Berikut adalah hasil *assembly* komponen sesuai dengan gambar 3.9 dibawah ini.



Gambar 3.9 Alat Uji Ban Airless

3.1.7 Simulasi

Dengan desain yang sudah jadi, maka desain tersebut diolah dan dianalisa untuk mengetahui deformasi yang terjadi pada tiang alat uji ban *airless*. *Software* yang digunakan untuk simulasi adalah ANSYS 18.0 dengan *Static Structural*.

Langkah-langkah untuk melakukan simulasi pada alat pengujian alat uji ban *airless* ini adalah sebagai berikut:

1. Membuka software WORKBENCH ANSYS 18.0.



Gambar 3.10 Tampilan Utama ANSYS 18.0

2. Memilih Static Structural.



Gambar 3.11 Tampilan Utama Static Structural

3. Memasukkan *properties* material yang digunakan dengan mengedit *Engineering Data*.



Gambar 3.12 Tampilan Prosedur Ubah Engineering Data

Pada alat pengujian alat uji ban *airless* ini terdapat beberapa komponen dengan material berbeda-beda. Material yang digunakan komponen tersebut tercantum pada tabel 3.3 dibawah ini, sehingga *properties* dalam tabel dimasukkan dalam *engineering data*.

| Part | Parameter s | Densi ty (kg/m ³) | Young Modul us (MPa) | Poiso n Ratio | Allowa ble stress (MPa) |
|-----------------------|-----------------------------|--|-------------------------------|---------------------|----------------------------------|
| Ban <i>Airless</i> | Polyureth ane L100 | 1100 | 7,6 | 0,49 | 31 |
| Velg | Alumuniu m Alloy | 2770 | 71000 | 0,33 | 280 |
| Poros | Alumuniu m Alloy 7075 | 2810 | 72000 | 0,33 | 275 |
| Tiang | | | | | |
| Alas | Structural | 7850 | 200000 | 0,3 | 250 |
| Kompon en Lain | Steel | | | | |

Tabel 3.3 Properties Komponen

4. Memasukkan desain 3D ke dalam Geometry.

Setelah membuat desain alat uji ban *airless*, maka desain tersebut di-*import* ke dalam ANSYS untuk dilakukan simulasi terhadapnya.



Gambar 3.13 Tampilan Memasukkan Desain

Setelah desain sudah dimasukkan, maka melakukan *unsupress body* pada bagian dongkrak dan komponen lain yang tidak berhubungan dengan tiang, serta mengganti material komponen.



Gambar 3.14 Tampilan Desain sebelum Unsuppress Body

| B : Alat Uji Ban Airless - Mechanical [ANSYS Multiphysics] | | | - a × |
|--|---|---|----------------------------------|
| File Edit View Units Tools Help 157 🙆 💀 🕇 Solve 💌 2. | Show Frances 🏥 🔐 🖄 🚓 🐼 🗃 🕶 🎯 Workshowet 🥼 🗞 | | |
| P & V & B B B B B B & C A B | | | |
| | | | 4 |
| 3# Show vertices and Close vertices 0.0 (Auto Scale) * Crawing | stame "Balantimeter and a sendom Sources to be be be be to be to be to be be be be | .tze * 🗶 Location * 🝓 Convert * 🗘 Miscellaneous * | O Interances |
| 👔 🕅 🖓 Reset Explode Factor: | 👻 📔 Edge Coloring 👻 🎤 🎢 🦯 🖉 🖓 Thicken | | |
| | | | |
| Outline a | | | |
| Fiter Name * | | | ANCVC |
| D D D D D D AI | | | ANDID |
| | | | |
| × QD Spoke | | | |
| - m Pert 25 | | | |
| × Op Part 26 | | | |
| x @ Part 27 | | | |
| × @ Part 23 | | | |
| × (p Part 29 | | | |
| × top Part 30 | | | |
| × () Part 31 | 4 8 | | |
| Dert 31 | | | |
| Part 34 | | | |
| Details of "Multiple Selection" | | | |
| Granhirs Properties | | | |
| Definition | | | |
| Suppressed Yes | | | |
| Stiffness Rehavior Firsible | | | |
| Coordinate System Default Coordinate System | | | |
| Reference Temperature By Environment | | | |
| Behavior None | | | |
| Material | | | Y |
| Assignment | | | • |
| Nonlinear Effects Yes | Manager | | |
| Thermal Strain Effects Yes | Messiges | | ** |
| + Bounding Box | Text | Association | Timestamp ^ |
| * Properties | Info The following faces have high order NURBS surfaces. These may take longer than usual | Project>Model>Mesh | Thursday, March 1 |
| + Statistics | Info The following faces have high order NURBS surfaces. These may take longer than usual | Project>Model>Mesh | Thursday, March 1 |
| | tate. The falls can be a back and a MIROC sufferer. There are take been then used | Records Madels Mark | Soundar March 1 |
| Multiple Selection (21 Objects Selected) | . No Selection | Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees | tatl/s Celsius |

Gambar 3.15 Tampilan Desain sesudah Unsuppress Body

5. Proses meshing

Pengaturan *meshing* ini berguna untuk membagi 3D model menjadi model diskrit yang mana merupakan inti dari metode *Finite Element Method. Sizing* yang digunakan pada *meshing* ini adalah dengan *size function* berupa *uniform*, *relevance center* berupa *fine*, transisi berupa *slow*, dan *smoothing* berupa *high* selain itu diberi *contact sizing* sebesar 3,25 mm, dikarenakan ukuran tersebut telah mencapai nilai yang konvergen dari beberapa percobaan ukuran *mesh* yang dilakukan, dan memiliki waktu singkat untuk menyelesaikan.



Gambar 3.16 Tampilan Desain dengan Meshing

6. Menentukan load yang bekerja

Pada alat ini, *fixed support* terletak pada sisi bawah tiang polos (sesuai gambar 3.6) dan tiang *holder* (sesuai gambar 3.7). Sedangkan gaya yang bekerja terletak pada sisi ban *airless* bawah untuk defleksi vertikal dan sisi spoke yang terkena sensor untuk defleksi lateral. Besar dari gaya tersebut adalah 1875 N.

Dengan hal ini, gaya tersebut dapat diproyeksikan pada titik tengah poros yang menumpu ban *airless*. Maka dari itu, ban *airless* dapat dihilangkan (*surpressed*). Gaya yang bekerja pada defleksi vertikal adalah gaya searah vertikal sebesar 1875 N, sedangkan gaya yang bekerja pada defleksi lateral adalah gaya searah horisontal sebesar 1875 N menuju tiang polos.

| Details of "Remote Force" | | | |
|---------------------------|-------------------|--------------------------|--|
| | Scope | icope | |
| | Scoping Method | Remote Point | |
| | Remote Points | Poros | |
| | Coordinate System | Global Coordinate System | |
| | X Coordinate | 315,62 mm | |
| | Y Coordinate | 948,88 mm | |
| | Z Coordinate | 646,25 mm | |
| | Location | Click to Change | |
| | Definition | | |
| | Туре | Remote Force | |
| | Define By | Components | |
| | X Component | 0, N (ramped) | |
| | Y Component | 1875, N (ramped) | |
| | Z Component | 0, N (ramped) | |
| | Suppressed | No | |

Gambar 3.17 Tampilan Penentuan Load Vertikal

| Details of "Remote Force" | | | |
|---------------------------|-------------------|--------------------------|--|
| Ξ | Scope | Scope | |
| | Scoping Method | Remote Point | |
| | Remote Points | Poros | |
| | Coordinate System | Global Coordinate System | |
| | X Coordinate | 315,62 mm | |
| | Y Coordinate | 948,88 mm | |
| | Z Coordinate | 646,25 mm | |
| | Location | Click to Change | |
| | Definition | | |
| | Туре | Remote Force | |
| | Define By | Components | |
| | X Component | -1875, N (ramped) | |
| | Y Component | 0, N (ramped) | |
| | Z Component | 0, N (ramped) | |
| | Suppressed | No | |

Gambar 3.18 Tampilan Penentuan Load Lateral

7. Mendefinisikan hasil dengan *probe deformation* pada poros Pada mendefinisikan hasil ini, digunakan fitur *probe deformation* dengan penentuan lokasi di titik yang sama menggunakan sistem koordinat. Penentuan ini ditujukan agar data yang didapatkan selalu sama di titik tersebut baik defleksi vertikal maupun lateral. Pada gambar di bawah ini dijelaskan secara detil bahwa titik terletak pada masing-masing sistem koordinat dibawah ini:

Details of "Poros" Definition Туре Cartesian Coordinate System Program Controlled Suppressed No Origin Define By Geometry Selection Geometry Click to Change Origin X 315,62 mm Origin Y 942,88 mm Origin Z 648,28 mm

Gambar 3.19 Tampilan Sistem Koordinat pada Poros

| Details of "Tiang Polos" | | | |
|--------------------------|-------------------|--------------------|--|
| Ξ | Definition | | |
| | Туре | Cartesian | |
| | Coordinate System | Program Controlled | |
| | Suppressed | No | |
| |)rigin | | |
| | Define By | Geometry Selection | |
| | Geometry | Click to Change | |
| | Origin X | 200,47 mm | |
| | Origin Y | 656,35 mm | |
| | Origin Z | 648,28 mm | |

Gambar 3.20 Tampilan Sistem Koordinat pada Tiang Polos
| De | Details of "Tiang Holder" | | | | | | | |
|----|---------------------------|--------------------|--|--|--|--|--|--|
| Ξ | Definition | | | | | | | |
| | Туре | Cartesian | | | | | | |
| | Coordinate System | Program Controlled | | | | | | |
| | Suppressed | No | | | | | | |
| Ξ | Origin | | | | | | | |
| | Define By | Geometry Selection | | | | | | |
| | Geometry | Click to Change | | | | | | |
| | Origin X | 425,47 mm | | | | | | |
| | Origin Y | 655,69 mm | | | | | | |
| | Origin Z | 648,28 mm | | | | | | |

