

**TUGAS AKHIR - TM184835**

**ANALISIS KEKUATAN DAN KEKAKUAN BAN AIRLESS  
PADA SKUTER ELEKTRIK SEBAGAI PENARIK KURSI  
RODA UNTUK MEMPERMUDAH PENGOPERASIAN  
OLEH PASIEN DIFABEL**

**M NURUL HUDA**  
02111840000066

Dosen Pembimbing  
**Dr.Ir.Agus Sigit Pramono DEA**  
19650810 199102 1 001

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022



**FINAL PROJECT - TM184835**

**ANALYSIS OF STRENGTH AND STIFFNESS OF  
AIRLESS TIRE ON ELECTRIC SCOOTER AS WHEEL  
SEAT TOLLER TO EASIER OPERATION BY PATIENTS  
WITH DISABILITIES**

**M NURUL HUDA**  
0211184000066

Advisor  
**Dr.Ir.Agus Sigit Pramono DEA**  
19650810 199102 1 001

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT**  
Faculty of Industrial Technology and System Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022

**HALAMAN PENGESAHAN**  
**ANALISIS IMPAK PADA BAN AIRLESS SKUTER ELEKTRIK SEBAGAI PENARIK KURSI**  
**RODA UNTUK MEMPERMUDAH PENGOPERASIAN OLEH PASIEN DIFABEL**

**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: **M NURUL HUDA**  
NRP. 0211184000066

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr.Ir. Agus Sigit Pramono DEA
2. Dr.Eng. Yohanes, S.T., M.Sc.
3. Ir. Yusuf Kaelani, M. Sc. E.
4. Ir.Julendra Bambang Ariadteja, MT.

Pembimbing

Penguji 1

Penguji 2

Penguji 3



**SURABAYA**  
**Juli, 2022**

## APPROVAL SHEET

### ANALYSIS OF STRENGTH AND STIFFNESS OF AIRLESS TIRE ON ELECTRIC SCOOTER AS WHEEL SEAT TOLLER TO EASIER OPERATION BY PATIENTS WITH DISABILITIES

#### FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements  
for obtaining a Bachelor of Engineering at  
Undergraduate Study Program of Mechanical Engineering  
Department of Mechanical Engineering  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By: **M NURUL HUDA**  
NRP. 0211184000066

Approved by Final Project Examiner Team:

1. Dr.Ir. Agus Sigit Pramono DEA
2. Dr.Eng. Yohanes, S.T., M.Sc.
3. Ir. Yusuf Kaelani, M. Sc. E.
4. Ir.Julendra Bambang Ariadteja, MT.

Advisor

Examiner 1

Examiner 2

Examiner 3



**SURABAYA**  
**July, 2022**

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : M Nurul Huda/ 0211184000066

Departemen : Teknik Mesin

Dosen pembimbing / NIP : Dr.Ir. Agus Sigit Pramono DEA / 196508101991021001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Analisis kekuatan dan kekakuan ban *airless* pada skuter elektrik sebagai penarik kursi roda untuk mempermudah pengoperasian oleh pasien difabel. “ adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

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

Surabaya, 01 Agustus 2022

Mengetahui

Dosen Pembimbing

Mahasiswa,

  
(Dr. Ir. Agus Sigit Pramono DEA)  
NIP: 196508101991021001



(M Nurul Huda)

NRP. 0211184000066

## STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP : M Nurul Huda / 0211184000066  
Department : Mechanical Engineering  
Advisor / NIP : Dr.Ir. Agus Sigit Pramono DEA / 196508101991021001

Hereby declare that the Final Project with the title of "Analysis Of Strength And Stiffness Of Airless Tire On Electric Scooter Wheel Seat Toller To Easier Operation By Patients With Disabilities " is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 01 August 2022

Acknowledged

Advisor


(Dr. Ir. Agus Sigit Pramono DEA)  
NIP. 196508101991021001

Student,

  
(M Nurul Huda)  
NRP. 0211184000066

**ANALISIS KEKUATAN DAN KEKAKUAN BAN AIRLESS PADA SKUTER ELEKTRIK SEBAGAI PENARIK KURSI RODA UNTUK MEMPERMUDAH PENGOPERASIAN OLEH PASIEN DIFABEL**

**Nama : M Nurul Huda**  
**NRP : 0211184000066**  
**Departemen : Teknik Mesin FTIRS-ITS**  
**Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA**

**Abstrak**

*Ban merupakan komponen penting dalam berfungsinya kendaraan. Fungsi utama ban sendiri yaitu sebagai penahan beban, penyalur tenaga dari mesin ke jalan, meredam guncangan kendaraan, dan mengontrol arah kendaraan. Fungsi- fungsi ini memengaruhi kenyamanan dan juga keamanan dalam berkendara. Saat ini, ban yang banyak beredar di pasaran yaitu ban solid dan ban pneumatik. Ban yang umum digunakan yaitu jenis ban pneumatik atau lebih dikenal dengan ban radial karena jenis ban ini dapat memberikan kenyamanan yang baik bagi kendaraan.. Desain spoke dan juga material ini yang kemudian divariasikan oleh peneliti dan dioptimalkan untuk mendapatkan tingkat keamanan dan juga kenyamanan maksimal. Kedua factor ini berkaitan dengan seberapa jauh ban terdefleksi ketika diberi beban dan juga tegangan yang terjadi pada ban saat terkena beban tersebut*

*Pada penelitian kali ini beban yang ditahan oleh ban sebesar 153.4 N dengan batasan beban yang di terima oleh ban airless sebesar 100kg, ketika diberi beban statis menggunakan metode elemen hingga, mengetahui besar tegangan yang terjadi pada ban ketika diberi beban statis. Penelitian ini akan dilakukan analisa yang bertujuan untuk mengetahui besar defleksi, deformasi dan tegangan yang terjadi pada ban airless tire ketika diberikan beban statis. Apakah deformasi dan tegangan yang dialami ban airless tire serta defleksi yang terjadi pada ban hyperelastic material dalam kondisi tersebut masih dalam batas aman atau tidak. Hasil yang diamati dari simulasi yaitu tegangan, fatigue, defleksi yang akan digunakan sebagai acuan dalam menentukan keamanan, kenyamanan, dan durabilitas dari ban airless tire ketikan terkena beban statis.*

*Hasil dari pengujian simulasi dan eksperimen menunjukkan bahwa pada material PVC mempunyai nilai kekakuan sebesar 52.2 N/mm masih mendekati dari batas maksimum defleksi yang ditentukan pada ban pneumatic dengan nilai 55.1 N/mm, sedangkan pada material hdpe memiliki rata-rata nilai kekakuan sebesar 36.5 N/mm jauh dibawah nilai yang telah ditentukan pada ban pneumatic. Dari nilai defleksi tersebut, material PVC dalam kategori nyaman digunakan saat berkendara sebagai spoke ban airless dan material HDPE dalam kategori kurang nyaman digunakan saat berkendara sebagai spoke ban airless. Tegangan yang terjadi pada semua material aman karena berada di bawah allowable stress material yaitu sebesar 52 MPa untuk material PVC dan 22 MPa untuk material HDPE sehingga material ban aman ketika berkendara, dengan nilai tegangan maksimal pada material PVC sebesar 7.2436MPa dan 6.1006MPa pada material HDPE. Pada simulasi fatigue untuk mencari tingkat keamanan pada masing-masing material mempunyai life cycle yang sama yaitu sebesar  $1e7$ . Sedangkan safety factor pada material PVC sebesar 15 dan pada material HDPE sebesar 12.444. Berdasarkan dasar teori tentang suatu komponen dapat dikatakan mempunyai infinite life dan aman jika life cycle diatas  $1e6$  cycle dan safety factor diatas 1, maka pelek yang digunakan pada penelitian ini memiliki umur infinite life dan pelek ini masuk dalam kategori aman.*

**Kata Kunci:***Ban Airless tire, Deformasi, Tegangan, Fatigue, Defleksi.*

# ANALYSIS OF STRENGTH AND STIFFNESS OF AIRLESS TIRE ON ELECTRIC SCOOTER AS WHEEL SEAT TOLLER TO EASIER OPERATION BY PATIENTS WITH DISABILITIES

**Student Name** : M Nurul Huda  
**Student ID** : 0211184000066  
**Department** : Teknik Mesin FTIRS-ITS  
**Thesis Advisor** : Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA

## Abstract

*Tires are an important component in the functioning of a vehicle. The main functions of tires are load-bearing, transmitting power from the engine to the road, absorbing vehicle shocks, and controlling the direction of the vehicle. These functions affect the comfort and safety of driving. Currently, the tires that are widely circulated in the market are solid tires and pneumatic tires. The most commonly used tire is the pneumatic tire or better known as the radial tire because this type of tire can provide good comfort for the vehicle. The spoke design and material are then varied by researchers and optimized to get the maximum level of safety and comfort. These two factors are related to how far the tire is deflected when given a load and also the stress that occurs in the tire when exposed to the load.*

*In this research, the load held by the tire is 153.4 N with a load limitation received by the airless tire of 100kg, when given a static load using the finite element method, knowing the amount of stress that occurs in the tire when given a static load. This research will conduct an analysis that aims to determine the amount of deflection, deformation and stress that occurs in airless tires when given a static load. Whether the deformation and stress experienced by airless tires and the deflection that occurs in hyperelastic material tires under these conditions are still within safe limits or not. The results observed from the simulation are stress, fatigue, deflection which will be used as a reference in determining the safety, comfort, and durability of airless tires when exposed to static loads.*

*The results of simulation and experimental testing show that the PVC material has a stiffness value of 52.2 N/mm which is still close to the maximum deflection limit specified in the pneumatic tire with a value of 55.1 N/mm, while the hdpe material has an average stiffness value of 36.5 N/mm far below the value specified in the pneumatic tire. From the deflection value, PVC material is in the category of comfortable to use when driving as an airless tire spoke and HDPE material is in the category of less comfortable to use when driving as an airless tire spoke. The stress that occurs in all materials is safe because it is below the allowable stress material, which is 52 MPa for PVC material and 22 MPa for HDPE material so that the tire material is safe when driving, with a maximum stress value in PVC material of 7.2436MPa and 6.1006MPa in HDPE material. In the fatigue simulation to find the level of safety in each material has the same life cycle of  $1e7$ . While the safety factor in PVC material is 15 and in HDPE material is 12.444. Based on the theoretical basis of a component can be said to have infinite life and safe if the life cycle is above  $1e6$  cycle and the safety factor is above 1, then the rim used in this study has an infinite life and this rim is included in the safe category.*

**Keywords:** Airless tires, Deformation, Tension, Fatigue, Deflection.



## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan Sarjana S-1 di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penyusunan tugas akhir ini dapat terlaksana dengan baik atas bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini bukan semata-mata atas kemampuan penulis sendiri. Untuk itu, izinkan penulis untuk mengucapkan terima kasih dan memberikan rasa hormat atas segala bantuan yang telah diberikan kepada penulis, baik itu secara langsung dan tidak langsung, yaitu kepada:

1. Almarhum M. Sahanan dan Ibu Chusnul Chotimah selaku orang tua penulis serta Nur laila selaku kakak penulis yang selalu memberikan doa-doanya, dan menjadi motivasi tersendiri bagi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir dan perkuliahan ini.
2. Bapak Dr.Ir. Agus Sigit Pramono DEA selaku dosen pembimbing penulis yang telah membimbing serta memberikan dukungan dan nasihat selama rangkaian pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Eng. Yohanes S.T., M.Sc., Bapak Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc.E, dan Bapak Ir. Julendra B. Ariatedja, M.T. selaku dosen penguji seminar yang telah memberikan saran dan arahan kepada penulis dalam menyempurnakan tugas akhir ini.
4. Bapak M. Khoirul Effendi ST. .M.Sc., Eng. selaku dosen wali penulis yang telah memberikan nasihat sejak awal perkuliahan hingga akhir perkuliahan.
5. Seluruh teman satu bimbingan tugas akhir (Rizal, Garin, Noval, Shiddiq, Syarif) yang telah membantu, menemani, serta membagi ilmunya kepada penulis selama pengerjaan tugas akhir ini. Dan juga kepada Danti selaku pendamping.
6. Semua pihak yang tidak dapat penulis cantumkan satu persatu.

Semoga seluruh kebaikan yang telah diberikan dapat bermanfaat dan mendapat balasan dari Allah SWT. Penulis menyadari dalam bahwa masih terdapat kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca dalam pengembangan kemajuan teknologi di Indonesia. Akhir kata, penulis memohon maaf atas kekurangannya dan mengucapkan terima kasih.

Surabaya, Juli 2022

**M Nurul Huda.**  
**NRP. 0211184000066**

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
APPROVAL SHEET .....	iv
Abstrak.....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	3
2.....	3
2.1 Ban .....	3
2.1.1 Ban Pneumatik .....	4
2.1.2 Ban Non Pneumatik.....	5
2.2 Material Ban.....	6
2.2.1 Karet.....	6
2.2.2 Polyurethane (PU) .....	6
2.3 Ukuran Ban .....	7
2.4 Material Spoke .....	9
2.4.1 Polyvinyl Chloride.....	9
2.4.2 High Density Polyethylene (HDPE) .....	10
2.5 Alat Ukur.....	11
2.5.1 Sensor Load Cell .....	11
2.5.2 Dial Indikator .....	12
2.6 Teori Analisa Struktur .....	12
2.6.1 Defleksi .....	12
2.6.1.1 Defleksi Vertikal .....	12
2.6.1.2 Defleksi Lateral .....	14
2.6.2 Tegangan.....	15
2.6.3 Regangan.....	16
2.6.4 Hubungan Tegangan Regangan .....	16

2.7	Analisa Fatigue.....	16
2.7.1	Metode Stress Life.....	17
2.7.2	Fatigue Strength .....	18
2.7.3	Metode Fatigue Life .....	19
2.7.4	Beban Siklik.....	19
2.7.5	Kriteria Kegagalan Fatigue.....	20
2.8	Finite Element Method .....	21
2.8.1	Meshing.....	23
2.8.2	Analisis Static Structural .....	24
2.9	Penelitian Terdahulu.....	24
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>28</b>
3.	.....	28
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	28
3.1.1	Observasi.....	29
3.1.2	Perumusan Masalah.....	29
3.1.3	Studi Literatur.....	29
3.1.4	Penentuan Data Awal .....	29
3.1.5	Desain 3D.....	30
3.1.6	Simulasi.....	33
3.1.7	Analisa Hasil Data dan Kesimpulan .....	33
3.1.8	Penulisan Laporan .....	33
3.2	Permodelan Simulasi.....	34
3.2.1	Perhitungan Pembebanan.....	34
3.2.2	Perhitungan Defleksi .....	35
3.3	Simulasi Ansys.....	37
3.3.1	Flowchart Simulasi.....	37
3.3.2	Simulasi Metode Elemen Hingga .....	38
3.3	Eksperimen.....	42
3.3.1	Alat Uji Eksperimen .....	42
3.3.2	Alur pengujian.....	43
<b>BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>45</b>
4.	.....	45
4.1	Validasi Data.....	45
4.1.1	Hasil Uji Konvergensi .....	45
4.1.2	Hasil Eksperimen Kekakuan Ban Pneumatic.....	46
4.1.3	Hasil Eksperimen Kekakuan Pada Spoke Material PVC .....	48
4.1.3.1	Perbandingan Hasil Perhitungan Dengan Eksperimen.....	48
4.1.3.2	Hasil Uji Deformasi Pada Spoke .....	50
4.2	Analisi Pada Material PVC.....	51

4.2.1	Hasil Simulasi Tegangan .....	51
4.2.2	Hasil Simulasi Kekakuan.....	52
4.2.3	Hasil Simulasi Fatigue.....	55
4.3	Analisa Pada Material HDPE .....	57
4.3.1	Hasil Simulasi Tegangan .....	57
4.3.2	Hasil Simulasi Kekakuan.....	58
4.3.2	Hasil Simulasi Fatigue.....	60
BAB V .....		63
KESIMPULAN DAN SARAN .....		63
5 .....		63
5.1	Kesimpulan .....	63
5.2	Saran .....	63
DAFTAR PUSTAKA .....		65
LAMPIRAN.....		66
BIODATA PENULIS .....		77

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ban Radial .....	3
Gambar 2.2 Ban Solid .....	4
Gambar 2.3 Ban <i>Airless</i> .....	4
Gambar 2.4 Ban Pneumatik .....	5
Gambar 2.5 Ban Non Pneumatik.....	5
Gambar 2.6 Skala Kekerasan pada Durometer(Hidayat et al., 2016) .....	7
Gambar 2.7 Ukuran Ban.....	8
Gambar 2.8 Kodifikasi Ban.....	8
Gambar 2.9 HDPE pipe.....	10
Gambar 2.10 Load cell type S .....	11
Gambar 2.11 Dial indikator.....	12
Gambar 2.12 Skematik Ban dengan Tampak Samping(Nyabakken & Clark, 1969) .....	13
Gambar 2.13 Potongan Melintang Ban(Nyabakken & Clark, 1969) .....	13
Gambar 2.14 Potongan Ban (a) Melintang; (b) Melintang saat Terdeformasi .....	14
Gambar 2.15 Ilustrasi gaya yang bekerja pada suatu struktur; (b) Ilustrasi orientasi sumbu masing-masing tegangan.....	15
Gambar 2.16 Conventional and true stress-strain diagrams for ductile material(Hibbeler, 2011) .....	16
Gambar 2.17 Test-specimen geometry for the R. R. Moore rotating-beam machine(Shigley's, 2011) .....	17
Gambar 2.18 An S-N diagram plotted from the results of completely reversed axial <i>fatigue</i> tests. G41300 steel (Shigley's, 2011) .....	18
Gambar 2.19 S-N Diagram for Nonferrous Metals(Shigley's, 2011) .....	18
Gambar 2.20 Diagram hubungan <i>stress-time sinusoidal fluctuating stress</i> (Shigley's, 2011) .....	19
Gambar 2.21 Diagram hubungan <i>stress-time repeated stress</i> (Shigley's, 2011).....	19
Gambar 2.22 Diagram hubungan <i>completely reversed</i> (Shigley's, 2011).....	20
Gambar 2.23 <i>S-N Curve Alluminum alloy</i> (Shigley's, 2011) .....	20
Gambar 2.24 <i>Fatigue diagram showing various criteria of failure</i> (Shigley's, 2011) \ .....	21
Gambar 2.25 Diagram alir analisis menggunakan ANSYS Workbench (Madenci & Guven, 2015) ....	22
Gambar 2.26 (a) domain dua dimensi umum pada permasalahan nilai batas $\phi(x,y)$ ; (b) tiga titik elemen hingga yang didefinisikan di dalam domain; (c) elemen-elemen tambahan yang menunjukkan sebuah bagian dari <i>mesh</i> elemen hingga pada domain (Hutton, 2004) .....	23
Gambar 2.27 (a) <i>meshing</i> domain batas melengkung yang dimodelkan dengan elemen – elemen kotak yang berjumlah 41 elemen; (b) <i>fine meshing</i> domain batas melengkung yang dimodelkan dengan elemen-elemen kotak yang berjumlah 192 elemen. (Hutton, 2004).....	23
Gambar 2.28 (a) desain ban <i>airless</i> yang diajukan; (b) dimensi dari spoke(ketebalan $t$ dan sudut spoke $\theta$ )(Pramono & Effendi, 2019) .....	24
Gambar 2.29 Hasil simulasi (a) Defleksi; (b) Tegangan Total (Pramono & Effendi, 2019) .....	25
Gambar 2.30 Desain dari ban yang digunakan (a) <i>tire dimension</i> ; (b) <i>carcass dimension</i> ; (c) <i>the belt 1 dimension</i> ; (d) <i>the belt 2 dimensions</i> (Hidayat et al., 2016).....	26
Gambar 2.31 Dimensi Polisi Tidur.....	26
Gambar 2.32 <i>Assembly</i> komponen ban dengan model polisi tidur (Hidayat et al., 2016).....	26
Gambar 2.33 Hasil simulasi pada ban bertekanan 30 Psi dengan beban 2 kN, 6kN, dan 10 kN (Hidayat et al., 2016) .....	26
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	29
Gambar 3.2 Penampang Pelek.....	30
Gambar 3.3 Tampak Samping Pelek .....	31
Gambar 3.4 Tampak Depan Pelek.....	31
Gambar 3.5 Penampang Karet Mati .....	32
Gambar 3.6 Tampak Samping Karet Mati.....	32
Gambar 3.7 Tampak Samping Spoke .....	32
Gambar 3.8 Tampak Depan Spoke.....	33
Gambar 3.9 <i>Assembly</i> karet ban, spoke, pelek.....	33
Gambar 3.10 <i>Free body diagram</i> Pembebanan .....	34

Gambar 3.11 <i>Free body diagram</i> kursi roda .....	34
Gambar 3.12 <i>Free body diagram</i> pada skuter .....	35
Gambar 3.13 Defleksi <i>vertical</i> pada ban .....	36
Gambar 3.14 Diagram Alir Simulasi .....	38
Gambar 3.15 Engineering data yang digunakan .....	39
Gambar 3.16 <i>Import geometri</i> .....	39
Gambar 3.17 <i>Assign Material</i> dan mendefinisikan sifat pada tiap komponen .....	40
Gambar 3.18 Contact ban dan jalan.....	40
Gambar 3.19 Meshing ban dan jalan .....	41
Gambar 3.20 a) Fix support b) Pusat pembebanan.....	41
Gambar 3.21 Alast uji eksperimen .....	43
Gambar 3.22 Rangkaian alat uji .....	43
Gambar 4.1 Grafik Uji Konvergensi .....	45
Gambar 4.2 Skewness mesh metric spectrum. ....	46
Gambar 4.3 Hasil pengujian ban pneumatic.....	47
Gambar 4.4 Eksperimen pneumatic .....	48
Gambar 4.5 a) Ban <i>airless</i> tampak depan b) Ban <i>airless</i> tampak samping.....	48
Gambar 4.6 Hasil Eksperimen ban 153.4 N .....	49
Gambar 4.7 Kekakuan eksperimen pvc .....	50
Gambar 4.8 Uji Deformasi <i>Spoke</i> .....	51
Gambar 4.9 Tegangan Pada <i>Spoke Material PVC</i> Ban <i>airless</i> .....	52
Gambar 4.10 Defleksi Ban <i>airless</i> .....	53
Gambar 4.11 Perbandingan eksperimen dan simulasi .....	54
Gambar 4.12 perbandingan kekakuan simulasi pvc dan eksperimen ban pneumatic.....	55
Gambar 4.13 Nilai Tegangan Pada Posisi <i>Spoke</i> Ban.....	55
Gambar 4.14 Definisi Pada <i>Fatigue Tool</i> .....	56
Gambar 4.15 Hasil Simulasi <i>Safety factor</i> Pada <i>Spoke PVC</i> .....	56
Gambar 4.16 Tegangan Pada <i>Spoke Material HDPE</i> Ban <i>airless</i> .....	57
Gambar 4.17 Defleksi Ban <i>airless</i> .....	58
Gambar 4.18 Perbandingan simulasi hdpe dan eksperimen pneumatic. ....	59
Gambar 4.19 Nilai Tegangan Pada Posisi <i>Spoke</i> Ban.....	60
Gambar 4.20 Definisi Pada <i>Fatigue Tool</i> .....	61
Gambar 4.21 <i>Safety factor</i> Pada <i>Spoke PVC</i> .....	61

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Properties</i> Karet Lama dan Karet Sintetis .....	6
Tabel 2.2 <i>Properties Polyurethane Rubber</i> .....	7
Tabel 2.3 Indeks Kecepatan pada Kodifikasi Ban .....	9
Tabel 2.4 Indeks Beban pada Kodifikasi Ban.....	9
Tabel 2.5 Berat Molekul PVC (Dr. Vladimir, 1967) .....	10
Tabel 2.6 HDPE <i>Properties</i> .....	11
Tabel 2.7 Respons dari Tiap Variasi Ban <i>Airless</i> (Pramono & Effendi, 2019).....	25
Tabel 3.1 Dimensi Komponen.....	30
Tabel 3.2 <i>Properties Material</i> .....	30
Tabel 4.1 Hasil Uji Konvergensi.....	45
Tabel 4.2 Hasil eksperimen <i>pneumatic</i> .....	47
Tabel 4.3 Hasil Eksperimen PVC.....	50
Tabel 4.4 Hasil simulasi PVC .....	53
Tabel 4.5 Hasil simulasi HDPE.....	59

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pada saat ini manusia dilahirkan dalam keadaan fisik yang sempurna dan ada yang tidak sempurna. Keadaan fisik seseorang dapat mempengaruhi dalam melakukan aktivitas sehari-hari. Dengan keadaan fisik yang sempurna, seseorang dapat melakukan aktivitas dengan sebaik mungkin, sedangkan untuk orang dengan keadaan fisik yang tidak sempurna akan sulit untuk melakukan aktivitas sehari-hari. Orang dengan keadaan fisik yang tidak sempurna disebut dengan disabilitas. Disabilitas dapat terjadi akibat kecacatan dari lahir ataupun kecelakaan. Bentuk dari disabilitas ada berbagai macam, salah satunya adalah disabilitas fisik khususnya pada bagian kaki. Diketahui bahwa sebagian besar aktivitas manusia dilakukan dengan bergerak menggunakan kaki seperti berjalan, bekerja, berlari, dan sebagainya. aktivitas-aktivitas tersebut akan sulit dilakukan bagi penyandang disabilitas fisik.

Berdasarkan data dari Survei Sosial Ekonomi Nasional (Susenas) pada tahun 2019, jumlah penyandang disabilitas mencapai 26 juta orang atau 9,7 % dari jumlah penduduk di Indonesia. Dengan jumlah data penyandang disabilitas di Indonesia, maka diciptakanlah teknologi yang mampu membantu penyandang disabilitas untuk bisa melakukan berbagai macam aktivitas sehari-hari.

Ban merupakan komponen penting dalam berfungsinya kendaraan. Fungsi utama ban sendiri yaitu sebagai penahan beban, penyalur tenaga dari mesin ke jalan, meredam guncangan kendaraan, dan mengontrol arah kendaraan. Fungsi- fungsi ini memengaruhi kenyamanan dan juga keamanan dalam berkendara. Saat ini, ban yang banyak beredar di pasaran yaitu ban solid dan ban radial. Ban solid digunakan dalam pengoperasian kendaraan dalam kondisi ekstrem seperti traktor karena ketahanannya terhadap benda tajam, kerugian rolling yang rendah, dan mampu menahan beban yang berat, namun kekurangannya yaitu tingkat kenyamanan ban solid sangat rendah karena tidak ada fungsi bantalan. Ban yang umum digunakan yaitu jenis ban pneumatik atau lebih dikenal dengan ban radial karena jenis ban ini dapat memberikan kenyamanan yang baik bagi kendaraan. Sejak penemuannya pada 1888 oleh Dunlop, ban pneumatik sudah menjadi pilihan utama untuk digunakan dalam kendaraan yang beroperasi dalam berbagai kondisi karena ban ini memiliki beberapa keuntungan yaitu kerugian energi yang kecil akibat rolling, kekakuan vertikal rendah yang dapat berfungsi sebagai bantalan, juga ringan.

Walaupun begitu, ban pneumatik dapat mengalami kegagalan seperti ban bocor atau pecah yang membuat ban ini tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Hal ini dikarenakan ban pneumatik sangat bergantung pada tekanan udara di dalamnya yang menjadi kekurangan paling besar sampai saat ini. Berdasarkan data statistik dari sumber Jasa Marga tahun 2004 hingga 2006, sedikitnya telah terjadi 87.020 kasus kecelakaan kendaraan bermotor di jalan raya, dengan sekitar 18% - 23% dari angka tersebut disebabkan pecah ban. Selain itu, Komite Nasional Keselamatan Transportasi juga mencatat bahwa 80% kecelakaan pecah ban yang terjadi di jalan raya diakibatkan oleh masalah yang terjadi pada ban seperti tekanan ban tidak sesuai sehingga ban bisa kehilangan tekanan udara dan pecah. Perkembangan teknologi menghadirkan ban airless untuk menghindari permasalahan yang terjadi pada ban radial maupun ban solid. Ban airless dapat memberikan tingkat kenyamanan seperti ban radial namun tidak memiliki kekurangan ban radial yang dapat membahayakan apabila kurang tekanan angin maupun terkena benda tajam. Ban ini memanfaatkan spoke fleksibel dan shear band yang berfungsi sebagai pengganti udara bertekanan pada ban radial, sehingga ban ini masih dapat beroperasi sekalipun terkena benda tajam saat kendaraan beroperasi. Desain spoke dan juga material ini yang kemudian divariasikan oleh peneliti dan dioptimalkan untuk mendapatkan



tingkat keamanan dan juga kenyamanan maksimal. Kedua factor ini berkaitan dengan seberapa jauh ban terdefleksi ketika diberi beban dan juga tegangan yang terjadi pada ban saat terkena beban tersebut

Pada penelitian kali ini, model yang diteliti sudah diuji pada keadaan statis dengan memberi beban kendaraan dan penumpang pada ban dalam kondisi diam. Terdapat beberapa metode yang akan digunakan untuk menganalisa suatu komponen, termasuk salah satunya yaitu METODE ELEMEN HINGGA (*Finite Element Methode*). Metode ini sering digunakan di dunia *engineering* karena kemampuannya dalam permasalahan struktur yang kompleks dalam Analisis mekanika benda padat.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dijelaskan di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana performa dari hasil uji *kekakuan* yang terjadi pada ban *airless* ketika diberi beban statis menggunakan metode elemen hingga?
2. Seberapa besar tegangan yang terjadi pada ban ketika diberi beban statis sebagai acuan tingkat keamanan?
3. Bagaimana tingkat kewanaman dari hasil uji *fatigue* dalam siklus dari kekuatan ban *airless* pada skuter listrik?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui *kekakuan* yang terjadi pada ban *airless* ketika diberi beban statis menggunakan metode elemen hingga.
2. Mengetahui besar tegangan yang terjadi pada ban ketika diberi beban statis sebagai acuan tingkat keamanan
3. Mengetahui tingkat keamanan dari hasil uji *fatigue* dalam siklus dari kekuatan ban *airless* pada skuter listrik

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variasi material yang digunakan pada penelitian yaitu *High Density Polyethylene* (HDPE), *Poly Vinyl Chloride* (PVC)
2. Analisis yang dilakukan hanya pada ban scooter bagian belakang.
3. Penelitian ini menguji defleksi dan tegangan yang terjadi pada ban sebagai acuan dalam menentukan keamanan ban.
4. Analisa statis.
5. Massa penumpang maksimal 100kg
6. Massa kursi roda 16kg dan massa scooter 12,5kg
7. Penelitian dilakukan dengan melakukan simulasi dengan menggunakan Ansys 2021 R2.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberi evaluasi desain yang telah ada agar optimasi dapat dilakukan maupun perubahan desain pada penelitian berikutnya.
2. Menjadi referensi bagi perkembangan penelitian dan teknologi terkait *airless tires*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dipaparkan landasan teori yang dijadikan acuan penelitian. Adapun dasar teori dan tinjauan pustaka yang digunakan berdasarkan pemodelan *airless tires* serta analisis dengan metode *finite element*.

### 2.1 Ban

Ban merupakan komponen dalam kendaraan yang berperan penting dalam keamanan dan kenyamanan berkendara. Fungsi utama ban yaitu menahan beban kendaraan dan penumpangnya, meredam guncangan, menyalurkan tenaga dari *drivetrain* ke jalan, meneruskan fungsi kemudi yang memengaruhi kemampuan bermanuver kendaraan dan kestabilan saat berkendara. (Auto2000, 2020) Ban terbagi menjadi jenis berdasarkan bagaimana ban tersebut bekerja. Jenis pertama yaitu ban pneumatik yang bekerja dengan memanfaatkan tekanan udara atau gas di dalamnya, sedangkan jenis kedua yaitu ban non pneumatik yang tidak menggunakan udara. Ban yang beredar di pasaran saat ini ada tiga jenis yaitu ban radial, ban solid, dan juga ban *airless*.

Ban radial biasa digunakan pada transportasi massal, seperti bus, truk, *van*, serta sepeda dan sepeda motor. Ban memiliki kemampuan untuk meningkatkan kenyamanan saat kendaraan berjalan. Namun ban ini memiliki sejumlah kekurangan, di antaranya proses pembuatannya yang rumit, tingkat kenyamanan dan keamanannya bergantung pada tekanan udara dalam ban, dan dapat rusak apabila terkena benda tajam. Deformasi dan kapasitas gesekan antara ban dan jalan dari persentase kehilangan energi juga perlu diperhatikan, di mana energi yang hilang akibat kedua faktor ini sebesar 80-90% dari total kehilangan energi.



Gambar 2.1 Ban Radial

Ban padat sering digunakan pada alat – alat berat seperti *forklift* dan *dump truck* dibandingkan dengan ban radial, ban ini lebih aman terhadap benda tajam, tapi kenyamanannya rendah. Desainnya yang padat menghasilkan kenyamanan yang rendah karena tidak bisa menyerap getaran dengan baik. Karena traksi antara ban dan jalan raya yang buruk, ban ini hanya dapat digunakan pada kecepatan rendah. Selain itu, penggunaan dalam kecepatan tinggi akan menghasilkan panas yang akan mengurangi daya tahan ban tersebut.



Gambar 2.2 Ban Solid

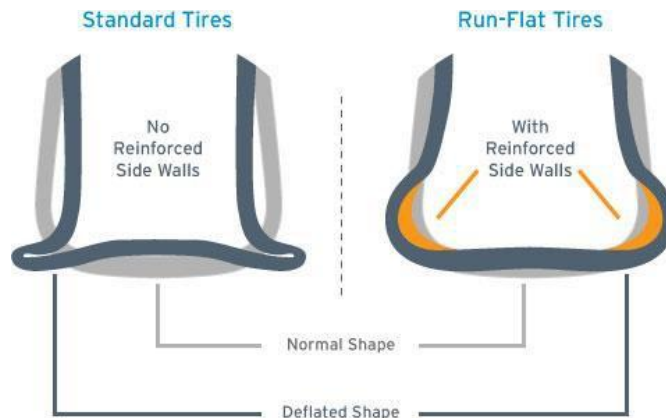
*Airless tyre* atau ban tanpa udara didesain untuk menyelesaikan masalah pada ban radial dan ban padat. Ban ini memberikan keamanan dan kenyamanan pada kendaraan selama pengoperasian. Ban tersebut tetap berfungsi saat terkena benda tajam, sehingga ban tersebut biasa digunakan pada kendaraan militer. Selain itu, ban tanpa udara bebas perawatan, yang mengurangi biaya perawatan ban selama pengoperasian. Namun ban ini juga memiliki beberapa kekurangan, yaitu mahal untuk diproduksi dan sulit diimplementasikan pada kendaraan dengan kecepatan melebihi 50 mph. Di kalangan peneliti, ban *airless* sangat penting untuk mengembangkan ban berkualitas tinggi guna meningkatkan kenyamanan dan keamanan kendaraan.



Gambar 2.3 Ban Airless

### 2.1.1 Ban Pneumatik

Ban pneumatik atau ban yang berisi udara adalah sebuah ban yang dibuat dari karet keras dan bekerja menggunakan tekanan udara. Pada bagian tapak biasanya dikuatkan dengan sabuk baja atau material lainnya, melindungi bagian inti dalam dan menyediakan area kontak dengan jalan. Tekanan udara di dalam ban harus lebih tinggi dari tekanan atmosfer, agar ban tetap terisi udara walau ada beban kendaraan dan pengendara yang ditopang oleh ban. Tekanan udara di dalam ban ini memberikan gaya tahanan terhadap gaya yang membuat ban terdeformasi, dan memberikan efek bantalan dengan tingkatan tertentu ketika ban terkena gundukan di jalan. (Rangdale et al., 2018)

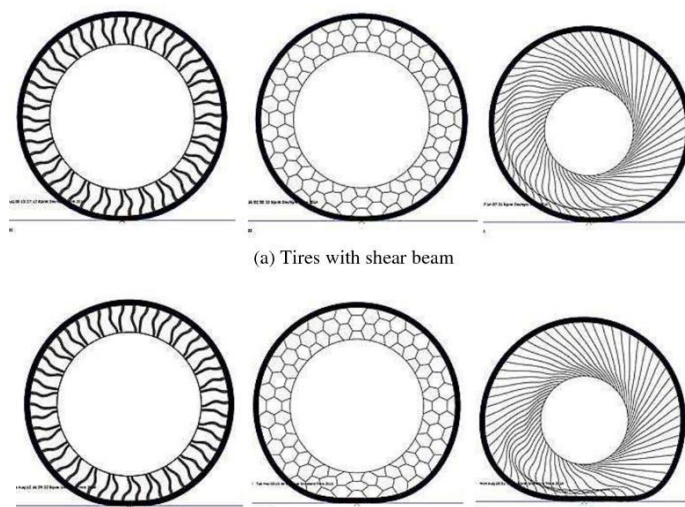


Gambar 2.4 Ban Pneumatik

Jika dibandingkan dengan ban non pneumatik, kelebihan dari ban pneumatik di ini antara lain tingkat kenyamanannya tinggi, harganya lebih murah, *rolling resistance* rendah, pemasangannya yang sederhana, ringan, dan apabila terjadi kerusakan ringan seperti tertusuk benda tajam, ban ini lebih mudah diperbaiki. Sedangkan kekurangannya yaitu kemudi lebih berat dan juga kurang nyaman dalam kecepatan rendah, dan tidak stabil di tikungan.

### 2.1.2 Ban Non Pneumatik

Ban Non Pneumatik adalah ban yang tidak diisi oleh udara bertekanan. Ban non-pneumatik atau ban *airless* adalah ban yang tidak didukung oleh tekanan udara. Dibandingkan dengan ban pneumatik dengan bentuk dan ukuran yang serupa, ban non-pneumatik umumnya memiliki gesekan guling yang lebih tinggi dan memberikan suspensi yang jauh lebih sedikit. Ban *airless* ini biasanya diisi dengan polimer terkompresi (plastik) sebagai pengganti udara. *Resilient Technologies* dan perusahaan cabang Madison, Wisconsin yang berspesialisasi dalam rekayasa dan desain polimer menciptakan "ban non pneumatik", yang pada dasarnya adalah polimer *honeycomb* yang dibungkus dengan tapak hitam tebal. Struktur *honeycomb* dirancang untuk menopang beban pada ban, menghilangkan panas dan mengimbangi beberapa masalah ini. Menurut pengembangnya, desain ini merupakan replika terbaik dari ban pneumatik untuk meningkatkan kenyamanan berkendara. Tujuannya untuk mengurangi perubahan kekakuan ban, sehingga dapat memindahkan beban secara merata dan menjadi lebih homogen. (Rangdale et al., 2018).



Gambar 2.5 Ban Non Pneumatik

Kelebihan ban non-pneumatik ini yaitu tidak perlu melakukan pengisian udara, aman

terhadap benda tajam dan terhadap kebocoran, kinerja yang lebih baik dibanding ban konvensional, memberikan kenyamanan dan kendali yang baik, dan fleksibilitas yang memberikan cengkraman baik antara ban dengan tanah. Sedangkan kerugiannya yaitu harganya yang mahal karena masih dalam tahap pengembangan, lalu penggantian komponen yang rumit, dan apabila ban mengalami kerusakan seperti aus, ban harus diganti secara keseluruhan. Selain itu, sulit untuk melakukan penyesuaian pada ban apabila ban *airless* ini sudah diproduksi.

## 2.2 Material Ban

### 2.2.1 Karet

Karet alam adalah polimer isoprena ( $C_5H_8$ ) yang diperoleh dari pohon karet Brazil. Karet alam adalah bentuk alami dari 1,4-poliisoprena dan telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi (Tarachiwin & Tanaka, 2009). Ini karena sifat mekanik dan elastisitasnya yang sangat baik. Sebagai salah satu material komposit utama untuk produk jadi, karet alam memiliki sifat mekanik yang sangat baik, termasuk parameter seperti kekuatan tarik, modulus, kekuatan sobek dan kekerasan. Selain keunggulan karet alam sebagai polimer alam, terdapat juga kerugian dalam beberapa hal. Kelemahan karet alam antara lain tidak tahan terhadap bahan kimia, pelarut organik, erosi ozon, perubahan cuaca, oksigen, sinar matahari, sinar ultraviolet 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 2.1

Tabel 2.1 *Properties* Karet Lama dan Karet Sintetis

<i>Parameters</i>	<i>Density</i> (kg/m <sup>3</sup> )	<i>Young Modulus</i> (MPa)	<i>Poison Ratio</i>	<i>Allowable stress</i> (MPa)
<i>Natural Rubber</i> (Karet Alam)	930	1,9	0,4997	31
<i>Styrene Butadiene Rubber</i> (Karet Sintesis)	992	0,48	0,49	36

### 2.2.2 Polyurethane (PU)

*Polyurethane* (PU) adalah bahan serbaguna, terutama berdasarkan pada hubungan struktur-properti mereka, dan memiliki potensi besar untuk digunakan dalam banyak aplikasi yang berbeda. Sifat mekanik, fisik, biologis, dan kimianya yang spesifik telah menarik banyak perhatian penelitian untuk menyesuaikan PU dengan aplikasi yang berbeda. Dengan mengubah proses produksi atau bahan baku yang digunakan dalam proses manufaktur atau menggunakan teknik karakterisasi lanjutan, kinerja dan kinerja bahan berbasis PU dapat ditingkatkan. Melalui metode yang tepat untuk memodifikasi bahan mentah dan proses produksi, poliuretan yang sesuai untuk berbagai aplikasi tertentu dapat diproduksi.

*Polyurethane* (PU) terbuat dari poliisosiyanat dan senyawa polihidroksi (HO-R-OH), dan terdapat banyak senyawa makromolekul -NHCOO yang berulang pada rantai utama. Poliuretan disebut sebagai plastik terbesar kelima. Dalam industri modern, bahan ini sering digunakan sebagai bahan organik polimer karena kinerjanya yang relatif unggul sehingga dapat diaplikasikan secara luas dalam kehidupan sehari-hari (Hibbeler, 2011). *Shore durometer* merupakan instrumen yang digunakan untuk mengukur kekerasan material, umumnya karet, elastomer, dan polimer. Instrumen Durometer terdiri atas batang baja yang dikeraskan dengan kerucut miring di ujungnya. Batang baja diisi dengan pegas dan akan mengaktifkan pengukur dengan skala antara 1 hingga 100. Sampel uji diletakkan lurus di bawah kerucut miring, lalu instrumen ditekan terhadap sampel uji sampai pelat logam rata di bagian bawah diratakan

dengan sampel elastomer. Dalam pembacaan skalanya, angka yang lebih tinggi menentukan resistensi yang lebih unggul terhadap indentasi. Semakin sedikit kerucut merusak sampel, maka semakin tinggi kekerasan material. Sebaliknya, angka yang lebih rendah pada skala durometer menunjukkan resistensi yang lebih rendah terhadap indentasi dan menunjukkan bahwa material tersebut lebih lembut, sehingga semakin banyak kerucut yang merusak sampel, semakin kecil kekerasan material (Tarachiwin & Tanaka, 2009). Berikut adalah grafik perbandingan antara skala kekerasan dari Durometer.



Gambar 2.6 Skala Kekerasan pada Durometer(Hidayat et al., 2016)

Dari gambar 2.6 dapat dilihat tingkat kekerasan dari beberapa material plastik. Sebagai contoh pada gelang karet memiliki kekerasan 10 pada shore A, lalu ban kendaraan umumnya memiliki kekerasan 70 pada shore A dan ban *trolley* memiliki kekerasan sekitar 90 pada shore A. Untuk tipe *polyurethane* sendiri, jika dibandingkan berdasarkan kekerasan di atas, dibagi menjadi tiga yaitu berupa *gel*, karet, dan plastik. Untuk pembuatan ban *airless* sendiri digunakan *polyurethane* yang berjenis karet (*polyurethane rubber*) dengan kekerasan 35 shore D karena memiliki sifat yang sesuai dengan ban pada umumnya dan juga merupakan jenis yang paling banyak beredar di pasaran.

*Polyurethane rubber* memiliki sifat elastis seperti karet namun proses produksinya mudah dan juga memiliki rentang kekerasan yang luas sehinggadapat disesuaikan dengan kebutuhan. *Polyurethane rubber* juga memiliki keunggulan lain yaitu viskositasnya yang rendah sehingga tidak perlu menghilangkan udara yang terkandung dalam campuran. Selain itu, keunggulan utama material ini yaitu memiliki ketahanan yang tinggi terhadap abrasi jika dibandingkan dengan karet. Berikut adalah sifat mekanis dari *polyurethane rubber* yang umum beredar di pasaran:

Tabel 2.2 *Properties Polyurethane Rubber*

<i>Parameters</i>	<i>Density (kg/m<sup>3</sup>)</i>	<i>Young Modulus (MPa)</i>	<i>Poisson Ratio</i>	<i>Allowable Stress (MPa)</i>
<i>Polyurethane L42</i>	1070	2.8	0.49	20.7
<i>Polyurethane L100</i>	1100	7.6	0.49	31
<i>Polyurethane L130</i>	1210	32	0.49	62

### 2.3 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 persentase rasio antara lebar ban dengan tingginya sebesar 90%, dan diameter pelek dalam yaitu 17 inch. Pada gambar 2.7, dapat diketahui secara jelas ukuran ban dari angka yang ditunjukkan.



Gambar 2.7 Ukuran Ban

Gambar 2.7 menunjukkan ukuran dari sebuah ban 215/70 R15, yang berarti bahwa ban memiliki lebar sebesar 215 mm, ukuran pelek 15 inch, dan ketinggian ban sebesar 150,5 mm yang didapat dari rasio 70%. Ketinggian keseluruhan ban adalah penjumlahan antara ukuran pelek (15 inch) dan ketinggian ban pada sisi atas maupun bawah (2 x 150,5 mm).