Gambar 3.21 Tampilan Sistem Koordinat pada Tiang Holder



Gambar 3.22 Tampilan Hasil Simulasi Beban Vertikal



Gambar 3.23 Tampilan Hasil Simulasi Beban Lateral

3.1.8 Variasi Geometri Penampang Tiang

Dengan simulasi yang sudah dapat dijalankan, maka dapat dilakukan variasi geometri penampang tiang alat uji ban *airless* untuk mengetahui pengaruhnya terhadap deformasi poros dan tiang akibat gaya vertikal maupun lateral. Hasil variasi tersebut dapat ditabelkan sebagai berikut sesuai tabel 3.4, agar mudah di-plot menjadi sebuah grafik. Geometri penampang tiang ditunjukkan pada gambar 3.24 dibawah ini:



Gambar 3.24 Geometri Tiang dengan Tampak Atas

| Geometri Penampang Tiang | | Deformasi | | | | | | | |
|-----------------------------|-------|-----------|-----------------|----------------|-------|-----------------|----------------|--|--|
| | | 6 | aya Vertik | al | G | Gaya Lateral | | | |
| Panjang | Lebar | Poros | Tiang Holder | Tiang Polos | Poros | Tiang Holder | Tiang Polos | | |
| | 30 | | | | | | | | |
| 60 | 40 | | | | | | | | |
| 00 | 50 | | | | | | | | |
| | 60 | | | | | | | | |
| 60 | | | | | | | | | |
| 70 | 20 | | | | | | | | |
| 80 | 30 - | | | | | | | | |
| 90 | | | | | | | | | |

Tabel 3.4 Data Penelitian

3.1.9 Evaluasi

Setelah hasil dapat didefinisikan, maka hasil tersebut dapat diplotkan menjadi sebuah grafik untuk mengetahui pengaruh geometri penampang tiang terhadap deformasi poros dan tiang, diolah dan dibahas lebih detil pada bab selanjutnya. Setelah itu, hasil dapat digolongkan berdasarkan batas deformasi yaitu kurang dari 1% dari defleksi ban. Hasil yang memenuhi parameter tersebut dapat digunakan dalam penentuan geometri penampang alat uji ban *airless*.

3.1.10 Realisasi Alat Uji Ban Airless

Pada tahap ini, penulis melakukan manufaktur desain untuk merealisasikan alat uji ban *airless* dari hasil simulasi yang telah dilakukan. Penulis juga melakukan simulasi alat uji dengan ban *airless*. Simulasi tersebut dilakukan dengan alat uji ban *airless* menggunakan ban *airless* yang terpasang pada poros ban, kemudian hasil simulasi dicantumkan pada penelitian ini guna dapat dikembangkan pada penelitian selanjutnya.

Dalam realisasi alat uji ini, penulis juga menggunakan alat ukur untuk membantu mendapatkan nilai dan pemberian beban yang akurat. Pemberian beban yang akurat dibantu dengan penggunaan *load cell type-S*. Sedangkan, perolehan data defleksi ban *airless* menggunakan dial indikator. Spesifikasi dari alat ukur tersebut dirincikan pada tabel 3.5 dan letak dari alat ukur ditunjukkan pada gambar 3.25 sesuai dengan notasi dibawah ini:

| Alat Ukur | Spesifikasi | Kegunaan | Letak | Notas i |
|------------------------|--|---|--|------------|
| Dial indikato r | Merk: Mitutoyo Model: 2046S <i>Range</i>: 0- 10mm Ketelitian: 0,01 mm | Sebagai alat ukur defleksi ban | Jarum dial indikator tepat ditengah permukaa n <i>mock up</i> ban bagian bawah sekitar area sentuh sensor <i>load cell</i> | 1 |
| Load cell type-S | Kapasitas beban maksimum : 500kg Ukuran: | Sebagai pembacaa n beban vertikal Sebagai | Dongkrak Tiang | 2 |
| | 7x5x2,5 cm • Output hambatan: 350 ± 3 ohm | pembacaa n beban lateral | <i>holder</i> (sesuai gambar 3.7) | |

Tabel 3.5 Spesifikasi Alat Ukur



Gambar 3.25 Letak Alat Ukur

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Validasi Hasil Simulasi

Sebelum melakukan pengambilan data dari simulasi, penulis melakukan uji konvergensi dan validasi struktur pada desain yang digunakan. Uji konvergensi dan validasi ini dilakukan untuk memastikan simulasi yang berjalan dapat dikatakan valid dan akurat.

4.1.1 Uji Konvergensi

Uji konvergensi merupakan uji yang dilakukan terhadap bentuk *mesh*, dimana *mesh* merupakan bagian penting dalam metode elemen hingga. Uji konvergensi ini dilakukan agar mengetahui seberapa akurat *mesh* yang diterapkan pada model dalam *software* ANSYS.

Uji konvergensi ini dilakukan dengan menggunakan variasi ukuran *mesh contact sizing* dari 3,23 mm hingga 3,25 mm dengan kenaikan 0,01 mm. Uji tersebut dilakukan pada satu titik yang sama setiap variasi ukuran *mesh* dengan peletakan titik sesuai gambar 3.19, gambar 3.20, dan gambar 3.21 pada masing-masing variasi. Tabel 4.1 di bawah ini merupakan tabel hasil uji konvergensi yang telah dilakukan:

| | | | Output | | | | | | | | | | | |
|--------|-------|--------------------|-------------------------------------|-----------------------------|--------------------|--------|--------------------|-------------------------------------|-----------------------------|--------------------|--------|--|--|--|
| | | | Gaya Vertikal (mm) | | | | | Gaya Lateral (mm) | | | | | | |
| Sizing | Waktu | Deformasi Poros | Deformasi Tiang <i>Holder</i> | Deformasi Tiang Polos | Total Deformasi | Waktu | Deformasi Poros | Deformasi Tiang <i>Holder</i> | Deformasi Tiang Polos | Total Deformasi | | | | |
| | 3,25 | 00.26.39 | 0,1357 | 0,0137 | 0,0104 | 0,1405 | 00.25.44 | 1,4772 | 0,3432 | 0,4362 | 1,6144 | | | |
| | 3,24 | 00.30.33 | 0,1354 | 0,0137 | 0,0104 | 0,1404 | 00.29.18 | 1,4769 | 0,3421 | 0,4352 | 1,6140 | | | |
| | 3.23 | 00.37.55 | 0.1346 | 0.0136 | 0.0106 | 0.1397 | 00.33.14 | 1.4721 | 0.3431 | 0.4362 | 1.6090 | | | |

Tabel 4.1 Hasil Uji Konvergensi



Grafik 4.1 Uji Konvergensi (a) Gaya Vertikal (b) Gaya Lateral

Dari tabel dan grafik 4.1 di atas, dapat diketahui bahwasanya ukuran *mesh* memengaruhi nilai deformasi poros yang dihasilkan. Pada ukuran *mesh* sebesar 3,25 mm

menghasilkan deformasi poros sebesar 0,1357 mm untuk gaya vertikal, dan 1,4772 mm untuk gaya lateral. Perbedaan nilai deformasi poros yang pada ukuran *mesh* 3,25 mm dan 3,24 mm sendiri sebesar 0,75% untuk gaya vertikal dan 0,02% untuk gaya lateral. Perbedaan tersebut tidak kurang dari 1%, sehingga penulis menyatakan bahwa ukuran *mesh* 3,25 mm merupakan ukuran yang tepat untuk digunakan karena sudah konvergen dan membutuhkan waktu simulasi lebih cepat dibanding ukuran *mesh* lainnya.

Konvergen dapat dilihat dari *mesh quality* menggunakan *element quality*. Nilai *element quality* menunjukkan bentuk *mesh* yang baik, semakin besar nilai ratarata tersebut, maka semakin baik bentuk *mesh* dan dapat dikatakan konvergen. *Mesh quality* pada struktur ini dalam program ANSYS terdapat pada gambar 4.1 di bawah ini:

| De | tails of "Mesh" | | џ |
|----|-------------------------|---------------------|----------|
| ÷ | Sizing | | ^ |
| | Quality | | |
| | Check Mesh Quality | Yes, Errors | |
| | Error Limits | Standard Mechanical | |
| | Target Quality | Default (0.050000) | |
| | Smoothing | High | |
| | Mesh Metric | Element Quality | |
| | Min | 4,2661e-002 | |
| | Max | 1, | _ |
| | Average | 0,76578 | |
| | Standard Deviation | 0,20196 | |
| Ξ | Inflation | | |
| | Use Automatic Inflation | None | |
| | Inflation Option | Smooth Transition | |
| | Transition Ratio | 0,272 | ~ |

Gambar 4.1 Mesh Quality Ukuran 3,25 mm

Pada gambar di atas, tertuang bahwa *mesh quality* rata-rata pada ukuran *mesh* 3,25 mm adalah 76,58%. Hal ini juga menguatkan bahwa ukuran *mesh* 3,25 mm yang digunakan pada simulasi sudah tepat dan konvergen.

- 4.1.2 Validasi Struktur
- 4.1.2.1 Validasi Struktur Solid Element

Struktur elemen *solid* merupakan struktur dengan pemodelan elemen *solid*. Pemodelan elemen *solid* pada struktur ini seperti pada gambar 4.2 di bawah ini



Gambar 4.2 Pemodelan Struktur Elemen Solid

Pada pemodelan *solid* elemen didapatkan hasil deformasi poros sebesar 0,0799 mm untuk gaya vertikal dan 0,6345 mm untuk gaya lateral.

4.1.2.2 Validasi Struktur Beam Element

Struktur dapat disimulasikan pada ANSYS menggunakan elemen *solid* ataupun elemen *beam*. Kedua definisi tersebut memiliki kelebihan tersendiri. Pada elemen *solid*, hasil yang ditampilkan lebih akurat. Sedangkan, hasil yang ditampilkan pada elemen *beam* memiliki hasil yang mendekati atau keakuratannya lebih rendah. Namun, kedua elemen tersebut memiliki kekurangan masing-masing yaitu pada elemen *solid* memiliki jumlah elemen *mesh* lebih banyak dibanding elemen *beam* dan hal tersebut membuat waktu simulasi memakan waktu lebih lama pula dibanding *beam*.

Tetapi selain penulis melakukan definisi struktur berupa elemen *solid*, penulis juga menggunakan definisi *beam* untuk memberikan analisis terkait pengaruh geometri terhadap deformasi yang dihasilkan pada penelitian ini. Definisi *beam* elemen menggunakan fundamental *frame* dikarenakan pada penelitian ini terdapat gaya luar yang searah pada *longitudinal axis* pada member. Berikut merupakan pemodelan *frame* yang terdapat pada gambar 4.3 di bawah ini



Gambar 4.3 Pemodelan Struktur Elemen Beam

Pada pemodelan *beam* elemen didapatkan hasil deformasi poros sebesar 0,4004 mm untuk gaya vertikal dan 0,6556 mm untuk gaya lateral.

4.1.2.3 Validasi Struktur Analitikal

Validasi ini merupakan perhitungan analitikal struktur menggunakan metode matriks *frame* agar mendapatkan nilai deformasi pada poros sebagai validasi pada simulasi struktur. Pada gambar 4.4 di bawah ini merupakan model analitis dari struktur:



Gambar 4.4 Pemodelan Analitikal Struktur

Member 1

 $\overline{E} = 200.000 MPa = 200 kN/mm^{2}$ $A = 2,4x10^{3} mm^{2}$ $I = 7,2x10^{5}mm^{4}$ L = 514,66 mm $\theta = 90^{\circ}$ $k = \frac{EI}{L^{3}} \begin{bmatrix} \frac{AL^{2}}{I} & 0 & 0 & -\frac{AL^{2}}{I} & 0 & 0\\ 0 & 12 & 6L & 0 & -12 & 6L\\ 0 & 6L & 4L^{2} & 0 & -6L & 2L^{2}\\ -\frac{AL^{2}}{I} & 0 & 0 & \frac{AL^{2}}{I} & 0 & 0\\ 0 & -12 & -6L & 0 & 12 & -6L\\ 0 & 6L & 2L^{2} & 0 & -6L & 4L^{2} \end{bmatrix}$

k

| κ | | | | | | |
|--------------------|---------------------|----------|--------------|---------|-----------|--------------|
| | _۲ 882,92 | 0 | 0 | -882,92 | 0 | ך 0 |
| | 0 | 12 | 3.087,96 | 0 | -12 | 3.087,96 |
| 1 0 <i>C</i> I-N / | 0 | 3.087,96 | 1.059.499,66 | 0 | -3.087,96 | 529.749,83 |
| = 1,06 kN / mm | -882,92 | 0 | 0 | 882,92 | 0 | 0 |
| | 0 | -12 | -3.087,96 | 0 | 12 | -3.087,96 |
| | Lο | 3.087,96 | 529.749,83 | 0 | -3.087,96 | 1.059.499,66 |

$$k = \begin{bmatrix} 935,9 & 0 & 0 & -935,9 & 0 & 0 \\ 0 & 12,72 & 3.273,24 & 0 & -12,72 & 3.273,24 \\ 0 & 3.273,24 & 1.123.069,64 & 0 & -3.273,24 & 561.534,82 \\ -935,9 & 0 & 0 & 935,9 & 0 & 0 \\ 0 & -12,72 & -3.273,24 & 0 & 12,72 & -3.273,24 \\ 0 & 3.273,24 & 561.534,82 & 0 & -3.273,24 & 1.123.069,64 \end{bmatrix}$$

$$K_{1} = \begin{bmatrix} 10 & 11 & 12 & 1 & 2 & 3 \\ 12,72 & 0 & -3.273,24 & -12,72 & 0 & -3.273,24 \\ 0 & 935,9 & 0 & 0 & -935,9 & 0 \\ -3.273,24 & 0 & 1.123.069,64 & 3.273,24 & 0 & 561.534,82 \\ -12,72 & 0 & 3.273,24 & 12,72 & 0 & 3.273,24 \\ 0 & -935,9 & 0 & 0 & 935,9 & 0 \\ -3.273,24 & 0 & 1.623.069,64 & 3.273,24 & 0 & 561.534,82 \\ -12,72 & 0 & 3.273,24 & 12,72 & 0 & 3.273,24 \\ 0 & -935,9 & 0 & 0 & 935,9 & 0 \\ -3.273,24 & 0 & 561.534,82 & 3.273,24 & 0 & 1.123.069,64 \end{bmatrix}$$

Member 2

 $E = 72.000 MPa = 72 kN/mm^{2}$ $A = 169,63 mm^{2}$ $I = 2,29x10^{3}mm^{4}$ L = 96,71 mm $\theta = 0^{\circ}$

$$k = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0\\ 0 & 12 & 6L & 0 & -12 & 6L\\ 0 & 6L & 4L^2 & 0 & -6L & 2L^2\\ -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & \frac{AL^2}{I} & 0 & 0\\ 0 & -12 & -6L & 0 & 12 & -6L\\ 0 & 6L & 2L^2 & 0 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix}$$

$$k = 0,18 \text{ kN/mm} \begin{bmatrix} 692,8 & 0 & 0 & -692,8 & 0 & 0 \\ 0 & 12 & 580,26 & 0 & -12 & 580,26 \\ 0 & 580,26 & 37.411,3 & 0 & -580,26 & 18.705,65 \\ -692,8 & 0 & 0 & 692,8 & 0 & 0 \\ 0 & -12 & -580,26 & 0 & 12 & -580,26 \\ 0 & 580,26 & 18.705,65 & 0 & -580,26 & 37.411,3 \\ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ 0 & 2,16 & 104,45 & 0 & -2,16 & 104,45 \\ 0 & 104,45 & 6.734,03 & 0 & -104,45 & 3.367,02 \\ -124,7 & 0 & 0 & 124,7 & 0 & 0 \\ 0 & -2,16 & -104,45 & 0 & 2,16 & -104,45 \\ 0 & 104,45 & 3.367,02 & 0 & -104,45 & 6.734,03 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 5 \end{bmatrix}$$

Member 3

 $\overline{E} = 72.000 MPa = 72 kN/mm^{2}$ $A = 169,63 mm^{2}$ $I = 2,29x10^{3}mm^{4}$ L = 88,29 mm $\theta = 0^{\circ}$

$$k = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0\\ 0 & 12 & 6L & 0 & -12 & 6L\\ 0 & 6L & 4L^2 & 0 & -6L & 2L^2\\ -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & \frac{AL^2}{I} & 0 & 0\\ 0 & -12 & -6L & 0 & 12 & -6L\\ 0 & 6L & 2L^2 & 0 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix}$$

| | Г 557,42 | 0 | 0 | -557,42 | 0 | ך 0 |
|-------------------------------|----------|--------|----------|---------|----------|-----------|
| | 0 | 12 | 529,74 | 0 | -12 | 529,74 |
| $l_{r} = 0.24 l_{r} N / mm$ | 0 | 529,74 | 31.180,5 | 5 0 | -529,74 | 15.590,25 |
| $\kappa = 0,24 \text{ kW}/mm$ | -557,42 | 0 | 0 | 557,42 | 0 | 0 |
| | 0 | -12 | -529,74 | ł 0 | 12 | -529,74 |
| | Lo | 529,74 | 15.590,2 | 5 0 | -529,74 | 31.180,5 |
| | | | | | | |
| 4 | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 آ | .38,58 | 0 | 0 - | -138,58 | 0 | 4ך 0 |
| - | 0 | 2 00 | 127 14 | 0 | 2 0 0 1' | |

| 0 | 2,88 | 127,14 | 0 | -2,88 | 127,14 | 5 |
|---------|-----------------------------|--|---|---|--|--|
| 0 | 127,14 | 7.483,32 | 0 | -127,14 | 3.741,66 | 6 |
| -138,58 | 0 | 0 | 138,58 | 0 | 0 | 7 |
| 0 | -2,88 | -127,14 | 0 | 2,88 | -127,14 | 8 |
| Lο | 127,14 | 3.741,66 | 0 | -127,14 | 7.483,32 | 9 |
| | 0 0 -138,58 0 0 | $ \begin{array}{cccc} 0 & 2,88 \\ 0 & 127,14 \\ -138,58 & 0 \\ 0 & -2,88 \\ 0 & 127,14 \end{array} $ | $ \begin{smallmatrix} 0 & 2,88 & 127,14 \\ 0 & 127,14 & 7.483,32 \\ -138,58 & 0 & 0 \\ 0 & -2,88 & -127,14 \\ 0 & 127,14 & 3.741,66 \end{smallmatrix} $ | $ \begin{smallmatrix} 0 & 2,88 & 127,14 & 0 \\ 0 & 127,14 & 7.483,32 & 0 \\ -138,58 & 0 & 0 & 138,58 \\ 0 & -2,88 & -127,14 & 0 \\ 0 & 127,14 & 3.741,66 & 0 \\ \end{smallmatrix} $ | $ \begin{smallmatrix} 0 & 2,88 & 127,14 & 0 & -2,88 \\ 0 & 127,14 & 7.483,32 & 0 & -127,14 \\ -138,58 & 0 & 0 & 138,58 & 0 \\ 0 & -2,88 & -127,14 & 0 & 2,88 \\ 0 & 127,14 & 3.741,66 & 0 & -127,14 \\ \end{smallmatrix} $ | $ \begin{smallmatrix} 0 & 2,88 & 127,14 & 0 & -2,88 & 127,14 \\ 0 & 127,14 & 7.483,32 & 0 & -127,14 & 3.741,66 \\ -138,58 & 0 & 0 & 138,58 & 0 & 0 \\ 0 & -2,88 & -127,14 & 0 & 2,88 & -127,14 \\ 0 & 127,14 & 3.741,66 & 0 & -127,14 & 7.483,32. \\ \end{smallmatrix} $ |

Member 4

 $E = 200.000 MPa = 200 kN/mm^{2}$ $A = 2,4x10^{3} mm^{2}$ $I = 7,2x10^{5}mm^{4}$ L = 514,66 mm $\theta = -90^{\circ}$