Pembacaan ukuran ban yang lebih detail juga dapat dilihat pada gambar 2.8 yaitu gambar kodifikasi pada ban. Sedangkan tabel 2.3 dan 2.4 merupakan tabel pendukung dari indeks kecepatan maupun beban yang terdapat pada kodifikasi ban.



Gambar 2.8 Kodifikasi Ban

Dari gambar 2.8 di atas 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 di belakang huruf (185) menunjukkan lebar ban (mm).
3. Angka di belakang garis miring (75) menunjukkan aspek rasio dalam %.
4. Huruf berikutnya setelah angka (R) menunjukkan tipe ban yang ada 3 huruf, yaitu: R = ban radial, D = ban bias dan B = ban bias dengan sabuk.
5. Angka (14) setelah huruf menunjukkan ukuran pelek yang sesuai, atau ukurandiameter dalam ban.
6. Angka (82) merupakan kapasitas beban yang dapat ditumpu oleh ban sesuai dengan indeks yaitu 475 kg.
7. Huruf (S) merupakan simbol kecepatan yang diperbolehkan pada ban. Huruf S sendiri memiliki batas kecepatan yaitu 180 km/jam.

Tabel 2.3 Indeks Kecepatan pada Kodifikasi Ban

Table 1		Speed Symbol									
Speed Symbol	L	P	S	T	H	V	(V)	W	(W)	ZR	
Max mph	75	93	112	118	130	149	>149*	169	>169*	>149	
Max km/h	120	150	180	190	210	240	>240*	270	>270*	>240km/h*	

Note: the maximum approved speed may be marked on the tyre eg V260.  
\*at reduced loading

Tabel 2.4 Indeks Beban pada Kodifikasi Ban

Table 2		Load Index - kgs													
LI	kg	LI	kg	LI	kg	LI	kg	LI	kg	LI	kg	LI	kg	LI	kg
41	145	49	185	57	230	65	290	73	365	81	462	89	580		
42	150	50	190	58	236	66	300	74	375	82	475	90	600		
43	155	51	195	59	243	67	307	75	387	83	487	91	615		
44	160	52	200	60	250	68	315	76	400	84	500	92	630		
45	165	53	206	61	257	69	325	77	412	85	515	93	660		
46	170	54	212	62	265	70	335	78	425	86	530	94	670		
47	175	55	218	63	272	71	345	79	437	87	545	95	690		
48	180	56	224	64	280	72	355	80	450	88	560	96	710		

Table 2a		Load Index - lbs													
LI	lbs	LI	lbs	LI	lbs	LI	lbs	LI	lbs	LI	lbs	LI	lbs	LI	lbs
41	320	49	408	57	507	65	639	73	805	81	1019	89	1279		
42	331	50	419	58	520	66	661	74	827	82	1047	90	1323		
43	342	51	430	59	536	67	677	75	853	83	1074	91	1355		
44	353	52	441	60	551	68	694	76	882	84	1102	92	1389		
45	364	53	454	61	567	69	716	77	908	85	1135	93	1433		
46	375	54	467	62	584	70	739	78	937	86	1168	94	1477		
47	386	55	481	63	600	71	761	79	963	87	1201	95	1521		
48	397	56	494	64	617	72	783	80	992	88	1235	96	1565		

## 2.4 Material Spoke

### 2.4.1 Polyvinyl Chloride

*Polyvinyl chloride* (PVC) telah ada sejak akhir abad ke-19, meskipun tidak diproduksi secara komersial sampai tahun 1920-an. PVC adalah bahan plastic yang dikonsumsi terbesar kedua setelah polyethylene. Produk PVC bisa kaku atau fleksibel, buram atau transparan, berwarna, dan isolasi atau konduktor. Tidak hanya satu PVC tetapi seluruh rangkaian produk yang dibuat khusus untuk memenuhi kebutuhan setiap aplikasi. PVC sangat hemat biaya dibandingkan dengan plastic lain dengan tingkat keserbagunaan yang tinggi dalam penggunaan akhir dan pemrosesan. Kelebihan PVC antara lain tahan lama, mudah dirawat, dan dapat diproduksi dalam berbagai warna. Akibatnya PVC digunakan dalam berbagai aplikasi yang luas di hamper semua bidang aktivitas manusia, termasuk peralatan medis, aplikasi konstruksi seperti membrane atap fleksibel, profil pipa dan jendela, maunan, suku cadang otomotif, dan kabel listrik (patrick, 2008).



Tabel 2.5 Berat Molekul PVC (Dr. Vladimir, 1967)

Viscosity number ISO 174-1974, and DIN 53 726	Inherent viscosity <sup>a</sup> ASTM D 1245-58T (Method A) <sup>b</sup>	Specific viscosity <sup>c</sup> ASTM D 1243-58T (Method B) <sup>d</sup>	$\eta$ -0.5 g/100 ml ethylene dichloride at 25°C	ICI K value	K value 1% cyclohexanone	K value 0.5 g/100 ml cyclohexanone at 25°C (Eikenscher: DIN 53 726)	K value 0.4% nitrobenzene at 25°C	Specific viscosity 0.5 g/ 100 ml cyclohexanone at 25°C	Specific viscosity 0.2 g/ 100 ml cyclohexanone at 30°C	Polymerisation degree JIS K6721	Weight-average molecular weight	Number-average molecular weight
50	0.42	0.155	1.216	42		45.3	49	0.25	0.08	275	40 000	20 000
52	0.44	0.165	1.227	43		46.2	50	0.26	0.09	310		
54	0.47	0.175	1.237	44		47.1	51	0.27	0.10	350		
57	0.49	0.185	1.247	45	47	48.4	52	0.28	0.105	380	54 000	26 000
59	0.52	0.195	1.258	46	49	49.3	53	0.29	0.11	415		
61	0.55	0.206	1.269	47	51	50.1	54	0.31	0.115	450		30 000
64	0.57	0.217	1.280	48	52	51.3	55	0.32	0.120	495		
67	0.60	0.228	1.292	49	53	52.4	56.5	0.34	0.125	525		
70	0.62	0.239	1.304	50	54	53.6	57.5	0.35	0.13	560	70 000	36 000
73	0.65	0.25	1.316	51	55	54.7	58.5	0.37	0.14	600		
77	0.67	0.264	1.329	52	57	56.1	59.5	0.38	0.145	640		40 000
80	0.70	0.275	1.342	53	58	57.2	60.5	0.40	0.15	680		
83	0.73	0.285	1.355	54	59	58.2	61.5	0.42	0.155	720		
87	0.75	0.3	1.369	55	60	59.5	62.5	0.44	0.16	760	100 000	45 500
90	0.78	0.31	1.383	56	61	60.5	63.5	0.45	0.17	800		

Industri PVC juga mulai menangani beberapa masalah akhir masa pakainya. Panduan praktis ini memberikan latar belakang yang komperhensif tentang resin dan aditif, sifat dan karakteristik pemrosesannya, serta diskusi tentang desain produk dan masalah pengembangan. Ada, dan masih ada, masalah dan persepsi tentang penerimaan lingkungan dan kesehatan.

#### 2.4.2 High Density Polyethylene (HDPE)

Pipa HDPE adalah pipa plastik berdensitas tinggi yang banyak digunakan untuk pipa air dan gas. Disebut pipa plastik karena material berasal dari polimer minyak bumi sehingga pipa ini dapat didaur ulang. HDPE memiliki percabangan molekul yang sedikit yang menyebabkan pipa ini memiliki kekuatan tensi dan kekerrasan yang tinggi.

Polyethylene (PE) adalah salah satu bahan mentah yang terutama digunakan untuk gas dan distribusi air diseluruh dunia. Sejak perkembangannya di tahun 1954 sampai sekarang, terjadi kemajuan besar pada keandalan material HDPE. Dari generasi pertama PE 63 ketiga, PE 100 diperkenalkan ada tahun 1989 oleh Solvay Polyolefi (sekarang Ineos Polyolefins), polietilena telah menjadi salah satu bahan baku yang mendominasi untuk gas dan distribusi air. Karena bahan kimia yang memiliki tingkat resistansi yang baik, dan juga merupakan bahan pilihan untuk banyak aplikasi industry.



Gambar 2.9 HDPE pipe

Bahan HDPE sudah umum digunakan sebagai bahan dasar pembuatan pipa yang digunakan untuk mengalirkan fluida. Pipa HDPE memiliki kelebihan yaitu. tahan terhadap korosi karena materialnya yang berupa plastik. Penggunaan pipa HDPE sekarang umumnya hanya sebagai bahan pencegah korosi pada bagian dalam pipa besi, padahal partikel pada bahan HDPE juga dapat digunakan sebagai penguat dari pipa besi tersebut.

Tabel 2.6 HDPE *Properties*

Parameter	Value
Density	0.954 g/cm <sup>3</sup>
Elastic modulus (short-term: 1 min)	1.0 × 10 <sup>3</sup> MPa
Ultimate tensile strength	26 MPa
Breaking elongation	750%
Brittle temperature	≤ -94°F (-70°C)
Working temperature	-112°F (-80°C) ~ 212°F (100°C)
Thermal conductivity	0.29 kcal/m·hr°C
Service life	>50 years

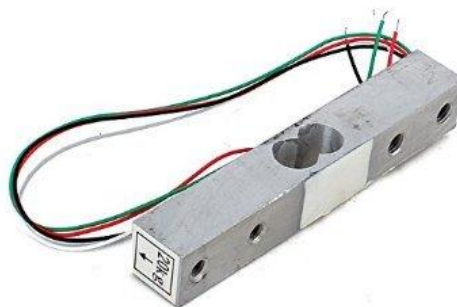
Note: 1 g/cm<sup>3</sup> = 62.4 lb/ft<sup>3</sup>; 1 MPa = 145 psi.

## 2.5 Alat Ukur

### 2.5.1 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. 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 2.10



Gambar 2.10 Load cell type S

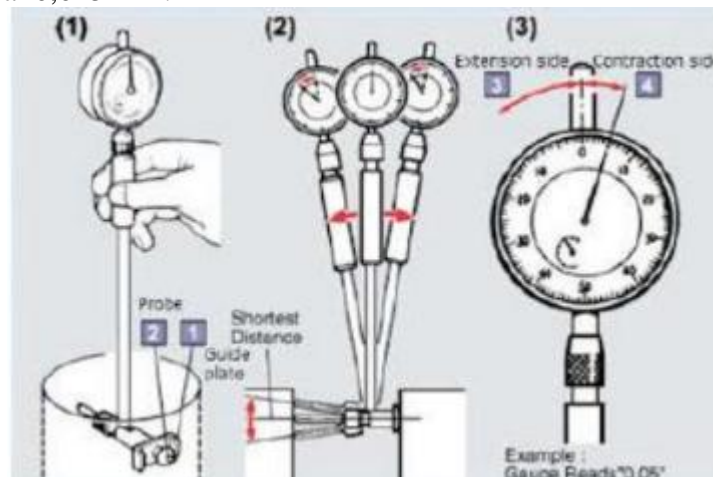
Load cell memiliki fleksibilitas terhadap subyek yang akan diukur; baik berbentuk serbuk maupun padatan. Load cell digunakan pada alat timbang berat badan untuk mendapatkan perhitungan Angka Kecukupan Gizi (AKG) seseorang.

## 2.5.2 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 jarum 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.

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 2.11 Dial indikator

## 2.6 Teori Analisa Stuktur

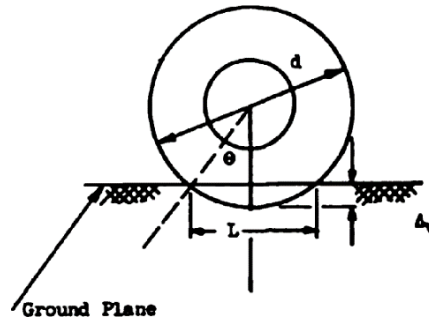
### 2.6.1 Defleksi

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.

#### 2.6.1.1 Defleksi Vertikal

Gaya vertikal yang dihasilkan oleh defleksi vertikal pada ban berkaitan dengan tekanan inflasi, ukuran, serta geometri ban. Hal tersebut memungkinkan penggunaan teori sederhana dengan memberikan persamaan sederhana terkait defleksi ban yang disebabkan oleh gaya vertikal kemudian mengubah persamaan tersebut menjadi bentuk tak berdimensi. Perubahan ini berguna untuk memberikan langkah penurunan (*derivation*), agar perkiraan yang dibentuk dapat terlihat lebih jelas (Nyabakken & Clark, 1969).

Proses deformasi sendiri ditandai dengan perhitungan geometri dari luasan yang mengalami kontak pada permukaan datar. Dapat dilihat pada gambar 2.13, dijelaskan skematik ban dengan permukaan datar dengan tampak samping, dan didapatkan bahwa defleksi vertikal yaitu sebagai berikut:



Gambar 2.12 Skematik Ban dengan Tampak Samping(Nyabakken & Clark, 1969)

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

Di mana:

$\Delta v$  : defleksi vertikal

$d$  : diameter luar

$\theta$  : sudut perpotongan antara ban dengan bidang tanah

Panjang potongan kontak dirumuskan sebagai berikut:

$$L \approx d \sin\theta$$

dimana  $L$  adalah panjang potongan kontak yang ditunjukkan pada gambar 2.9

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

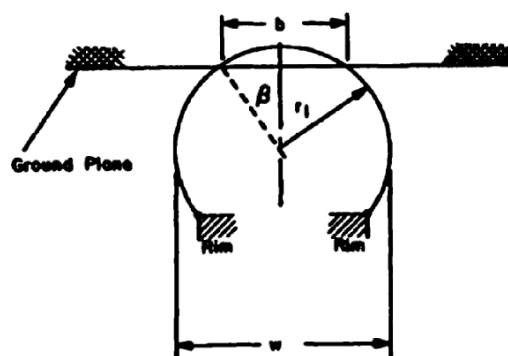
$$\Delta v = \frac{\theta^2 d}{2}$$

dan

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

maka didapatkan

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



Gambar 2.13 Potongan Melintang Ban(Nyabakken & Clark, 1969)

Dengan mengasumsikan potongan melintang berupa lingkaran sesuai gambar 2.10 maka defleksi vertikal dan lebar kontak dapat dihubungkan sebagai berikut:

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

dimana:

$r_1$  : radius potongan melintang ban

$\beta$  : sudut perpotongan antara ban dengan bidang tanah  
 Asumsi  $\Delta v \ll r_1$ , maka dapat ditulis

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

$$\frac{b}{2r_1} \approx \beta$$

dan

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

Perkiraan lebih lanjut diasumsikan

$$r_1 \approx \frac{w}{2}$$

dimana  $w$  merupakan lebar ban. Maka persamaan menjadi

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

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

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

atau

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

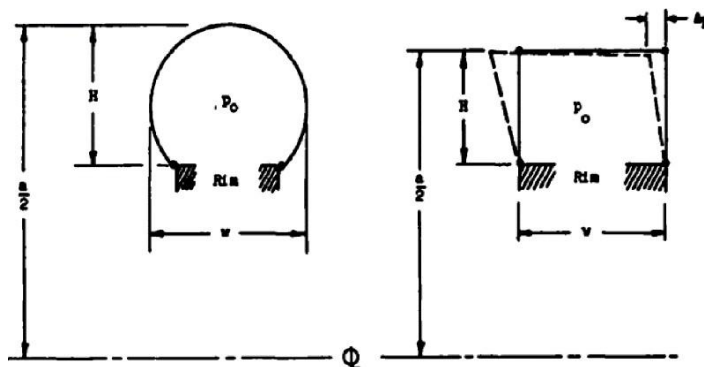
dimana:

- $P$  : beban vertikal
- $P_0$  : tekanan inflasi
- $\Delta v$  : defleksi vertikal
- $d$  : diameter luar ban
- $w$  : lebar tapak ban

### 2.6.1.2 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 terutama diarahkan pada ban otomotif, pada daerah tekanan rendah. Dengan asumsi tersebut, analisa kekuatan lateral akan menjadi sederhana (Nyabakken & Clark, 1969).

Pertama-tama mengembangkan persamaan yang berhubungan dengan parameter ban ke semua fondasi elastis lateral baik modulus, atau kekakuan, yang dibutuhkan pada teori pegas pada fondasi elastis, serta berhubungan dengan parameter ban pada tegangan yang ada pada pegas. Pada gambar 2.15 (a) ditunjukkan potongan melintang ban, dan gambar kedua merupakan potongan melintang ban yang telah mengalami deformasi lateral yang ada pada gambar 2.15(b).



Gambar 2.14 Potongan Ban (a) Melintang; (b) Melintang saat Terdeformasi

$$S = \Delta H P_0 w \sqrt{\frac{w}{H}} \sqrt{f \pi}$$

di mana

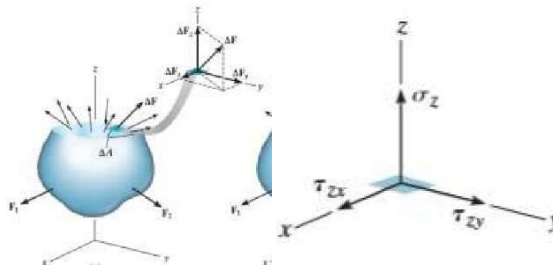
- $S$  : beban titik lateral
- $\Delta H$  : defleksi lateral
- $P_0$  : tekanan inflasi
- $w$  : lebar bagian
- $H$  : tinggi bagian
- $f$  : tak berdimensi

### 2.6.2 Tegangan

Konsep tegangan digunakan dalam mengekspresikan beban di mana sebuah gaya diaplikasikan pada suatu luasan area pada objek. Tegangan didefinisikan sebagai intensitas gaya internal yang bekerja pada bidang atau area tertentu melewati satu titik. Terdapat dua jenis tegangan yang mungkin terjadi pada struktur, yaitu tegangan normal dan tegangan geser (Hibbeler, 2011). Tegangan normal didefinisikan sebagai intensitas gaya internal yang bekerja pada bidang normal luasan  $\Delta A$  (ditunjukkan oleh gambar 2.15 a). Jika jumlah gaya yang bekerja pada area tersebut adalah  $\Delta F_z$ , maka nilai tegangan normal secara matematis serta besar tegangan normal rata-rata dari semua gaya yang bekerja bidang normal luasan  $\Delta A$  dapat dirumuskan sebagai:

$$\sigma_z = \frac{\Delta F_z}{\Delta A}$$

$$\sigma_{avg} = \frac{F}{A}$$



Gambar 2.15 Ilustrasi gaya yang bekerja pada suatu struktur; (b) Ilustrasi orientasi sumbu masing-masing tegangan

Jika gaya normal tersebut bersifat “tarikan” seperti pada Gambar 2.15 (a), tegangan normal tersebut disebut tegangan tarik. Sedangkan apabila bersifat “dorongan”, tegangan normal tersebut disebut tegangan kompresif.

Tegangan geser didefinisikan sebagai intensitas gaya tangensial (tegak lurus) yang bekerja pada luasan  $\Delta A$ . Secara matematis, tegangan geser dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

$$\tau_{zy} = \frac{\Delta F_y}{\Delta A}$$

Sehingga besar tegangan normal rata-rata dari semua gaya tangensial yang bekerja pada bidang normal luasan  $\Delta A$  dapat dirumuskan sebagai:

$$\tau_{avg} = \frac{\Delta F_y}{\Delta A}$$

Sumbu kerja dari masing-masing tegangan tersebut ditunjukkan oleh Gambar 2.15 (b) Gaya yang bekerja pada luasan bidang secara tegak lurus tersebut biasanya disebut dengan gaya geser yang disimbolkan dengan huruf V (Hibbeler, 2011).

### 2.6.3 Regangan

Regangan dinyatakan sebagai pertambahan panjang per satuan panjang. Regangan digunakan untuk mengetahui deformasi yang terjadi pada suatu benda (Hibbeler, 2011). Regangan diperoleh dari perubahan panjang ( $\delta$ ) dibagi dengan panjang awal ( $L_0$ ). Berikut adalah rumus mencari regangan.

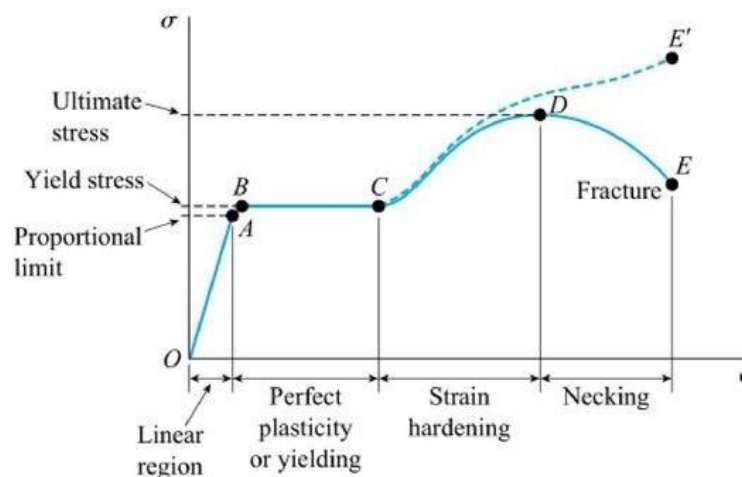
$$\epsilon = \frac{\delta}{L_0}$$

### 2.6.4 Hubungan Tegangan Regangan

Besarnya tegangan tergantung pada sifat materialnya (Hibbeler, 2011). Untuk mengetahui sifat masing-masing material biasanya dilakukan uji tarik terhadap spesimen material tersebut. Hasil uji tarik umumnya menggambarkan hubungan antara besarnya tegangan tarik yang digunakan dengan regangan yang terjadi pada spesimen akibat tegangan tarik tersebut. Hubungan tersebut digambarkan pada suatu diagram yang disebut diagram tegangan-regangan.

Pada Gambar 2.18 terlihat bahwa hubungan antara tegangan dan regangan adalah linear sampai *yield point*. *Yield point* tersebut adalah batas proporsionalitas atau batas elastisitas. Hubungan yang menggambarkan antara tegangan dan regangan sampai pada titik elastisitas disebut Hukum Hooke, yang secara matematis diformulasikan sebagai berikut:

$$\sigma = E \times \epsilon$$

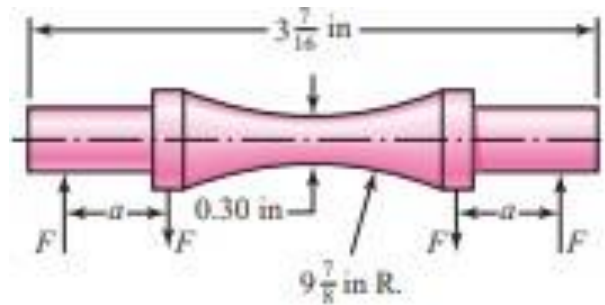


Gambar 2.16 Conventional and true stress-strain diagrams for ductile material (Hibbeler, 2011)

Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa besarnya tegangan proporsional terhadap regangan. Dengan ( $E$ ) sebagai konstanta proporsionalitasnya. ( $E$ ) merupakan besaran fungsi dari sifat material. Secara fisik modulus elastisitas ( $E$ ) adalah pengukur kekuatan atau *stiffness* dari material terhadap respon pada beban yang bekerja dan menunjukkan sifat-sifat tertentu dari material

### 2.7 Analisa Fatigue

Fatigue adalah bentuk kegagalan pada struktur akibat beban berulang yang berfluktuasi dibawah *yield strength* dan terjadi dalam waktu yang lama (Shigley's, 2011). Kegagalan fatigue berupa kerusakan terakumulasi pada yang disebabkan karena beban berulang. Pada ban *airless*,



kegagalan fatigue terjadi karena ban sepeda mengalami beban siklik berupa gaya tekan yang berulang ketika skuter sedang beroperasi.