66

$$k = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} \frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0\\ 0 & 12 & 6L & 0 & -12 & 6L\\ 0 & 6L & 4L^2 & 0 & -6L & 2L^2\\ -\frac{AL^2}{I} & 0 & 0 & \frac{AL^2}{I} & 0 & 0\\ 0 & -12 & -6L & 0 & 12 & -6L\\ 0 & 6L & 2L^2 & 0 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix}$$

k

| | г 882,92 | 0 | 0 | -882,92 | 0 | 0 1 | I |
|---------------|----------|----------|--------------|---------|-----------|--------------|---|
| | 0 | 12 | 3.087,96 | 0 | -12 | 3.087,96 | l |
| -1.06 l N /mm | 0 | 3.087,96 | 1.059.499,66 | 0 | -3.087,96 | 529.749,83 | l |
| = 1,00 kN/mm | -882,92 | 0 | 0 | 882,92 | 0 | 0 | ŀ |
| | 0 | -12 | -3.087,96 | 0 | 12 | -3.087,96 | l |
| | Lo | 3.087,96 | 529.749,83 | 0 | -3.087,96 | 1.059.499,66 | |
| | | | | | | | |

| | г 935,9 | 0 | 0 | -935,9 | 0 | 0 | 1 |
|------------|--------------|----------|--------------|-----------|-----------|--------------|---|
| | 0 | 12,72 | 3.273,24 | 0 | -12,72 | 3.273,24 | |
| 1 | 0 | 3.273,24 | 1.123.069,64 | 0 | -3.273,24 | 561.534,82 | |
| $\kappa =$ | -935,9 | 0 | 0 | 935,9 | 0 | 0 | |
| | 0 | -12,72 | -3.273,24 | 0 | 12,72 | -3.273,24 | |
| | L O | 3.273,24 | 561.534,82 | 0 | -3.273,24 | 1.123.069,64 | |
| | | | | | | | |
| | 7 | 8 | 9 | 13 | 14 | 14 15 | |
| | г 12,72 0 | | 3.273,24 | -12,72 | 0 | 3.273,24 | 7 |
| | 0 | 935,9 | 0 | 0 | -935,9 | 0 | 8 |
| $K_{4} =$ | 3.273,24 | 0 | 1.123.069,64 | -3.273,24 | 0 | 561.534,82 | 9 |

| -12,72 | 0 | -3.273,24 | 12,72 | 0 | -3.273,24 | 13 |
|-----------|--------|------------|-----------|-------|--------------|----|
| 0 | -935,9 | 0 | 0 | 935,9 | 0 | 14 |
| 13.273,24 | 0 | 561.534,82 | -3.273,24 | 0 | 1.123.069,64 | 15 |

S

| 3 | | | | | | | | | | |
|---|---------------------|--------|--------------|---------|---------|-----------|----------|---------|--------------|---|
| | 1 | 2 | 2 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | |
| | 137,42 _[| 0 | 3.273,24 | -124,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | 0 | 938,06 | 104,45 | 0 | -2,16 | 104,45 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| _ | 3.273,24 | 104,45 | 1.129.803,67 | 0 | -104,45 | 3.367,02 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| | -124,7 | 0 | 0 | 263,28 | 0 | 0 | -138,58 | 0 | 0 | 4 |
| = | 0 | -2,16 | -104,45 | 0 | 5,04 | 22,69 | 0 | -2,88 | 127,14 | 5 |
| | 0 | 104,45 | 3.367,02 | 0 | 22,69 | 14.217,35 | 0 | -127,14 | 3.741,66 | 6 |
| | 0 | 0 | 0 | -138,58 | 0 | 0 | 151,3 | 0 | 3.273,24 | 7 |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | -2,88 | -127,14 | 0 | 938,78 | -127,14 | 8 |
| | Lο | 0 | 0 | 0 | 127,14 | 3.741,66 | 3.273,24 | -127,14 | 1.130.552,96 | 9 |
| | | | | | | | | | | |

Ketika gaya vertikal, P5 = 1.875 N

67

$$d = \begin{bmatrix} 0,00097 \\ 0,00093 \\ 0,00003 \\ 0,00196 \\ 0,37764 \\ 0,00284 \\ 0,00107 \\ 0,00107 \\ 8 \\ -0,00005 \end{bmatrix}$$

Ketika gaya lateral, P4 = 1.875 N

$$d = \begin{bmatrix} 0,29034\\ 0,00005\\ -0,00084\\ 0,62485\\ 0,00196\\ 5\\ 0,00041\\ 6\\ 0,29107\\ 7\\ -0,00005\\ 8\\ -0.00084 \end{bmatrix}$$

Dari perhitungan analitik didapatkan deformasi poros pada sebesar 0,3776 mm untuk gaya vertikal dan 0,6249 mm untuk gaya lateral.

4.1.2.4 Pembahasan Validasi Struktur

Setelah melakukan pemodelan struktur dengan geometri tiang 60 mm dan 40 mm baik elemen *solid*, elemen *beam*, dan perhitungan analitis, penulis melakukan perbandingan hasil deformasi poros keseluruhan yang tercantum pada tabel 4.2 merupakan hasil validasi struktur akibat gaya vertikal dan tabel 4.3 yaitu hasil validasi struktur akibat gaya lateral di bawah ini.

Tabel 4.2 Hasil Validasi Struktur Akibat Gaya Vertikal

| Deformasi Poros (mm) | | | | | |
|----------------------|---------|-------|---------|-------|--|
| Perhitungan | Beam | Error | Solid | Error | |
| Analitis | Element | (%) | Element | (%) | |

| 0,3776 | 0,4004 | 6,00 | 0,0799 | 78,84 |
|--------|--------|------|--------|-------|
|--------|--------|------|--------|-------|

| Tabel 4.3 Hasil | Validasi Struktur | r Akibat Gaya Lateral |
|-----------------|-------------------|-----------------------|
|-----------------|-------------------|-----------------------|

| Deformasi Poros (mm) | | | | | |
|----------------------|---------|-------|---------|-------|--|
| Perhitungan | Beam | Error | Solid | Error | |
| Analitis | Element | (%) | Element | (%) | |
| 0,6249 | 0,6556 | 4,91 | 0,6345 | 1,54 | |

Dari data di atas, dapat dilihat bahwa *error* yang dimiliki oleh struktur *beam* elemen sebesar 6,00% untuk gaya vertikal dan 4,91 % untuk gaya lateral, dan struktur *solid* elemen memiliki *error* sebesar 78,84% untuk gaya vertikal dan 1,54% untuk gaya lateral. Nilai *error* yang diperoleh cukup jauh untuk *solid* elemen dikarenakan pada pemodelan tersebut detil dan memiliki kontak yang terikat antara poros dan masing-masing tiang, sedangkan perhitungan analitis dan pemodelan *beam* hanya terdapat *fixed-joint* di ujung komponen pada struktur dengan mengabaikan kontak poros yang ada di dalam tiang. Pada gambar 4.5 merupakan pemodelan *beam*, sedangkan gambar 4.6 merupakan pemodelan *solid* elemen dengan kontak sesuai.



Gambar 4.5 Pemodelan *Solid* Elemen sesuai Kontak Pemodelan *Beam* Elemen



Gambar 4.6 Pemodelan Solid Elemen dengan Kontak Sesuai

Berdasarkan gambar 4.5, terlihat pula bahwa nilai deformasi poros sesuai dengan perhitungan analitis maupun pemodelan *beam*. Dari hal tersebut yang terbukti dengan kedua gambar di atas, penulis menggunakan *solid* elemen sebagai hasil penelitian, sedangkan pemodelan *beam* sebagai analisis pengaruh geometri terhadap deformasi guna mempermudah pembaca memahami.

Dari tabel di atas, juga sesuai dengan teori bahwasanya struktur *solid* memiliki deformasi yang lebih kecil daripada struktur *beam* dan menjadikan struktur ini valid.

4.2 Data Hasil Simulasi

Data hasil simulasi terlampir pada lampiran 1

4.3 Pembahasan dan Analisis Data

4.3.1 Pengaruh Geometri Penampang Tiang terhadap Deformasi akibat Gaya Vertikal

4.3.1.1 Variasi Geometri Panjang Penampang Tiang

Dalam penelitian ini, alat uji diberikan beban vertikal pada tengah poros sebesar 1875 N searah sumbu-Y positif, dan dilakukan variasi geometri panjang penampang tiang. Hasil dari pemberian beban tersebut terdapat pada sub-bab 4.2, kemudian diolah dan diplot ke dalam sebuah grafik menjadi grafik 4.2 di bawah ini:



Grafik 4.2 Variasi Geometri Panjang Penampang Tiang terhadap Deformasi akibat Gaya Vertikal

Pada grafik diatas, menunjukkan bahwasanya nilai deformasi poros tertinggi yaitu 0,1357 mm, nilai deformasi tiang *holder* tertinggi yaitu 0,0137 mm, dan nilai deformasi tiang polos sebesar 0,0104 mm pada geometri panjang penampang tiang 60 mm. Sedangkan nilai terendah deformasi terletak pada geometri panjang 90 mm yaitu 0,1304 mm untuk deformasi poros, 0,0076 untuk deformasi tiang *holder*, dan 0,0057 untuk tiang polos.

Penurunan nilai deformasi terhadap geometri panjang penampang tiang juga tampak pada grafik di atas dari *trendline* grafik yang dihasilkan. Deformasi poros mengalami rata-rata penurunan sebesar 0,0018 mm. Deformasi tiang *holder* juga mengalami penurunan dengan rata-rata penurunan bernilai 0,0021 mm. Deformasi tiang polos juga mengalami rata-rata penurunan sebesar 0,0016 mm.

Dalam hasil simulasi ini dapat diketahui bahwa penambahan geometri panjang penampang tiang dapat memperkecil nilai deformasi pada poros, tiang *holder*, dan tiang polos, terlihat dari *trendline* pada grafik tersebut. Penambahan geometri panjang penampang berbanding terbalik dengan deformasi poros, tiang *holder*, maupun tiang polos. Hal tersebut dikarenakan nilai kekakuan struktur meningkat seiring dengan penambahan geometri panjang penampang tiang.

4.3.1.2 Variasi Geometri Lebar Penampang Tiang

Alat uji yang telah dinyatakan konvergen dan valid, maka dilakukan variasi geometri lebar penampang tiang dengan pembebanan pada tengah poros sebesar 1875 N searah vertikal. Hasil dari pembebanan dan variasi geometri lebar penampang tiang tersebut tercatat pada sub-bab 4.2, dan diolah datanya menjadi sebuah grafik 4.3 di bawah ini:



Grafik 4.3 Variasi Geometri Lebar Penampang Tiang terhadap Deformasi akibat Gaya Vertikal

Pada grafik 4.3 yang memuat grafik hasil simulasi, terlihat bahwa nilai deformasi tertinggi terletak pada geometri lebar penampang tiang 30 mm, dengan nilai deformasi poros, tiang *holder*, dan tiang polos sebesar 0,1357 mm, 0,0137 mm, dan 0,0104 mm. Sedangkan nilai terendah deformasi poros, tiang *holder*, dan tiang polos terletak pada geometri lebar penampang tiang 60 mm yaitu 0,0249 mm, 0,0017 mm, dan 0,0014 mm.

Dalam grafik tersebut, terlihat *trendline* pada ketiga komponen mengalami penurunan nilai deformasi seiring

dengan bertambahnya geometri lebar penampang tiang. Penurunan nilai deformasi poros lebih curam atau signifikan dibandingkan dengan deformasi tiang *holder* maupun polos yang cenderung landai. Penurunan nilai deformasi poros memiliki rata-rata penurunan sebesar 0,0369 mm. Penurunan nilai deformasi tiang *holder* dan tiang polos memiliki rata-rata penurunan masing-masing sebesar 0,0040 dan 0,0030 mm.

Hubungan antara penambahan geometri lebar penampang tiang terhadap nilai deformasi poros, tiang *holder*, dan tiang polos adalah berbanding terbalik. Semakin besar penambahan geometri lebar penampang tiang, maka semakin kecil pula nilai deformasi yang dihasilkan pada poros, tiang *holder*, maupun tiang polos. Hal tersebut dikarenakan kekakuan struktur bertambah seiring dengan penambahan geometri lebar penampang tiang.

4.3.1.3 Perbandingan Variasi Geometri Panjang dan Lebar Penampang Tiang

Dalam penelitian ini, penulis juga membandingkan pengaruh variasi geometri panjang penampang tiang dan geometri lebar penampang tiang terhadap deformasi. Perbandingan ini menggunakan struktur dengan definisi elemen *beam* atau fundamental *frame*.

Pada definisi elemen *beam*, terdapat kekakuan *frame* pada perhitungan analisis. Kekakuan *frame* tersebut meliputi variabel modulus *young*, momen inersia penampang, luas penampang, dan panjang member. Geometri penampang tiang ini dapat memengaruhi variabel momen inersia penampang dan luas penampang. Semakin besar geometri penampang tiang tersebut baik panjang maupun lebar, maka semakin besar pula kekakuan *frame* yang dihasilkan sehingga nilai deformasi yang dihasilkan menjadi kecil. Momen inersia penampang tiang memiliki kenaikan signifikan saat geometri bertambah besar dikarenakan pada rumus momen inersia persegi terdapat pangkat kubik pada variabel geometri penampang tiang. Sedangkan luas penampang hanya meningkat secara linier.

Dalam segi shear-moment diagram yang dihasilkan pada komponen poros vang ditunjukan pada gambar-gambar di bawah ini terlihat secara signifikan pengaruh geometri panjang maupun lebar penampang tiang pada deformasi poros akibat defleksi vertikal. Pada grafik 4.4 menunjukkan shear-moment diagram geometri penampang tiang panjang 60 mm dan lebar 30 mm, grafik 4.5 menunjukkan shear-moment diagram geometri penampang tiang panjang 70 mm dan lebar 30 mm, dan grafik 4.6 menunjukkan shear-moment diagram geometri penampang tiang panjang 60 mm dan 40 mm. Ketiga grafik ini ditampilkan untuk menunjukkan pengaruh geometri penampang tiang terhadap deformasi poros baik penambahan geometri panjang (panjang 70 mm dan lebar 30 mm) maupun penambahan lebar (panjang 60 mm dan lebar 40 mm) dari geometri penampang tiang normal (panjang 60 mm dan lebar 30 mm).



Grafik 4.4 *Shear-moment Diagram* Poros dengan Geometri Penampang Tiang P=60mm L=30mm akibat Gaya Vertikal



Grafik 4.5 *Shear-moment Diagram* Poros dengan Geometri Penampang Tiang P=70mm L=30mm akibat Gaya Vertikal



Grafik 4.6 *Shear-moment Diagram* Poros dengan Geometri Penampang Tiang P=60mm L=40mm akibat Gaya Vertikal

Pada grafik 4.4 menunjukkan diagram geser dan momen pada geometri penampang tiang normal atau panjang 60 mm dan lebar 30 mm. Dalam diagram geser terlihat bahwa gaya pada posisi 0 mm sebesar 875,81 N ke arah sumbu negatif-Y, kemudian mengalami kenaikan pada posisi 96,71 mm menjadi 999,19 N ke arah sumbu positif-Y. Kemudian, pada diagram momen terdapat momen *bending* maksimum sebesar 84.699,59 N-mm pada posisi 185 mm ke arah sumbu negatif-Y. Deformasi maksimum poros terdapat pada posisi 96,71 mm dengan nilai 0,40618 mm.

Kemudian pada grafik 4.5 menunjukkan diagram geser dan momen pada geometri penampang tiang panjang 70 mm dan lebar 30 mm. Dalam diagram geser terlihat bahwa gaya pada posisi 0 mm sebesar 875,55 N ke arah sumbu negatif-Y, kemudian mengalami kenaikan pada posisi 96,71 mm menjadi 999,45 N ke arah sumbu positif-Y. Kemudian, pada diagram momen terdapat momen *bending* maksimum sebesar 84.674,44 N-mm pada posisi 185 mm ke arah sumbu negatif-Y. Deformasi maksimum poros terdapat pada posisi 96,71 mm dengan nilai 0,40463 mm.

Grafik 4.6 menunjukkan diagram geser dan momen pada geometri tiang dengan penambahan lebar penampang tiang yaitu panjang 60 mm dan lebar 40 mm. Dalam diagram geser terlihat bahwa gaya pada posisi 0 mm sebesar 874,74 N ke arah sumbu negatif-Y, kemudian mengalami kenaikan pada posisi 96,71 mm menjadi 1000,3 N ke arah sumbu positif-Y. Kemudian, pada diagram momen terdapat momen *bending* maksimum sebesar 84.596,11 N-mm pada posisi 185 mm ke arah sumbu negatif-Y. Deformasi maksimum poros terdapat pada posisi 96,71 mm dengan nilai 0,40035 mm.

Terlihat jelas bahwa penambahan geometri lebar penampang tiang lebih signifikan dalam memperkecil deformasi poros, dibuktikan dengan gaya geser yang terjadi pada posisi 96,71 mm adalah 1000,3 N ke arah sumbu positif-Y. Gaya tersebut merupakan gaya terbesar dibanding geometri lainnya, dan gaya tersebut merupakan gaya reaksi akibat gaya luar 1875 N yang diberikan. Maka dari itu, semakin besar gaya geser pada posisi tersebut maka semakin besar pula momen *bending* yang timbul sehingga deformasi yang dihasilkan semakin kecil.

4.3.2 Pengaruh Geometri Penampang Tiang terhadap Deformasi akibat Gaya Lateral

4.3.2.1 Variasi Geometri Panjang Penampang Tiang

Alat uji ini juga diberikan beban horisontal pada tengah poros sebesar 1875 N searah sumbu-X negatif atau menuju tiang polos dan dilakukan variasi geometri panjang penampang tiang. Hasil dari pemberian beban tersebut juga sudah tercantum pada sub-bab 4.2, dan setelah itu dilakukan olah data dan plot data menjadi sebuah grafik 4.4 berikut ini:



Grafik 4.7 Variasi Geometri Panjang Penampang Tiang terhadap Deformasi akibat Gaya Lateral

Grafik 4.7 merupakan grafik variasi geometri panjang penampang tiang terhadap deformasi akibat gaya lateral. Pada grafik tersebut, didapatkan nilai deformasi tertinggi terletak pada geometri panjang penampang tiang 60 mm dengan nilai deformasi poros, tiang *holder*, dan tiang polos berturut-turut yaitu 1,4772 mm, 0,3432 mm, dan 0,4362 mm. Sedangkan nilai deformasi terkecil terletak pada geometri panjang penampang tiang 90 mm dengan nilai deformasi poros sebesar 0,9612 mm, deformasi tiang *holder* sebesar 0,2864 mm, dan deformasi tiang polos sebesar 0,3088 mm.

Pada grafik tersebut juga terlihat bahwasanya poros, tiang *holder*, dan tiang polos memiliki *trendline* menurun. Rata-

rata penurunan pada masing-masing komponen yaitu poros, tiang *holder*, dan tiang polos adalah 0,1720 mm, 0,0189 mm, dan 0,0425 mm. Penurunan nilai deformasi terbesar terjadi pada poros dan terlihat pada garis grafik yang menurun secara curam dibandingkan dengan tiang *holder* maupun tiang polos yang menurun secara landai.

Dalam grafik 4.7 di atas, menjelaskan bahwa perubahan geometri panjang penampang tiang memengaruhi nilai deformasi pada poros, tiang *holder* maupun tiang polos. Pengaruh tersebut adalah semakin besar geometri panjang penampang tiang yang digunakan, maka semakin kecil pula nilai deformasi yang dihasilkan pada poros, tiang *holder*, dan tiang polos. Hal tersebut dikarenakan nilai kekakuan struktur meningkat seiring dengan bertambahnya geometri penampang panjang, sehingga nilai deformasi yang dihasilkan menjadi kecil.