### 2.7.1 Metode Stress Life

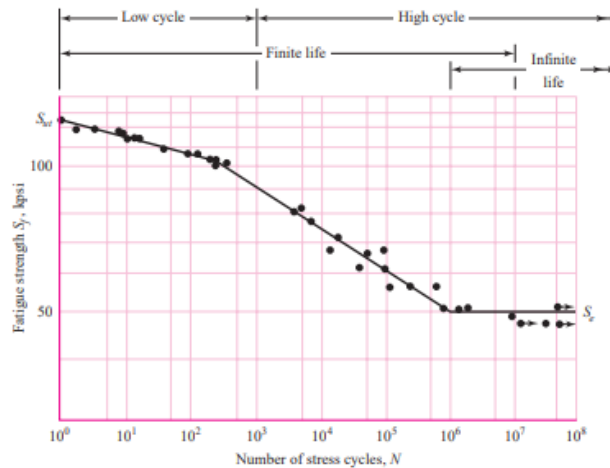
Spesimen uji mengalami stres berulang saat menghitung siklus kegagalan. Metode stress-life digunakan menghitung untuk memprediksikan umur total dari sebuah benda kerja atau struktur. Metode ini sering disebut sebagai metode S-N curve atau metode Nominal Stress (Shigley's, 2011). S-N curve terbentuk dari pengujian fatigue secara eksperimen yang pada umumnya menggunakan mesin R. R. Moore high-speed rotating-beam. Mesin ini menguji spesimen dengan memberikan beban bending secara murni (tidak ada tegangan geser terjadi) dengan cara memutar spesimen yang diberikan tegangan tertentu, dan mencatat putaran yang dilakukan mesin sampai spesimen patah.

Gambar 2.17 Test-specimen geometry for the R. R. Moore rotating-beam machine (Shigley's, 2011)

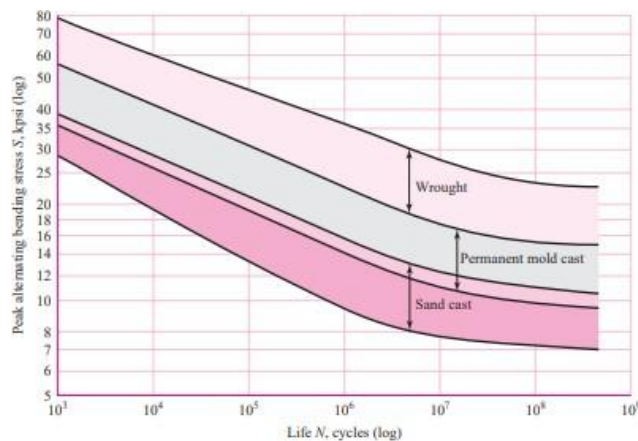
Pengujian ini mendapat 1 titik dengan 1 pemberian beban tertentu diputar sampai patah sehingga membutuhkan beberapa titik sampai S-N curve dapat diplotkan. Hal ini menjadi alasan bahwa pengujian fatigue secara eksperimen menjadi sangat mahal dan lama untuk mengetahui S-N curve suatu material. S-N curve diplot menggunakan skala absis log-log karena memiliki nilai yang

besar. Sumbu *vertikal* pada diagram gambar 2.17 berikut disebut sebagai *fatigue strength* ( $S_f$ ) dan pada sumbu *horizontal* disebut sebagai jumlah *cycle* ( $N$ ). Pada kurva terbentuk garis terhadap sepanjang jumlah *cycle* merupakan *endurance limit* ( $S_e$ ) atau *fatigue limit*. *Stress level* di bawah  $S_e$  diprediksi sebagai *infinite life*, diantara  $10^3$  dan  $10^6$  *cycle* diprediksi sebagai *finite life* dan dibawah  $10^3$  *cycle* dikenal sebagai *low cycle* dimana sering dianggap quasi-statis serta *yielding* biasanya terjadi sebelum *fatigue* di zona ini. Material non-ferrous (aluminum, copper, lead, nickel, tin, titanium, and zinc, dan Alloy) tidak memiliki *fatigue limit* dalam pengujian *fatigue*





Gambar 2.18 An S-N diagram plotted from the results of completely reversed axial *fatigue* tests. G41300 steel (Shigley's, 2011)



Gambar 2.19 S-N Diagram for Nonferrous Metals(Shigley's, 2011)

### 2.7.2 Fatigue Strength

Fatigue strength adalah tingkat tegangan di bawahnya dimana tidak akan ada fatigue failure bahkan jika ada sejumlah siklus tegangan yang sangat tinggi yang diterapkan pada suatu material atau bisa juga didefinisikan tingkat tegangan yang dapat ditahan suatu material tanpa gagal pada jumlah siklus yang besar, Pada gambar 2.17 terlihat bahwa  $N = 1$  sampai  $N = 103$  merupakan daerah low cycle fatigue dan  $N = 103$  sampai  $N = 10^7$  (untuk material steel) merupakan daerah high cycle fatigue(Shigley's, 2011). Sub bab ini bertujuan untuk mengembangkan metode pendekatan dari S-N diagram untuk daerah high cycle, ketika informasi mungkin sederhana hasil uji simple tension. Dengan mendefinisikan fatigue strength spesimen pada jumlah siklus tertentu menjadi  $(S'f) N = E \Delta s_e$  maka dengan  $Sf = \sigma_{rev}$ ,  $\sigma_{rev}$  adalah tegangan bolak – balik sempurna (completely reversed stress) maka jumlah siklus mencapai kegagalan dapat dirumuskan sebagai,

$$N = \left( \frac{\sigma_{rev}}{a} \right)^{\frac{1}{b}}$$

Persamaan di atas hanya berlaku untuk tegangan bolak – balik sempurna (*completely reversed stress*).

### 2.7.3 Metode Fatigue Life

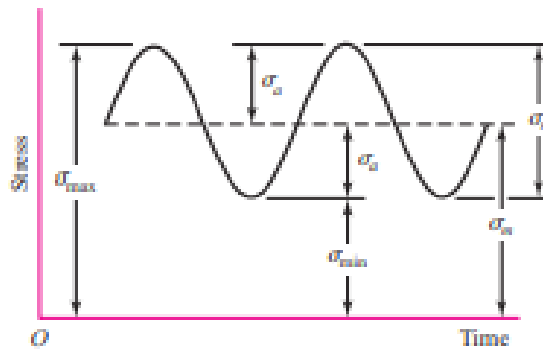
Fatigue life dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu loading conditions, structural member, material dan environmental conditions (Shigley's, 2011). Dalam menganalisis Fatigue life terdapat tiga metode yang biasa digunakan yaitu metode stress-life, metode strain-life, dan metode linear-elastic fracture mechanics. Metode-metode tersebut digunakan untuk memprediksi umur dalam satu cycle ( $N$ ). Untuk umur  $1 \leq N \leq 10^3$  dapat diklasifikasikan sebagai low-cycle fatigue, dan untuk umur  $N > 10^3$  dapat diklasifikasikan sebagai high-cycle fatigue. Metode stress-life merupakan metode yang paling tradisional dan mudah untuk diimplementasikan terhadap berbagai desain aplikasi.

### 2.7.4 Beban Siklik

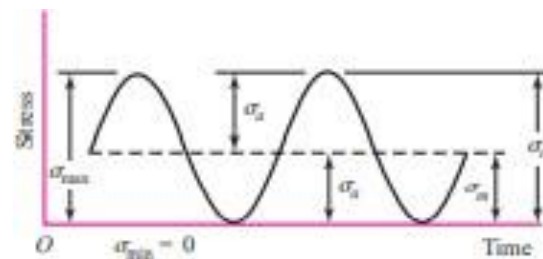
S-N curve diperoleh dari beban berulang dalam jumlah cycle tertentu (Shigley's, 2011). Beban berulang adalah level tegangan yang bergantian antara tarikan dan kompresi memiliki nilai tegangan tertentu membentuk pola sinusoidal. Level tegangan ini yang berpengaruh terhadap kegagalan fatigue suatu material.

terdapat beberapa komponen tegangan yaitu sebagai berikut,

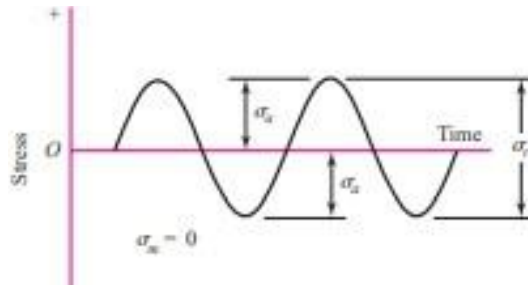
- a)  $\sigma_{min}$  = tegangan minimum
- b)  $\sigma_{maks}$  = tegangan maksimum
- c)  $\sigma$  = mean stress =  $\frac{\sigma_{min} + \sigma_{maks}}{2}$
- d)  $\sigma_f$  = rentang tegangan =  $\frac{\sigma_{maks} - \sigma_{min}}{2}$
- e)  $\sigma$  = tegangan amplitude =  $\frac{\sigma_{maks} - \sigma_{min}}{2}$
- f)  $R$  = rasio tegangan =  $\frac{\sigma_{min}}{\sigma_{maks}}$
- g)  $A$  = rasio amplitude =  $\frac{\sigma_a}{\sigma_m}$



Gambar 2.20 Diagram hubungan stress-time sinusoidal fluctuating stress (Shigley's, 2011)



Gambar 2.21 Diagram hubungan stress-time repeated stress (Shigley's, 2011)

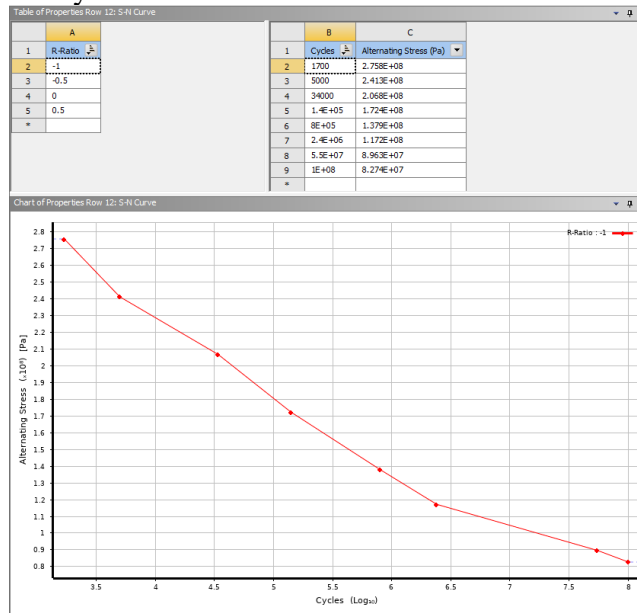


Gambar 2.22 Diagram hubungan *completely reversed*(Shigley's, 2011)

Sehingga hubungan rasio tegangan (R) dengan rasio amplitudo (A) dapat ditulis sebagai:

- a) Jika  $R = -1$ , maka  $A = \infty$  (kondisi *fully reversed*)
- b) Jika  $R = 0$ , maka  $A = 1$  (kondisi *zero to maksimum*)
- c) Jika  $R = \infty$ , maka  $A = -1$  (kondisi *zero to minimum*).

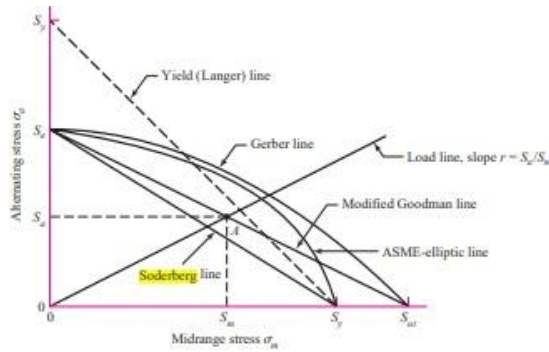
Pada pengujian ini sifat kelelahan bahan digambarkan menggunakan batas kelelahan atau kurva S-N (kurva kelelahan, kurva Wöhler). Kurva S-N menggambarkan hubungan antara amplitudo tegangan siklik dan jumlah siklus ke kegagalan. Berikut adalah Data dan Kurva S-N untuk material aluminum alloy



Gambar 2.23 S-N Curve Aluminum alloy(Shigley's, 2011)

### 2.7.5 Kriteria Kegagalan Fatigue

Besar *alternating amplitude* dan *mean stress* yang bekerja menentukan aman tidaknya material terhadap kegagalan *fatigue*. Dengan melihat diagram tegangan *mean/fluctuating* sebagaiberikut



Gambar 2.24 *Fatigue diagram showing various criteria of failure*(Shigley's, 2011)

Kegagalan *fatigue* terjadi jika *alternating amplitude* bernilai lebih dari tegangan *endurance limit* suatu material dan tegangan maksimal melebihi dari tegangan luluh. Beberapa kriteria kegagalan *fatigue* yang digunakan yaitu sebagai berikut,

a. *Soderberg*

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_e} + \frac{\sigma_m}{\sigma_y} = 1$$

b. *Goodman*

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_e} + \frac{\sigma_m}{\sigma_{UTS}} = 1$$

c. *ASME-Elliptic*

$$\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_e}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_{proof}}\right)^2 = 1$$

d. *Gerber*

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_e} + \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_{UTS}}\right)^2 = 1$$

Dimana;

- $\sigma_a$  = *Alternating Amplitude*
- $\sigma_m$  = *Mean Stress*
- $\sigma_e$  = *Endurance limit*
- $\sigma_y$  = *Tegangan Luluh*
- $\sigma_{UTS}$  = *Tegangan Tarik Maksimal*
- $\sigma_{proof}$  = *Proof Strength.*

## 2.8 Finite Element Method

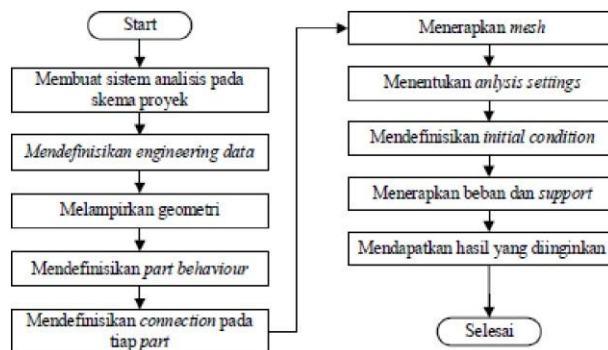
Metode elemen hingga atau *Finite Element Method* adalah sebuah teknik komputasional yang digunakan untuk mendapatkan solusi pendekatan dari permasalahan dengan nilai-nilai batas pada bidang *engineering*. Permasalahannya nilai batas secara sederhana didefinisikan sebagai sebuah permasalahan matematis di mana melibatkan satu atau lebih

variabel tidak bebas dan memenuhi sebuah persamaan diferensial di dalam sebuah domain variabel bebas yang diketahui dan memenuhi juga kondisi spesifik pada batasan domain tersebut. *Finite element method* (FEM) pada awalnya hanya dikembangkan untuk memecahkan masalah yang kompleks dalam mekanika struktural, tetapi saat ini digunakan untuk berbagai masalah yang berbeda seperti perpindahan panas, aliran fluida, medan listrik, dan lainnya.

Dalam metode elemen hingga, permasalahan nilai batas sering direpresentasikan ke dalam sebuah struktur fisis. Contohnya, terdapat sebuah volume material yang memiliki sifat-sifat fisis tertentu. Volume tersebut merepresentasikan domain dari sebuah permasalahan nilai batas yang akan diselesaikan. Sederhananya, asumsikan sebuah kasus dua dimensi dengan sebuah variabel nilai batas  $\phi(x,y)$  yang akan ditentukan pada setiap titik  $P(x,y)$ , seperti sebuah persamaan-persamaan fisis yang diketahui terpenuhi secara eksak pada tiap-tiap titik. Sehingga kita akan dapatkan solusi matematis pada tiap titik tersebut, yang mana solusi tersebut adalah sebuah persamaan aljabar dari variabel-variabel tetap. Akan tetapi pada kenyataannya, domain tersebut secara geometri mungkin sangat kompleks sekali. Sehingga nilai ketepatan solusi aljabar bentuk tertutup akan sangat rendah. Oleh karena itu, solusi pendekatan berdasarkan teknik numerik dan komputasi digital sering kali dibutuhkan dalam analisis *engineering* pada permasalahan-permasalahan yang kompleks. Dan analisis elemen hingga atau metode elemen hingga adalah teknik yang sangat tepat untuk mendapatkan solusi aproksimasi dengan akurasi yang baik (Hutton, 2004)

Pengertian lain dari metode elemen hingga adalah memotong sebuah struktur menjadi elemen-elemen kecil kemudian mendeskripsikan sifat-sifat dari tiap elemen. Tiap elemen kemudian dihubungkan dengan menggunakan *node*. Proses ini akan menghasilkan persamaan aljabar yang serentak pada tiap *nodes*. Karena banyaknya persamaan aljabar pada satu struktur maka penggunaan alat bantu seperti komputer sangat direkomendasikan (Hutton, 2004).

Penggunaan *software* sebagai alat bantu dalam menganalisis metode elemen hingga merupakan hal yang lumrah digunakan. Salah satu *software* yang biasa digunakan untuk melakukan analisis elemen hingga adalah ANSYS *Workbench*. ANSYS *Workbench* merupakan *software* yang menggunakan sistem analisis tertentu dalam melakukan analisis. Penggunaan tiap sistem analisis dapat dilaksanakan secara terpisah dalam satu *project*, namun mampu dilakukan secara terintegrasi antara satu sistem analisis dengan sistem analisis lainnya. Secara umum, tahapan-tahapan dalam menggunakan tiap sistem analisis pada ANSYS *Workbench* dapat digambarkan pada diagram alir pada Gambar 2.19 (Madenci & Guven, 2015). Berikut merupakan tahapan analisis yang akan digunakan dalam penelitian ini.

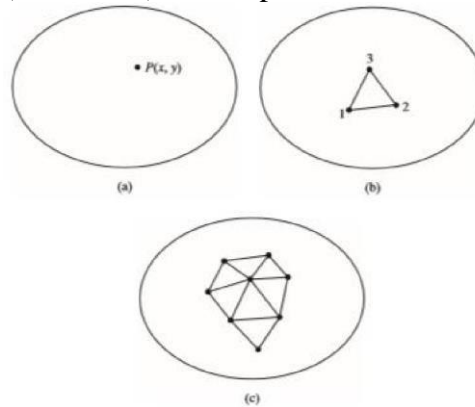


Gambar 2.25 Diagram alir analisis menggunakan ANSYS Workbench (Madenci & Guven, 2015)

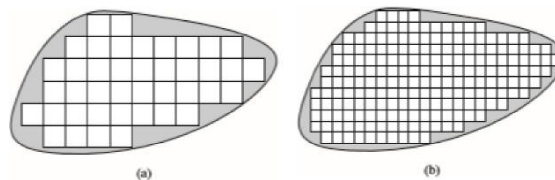
### 2.8.1 Meshing

Proses merepresentasikan sebuah domain fisis dengan elemen-elemen hingga dikenal dengan istilah *meshing*. Metode elemen hingga membagi (diskrit) struktur menjadi kecil tetapi terbatas, yang didefinisikan dengan baik, substruktur elastik (elemen). Hasil dari rangkaian elemen-elemen tersebut dikenal dengan istilah *mesh* elemen hingga.

Pada umumnya, elemen-elemen yang digunakan dalam *meshing* adalah bentuk garis lurus, sehingga sangat tidak mungkin untuk memenuhi seluruh domain fisis di dalam *mesh* elemen jika domain memiliki batasan-batasan yang melengkung seperti pada gambar 2.20 (a) yang menunjukkan sebuah domain dengan batas berbentuk melengkung dilakukan *meshing* menggunakan elemen-elemen kotak. *Meshing* yang lebih halus untuk domain yang sama ditunjukkan oleh gambar 2.20 (b) dengan elemen yang bentuknya sama namun lebih kecil dan lebih banyak. Semakin halus proses *meshing* atau semakin banyak jumlah bentuk elemen, akurasi pendekatan semakin baik. Apabila hasil fungsi interpolasi sudah memenuhi permintaan matematis yang pasti, sebuah solusi elemen hingga terhadap kasus tersebut sudah dikatakan konvergen (mendekati) terhadap solusi eksak kasus tersebut.



Gambar 2.26 (a) domain dua dimensi umum pada permasalahan nilai batas  $\phi(x,y)$ ; (b) tiga titik elemen hingga yang didefinisikan di dalam domain; (c) elemen-elemen tambahan yang menunjukkan sebuah bagian dari *mesh* elemen hingga pada domain (Hutton, 2004)



Gambar 2.27 (a) *meshing* domain batas melengkung yang dimodelkan dengan elemen – elemen kotak yang berjumlah 41 elemen; (b) fine *meshing* domain batasmelengkung yang dimodelkan dengan elemen-elemen kotak yang yang berjumlah 192 elemen. (Hutton, 2004)

Setelah hal tersebut dilakukan, hal ini menjadi masalah sederhana untuk menggunakan perpindahan dalam menentukan regangan dan tegangan di dalam persamaan konstitutif melalui elastisitas. Nilai *input* penting dalam analisa model elemen hingga, yang akan menentukan akurasi model, yang meliputi sifat material dari bagian yang berbeda dalam struktur, kondisi batas, beban eksternal pada struktur, seberapa akurat *mesh*, dan apa jenis elemen yang digunakan. Terdapat banyak cara untuk mendefinisikan elemen tergantung pada geometri dan pembebanan struktur, mulai dari unsur garis sederhana satu dimensi hingga unsur solid tiga dimensi. Jenis elemen yang cocok untuk masalah tiga dimensi adalah unsur padat tiga dimensi. Jenis elemen padat tersebut antara lain *wedge*, *brick*, dan elemen tetrahedron. Elemen tetrahedron memiliki kemampuan beradaptasi geometris yang baik dan cocok untuk *mesh* otomatis, sementara elemen *wedge* dan *brick* lebih sesuai digunakan pada

mesh manual. (Daryl L. Logan, 2012)

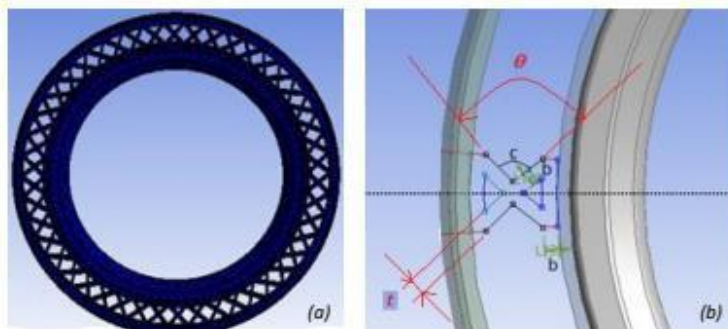
### 2.8.2 Analisis Static Structural

Analisis Static Structural adalah analisis untuk mengetahui perilaku dan batas kemampuan suatu struktur dengan material linear maupun non-linear ketika diberikan pembebanan. Dengan analisis ini, didapatkan perpindahan, tegangan, regangan, dan gaya pada struktur. Analisis ini sangat bergantung pada inersia dan damping effect. Agar analisis kita sesuai dengan structural validation yang diinginkan, kita harus mampu menentukan tumpuan, kontak dan juga gaya pada model yang akan kita analisis. Tumpuan dibuat dengan cara membatasi atau membebaskan degrees of freedom yang tersedia pada model yang berupa constraint. Selanjutnya adalah menentukan jenis kontak pada setiap surface yang bersentuhan. Kontak dapat berupa bonded dan sliding. Bonded dapat digunakan untuk kontak-kontak yang telah menjadi satu kesatuan. Sedangkan sliding dapat digunakan untuk permukaan yang bersentuhan dan dapat bergerak secara bergesekan. Gaya-gaya yang bekerja pada benda tersebut harus ditentukan. Besaran dan jenis gaya yang dapat ditentukan seperti point force, surface force, pressure, moment, line pressure, dan lain-lain (Madenci & Guven, 2015).