4.3.2.2 Variasi Geometri Lebar Penampang Tiang

Setelah alat uji sudah konvergen dan valid, alat uji dilakukan pembebanan dan variasi geometri lebar penampang tiang dengan pembebanan pada tengah poros searah sumbu-X negatif sebesar 1875 N. Hasil dari simulasi tersebut sudah tertuang pada sub-bab 4.2, kemudian diolah dan diplot dalam sebuah grafik 4.8 seperti di bawah ini:



Grafik 4.8 Variasi Geometri Lebar Penampang Tiang terhadap Deformasi akibat Gaya Lateral

Pada grafik 4.8 terlihat bahwa nilai deformasi tertinggi terletak pada geometri lebar penampang tiang 30 mm dengan nilai deformasi poros sebesar 1,4722 mm, nilai deformasi tiang *holder* sebesar 0,3432 mm, dan nilai deformasi tiang polos sebesar 0,4362 mm. Sedangkan nilai deformasi terendah terletak pada geometri lebar penampang tiang 60 mm dengan nilai deformasi poros, tiang *holder*, dan tiang polos masing-masing sebesar 0,2092 mm, 0,0473 mm, dan 0,0616 mm.

Trendline yang terdapat pada grafik 4.8 adalah menurun. Pada poros sendiri grafik terlihat menurun secara curam, sedangkan pada tiang *holder* dan tiang polos grafik menurun cenderung landai. Rata-rata penurunan nilai deformasi pada poros setiap penambahan geometri lebar sebesar 10 mm adalah 0,4227 mm. Rata-rata penurunan nilai deformasi pada tiang *holder* sebesar 0,0986 mm, dan rata-rata penurunan nilai deformasi pada tiang polos sebesar 0,1249 mm.

Hubungan antara penambahan geometri lebar penampang tiang dan nilai deformasi pada poros, tiang *holder*, dan tiang polos adalah berbanding terbalik. Semakin besar penambahan geometri lebar penampang pada tiang, maka semakin kecil pula nilai deformasi yang dihasilkan pada poros, tiang *holder*, maupun tiang polos. Hal ini dikarenakan penambahan geometri lebar penampang tiang membuat kekakuan struktur meningkat.

4.3.2.3 Perbandingan Variasi Geometri Panjang dan Lebar Penampang Tiang

Dalam penelitian ini, penulis juga membandingkan pengaruh variasi geometri panjang penampang tiang dan geometri lebar penampang tiang terhadap deformasi. Perbandingan ini menggunakan struktur dengan definisi elemen *beam* atau fundamental *frame*.

Pada definisi elemen *beam*, terdapat kekakuan *frame* pada perhitungan analisis. Kekakuan *frame* tersebut meliputi variabel modulus *young*, momen inersia penampang, luas penampang, dan panjang member. Geometri penampang tiang ini dapat memengaruhi variabel momen inersia penampang dan luas penampang. Semakin besar geometri penampang tiang tersebut baik panjang maupun lebar, maka semakin besar pula kekakuan *frame* yang dihasilkan sehingga nilai deformasi yang dihasilkan menjadi kecil. Momen inersia penampang tiang memiliki kenaikan signifikan saat geometri bertambah besar dikarenakan pada rumus momen inersia persegi terdapat pangkat kubik pada variabel geometri. Sedangkan luas penampang hanya meningkat secara linier.

Dalam segi *shear-moment diagram* yang dihasilkan pada komponen poros yang ditunjukan pada gambar-gambar di bawah ini terlihat secara signifikan pengaruh geometri panjang maupun lebar pada deformasi poros akibat gaya lateral. Pada grafik 4.9 menunjukkan *shear-moment diagram* geometri penampang tiang panjang 60 mm dan lebar 30 mm, grafik 4.10 menunjukkan *shear-moment diagram* geometri penampang tiang panjang 70 mm dan lebar 30 mm, dan grafik 4.11 menunjukkan *shear-moment diagram* geometri penampang tiang panjang 60 mm dan 40 mm. Ketiga grafik ini ditampilkan untuk menunjukkan pengaruh geometri penampang tiang terhadap deformasi poros baik penambahan geometri panjang (panjang 70 mm dan lebar 30 mm) maupun penambahan lebar (panjang 60 mm dan lebar 40 mm) dari geometri penampang tiang normal (panjang 60 mm dan lebar 30 mm).



Grafik 4.9 *Shear-moment Diagram* Poros dengan Geometri Penampang Tiang P=60mm L=30mm akibat Gaya Lateral



Grafik 4.10 *Shear-moment Diagram* Poros dengan Geometri Penampang Tiang P=70mm L=30mm akibat Gaya Lateral



Grafik 4.11 *Shear-moment Diagram* Poros dengan Geometri Penampang Tiang P=60mm L=40mm akibat Gaya Lateral

Pada grafik 4.9 menunjukkan diagram geser dan momen pada geometri penampang tiang normal atau panjang 60 mm dan lebar 30 mm. Dalam diagram geser terlihat bahwa gaya relatif sama sepanjang poros yaitu sebesar 237,64 N. Kemudian, pada diagram momen terdapat momen *bending* maksimum sebesar 22,98 kN-mm pada posisi 0 mm dan momen lentur minimum sebesar 22,98 kN-mm pada posisi 185 mm dan. Namun deformasi yang terjadi pada poros titik 96,71 mm sebesar 1,4812 mm searah sumbu-X.

Kemudian pada grafik 4.10 menunjukkan diagram geser dan momen pada geometri penampang tiang panjang 70 mm dan lebar 30 mm. Dalam diagram geser terlihat bahwa gaya relatif sama sepanjang poros yaitu sebesar 206,4 N. Kemudian, pada diagram momen terdapat momen *bending* maksimum sebesar 19,96 kN-mm pada posisi 0 mm dan momen lentur minimum sebesar 19,96 kN-mm pada posisi 185 mm. Namun deformasi yang terjadi pada poros titik 96,71 mm sebesar 1,2828 mm searah sumbu-X.

Grafik 4.11 menunjukkan diagram geser dan momen pada geometri penampang tiang dengan penambahan lebar yaitu panjang 60 mm dan lebar 40 mm. Dalam diagram geser terlihat bahwa gaya relatif sama sepanjang poros yaitu sebesar 105,85 N. Kemudian, pada diagram momen terdapat momen *bending* maksimum sebesar 10,24 kN-mm pada posisi 0 mm dan momen lentur minimum sebesar 10,24 kN-mm pada posisi 185 mm. Namun deformasi yang terjadi pada poros titik 96,71 mm sebesar 0,6556 mm searah sumbu-X.

Terlihat bahwa penambahan geometri penampang tiang pada sisi lebar berdampak signifikan dalam mengurangi nilai deformasi poros. Pada penambahan geometri lebar penampang tiang mengurangi deformasi poros dari 1,4812 mm menjadi 0,6556 mm, yang artinya berkurang sebesar 0,8246 mm. Hal tersebut juga didukung dengan nilai gaya geser pada geometri penampang tiang panjang 60 mm dan lebar 40 mm yang memiliki nilai terkecil dibanding lainnya yaitu sebesar 105,85 N. Hal ini menjelaskan bahwa penambahan geometri penampang tiang meningkatkan kekakuan struktur dan terbukti dengan berkurangnya nilai gaya geser yang terjadi.

4.4 Penentuan Geometri Penampang Tiang Alat Uji

Setelah dilakukan pengambilan data dan analisis data, maka geometri yang memiliki nilai deformasi poros, tiang *holder* dan tiang polos kurang dari satu persen atas nilai defleksi ban *airless* dapat dijadikan opsi untuk penentuan geometri. Selain itu, penentuan geometri ini juga memperhatikan efektif dan efisien penambahan geometri panjang ataupun lebar penampang terhadap nilai deformasi yang dihasilkan.

4.4.1 Perhitungan Nilai Defleksi Ban Airless

Nilai defleksi ban *airless* merupakan salah satu kriteria dalam penentuan geometri tiang alat uji. Hal ini bertujuan untuk meminimalisir *error* yang terbaca oleh alat ukur dial indikator, dikarenakan alat ukur dial indikator memiliki ketelitian sebesar 0,01 mm.

Perhitungan nilai defleksi ban *airless* ini menggunakan rumus-rumus yang ada pada sub-bab 2.2.5 yang mengacu pada buku *vertical and lateral stiffness characteristics of aircaft tires*. Buku tersebut menjelaskan terkait defleksi ban secara umum atau general terhadap gaya vertikal dan lateral. Namun, pada buku tersebut spesifik terhadap ban pneumatik sehingga ban *airless* ini diasumsikan menjadi ban pneumatik dengan geometri ban *airless*.

Diketahui berbagai macam parameter tekanan ban yang biasa digunakan dan gaya tekan pada penelitian ini, serta geometri ban *airless* yang akan digunakan tercantum pada tabel 4.3 di bawah ini:

 $P_0 = 30 \ psi = 206,84 \ kPa = 0,21 \ N/mm^2$ $P = 1875 \ N$

| Tabel 4.4 Geometri Ba | an |
|------------------------------|----|
|------------------------------|----|

| Asumsi | Motor | Lebar (mm) | Ratio Tinggi terhadap Lebar (%) | Tinggi | Diameter Velg (inch) | Diameter Luar Ban (mm) |
|---------------|------------|---------------|---------------------------------------|--------|----------------------------|------------------------------|
| Ukuran Ban | Eksperimen | 67,52 | 75,8 | 51,18 | 14 | 456,28 |

Dengan paramter yang telah diketahui di atas, maka berikut adalah perhitungan defleksi vertikal ban *airless*:

$$P \simeq \pi P_0 \Delta v \sqrt{dw}$$
$$\Delta v \simeq \frac{P}{\pi P_0 \sqrt{dw}}$$

$$\Delta v \simeq \frac{1875 N}{(3,14)0,21 \frac{N}{mm^2} \sqrt{(456,28)(67,52)mm^2}}$$

Sedangkan perhitungan defleksi lateral ban *airless* sebagai berikut dengan f=1:

$$\Delta H = \frac{S = \Delta H P_o \ w \ \sqrt{\frac{W}{H}} \ \sqrt{f\pi}}{1875 \ N}$$
$$\Delta H = \frac{1875 \ N}{0,21 \ N/mm^2 \ (67,52 \ mm) \ \sqrt{\frac{(67,52)}{(51,18)}} \ \sqrt{(1)(3,14)}}$$
$$\Delta H = 65,96 \ mm$$

Setelah menyelesaikan perhitungan, penulis memasukkan hasil perhitungan defleksi tersebut dengan rumus yang diambil dari jurnal terdahulu yang berjudul *predicrtion of radial-ply tire deflection based on contact area index, inflation pressure and vertical load* untuk mendapatkan nilai defleksi secara aktual. Berikut adalah rumus yang diambil:

$$\delta_M = 0,895\delta_P + 5,298$$

Jadi, defleksi ban *airless* secara aktual sebesar 20,02 mm untuk defleksi vertikal dan 64,33 mm untuk defleksi lateral.

Kemudian, penulis juga membandingkan gaya tekan yang digunakan pada penelitian ini dengan gaya tekan perhitungan berdasarkan standar SNI 0101:2012 terkait ban motor. Dari hasil defleksi yang didapatkan sesuai perhitungan, maka dimasukkan ke dalam rumus yang digunakan oleh standar. Standar yang digunakan adalah SNI 0101:2012 terkait ban motor. Dengan nilai *energy breaking* yang tertera untuk tekanan ban yang penulis gunakan sebesar 206,84 kPa (termasuk 175 kPa) dan lebar ban lebih dari 62 mm tersebut adalah 17 Joule, maka didapatkan gaya tekan (F) yaitu:

$$W = \frac{FxP}{2}$$
$$F = \frac{2x17 \text{ Joule}}{(20,02x10^{-3})m}$$

F = 1698,3 N

Dengan perhitungan gaya tekan berdasarkan standar SNI, maka gaya tekan yang digunakan pada penelitian ini lebih besar daripada gaya tekan perhitungan. Hal tersebut menjadikan gaya tekan yang digunakan lebih besar daripada gaya yang akan terjadi saat eksperimen sesuai perhitungan standar dan hasil dari penelitian ini bisa diterima atau valid. Setelah mendapatkan nilai defleksi ban *airless*, penulis juga menghitung satu persen dari nilai defleksi ban *airless* sebagai batas deformasi penentuan geometri penampang tiang alat uji yang sudah dilakukan pada simulasi ini. Nilai satu persen dari nilai defleksi ban *airless* adalah 0,2 mm untuk gaya vertikal dan 0,64 mm untuk gaya lateral. Nilai ini menjadi salah satu kriteria dalam penentuan geometri penampang tiang alat uji yang akan direalisasikan.

4.4.2 Pembahasan Penentuan Geometri Penampang Tiang Alat Uji

Data yang dihasilkan pada simulasi ini terlampir pada lampiran 1. Pada data tersebut terlihat bahwa semua hasil simulasi variasi yang dilakukan pada gaya vertikal masuk ke dalam kriteria kurang dari satu persen atas nilai defleksi ban *airless* yang tercantum pada perhitungan sub-bab 4.4.1 di atas. Sedangkan dari hasil simulasi variasi yang dilakukan pada gaya lateral hanya geometri 60x30 yang tidak memenuhi kriteria. Hal tersebut dikarenakan pada hasil simulasi geometri 60x30 memiliki nilai deformasi poros sebesar 1,4772 mm, sedangkan batas kriteria satu persen dari defleksi ban *airless* untuk gaya lateral 0,64 mm.

Maka dari itu, geometri yang lolos dari kriteria satu persen nilai defleksi ban *airless* adalah semua variasi geometri penampang tiang selain geometri 60x30. Namun penurunan pada nilai deformasi terhadap defleksi vertikal dan lateral dari hasil simulasi variasi geometri lebar penampang tiang lebih signifikan dibandingkan dengan hasil simulasi variasi geometri panjang penampang tiang. Terlihat dari rata-rata penurunan deformasi poros saat dikenai gaya vertikal yang memiliki nilai lebih besar yaitu rata-rata penurunan hasil simulasi variasi geometri lebar penampang tiang daripada rata-rata penurunan hasil simulasi variasi geometri panjang penampang tiang yaitu 0,0277 mm untuk variasi geometri lebar penampang tiang dan 0,0018 mm untuk variasi geometri panjang penampang tiang. Hal ini lah yang membuat penulis memastikan bahwa variasi geometri lebar penampang tiang merupakan pilihan tepat yang efektif dalam penentuan geometri penampang tiang alat uji.

Setelah memastikan variasi geometri lebar penampang tiang menjadi pilihan dalam penentuan geometri penampang tiang, maka penulis memilih secara detil geometri penampang vang tepat. Pada geometri penampang tiang 60x40 memiliki nilai deformasi poros sebesar 0,0799 mm untuk gaya vertikal dan 0,6345 untuk gaya lateral. Sedangkan pada geometri 60x50 memiliki nilai deformasi poros sebesar 0,0463 mm untuk gaya vertikal dan 0,3530 mm untuk gaya lateral. Penulis memilih geometri penampang tiang 60x40, dikarenakan geometri tersebut sudah memenuhi kriteria batas deformasi kurang dari satu persen defleksi ban airless. Kenaikan geometri lebar penampang tiang sebesar 10 mm hanya mengurangi nilai deformasi poros akibat gaya vertikal sebesar 0,0336 mm atau hanya 42,1% berkaca dari geometri penampang tiang 60x40 dan 60x50. Perbedaan nilai tersebut cukup kecil. Perbedaan selisih vang tidak signifikan, membuat penambahan geometri lebar penampang tiang 10 mm menjadi 60x50 tidak efektif untuk dilakukan.

Selain itu, deformasi yang dihasilkan pada geometri tiang 60x40 sudah termasuk dalam kategori presisi sedang sesuai tabel 2.6 di atas. Batas deformasi pada kategori presisi sedang dengan panjang *frame* sebesar 185 mm adalah berkisar antara 0,0467 mm sampai dengan 2,3495 mm.

Di sisi lain, penambahan geometri penampang tiang sebesar 10 mm pada lebar berdampak drastis juga terhadap harga yang dikeluarkan. Geometri penampang tiang 60x40x537,1 mm dengan densitas *structural steel* sebesar 7850 kg/mm³ memiliki bobot sebesar 10,12 kg. Sedangkan geometri penampang tiang 60x50x537,1 mm dengan material yang sama memiliki bobot sebesar 12,65 kg. Penambahan geometri lebar penampang tiang sebesar 10 mm mengakibatkan bobot tiang bertambah sebesar 2,53 kg. Apabila material tersebut didapatkan dari besi bekas dengan harga besi bekas tersebut Rp.

10.000/kg, maka merogoh saku lebih banyak sebesar Rp. 25.300/ tiang, atau sebesar Rp. 50.600 untuk seluruh tiang.

Pertimbangan tersebut lah yang membuat penulis menentukan bahwasanya geometri penampang tiang tiang alat uji yang tepat untuk penelitian ini adalah 60x40x537,1 mm. Geometri ini telah memenuhi batas deformasi satu persen dari nilai defleksi ban *airless* dan dibandingkan dengan geometri 60x50 mm yang hanya terpaut 0,0336 mm saja nilai deformasi poros yang dihasilkan membuat penulis lebih yakin terhadap pilihan geometri penampang tiang 60x40 dikarenakan perbedaan nilai deformasi poros yang dihasilkan tidak begitu signifikan jauh. Dalam segi ekonomis, geometri penampang tiang 60x40x537,1 mm juga lebih hemat sekitar lima puluh ribu rupiah dibanding geometri 60x50 mm.

| Batas Deformasi | | Deformasi Poros | | |
|-------------------------|-----------------|--------------------------|-------------------------|--|
| Kategori | Nilai (mm) | Gaya Vertikal (mm) | Gaya Lateral (mm) | |
| 1% untuk Vertikal | 0,2 | | | |
| 1% untuk Lateral | 0,64 | 0,0799 | 0,6345 | |
| Presisi Sedang | 0,0467 - 2,3495 | | | |

Tabel 4.5 Hasil Penentuan Geometri Penampang Tiang 60mm dan 40 mm

4.5 Realisasi Alat Uji

Setelah penulis menentukan geometri tiang alat uji, penulis membuat tiang alat uji tersebut menjadi benda nyata. Pada gambar 4.7 di bawah ini merupakan tampilan alat uji secara nyata. Selain penulis membuat alat uji tersebut, penulis juga
melakukan uji simulasi ban *airless* beserta *velg* pada alat uji yang ditampilkan pada gambar 4.8 dan 4.9 di bawah.



Gambar 4.7 Tampilan Alat Uji



Gambar 4.8 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya Vertikal



Gambar 4.9 Simulasi Ban Airless pada Alat Uji akibat Gaya Lateral

Selain itu, penulis juga melakukan simulasi dan melihat equivalent stress pada ban airless, serta membandingkan hasil tersebut dengan pengujian yang pernah dilakukan oleh Bapak Agus Sigit dengan judul Optimization in Airless Tires Design using Backpropagation Neural Network (BPNN) and Genetic Algorithm (GA) Approaches. Hasil tersebut dicantumkan pada tabel 4.6 di bawah ini

| | Penelitian Terdahulu | Penilitian Penulis |
|------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Total Deformation (mm) | 5,824 | 4,904 |
| Total Stress (MPa) | 9,287 | 4,623 |

Tabel 4.6 Hasil Simulasi Ban Airless

Hasil simulasi tersebut menyatakan bahwa nilai total deformasi dan total *stress* pada ban *airless* adalah 4,904 mm dan 4,623 MPa. Hal ini berbeda dengan hasil simulasi penelitian terdahulu dengan terpaut sebesar 0,92 mm untuk total deformasi dan 4,66 MPa untuk total *stress*. Perbedaan tersebut terjadi dikarenakan geometri ban yang digunakan pada penelitian saat

ini berbeda dengan penelitian sebelumnya, dan pemodelan kontak atau sejenisnya juga berbeda. Namun, nilai yang dihasilkan sudah cukup mendekati dari penelitian sebelumnya.