### 2.9 Penelitian Terdahulu

Dalam melakukan penelitian, penulis mengambil beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang masih berkaitan dengan penelitian penulis sendiri dan bisa dijadikan referensi yaitu penelitian dari Agus Sigit Pramono *et al.* pada tahun 2019, Athanasius P. Bayuseno *et al.* pada tahun 2016, dan juga R.R.V. Neves *et al.* pada tahun 2009.

Penelitian pertama yaitu dari Agus Sigit *et al.* dengan judul penelitian “*Optimization in Airless Tires Design Using Backpropagation Neural Network (BPNN) and Genetic Algorithm (GA) Approaches*”. Pada penelitian ini, Agus Sigit membuat desain ban *airless* dengan spoke berbentuk belah ketupat dengan memvariasikan 3 parameter yaitu ketebalan *spokes*, *rhombic angle*, dan tipe material *polyurethane* yang digunakan pada ban *airless*. Variasi yang diberikan pada parameter tersebut yaitu ketebalan *spokes* dengan variasi 2 mm, 3mm, dan 4 mm. Lalu, *rhombic angle* divariasikan dari 135°, 120°, dan 100°, dan terakhir yaitu material yang digunakan yaitu *polyurethane* dengan variasi material *Polyurethane L42*, *Polyurethane L100*, dan *Polyurethane L135*, sehingga terdapat 27 variasi desain. Desain awal ban *airless* yang ditentukan memiliki dimensi lebar sebesar 135 mm dan diameter luar sebesar 798,6 mm, serta tekanan yang diberikan sebesar 30 psi.



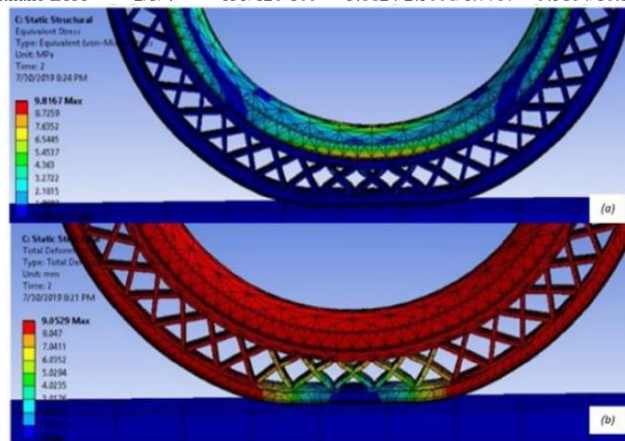
Gambar 2.28 (a) desain ban *airless* yang diajukan; (b) dimensi dari spoke (ketebalan  $t$  dan sudut spoke  $\theta$ ) (Pramono & Effendi, 2019)

Desain yang telah dibuat kemudian dianalisis dengan pemberian beban statis menggunakan *Finite Element Method* untuk mendapatkan respons berupa defleksi ban dan juga tegangan total. Nilai respons tersebut kemudian digunakan sebagai data masukkan ke dalam *Back Propagation Neural Network (BPNN)* untuk mendapatkan desain yang optimal. Dari BPNN ini akan didapatkan tiga desain ban yang paling optimal pada tiap material yang

digunakan. Kemudian ketiga parameter ini dimasukkan ke dalam metode *Generic Algorithm* sebagai fungsi kecocokan untuk mendapatkan desain yang paling optimum. Desain optimal dari ban *airless* sendiri ditentukan oleh dua parameter, yaitu nilai maksimum defleksi dan juga tegangan total yang terjadi pada ban.

Tabel 2.7 Respons dari Tiap Variasi Ban *Airless* (Pramono & Effendi, 2019)

Parameter Inputs			Responses	
Material	Thickness (mm)	Rhombic angle (degree)	Deflection (mm)	Total stress (MPa)
Polyurethane L42	2/3/4	135/120/100	10.937/7.4294/7.1893	12.907/13.169/13.005
Polyurethane L42	2/3/4	135/120/100	17.451/11.991/8.352	11.134/11.489/12.1
Polyurethane L42	2/3/4	135/120/100	26.812/19.14/13.862	9.2048/9.6597/10.489
Polyurathane L100	2/3/4	135/120/100	4.91/3.2635/3.1831	13.14/13.33/13.104
Polyurathane L100	2/3/4	135/120/100	7.8465/5.2338/3.6743	11.329/11.64/12.211
Polyurathane L100	2/3/4	135/120/100	12.107/8.5191/6.1208	9.3065/9.7897/10.631
Polyurathane L135	2/3/4	135/120/100	1.449/0.9768/0.9922	13.287/13.469/13.215
Polyurathane L135	2/3/4	135/120/100	2.4129/1.6015/1.0745	11.678/12.106/12.386
Polyurathane L135	2/3/4	135/120/100	3.6824/2.5008/1.7767	9.5104/10.152/10.957

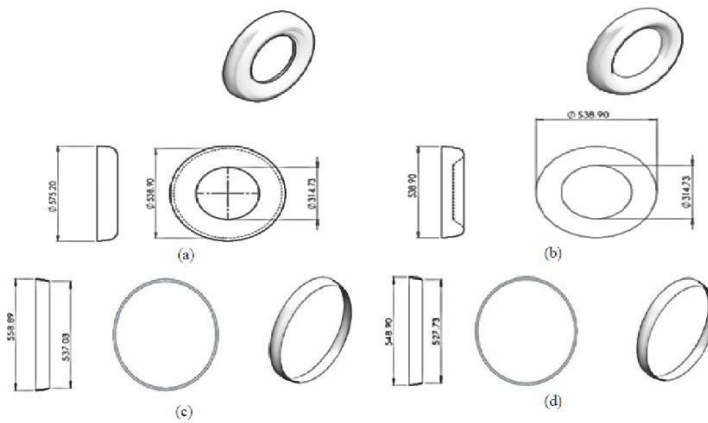


Gambar 2.29 Hasil simulasi (a) Defleksi; (b) Tegangan Total (Pramono & Effendi, 2019)

Setelah data – data tersebut di-*input* ke dalam *Back Propagation Neural Network* dan juga *Generic Algorithm*, didapatkan *output* desain yang paling optimal dari segi defleksi dan juga tegangan totalnya yaitu ban dengan *rhombic angle* 107.778°, material Polyurethane L100 dan ketebalan spoke 4mm. Desain tersebut menghasilkan *output* defleksi sebesar 5.824 mm dengan tegangan total 9.287 MPa.

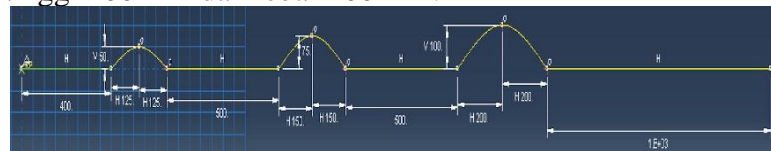
Penelitian kedua yaitu dari Athanasius P. Bayuseno et al. pada tahun 2016 dengan judul “*Stress Investigation on the Rolling Tires across the Speed Bump Using Finite Element Method*”. Interaksi antara permukaan jalan dengan ban sangat berpengaruh terhadap kestabilan kendaraan, untuk itu peneliti melakukan studi yang menyimulasikan pergerakan dari ban yang pada kasus ini berjalan melewati polisi tidur. Paper ini menampilkan metode numerikal dengan metode elemen hingga untuk memprediksi distribusi tegangan yang timbul akibat tekanan kontak yang terjadi ketika ban melewati polisi tidur. Ban dimodelkan dengan material karet dengan asumsi beban yang diberikan pada ban sebesar 2kN, 6 kN, dan juga 10 kN dengan tekanan ban sebesar 17 Psi, 30 Psi, dan 40 Psi.





Gambar 2.30 Desain dari ban yang digunakan (a) *tire dimension*; (b) *carcass dimension*; (c) *the belt 1 dimension*; (d) *the belt 2 dimensions* (Hidayat et al., 2016)

Penelitian dimodelkan dengan menggunakan *software Solidworks* untuk membuat desain ban yang kemudian diubah ke dalam *software ABAQUS* untuk dianalisis dengan memberikan tekanan dan beban pada ban. Polisi tidur pada simulasi ini dibuat dengan menggunakan *software ABQUS* dengan tiga variasi dimensi. Variasi pertama yaitu ketinggian 50 mm dengan lebar 250 mm, kedua yaitu tinggi 75 mm dengan lebar 300 mm, dan ketiga yaitu tinggi 100 mm dan lebar 400 mm.

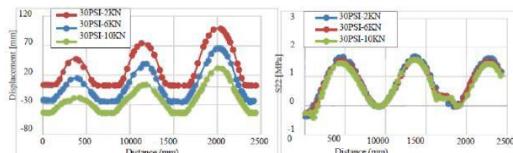


Gambar 2.31 Dimensi Polisi Tidur



Gambar 2.32 *Assembly* komponen ban dengan model polisi tidur (Hidayat et al., 2016)

Selanjutnya, ban diberi tekanan sebesar 17 Psi, 30 Psi, dan 40 Psi, dan juga diberi beban tekan ke jalan sebesar 2 kN, 6 kN, dan juga 10 kN. Bankemudian diberi kecepatan berjalan sebesar 8 km/h. Hasil yang didapatkan yaitu hubungan antara jarak yang ditempuh ban dengan *displacement* yang dialami ban, dan juga hubungannya dengan tegangan yang terjadi pada ban.



Gambar 2.33 Hasil simulasi pada ban bertekanan 30 Psi dengan beban 2 kN, 6kN, dan 10 kN (Hidayat et al., 2016)

Peneliti menyimpulkan bahwa *displacement* yang paling tinggi terjadi yaitu pada tekanan ban 40 Psi dengan beban 2 kN yang melewati polisi tidur berdimensi tinggi 100 mm dan lebar 400 mm dengan *displacement* 111,266 mm dan jarak 1976,63 mm. Sedangkan *displacement* terendah didapatkan ketika tekanan ban sebesar 17 Psi dengan beban 10 kN yaitu sebesar -68,991 mm. Tegangan paling tinggi terjadi pada ban bertekanan 40 Psi dengan beban 2 kN yang berjarak 2378,14 mm dengan besar tegangan 2,50484 MPa dan tegangan

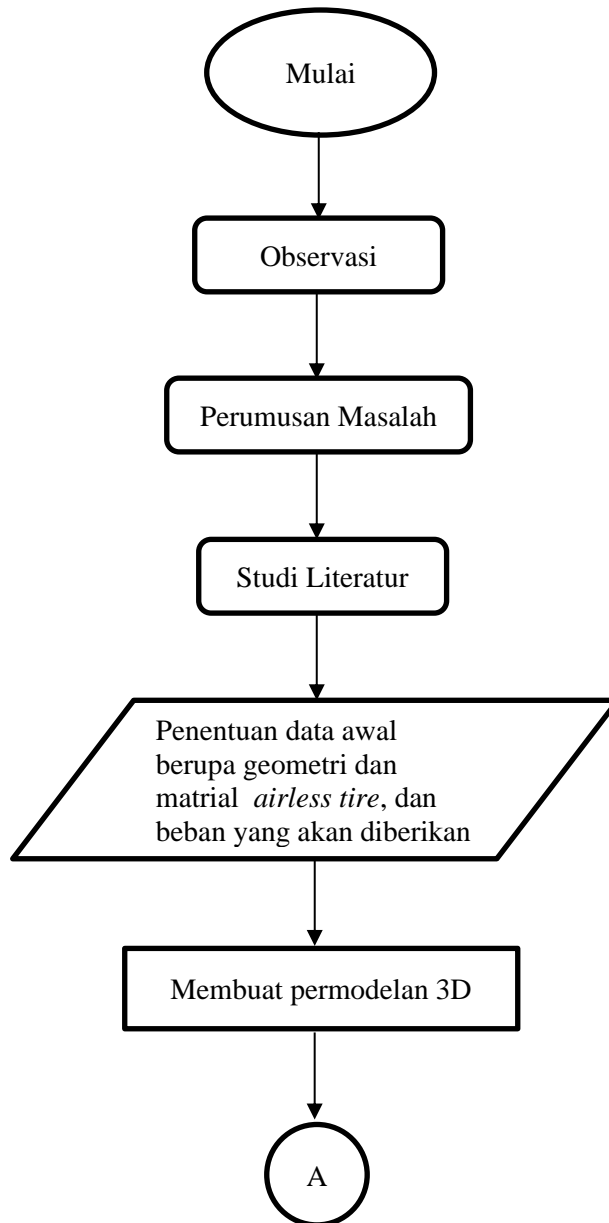
terendah yaitu pada tekanan 40 Psi dan beban 2 kN dengan jarak tempuh 8,64111 mm. Sehingga disimpulkan bahwa dalam menjalankan ban dengan variasi polisi tidur, sebaiknya digunakan tekanan udara 30 Psi karena menghasilkan tegangan dan *displacement* yang tidak terlalu tinggi.

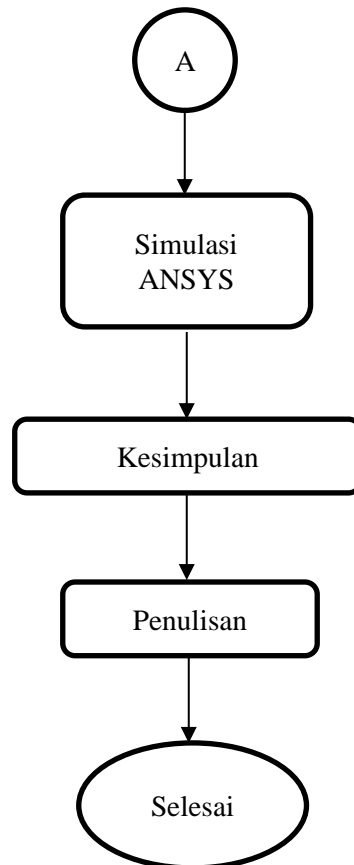
### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini, dijelaskan tahapan - tahapan pelaksanaan yang akan dilaksanakan oleh penulis guna menyelesaikan penelitian mengenai analisis statik pada ban *airless*. Tahapan tahapan dari penelitian ini dilaksanakan secara daring (*online*).

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.1 menunjukkan diagram alir yang menjelaskan tahapan penelitian yang dilakukan oleh penulis. Detail dari masing-masing tahapan dijabarkan sebagai berikut:





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.1.1 Observasi

Observasi merupakan langkah pertama yang dilakukan oleh penulis. Tujuan dari proses ini adalah untuk menentukan ruang lingkup permasalahan yang akan diteliti. Pada tahap ini observasi difokuskan pada inovasi ban kendaraan skuter listrik yaitu *airless tire*.

### 3.1.2 Perumusan Masalah

Setelah melakukan observasi, langkah berikutnya yaitu merumuskan permasalahan. Dalam penelitian saat ini, permasalahan yang akan dipilih oleh peneliti untuk diteliti adalah analisis statis pada ban *airless tire* di skuter listrik dengan variasi material dan tebal spoke terhadap pembebanan statis menggunakan metode elemen hingga. Permasalahan tersebut diambil sebagai inovasi model ban skuter. Melalui penelitian ini diharapkan desain yang telah dibuat dapat dikembangkan sehingga ban *airless* dapat diproduksi secara massal dengan performa yang mampu menyaingi ban yang umum digunakan.

### 3.1.3 Studi Literatur

Dilakukan studi literatur untuk mendapatkan informasi secara lebih detail serta menunjang penelitian yang akan dilakukan. Informasi berupa dasar teori *airless tire*, defleksi pada ban, pencarian properties material maupun penelitian terdahulu yang dirangkum penulis berasal dari berbagai sumber yang didapatkan dari buku, tugas akhir dan jurnal internasional.

### 3.1.4 Penentuan Data Awal

Setelah dilakukan studi literatur, penulis perlu menentukan dan mengumpulkan data dari objek yang akan diteliti. Data yang didapatkan yaitu berupa dimensi dari ban *airless*. Data-data dibawah ini diperoleh melalui studi literatur.

Tabel 3.1 Dimensi Komponen

Komponen	Parameter	Nilai (mm)
Pipa	Diameter	26,67
	Tebal	3,17
	Lebar	30,57
Pelek	Diameter	166
	Tebal	49

Tabel 3.2 *Properties* Material

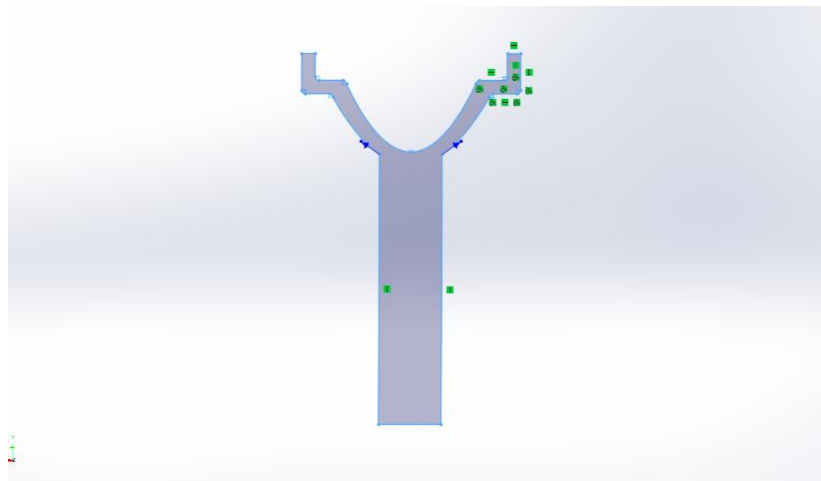
Komponen	Material	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Young Modulus (MPa)	Poisson Ratio	Allowable Stress (MPa)
Pipa	PVC	1450	3275	0,38	52
	HDPE	980	1000	0,46	22
Pelek	Aluminium Alloy	2770	71000	0,33	280
Epoxy Resin	Resin	2250	215000	0,42	97
	Hardener	940			

### 3.1.5 Desain 3D

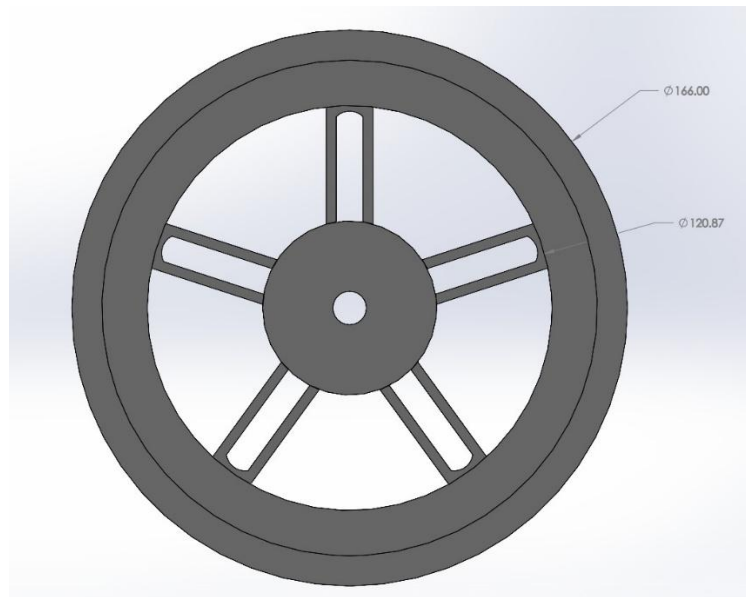
Permodelan model 3D airless tire sebelumnya dilakukan menggunakan software SolidWorks. Berikut data dari model airless tire yang digunakan

#### A. Pelek

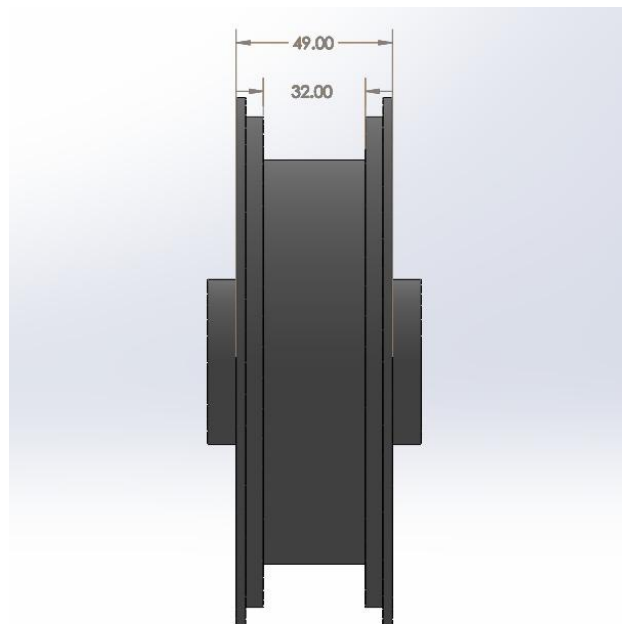
Pemodelan pelek dibuat dengan ukuran sesuai dengan ukuran pelek skuter sebenarnya yaitu diameter luar 166 mm diameter dalam 120 mm dan lebar pelek 49 mm.