Selain itu penulis juga melakukan simulasi dengan ban airless yang diletakkan pada alat uji dengan boundary remote displacement yang didapatkan dari pemodelan ban airless penelitian terdahulu. Hasil simulasi tersebut tercantum pada gambar 4.8 untuk ban *airless* dengan penelitian terdahulu, dan pemodelan dengan alat uji sesuai gambar 4.9 Dari simulasi tersebut didapatkan nilai total stress dengan remote boundary 4,904 mm sebesar 1,886 MPa. Hasil ini juga mengalami perbedaan dengan hasil simulasi pada ban airless saja. Hasil tersebut mengalami penurunan dari 4,623 MPa menjadi 1,886 MPa. Hal ini disebabkan oleh kontak antara ban airless dengan alas pada simulasi ban airless saja tidak ditemukan pada simulasi dengan alat uji. Kemudian pada simulasi dengan alat uji juga, remote displacement ini memberikan perubahan bentuk pada seluruh permukaan ban airless dan pada simulasi ini juga ban masih mengalami perpindahan bebas tanpa dibatasi kontak seperti simulasi ban airless saja.



Gambar 4.10 Hasil Simulasi Ban Airless



Gambar 4.11 Hasil Simulasi Ban Airless dengan Alat Uji

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian alat uji ban *airless* ini dengan gaya vertikal maupun lateral secara metode elemen hingga, maka dapat disimpulkan bahwa:

- 1. Pada simulasi alat uji yang diberi beban vertikal atau biasa penulis sebut dengan akibat gaya vertikal, penambahan geometri lebar penampang pada tiang lebih signifikan mengurangi nilai deformasi pada poros maupun tiang akibat gaya vertikal daripada penambahan geometri panjang penampang tiang.
- 2. Simulasi alat uji yang diberi beban lateral atau penulis sebut dengan akibat gaya lateral, penambahan geometri lebar penampang pada tiang lebih signifikan mengurangi nilai deformasi poros maupun tiang akibat gaya lateral daripada penambahan geometri panjang penampang tiang.
- 3. Geometri penampang tiang alat uji mempunyai pengaruh terhadap nilai deformasi poros, deformasi tiang *holder*, dan deformasi tiang polos yang dihasilkan akibat gaya vertikal maupun gaya lateral. Hal ini dikarenakan nilai kekakuan struktur meningkat seiring dengan penambahan geometri penampang tiang, dan menyebabkan nilai deformasi yang terjadi kian mengecil.
- 4. Dalam melakukan penentuan geometri penampang tiang, terdapat tiga hal yang perlu dipertimbangkan yaitu deformasi yang diizinkan, perbedaan deformasi yang dihasilkan antar penambahan geometri, dan biaya pembuatan dengan geometri tersebut. Penentuan geometri penampang tiang ini harus memenuhi ketiga aspek, pada penelitian ini geometri penampang tiang dengan panjang 60 mm dan 40 mm merupakan pilihan yang tepat. Dari segi deformasi yang diizinkan, geometri ini sudah memenuhi batas deformasi satu

persen defleksi vertikal dan lateral ban *airless*, dan termasuk dalam kategori presisi sedang, dari perbedaan deformasi yang dipilih terhadap geometri dengan panjang 60 mm dan lebar 50 mm hanya 42,1%. Sedangkan biaya pembuatan dengan geometri pilihan lebih hemat sebesar Rp. 50.000,00.

5.2 Saran

Penelitian ini masih memiliki beberapa kekurangan, sehingga penulis ingin menyampaikan saran agar dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya sehingga penelitian lebih sempurna. Berikut adalah saran yang penulis berikan:

- 1. Melakukan pencarian standar alat uji secara umum.
- 2. Pemodelan struktur dengan *beam* elemen secara kompleks.
- 3. Melakukan variasi material lebih ringan, namun dengan kekuatan yang relatif sama atau tinggi dan terdapat pada pasaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Aulia, B. Rahmadya, M. H. Hersyah, dan Zakky. 2016. "Alat Pengukur Angka Kecukupan Gizi (AKG) Manusia dengan Menggunakan Mikrokontroler." Semnastek 1-7.
- Barnwell. 2020. *Barnwell*. Diakses Februari 27, 2020. Barnwell.co.uk.
- Hestukoro, S., T. Siagian, A. Bakhori, and I. Siregar. n.d. Analysis Characteristics of Silicon Alumunium Material Based on Fracture Period in Torque Test.
- HSR Wheel. 2019. *Metro Rims*. Diakses Maret 1, 2020. https://hsrwheel.com/metrorims/cara-memebaca-spesifikasi-ukuran-ban-mobil/.
- Ikeda, Y., A. Kato, S Kohjiya, dan Y. Nakajima. 2018. "A Modern Approach." *Rubber Science* 155-191.
- Jackowski, J., M. Wieczorek, dan M. Zmuda. 2018. "Energy Consumption Estimation of Non-Pneumatic and Pneumatic Tire During Rolling." *Journal of KONES* 25.
- Jarson, J. Ut. 2015. "Analisis Pengaruh Letak Bahan terhadap Defleksi Balok Segi Empat dengan Tumpuan Engsel-Roll-Roll." *Jurnal Rekayasa Mesin* 6 (3): 167-170.
- Junaidi. 2016. Analisa Perhitungan Pahat Potong. Medan: Sekolah Tinggi Teknik Harapan (STTH).
- Kassimali, A. 2012. *Matrix Analysis of Structure*. Stamford: Global Engineering.
- Mott, R. L. 2004. *Machine Elements in Mechanical Design*. New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Negara, D. N. K. Putra, dan S. P. G. G. Tista. 2009. "Simulasi dan Studi Eksperimen Defleksi Beam Bright Mild Steel Akibat Variasi Beban Horisontal." *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* 3 (1): 69-74.
- Nybakken, G. H., dan S. K. Clark. 1969. Vertical and Lateral Stiffness Characteristics of Aircaft Tires. Washington D.C.: National Aeronautics and Space Administration.

- Pittsburgh, Plastic Manufacturing. 2018. Pittsburgh Plastic Manufacturing. Diakses Februari 26, 2020. http://www.pittsburghplastics.com/durometercomparison-chart.html.
- Pramono, A. S., dan M. K. Effendi. 2019. "Optimization in Airless Tire Design using Backpropagation Neural Network (BPNN) and Genetic Algorithm (GA) Approaches." APC 2187.
- Rashidi, M., M. Sheikhi, and E. Abdolalizadeh. 2013. "Prediction of Radial-Ply Tire Deflection Based on Contact Area Index, Inflation Pressure and Vertical Load." *IDOSI* 307-314.
- Saputra, A., Kusriyanto, dan Medilla. 2016. "Rancang Bangun Timbangan Digital Terintegrasi Informasi BMI dengan Keluaran Suara Berbasis Arduino Mega 2560." *Jurnal Teknoin* 269-275.
- Sassi, S., M. Ebrahemi, M. A. Mozien, dan Y. E. Hadary. 2016. "New Design of Flat-Proof Non-Pneumatic Tire." *International Journal of Mechanical System Engineering* 2: 114.
- Tarachiwin, L., J. Sakdapipanich, K. Ute, T. Kitayama, and Y. Tanaka. 1858-1863. "Structural characterization of terminal group of natural rubber 2: Decompotition of branch-points by phospholipase and chemical treatments." *Biomacromolecul*.

LAMPIRAN

Lampiran 1-Data Hasil Simulasi

| | | Tal | bel A.1 Data | Hasil Sim | ulasi | | |
|------------------|------------------|--------|-----------------|----------------|--------|-----------------|----------------|
| Geom Penampar | etri ıg Tiang | | | Deform | lasi | | |
| | | Ga | ya Vertikal | | 9 | aya Latera | |
| Panjang | Lebar | Poros | Tiang Holder | Tiang Polos | Poros | Tiang Holder | Tiang Polos |
| | 30 | 0,1357 | 0,0137 | 0,0104 | 1,4772 | 0,3432 | 0,4362 |
| ξÛ | 40 | 0,0799 | 0,0057 | 0,0048 | 0,6345 | 0,1518 | 0,1946 |
| 00 | 50 | 0,0463 | 0,0030 | 0,0024 | 0,3530 | 0,0800 | 0,1035 |
| | 60 | 0,0249 | 0,0017 | 0,0014 | 0,2092 | 0,0473 | 0,0616 |
| 60 | | 0,1357 | 0,0137 | 0,0104 | 1,4772 | 0,3432 | 0,4362 |
| 70 | 30 | 0,1332 | 0,0102 | 0,0080 | 1,2387 | 0,3296 | 0,3778 |
| 80 | nc | 0,1320 | 0,0085 | 0,0067 | 1,0807 | 0,3076 | 0,3388 |
| 90 | | 0,1304 | 0,0076 | 0,0057 | 0,9612 | 0,2864 | 0,3088 |

97



BIODATA PENULIS Huda I anak kedua dar Penulis lahir pa



Huda Imanu merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis lahir pada tanggal 8 Juli 1998 di Gresik, Jawa Timur. Riwayat pendidikan penulis yaitu SD Muhammadiyah 1 Gresik selama 6 tahun, SMP Negeri 1 Gresik selama 3 tahun, dan SMA Negeri 1 Gresik selama 3 tahun, serta mengambil program sarjana Departemen Teknik Mesindi Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Semasa pendidikan

sarjana, penulis aktif dalam berbagai organisasi dan tim lomba ITS vaitu menjabat Ketua Forum Daerah IMAGESITS atau ikatan mahasiswa Gresik ITS (2016-2017), Staff Departemen (2017-2018), Kesejahteraan Mahasiswa HMM Kepala Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HMM (2018-2019), dan Staff Divisi Elektrikal ITS Team Sapuangin (2019-2020). Penulis juga telah meraih prestasi semasa kuliah yaitu Juara 1 Urban Diesel, Juara 2 Urban Gasoline, dan Juara Umum pada Lomba Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) 2019 mewakili ITS bersama ITS Team Sapuangin. Penulis juga magang di PT. PJB UP Gresik selama satu bulan dalam maintenance engineer khususnya preventive maintenance.

Untuk semua informasi dan masukan terkait tugas akhir ini dapat menghubungi penulis <u>onyom.huda@gmail.com</u>