Gambar 3.2 Penampang Pelek



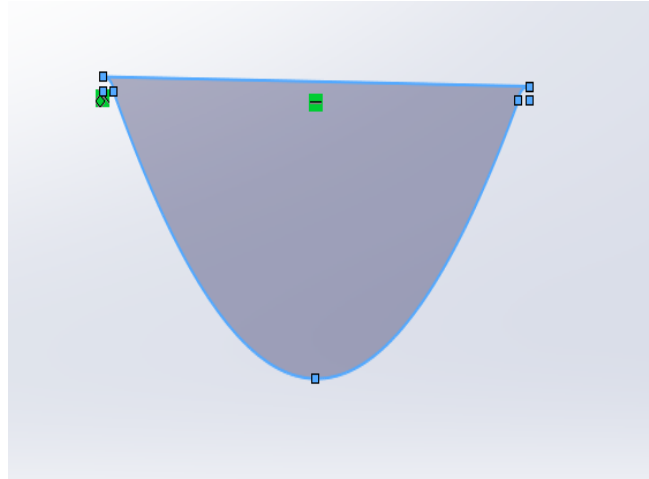
Gambar 3.3 Tampak Samping Pelek



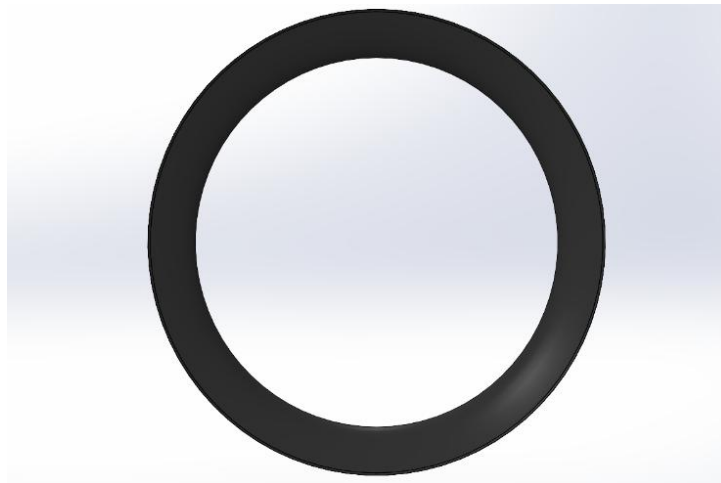
Gambar 3.4 Tampak Depan Pelek

#### B. Karet Mati

Pemodelan karet mati ini bertujuan untuk meratakan permukaan dimana akan ditempel spoke. Pemodelan karet mati ini disesuaikan dengan ukuran celah pada pelek selebar 30,57 mm.



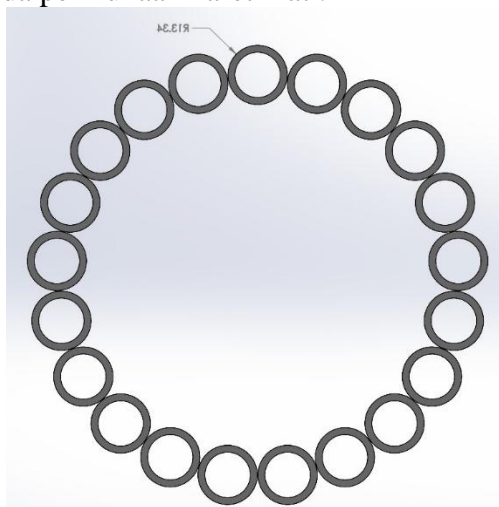
Gambar 3.5 Penampang Karet Mati



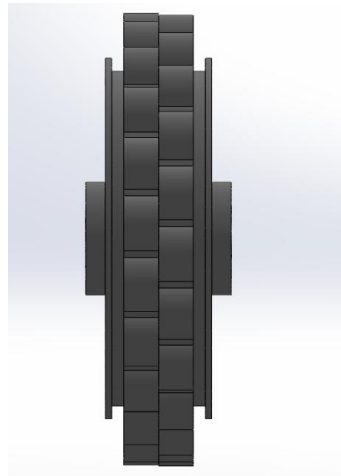
Gambar 3.6 Tampak Samping Karet Mati

### C. Spoke

Pemodelan spoke dilakukan dengan meletakkan 21 buah pipa berukuran  $\frac{3}{4}$  inch sebanyak 2 baris pada permukaan karet mati.



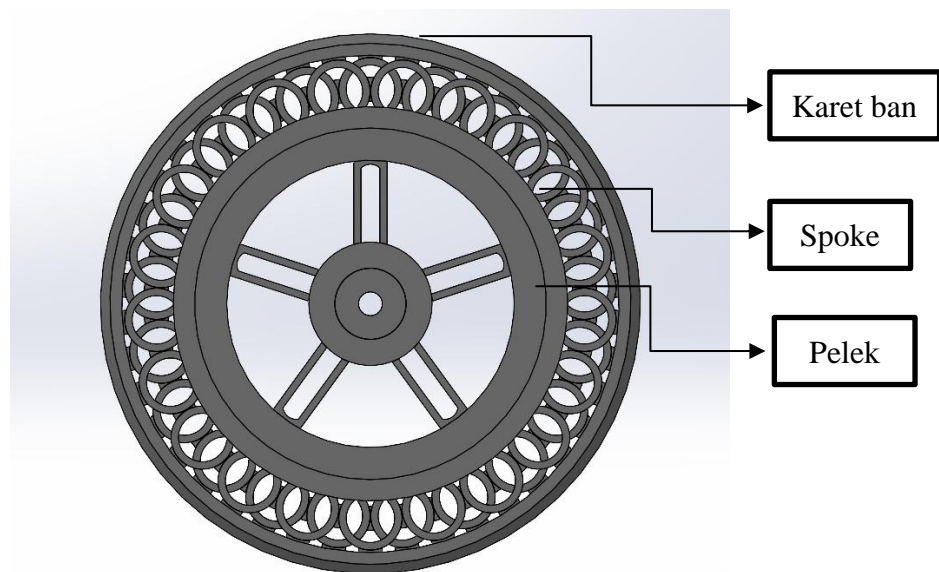
Gambar 3.7 Tampak Samping Spoke



Gambar 3.8 Tampak Depan Spoke

#### D. *Assembly Model 3D*

Desain bagian – bagian yang sudah dibuat tersebut lalu disatukan ke dalam satu model *assembly* dan diekspor ke dalam format *.step* untuk kemudian digunakan sebagai model yang akan disimulasikan.



Gambar 3.9 Assembly karet ban, spoke, pelek

#### 3.1.6 Simulasi

Simulasi analisis elemen hingga dilakukan menggunakan *software Ansys Workbench*. Simulasi akan dijelaskan pada sub bab 3.3

#### 3.1.7 Analisa Hasil Data dan Kesimpulan

Setelah melakukan desain dan simulasi akan didapatkan data berupa nilai tegangan, deformasi dan *fatigue* yang terdapat pada ban *airless tire*. Analisis akan dilakukan pada hasil data tersebut serta akan didapatkan beberapa kesimpulan dari penelitian ini.

#### 3.1.8 Penulisan Laporan

Tahap terakhir dari penelitian ini adalah penulisan laporan. Penulisan laporan ini dilakukan berdasarkan sistematis laporan yang ada.

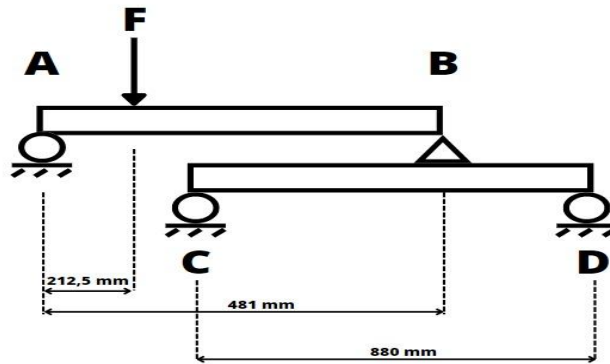


### 3.2 Permodelan Simulasi

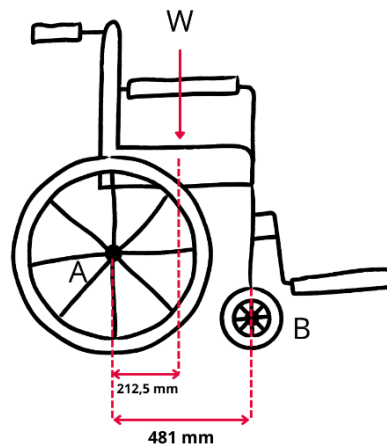
Setelah data dan parameter telah ditentukan, maka langkah selanjutnya adalah memodelkan bentuk fisik dari ban dengan menggunakan perangkat lunak *Computer Aided Design* (CAD) yaitu *SolidWorks* yang digunakan dalam penelitian ini. Beberapa komponen dibuat untuk disimulasikan dengan ANSYS nantinya, di mana komponen yang dibuat adalah ban *airless tire* dan pelek. Dimensi sesuai dengan data yang telah ditentukan.

#### 3.2.1 Perhitungan Pembebanan

Untuk melakukan analisis pada ban *airless*, diperlukan identifikasi beban yang diterima oleh ban *airless* yaitu berupa beban dari kursi roda, frame skuter dan penumpang sebesar 116kg yang bertumpu pada sambungan di *deck* skuter. Beban yang diterima roda bagian depan didapatkan dari pendistribusian beban total dan *center of mass*. Untuk menentukan pendistribusian beban yang terdapat pada ban depan dan belakang digunakan *center of mass* yang ideal (Carahalios, 2015).



Gambar 3.10 *Free body diagram* Pembebanan



Gambar 3.11 *Free body diagram* kursi roda

Perhitungan beban yang terjadi pada sambungan kursi roda

$$\begin{aligned} \sum Fy &= Fy_A - W + Fy_B \\ &= Fy_A - 1054,7 N + Fy_B \\ 1054,7 N &= Fy_A + Fy_B \dots \dots \dots (1) \\ \sum M_A &= 0 \\ \sum M_A &= (W \times 212,5 \text{ mm}) - (Ry_B \times 481 \text{ mm}) \\ 481 Ry_B &= 224123,75 \\ Ry_B &= 465,9 N \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan gaya reaksi pada sambungan kursi roda sebesar 465,9 N



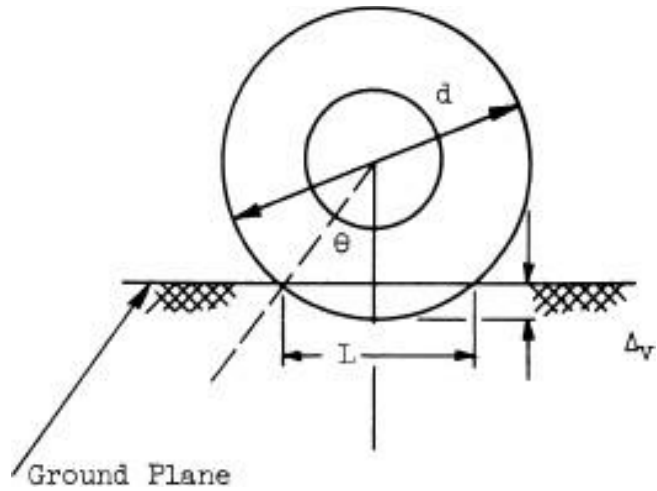
Gambar 3.12 *Free body diagram* pada skuter

Dimana roda belakang didefinisikan sebagai C dan roda depan didefinisikan sebagai D.

$$\begin{aligned} \sum M_D &= 0 \\ \sum M_D &= (465,9 N \times 278 \text{ mm}) - (Fy_C \times 880 \text{ mm}) + (w \times 440) \\ 880 Fy_C &= 135020 \\ Fy_C &= 153,4 N \end{aligned}$$

### 3.2.2 Perhitungan Defleksi

Untuk melakukan analisa kenyamanan, perlu dilakukan penelitian mengenai defleksi pada ban yang terjadi. Pada penelitian ini, hasil simulasi dari defleksi yang terjadi pada ban bagian belakang yaitu defleksi vertikal akan dibandingkan dengan perhitungan defleksi yang akan dijabarkan berikut ini.



Gambar 3.13 Defleksi *vertical* pada ban

$$P \cong \pi p_o \nabla v \sqrt{d w}$$

Dimana,

- P = beban vertikal = 153,4 N
- $p_o$  = tekanan inflasi = 30 psi = 0.21 N/mm<sup>2</sup>
- $\nabla v$  = defleksi vertikal (mm)
- d = diameter luar ban = 227 mm
- w = lebar ban = 32 mm

$$P \cong \pi p_o \nabla v \sqrt{d w}$$

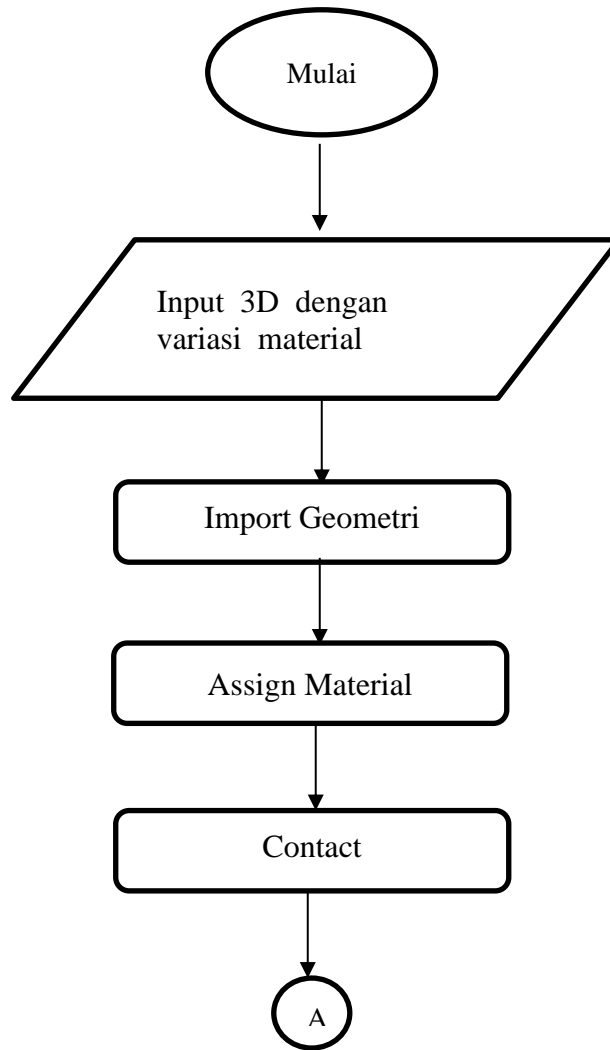
$$153,4 \cong \pi 0.21 \nabla v \sqrt{227 * 32}$$

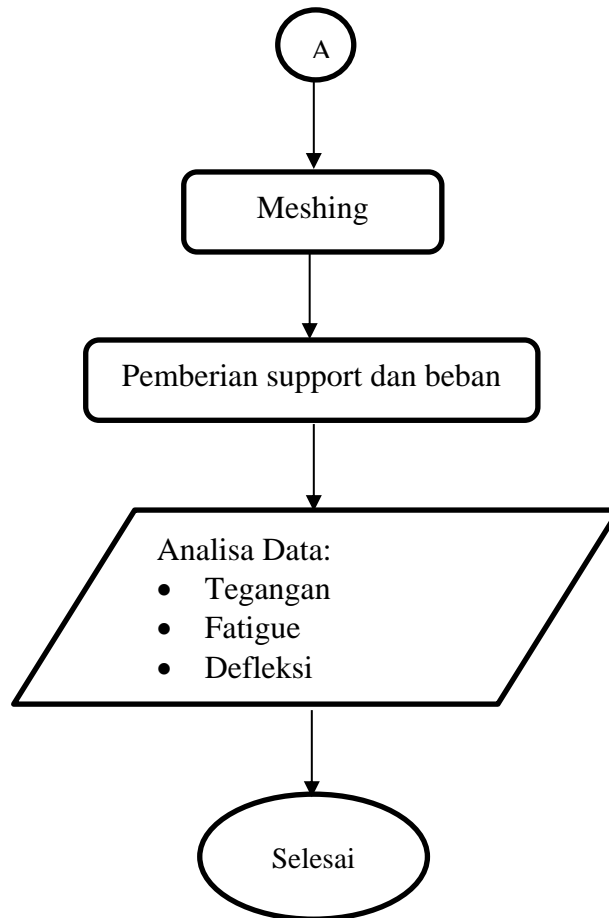
$$\nabla v \cong \frac{153,4}{\pi 0.21 \sqrt{227 * 32}}$$

$$\nabla v \cong 2,7 \text{ mm}$$

### 3.3 Simulasi Ansys

#### 3.3.1 Flowchart Simulasi





Gambar 3.14 Diagram Alir Simulasi

### 3.3.2 Simulasi Metode Elemen Hingga

#### A. *Engineering Data*

*Engineering Data* merupakan data dari material yang akan digunakan untuk simulasi. Material yang digunakan untuk pelek ban adalah *aluminum alloy*, sedangkan bagian ban *airless tire* menggunakan *natural rubber* dengan menggunakan parameter *hyperelastis* material *elastomer sample* (Mooney – Rivlin) 5 parameters. Nilai parameter didapatkan dari hasil uniaxial test dan biaxial test yang dilakukan pada material rubber pada ban.

	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	Aluminum Alloy NL			General Materials Non-linear.xls	General aluminum alloy. Fatigue properties come from MIL-HDBK-9H, page 3-277.
4	CONCRETE-L			Explicit_Materials.xml	C.M. Wentzel et al "Concrete under Multi-Axial Dynamic Loading" - Tran. Load. + resp. Struct. 1998
5	POLYURETH			Explicit_Materials.xml	W. Toqueboeuf et al. "Dynamic behaviour of Polycarbonate polyurethane ..." J.Phys IV France 7 1997
6	Structural Steel			General_Materials.xml	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material				

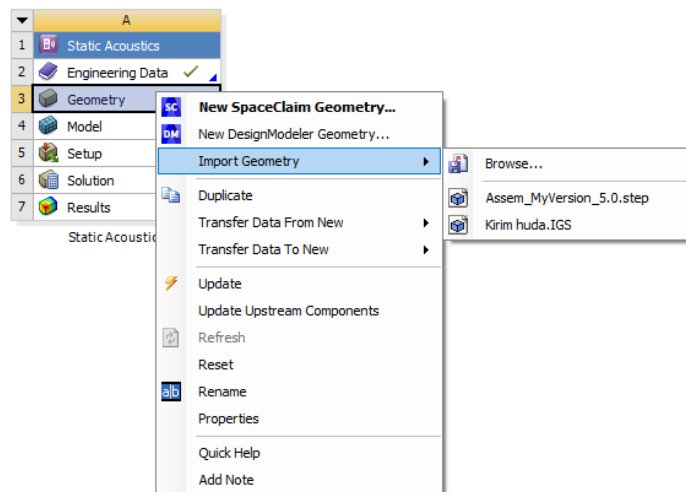
  

Properties of Outline Row 3: Aluminum Alloy NL				
	A	B	C	D E
1	Property			
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	2770	kg m <sup>-3</sup>	
4	Isotropic Elasticity			
5	Derive from	Young's Modulus and Poisson...		
6	Young's Modulus	7,1E+10	Pa	
7	Poisson's Ratio	0,33		
8	Bulk Modulus	6,9608E+10	Pa	
9	Shear Modulus	2,6692E+10	Pa	
10	Bilinear Isotropic Hardening			
13	Specific Heat, C <sub>p</sub>	875	J kg <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>	

Gambar 3.15 Engineering data yang digunakan

### B. *Import Geometry*

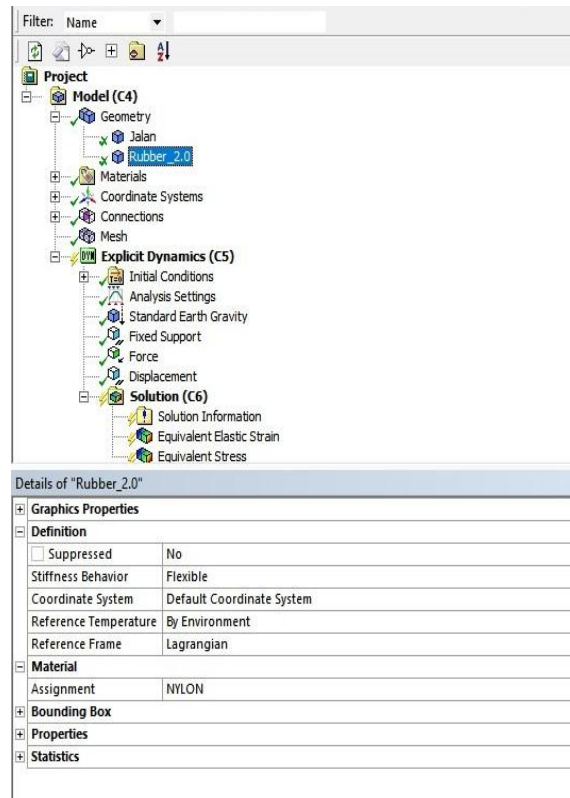
Setelah memasukkan data material yang akan digunakan pada simulasi ke dalam *engineering data*, selanjutnya hasil permodelan yang telah dibuat pada SolidWorks dimasukkan kedalam geometri yang berada pada Ansys. File yang diinputkan dapat berupa berbagai macam jenis file.



Gambar 3.16 *Import geometri*

### C. *Assign Material*

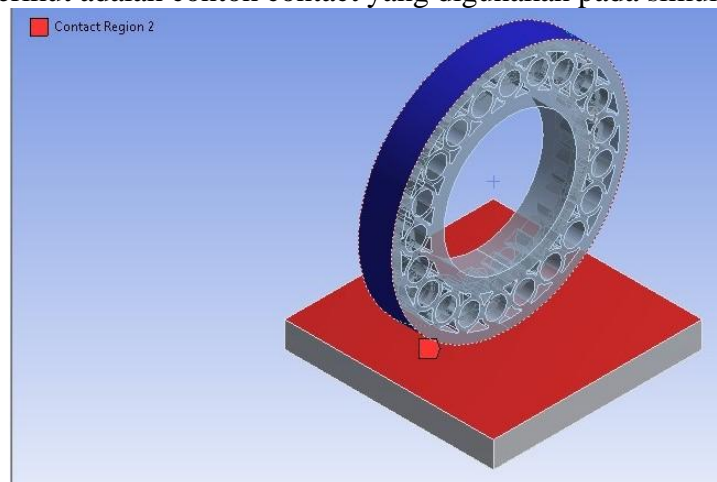
Pada proses ini, material yang telah dipilih pada bagian engineering data mulai dimasukkan berdasarkan komponen yang telah dibuat. Hal ini berguna agar pada saat simulasi, aplikasi dapat melakukan perhitungan sesuai dengan data yang telah dimasukkan.



Gambar 3.17 Assign Material dan mendefinisikan sifat pada tiap komponen

#### D. Contact

*Contact* yaitu interaksi yang terjadi antara permukaan satu body dengan body yang lain. Pada penelitian ini digunakan contact tipe frictional. Frictional digunakan untuk bagian antara dua permukaan yang saling bergesekan sehingga menghasilkan tegangan geser pada nilai tertentu sebelum mulai bersentuhan satu dan lainnya. Pada connection ini digunakan friction coefficient sebesar 0,2 yang terdapat pada jalan dengan ban. Berikut adalah contoh contact yang digunakan pada simulasi.

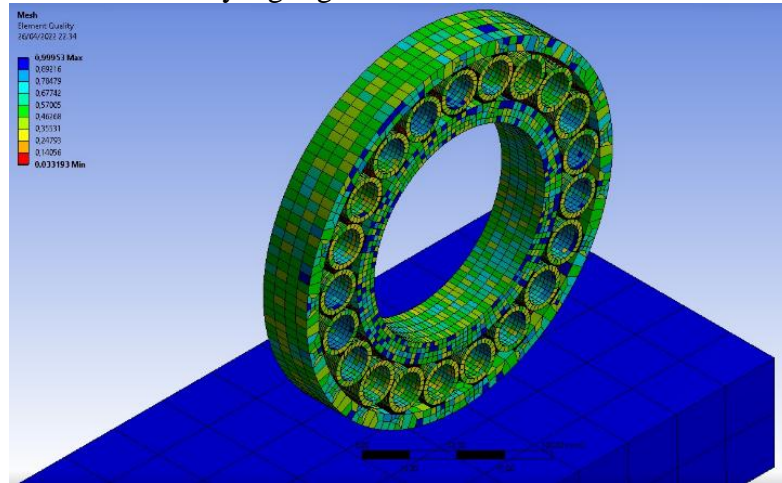


Gambar 3.18 Contact ban dan jalan

#### E. Meshing

*Meshing* dilakukan untuk membagi geometri menjadi model diskrit. Semakin banyak (semakin kecil) elemen yang dibuat maka hasilnya akan semakin baik dan detail mendekati kondisi sebenarnya. Namun, dengan semakin banyak elemen maka waktu

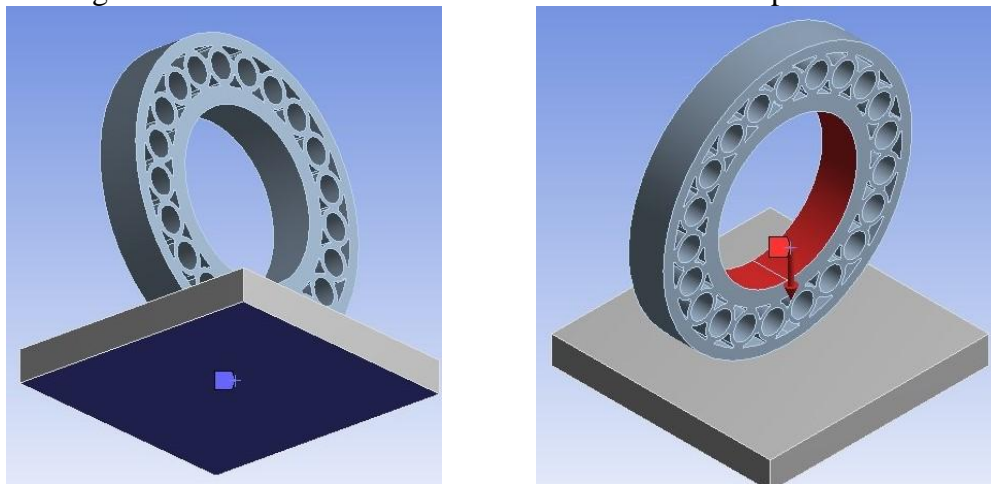
yang diperlukan untuk menyelesaikan simulasi juga akan semakin lama. Pada penelitian ini, ukuran element *mesh* yang digunakan adalah 6mm



Gambar 3.19 Meshing ban dan jalan

F. Pemberian *Support* dan Beban

Kondisi Batas adalah suatu kondisi yang harus dipenuhi di semua atau sebagian dari batas suatu wilayah dimana suatu persamaan atau iterasi harus dipecahkan. Kondisi batas digunakan untuk menentukan batas-batas untuk mendapatkan hasil sesuai tujuan.



Gambar 3.20 a) Fix support b) Pusat pembebanan

G. Analisa Data

Setelah menyelesaikan simulasi di ANSYS, maka hasil dari simulasi tersebut perlu didefinisikan. Dalam penelitian ini, hasil yang diambil dari simulasi yaitu tegangan total, defleksi, serta *fatigue life* dari ban *airless tire* ketika diberikan beban secara statis. Untuk tegangan total dan *fatigue life*, solusi yang dipilih di ANSYS yaitu *Total Defleksi*, *Equivalent Stress (Von-Mises)*, dan *Fatigue life* di mana solusi ini dipilih untuk mengetahui tegangan total serta *lifetime* dari ban *airless tire* yang terjadi pada model simulasi

Hasil lain yang ingin dilihat dari simulasi ini yaitu besar defleksi maksimal saat ban berjalan dan juga ketika ban kontak dengan jalan. Untuk mengetahui defleksi tersebut, dari solusi *Equivalent Stress* pada waktu tegangan tertinggi diekspor ke dalam *file .stl*, kemudian dibuka pada aplikasi *Solidworks*. Setelah *file* terbuka pada *Solidworks*, maka besar defleksi maksimal dari ban dapat dilihat dengan mengukur jarak antara sumbu ban dengan titik luar. paling pendek dari ban



### 3.3 Eksperimen

#### 3.3.1 Alat Uji Eksperimen

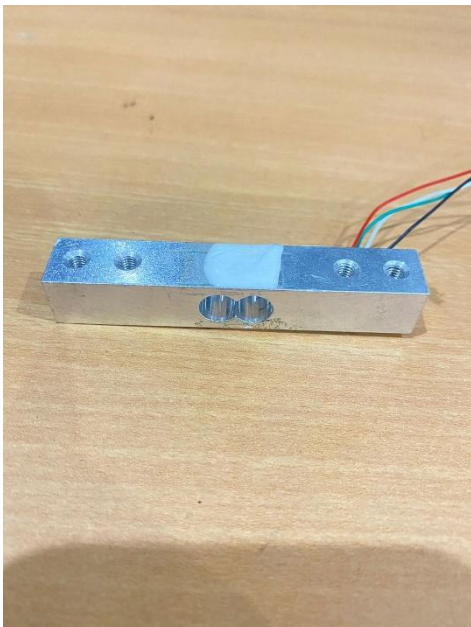
Pada tahap ini, penulis melakukan manufaktur desain untuk merealisasikan ban airless dari hasil simulasi yang telah dilakukan. Dalam realisasi ban airless ini, penulis juga menggunakan alat ukur untuk membantu mendapatkan nilai dan pemberian beban yang akurat. Pemberian beban yang akurat dibantu dengan penggunaan load cell type-S. Sedangkan, perolehan data defleksi ban airless menggunakan dial indikator. Untuk alat ukur ditunjukkan pada gambar



a) Dongkrak



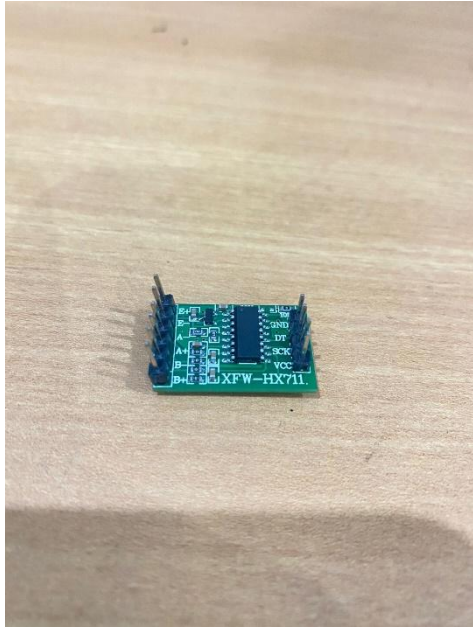
b) Dial indikator



c) Load cell



d) Arduino



e) Modul



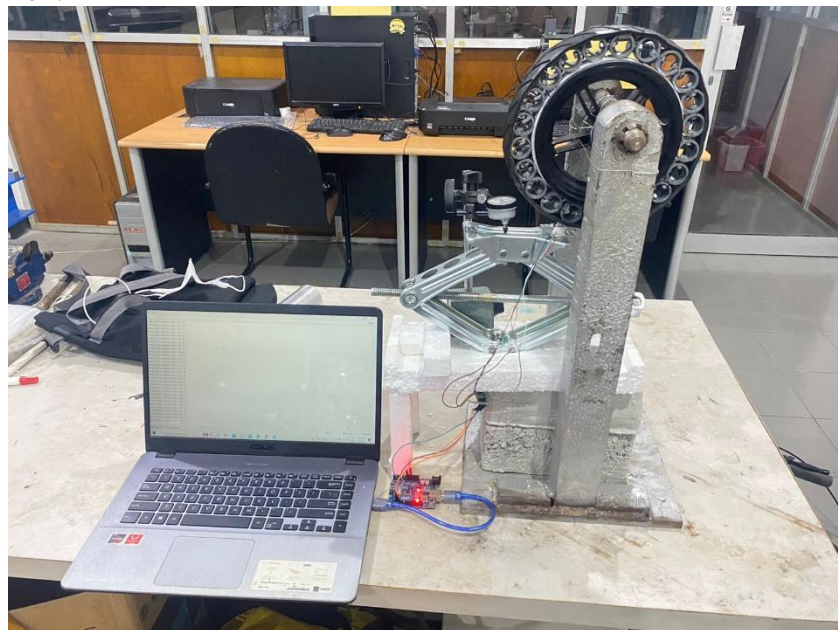
f) Tiang

Gambar 3.21 Alast uji eksperimen

Pada gambar 3.22 dapat dilihat alat uji yang digunakan dalam pengambilan data eksperimen. Pada gambar (a) merupakan dongkrak dengan tipe gunting, (b) dial indicator dengan tipe *continuous* dengan standart tipe 0.01 dengan satuan millimeter (c) *loadcell* dengan tipe *single point balance* (d) Arduino Uno (e) Modul Hx711 (f) tiang alat uji

### 3.3.2 Alur pengujian

Untuk mendapatkan data eksperimen sebagai validasi dari hasil simulasi maka peneliti melakukan pengujian dengan alat uji eksperimen seperti gambar 3.2.1. Dapat dilihat pada gambar 3.22 adalah rangkaian dari realisasi uji pengukuran defleksi. Berikut adalah alur pengujian eksperimen.



Gambar 3.22 Rangkaian alat uji

Berikut adalah alur pengujian eksperimen.

- a) Ban dipasang ke tiang alat uji dengan menggunakan kawat
- b) *Load cell* dipasang ke dongkrak yang telah diberi lubang dengan menggunakan baut dan mur
- c) *Load cell* kemudian disambungkan ke *modul* dengan menggunakan kabel *jumper male* dan dari modul disambungkan ke arduino menggunakan kabel *jumper male-male*
- d) Arduino disambungkan ke laptop menggunakan kabel *port* yang nantinya *software* arduino akan membaca beban yang di terima oleh *loadcell*, di mana beban yang diterima berasal dari tekanan dongkrak
- e) *Dial indicator* diposisikan menyentuh bagian dongkrak yang kontak dengan *load cell*
- f) Setelah beban/gaya yang telah ditentukan sudah terbaca di *software* arduino maka dapat dilihat hasil defleksi yang terjadi di ban pada *dial indicator*.

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan proses simulasi, pada bab analisa dan pembahasan ini akan dijelaskan mengenai validasi dari hasil perhitungan defleksi pada ban pneumatic dengan hasil simulasi dan eksperimen, kemudian menjelaskan mengenai tegangan dan fatigue yang terjadi pada spoke. Selanjutnya akan dijelaskan mengenai hasil simulasi dan eksperimen pada ban *airless*.

### 4.1 Validasi Data

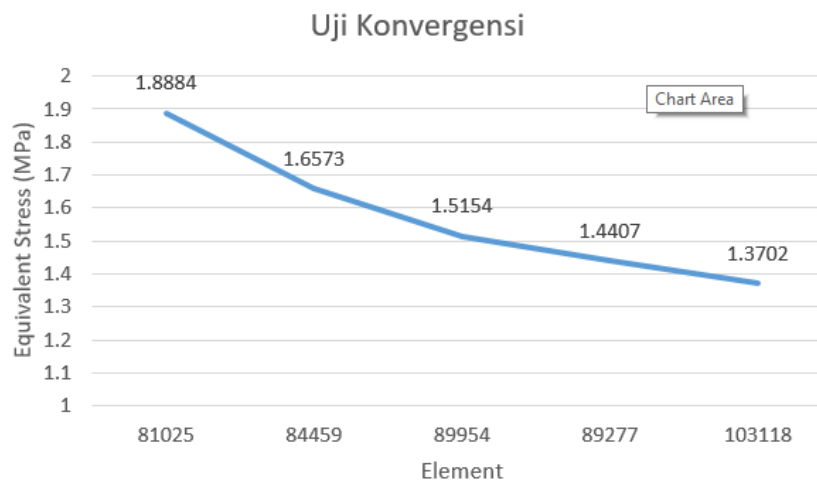
#### 4.1.1 Hasil Uji Konvergensi

Pada simulasi ban *airless* uji konvergensi pada analisis menggunakan metode elemen hingga bertujuan untuk mendapatkan hasil yang akurat dengan jumlah elemen tertentu. Uji konvergensi sendiri dilakukan untuk mengontrol deviasi hasil perhitungan. Pada penelitian ini hasil simulasi bisa dikatakan valid atau error masih dalam batas wajar ketika error dijaga dibawah sepuluh persen. Pada penelitian ini digunakan variasi nilai nodes dan nilai elemen untuk mendapatkan hasil yang konvergen dengan mengambil suatu titik acuan untuk dibandingkan perubahan tegangan yang terjadi terhadap perubahan ukuran elemen. Berikut adalah hasil uji konvergensi pada penelitian ini.

Tabel 4.1 Hasil Uji Konvergensi

Nodes	Element	Skewness	Equivalent Stress	Error
66792	81025	0.33358	1.8884	
68681	84459	0.32747	1.6573	12%
72189	89954	0.32709	1.5154	8%
74219	89277	0.31396	1.4407	5%
86020	103118	0.28351	1.3702	5%

Pada table 4.1 hasil yang dijadikan sebagai acuan adalah jumlah *nodes* dan *element* adalah sebesar 74219 *nodes* dan 89277 *element* karena memiliki *error* dibawah sepuluh persen. Berikut adalah grafik hasil uji konvergensi.



Gambar 4.1 Grafik Uji Konvergensi

Gambar 4.2 merupakan grafik konvergensi dan *Equivalent stress* terhadap jumlah element. Sumbu x merupakan banyaknya element yang didapatkan tergantung pada ukuran mesh yang diinputkan pada simulasi. Untuk sumbu y merupakan nilai *equivalent stress* dalam satuan MPA yang menjelaskan besaran tegangan yang dialami oleh model simulasi.

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, dapat terlihat hasil dari *equivalent stress* dari grafik tersebut mengalami penurunan pada element 81025 sampai 89954 dan mulai stabil pada element 89277. Hal ini mengindikasikan bahwa sudah tidak ada perubahan *equivalent stress* yang signifikan. Nilai *solve time* dari simulasi ini stabil dan tidak ada perubahan yang signifikan dengan nilai waktu kurang lebih 4 menit. Hubungan dari jumlah element dengan *solve time* dan *equivalent stress* pada penelitian ini yaitu untuk mengetahui jumlah element berapa yang akan digunakan dalam proses simulasi, karena pada proses simulasi semakin banyak element maka nilai *equivalent stress* akan stabil, akan tetapi nilai *solve time* akan semakin lama. Didapatlan jumlah elemen sebesar 89277 dengan nilai tegangan 1.4407 MPa digunakan sebagai acuan untuk mendapatkan hasil pada penelitian ini dikarenakan pada jumlah elemen ini dengan nilai *error* yang terjadi telah berada dibawah 10%.

Pada penelitian ini juga untuk melihat seberapa bagus kualitas meshing, peneliti melihat dari parameter mesh metric yaitu mesh metric skewness. Untuk skewness dapat dikaterogikan sesuai dengan gambar 4.2. Pada penelitian menggunakan banyak element 89277 didapatkan nilai skewness sebesar 0.31396 Berdasarkan uji konvergensi diatas dapat disimpulkan hasil simulasi yang didapatkan yaitu valid.



Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

Gambar 4.2 Skewness mesh metric spectrum.

#### 4.1.2 Hasil Eksperimen Kekakuan Ban Pneumatic

Untuk mengetahui data yang didapat dari perhitungan yang telah dilakukan peneliti pada sub-sub-bab 3.2.2 bisa dikatakan valid atau benar, peneliti melakukan realisasi uji pengukuran defleksi pada ban pneumatic yang selanjutnya akan di bandingkan dengan hasil perhitungan yang telah dilakukan peneliti. Dengan menggunakan alat uji pada sub-sub-bab 3.1.7, dapat dilihat pada sub-bab 3.3.1 adalah rangkaian dari realisasi uji pengukuran defleksi pada ban pneumatic. Kemudian dilakukan pengambilan data menggunakan alat uji yang telah disambungkan seperti pada gambar 4.3. Dalam pengujian kekakuan peneliti menggunakan lima beban yang berbeda untuk mengetahui hasil kekakuan dari ban, gaya atau beban maksimal yang diberikan sebesar 153.4 N, gaya didapat dari tekanan dongkrak yang mengarah ke sumbu y dan dongkrak disambungkan dengan *dial indicator*. Hasil dari pengujian dengan beban maskismal dapat dilihat dari gambar 4.3



Gambar 4.3 Hasil pengujian ban pneumatic.

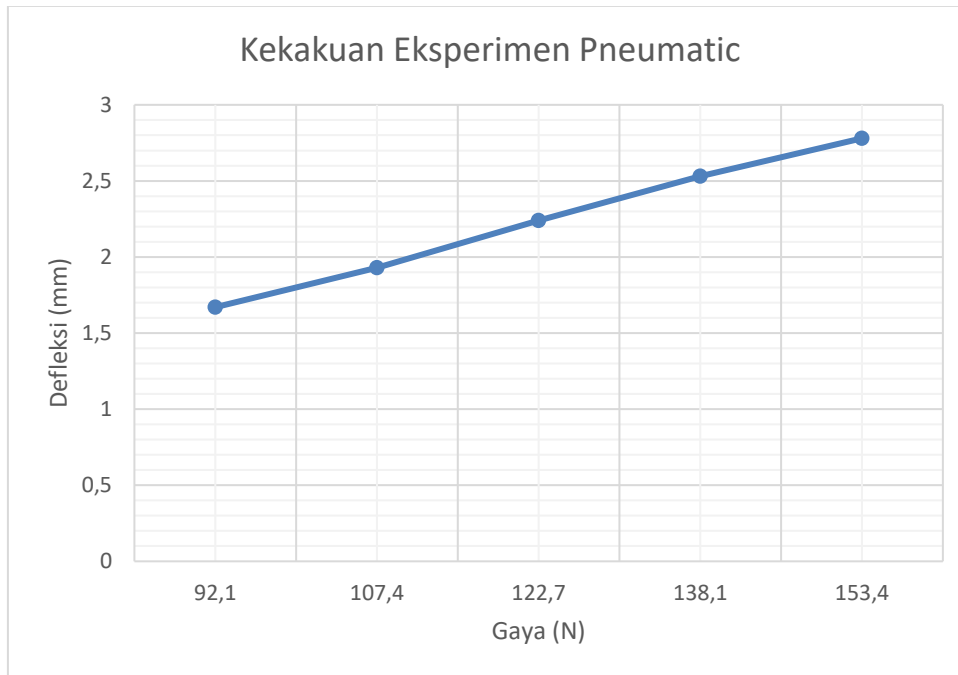
Gambar 4.3 merupakan hasil pengujian menggunakan *dial indicator*, dapat dilihat berdasarkan pengukuran tersebut defleksi yang terjadi pada ban pneumatic yaitu sebesar 2.78 mm. defleksi yang terjadi pada ban pneumatic sudah sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan peneliti yaitu 2.7mm, berarti hasil perhitungan yang oleh peneliti dibuat acuan sebagai batas maksimum defleksi yang terjadi pada ban sudah bisa dikatakan valid.

Kemudian dilakukan pengambilan data kekakuan, dan hasil dari data tersebut oleh peneliti dijadikan validasi/acuan pada hasil simulasi yang akan dilakukan. Berikut adalah hasil kekakuan dari ban pneumatic.

Tabel 4.2 Hasil eksperimen pneumatic

	Gaya (N)	Defleksi (mm)	Kekakuan (N/mm)
Eksperimen Pneumatic	92.1	1.67	55.1
	107.4	1.93	55.6
	122.7	2.24	54.8
	138.1	2.53	54.6
	153.4	2.78	55.2

Dapat dilihat dari table 4.2 hasil dari pengujian pada ban *airless* material pvc, dari hasil pengujian tersebut didapat grafik seperti berikut.



Gambar 4.4 Eksperimen pneumatic

### 4.1.3 Hasil Eksperimen Kekakuan Pada Spoke Material PVC

#### 4.1.3.1 Perbandingan Hasil Perhitungan Dengan Eksperimen

Untuk mengetahui data yang didapat dari simulasi bisa dikatakan valid atau benar, peneliti membuat ban *airless* dengan material PVC menjadi benda nyata agar bisa diambil data yang sama seperti simulasi dan kemuadia data tersebut akan dibandingkan dengan perhitungan ban pneumatic dan hasil simulasi. Pada gambar 4.5 dibawah ini merupakan tampilan ban *airless* dengan spoke material PVC.



Gambar 4.5 a) Ban *airless* tampak depan b) Ban *airless* tampak samping

Untuk pengambilan data defleksi pada ban *airless* menggunakan beberapa alat uji yaitu *dial indicator*, *loadcell*, tiang, dongkrak. *Dial indicator* digunakan untuk mengukur besar

defleksi, kemudian loadcell digunakan untuk mengetahui beban atau gaya yang diberikan pada ban yang kemudian disambungkan dengan *modul* dan arduino agar hasil beban dapat dilihat di *software arduino*, tiang sebagai penyangga ban saat dilakukan pengujian, dan dongkrak sebagai penampang dari *loadcell* dan *dial indikator*. Dapat dilihat di sub-sub-bab 3.1.7 alat uji yang digunakan peneliti untuk pengambilan data defleksi pada ban.

Dari alat uji tersebut kemudian di rangkai untuk selanjutnya dilakukan pengambilan data. Rangkaian dari alat uji dapat dilihat di sub-bab 3.3.2. Kemudian dilakukan pengambilan data menggunakan alat uji yang telah disambungkan. Dalam pengujian kekakuan peneliti menggunakan lima beban yang berbeda untuk mengetahui hasil kekakuan dari ban, gaya atau beban maksimal yang diberikan sebesar 153.4 N, gaya didapat dari tekanan dongkrak yang mengarah ke sumbu y dan dongkrak disambungkan dengan *dial indikator*. Hasil dari pengujian dengan beban maksimal ini dapat dilihat pada gambar 4.6



Gambar 4.6 Hasil Eksperimen ban 153.4 N

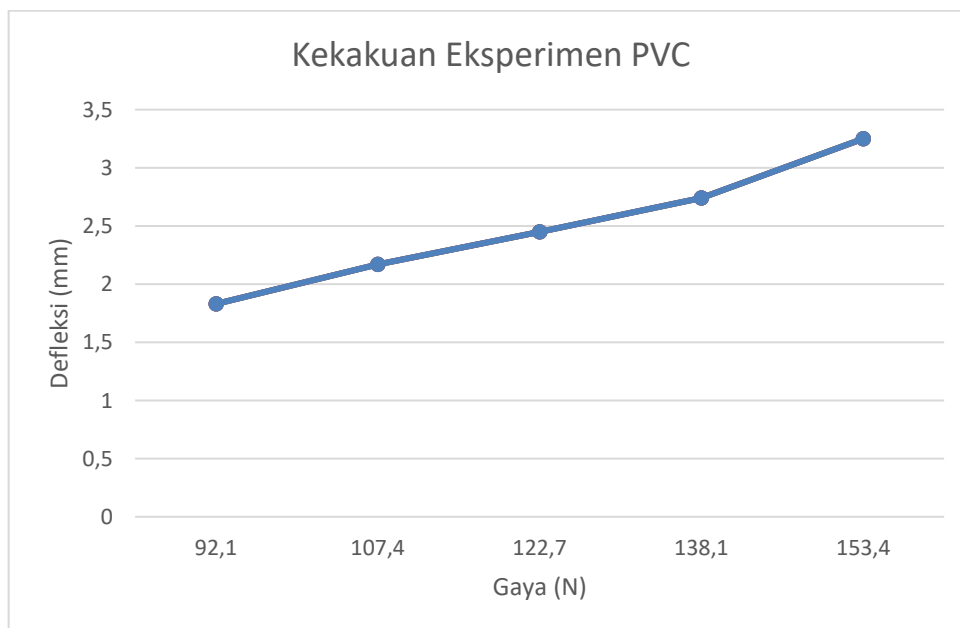
Gambar 4.6 merupakan hasil pengujian menggunakan *dial indikator*, dapat dilihat berdasarkan pengukuran tersebut defleksi yang terjadi yaitu sebesar 3.25mm. defleksi yang terjadi lebih besar dari batas defleksi maksimal yang ditentukan yaitu sebesar 2.7mm. Dari hasil pengujian tersebut didapat perbedaan nilai sebesar 20%, terdapat beberapa factor yang mempengaruhi hasil dari eksperimen seperti *physical properties* material. Dan juga dari material yang menyambungkan antar *spoke* berbeda dengan simulasi, dalam hal ini peneliti menggunakan baut dan mur sebagai penyambung antar *spoke* sedangkan pada simulasi menggunakan *adhesive*. Pada alas penampang yang kontak langsung dengan ban luar juga berbeda antara eksperimen dan simulasi, pada simulasi ban luar kontak langsung dengan jalan, sedangkan pada eksperimen ban luar kontak dengan *loadcell*. Dari beberapa factor tersebut, dan hasil pengujian yang didapat dengan nilai yang secara signifikan tidak terlalu jauh berbeda sehingga dari data hasil penelitian ini dapat diterima/valid.



Tabel 4.3 Hasil Eksperimen PVC

Eksperimen PVC	Gaya (N)	Defleksi (mm)	Kekakuan (N/mm)
	92.1	1.83	50.3
	107.4	2.17	49.5
	122.7	2.45	50.1
	138.1	2.74	50.4
	153.4	3.25	47.2

Dapat dilihat dari table 4.3 hasil dari pengujian pada ban *airless* material pvc, dari hasil pengujian tersebut didapat grafik seperti berikut.



Gambar 4.7 Kekakuan eksperimen pvc

#### 4.1.3.2 Hasil Uji Deformasi Pada Spoke

Untuk mengukur performa saat berkendara, analisa mengenai deformasi pada *spoke* perlu dilakukan agar mengetahui pengaruh ban *hyperelastis* terhadap defleksi total pada ban *airless*. Alat uji yang digunakan sama seperti pengujian yang telah dilakukan sebelumnya pada 4.1.3.1. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada gambar 4.8



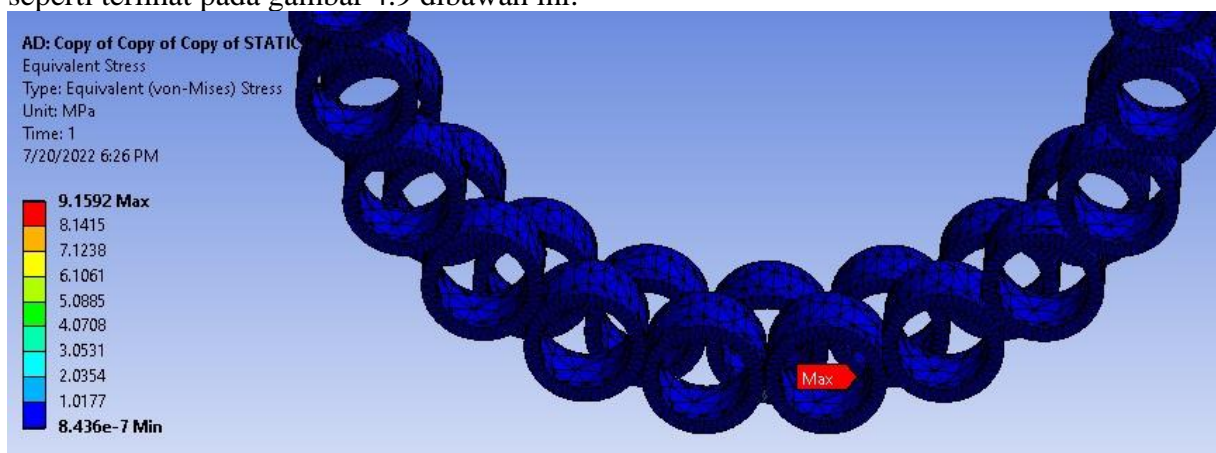
Gambar 4.8 Uji Deformasi *Spoke*

Gambar 4.8 merupakan hasil dari uji deformasi pada *spoke* dengan beban yang sama seperti pengujian sebelumnya yaitu 153.4 N, dapat dilihat hasil deformasi dari *spoke* bernilai 0.58 mm, nilai defleksi pada ban *hyperelastis* didapat dari selisih nilai defleksi total yang didapat dari uji pada 4.1.3.1 dan nilai deformasi pada *spoke* dengan nilai  $3.25 \text{ mm} - 0.58 \text{ mm} = 2.67 \text{ mm}$ . Dari hasil uji tersebut dapat disimpulkan, defleksi yang terjadi pada ban *hyperelastik* lebih besar dari deformasi dari *spoke*. Berarti hal ini sesuai dengan sifat material bahwa material *hyperelastis* akan memiliki nilai deformasi dan defleksi yang lebih besar dibandingkan dengan material *elastis*.

## 4.2 Analisa Pada Material PVC

### 4.2.1 Hasil Simulasi Tegangan

*Spoke* merupakan bagian terpenting dari ban *airless* sebagai pengganti angin dalam ban pneumatic. Tegangan sendiri dapat menentukan apakah material yang digunakan sudah aman atau tidak ketika diberi beban vertical sebesar 153.4 N. Adapun hasil tegangan pada ban *airless* seperti terlihat pada gambar 4.9 dibawah ini.



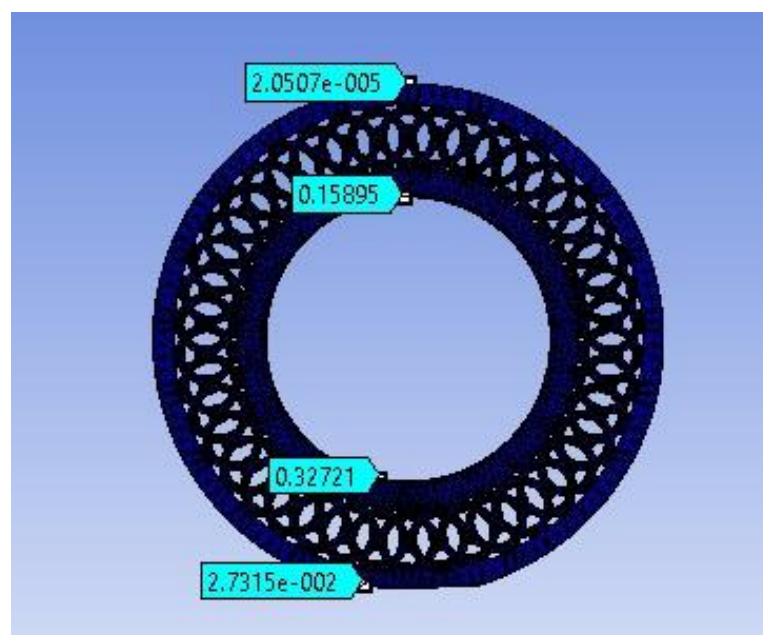
Gambar 4.9 Tegangan Pada *Spoke* Material PVC Ban *airless*

Dari gambar 4.9, didapatkan nilai tegangan maksimum yang diterima spoke bermaterial *pvc* adalah 9.1592 MPa. Jika dihubungkan dengan teori 2.6, maka hasil yang didapatkan telah memenuhi syarat aman yaitu tegangan yang didapatkan harus kurang dari tegangan maksimum yang dapat diterima oleh material yang digunakan. Tegangan yang terjadi jauh dari batas aman material *pvc* yang sudah diketahui di sub-bab 3.1.4 yaitu sebesar 52 MPa, dengan berat yang ban yang sama seperti ban *pneumatic* yaitu 1.2 kg. Sehingga ban ini memiliki kelebihan dalam hal ramah lingkungan karena mengurangi emisi *karbondioksida*, terutama untuk membantu pasien difable dalam melakukan aktivitas karena ban ini memanfaatkan spoke nya yang fleksibel yang berfungsi sebagai pengganti udara bertekanan pada ban *pneumatic*, sehingga ban ini masih dapat beroperasi sekalipun terkena benda tajam saat kendaraan beroperasi.

#### 4.2.2 Hasil Simulasi Kekakuan

Untuk mengukur performa saat berkendara, analisa mengenai kekakuan yang terjadi pada ban perlu dilakukan. Nilai kekakuan didapat dengan membagi antara besar gaya dan defleksi yang dihasilkan. Pada penelitian ini, hasil simulasi dari defleksi yang terjadi pada ban bagian belakang hanya defleksi vertical karena beban yang diberikan hanya beban vertical. Hasil simulai kekakuan yang didapatkan akan dibandingkan dengan hasil eksperimen dari ban *airless* sebagai validasi dan hasil eksperimen ban *pneumatic* agar diketahui apakah hasil simulasi masuk kedalam batas aman dari kekakuan.

Untuk mendapatkan hasil kekakuan dari simulasi, peneliti menggunakan lima beban yang berbeda agar diketahui nilai kekakuan dari ban dan menggunakan solusi *equivalent stress* dari ANSYS, kemudian peneliti menggunakan *probe* pada saat ban dengan kondisi awal dan kondisi setelah terdefleksi. *Probe* tersebut dapat digunakan untuk melihat seberapa besar defleksi yang terjadi pada ban *airless* dengan menggunakan material spoke PVC dan material ban *hyperelastic*. Agar diketahui besaran defleksi yang terjadi penelititi melakukan perhitungan berdasarkan koordinat sumbu *y* seperti pada gambar 4.10



Graphics Annotations						
Type	Value	Note	Unit	Location X	Location Y	Location Z
Result	2.7315e-002	Kondisi Terdefleksi	MPa	16.023713	-111.820429	19.754689
Result	0.32721		MPa	15.968036	-64.666827	12.616327
Result	2.0507e-005	Kondisi Awal	MPa	15.758520	111.122795	0.154543
Result	0.15895		MPa	15.875767	61.023267	1.790053

Gambar 4.10 Defleksi Ban *airless*

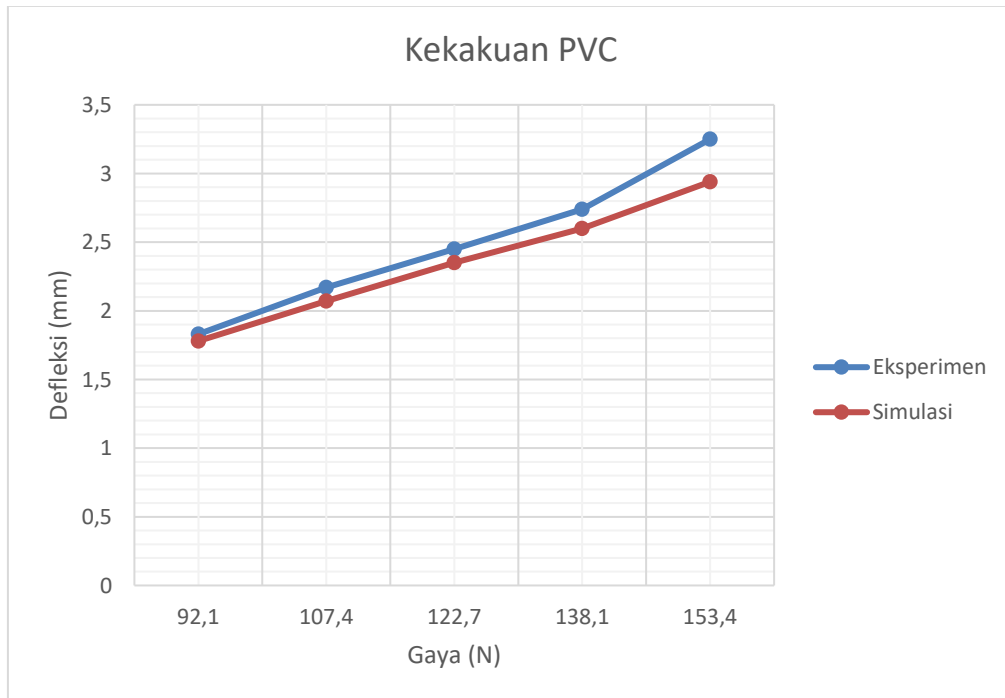
Gambar 4.10 merupakan hasil penggunaan *probe* dengan menggunakan beban maksimal yaitu sebesar 153.4 N, dapat dilihat berdasarkan pengukuran tersebut, defleksi terbesar yang terjadi menghasilkan tegangan pada ban. Dimana saat ban mengalami tegangan total maksimum maka defleksi yang terjadi juga maksimum. Defleksi ini yang mengakibatkan terjadinya tegangan pada ban, sehingga nilai defleksi maksimum diambil saat ban mengalami tegangan maksimum.

Nilai dari diameter ban saat kondisi awal didapatkan dari selisih *probe* dengan nilai  $111.122 - 61.023 = 50.1$  mm sedangkan nilai pada saat ban terdefleksi didapatkan dari selisih *probe* dengan nilai koordinat  $111.820 - 64.666 = 47.16$  mm. Untuk mendapatkan nilai defleksi perlu dilakukan pengurangan antara hasil kondisi awal dengan kondisi terdeformasi, sehingga berdasarkan perhitungan diatas defleksi yang terjadi pada ban *airless* yaitu sebesar 2.94 mm untuk defleksi kearah vertical. Berikut adalah hasil dari simulai kekakuan ban *airless*.

Tabel 4.4 Hasil simulasi PVC

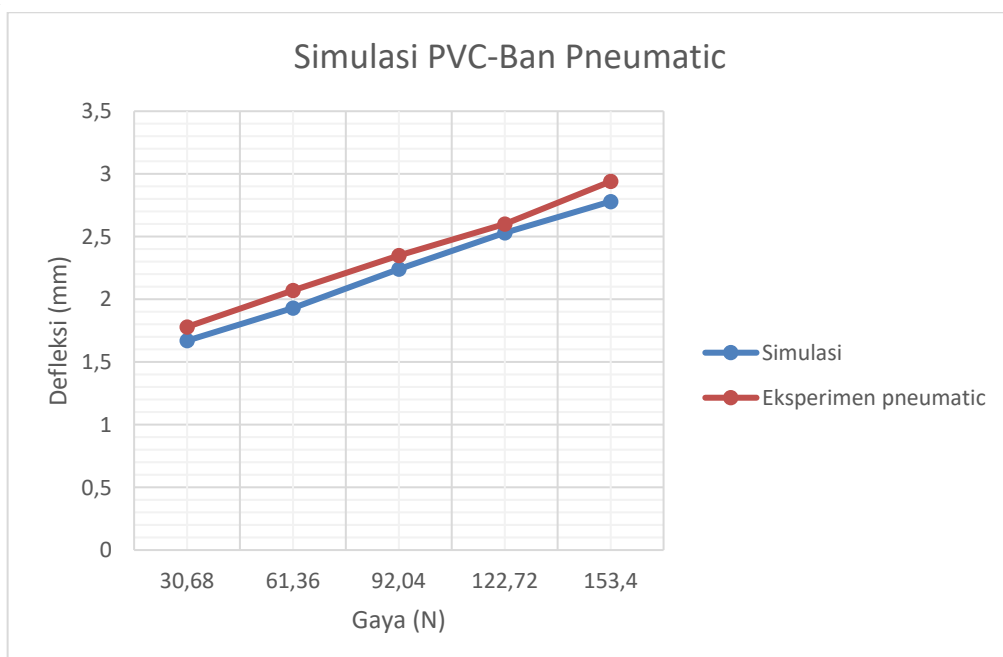
	Gaya (N)	Defleksi (mm)	Kekakuan (N/mm)
Simulasi PVC	92.1	1.78	51.7
	107.4	2.07	51.9
	122.7	2.35	52.2
	138.1	2.6	53.1
	153.4	2.94	52.2

Dari hasil simulasi pada table 4.4 kemudian dibandingkan dengan hasil eksperimen kekakuan dari ban *airless* sebagai validasi hasil data, dan dibandingkan dengan hasil eksperimen ban *pneumatic* agar diketahui apakah hasil simulasi material pvc memiliki performa seperti pada ban *pneumatic*. Berikut adalah grafik perbandingan hasil simulasi dan eksperimen material pvc.



Gambar 4.11 Perbandingan eksperimen dan simulasi

Dapat dilihat berdasarkan grafik pada gambar 4.11, nilai kekakuan dari hasil simulasi dengan pembebanan statis pada ban *airless* dengan *spoke* bermaterial *PVC* mendekati dengan nilai kekakuan yang dihasil dari uji eksperimen. Hasil simulasi tersebut berbeda dari hasil eksperimen disebabkan oleh beberapa factor dari pengujian simulasi yang tidak bisa di realisasikan pada eksperimen seperti *boundary condition* yang didefinisikan pada simulasi, *material properties*, *human error*. Maka model simulasi dapat dikatakan valid/benar karena nilai dari hasil simulasi ban *airless* sudah mendekati hasil dari eksperimen, dimana eksperimen sudah tervalidasi oleh perhitungan teoritis. Kemudian dilakukan perbandingan hasil kekakuan dari simulasi dengan hasil kekakuan dari eksperimen ban *pneumatic*, yang dapat dilihat pada gambar

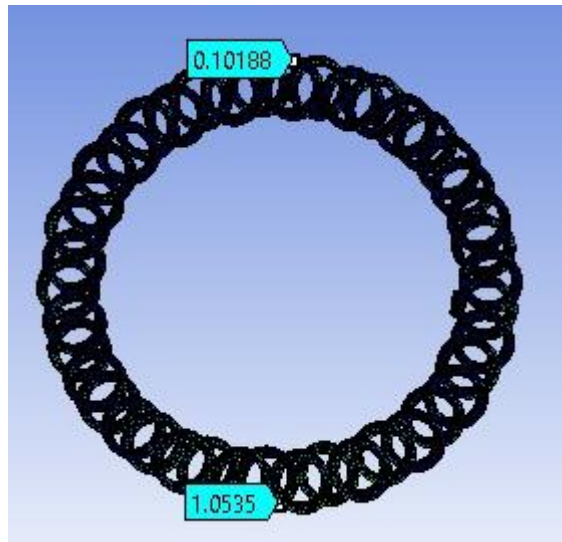


Gambar 4.12 perbandingan kekakuan simulasi pvc dan eksperimen ban pneumatic.

Dapat dilihat dari gambar 4.12 nilai yang dihasilkan sudah cukup mendekati dari nilai kekakuan dari ban pneumatic untuk digunakan saat berkendara, dengan nilai kekakuan rata-rata dari ban pneumatic sebesar 55.1 N/mm dan pada simulasi pvc sebesar 52.2 N/mm. Maka dari itu hasil simulasi ini bisa dikatakan bahwa ban *airless* material pvc memiliki performa yang mendekati dengan ban pneumatic.

#### 4.2.3 Hasil Simulasi Fatigue

Pada pengujian fatigue pada ban airless, sudah ditentukan batas umur fatigue agar dapat dikategorikan termasuk ke dalam infinite life yaitu sebesar  $1e6$  cycle. Untuk mengetahui umur fatigue yang dapat ditempuh oleh desain spoke, terlebih dahulu untuk mengetahui berapa besar tegangan maksimal yang didapatkan. Besaran beban diambil dari posisi spoke ban, beban maksimal akan terjadi ketika spoke berada dibawah sedangkan beban minimal akan terjadi ketika spoke ban berada diatas.



Gambar 4.13 Nilai Tegangan Pada Posisi *Spoke* Ban

Dari gambar 4.13 didapatkan nilai tegangan maksimal sebesar 1.0535 MPa dan tegangan minimal sebesar 0.10188 MPa. Untuk mendapatkan *ratio* dilakukan pembagian antara nilai tegangan minimal dengan nilai tegangan maksimal.

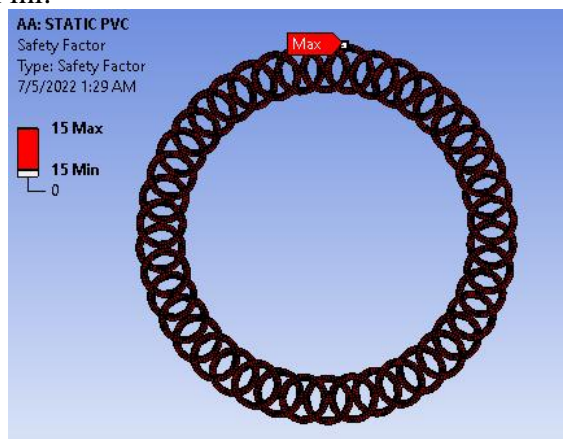
$$\begin{aligned} \text{Ratio} &= \frac{\sigma_{\text{minimal}}}{\sigma_{\text{maksimal}}} \\ &= \frac{0.10188}{1.0535} \\ &= 0.096 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan *ratio* tegangan dari hasil perhitungan, kemudian dilakukan simulasi pada *spoke*. Pada proses simulasi untuk mendapatkan *fatigue life* dan *safety factor*, terlebih dahulu mendefinisikan *fatigue tool* untuk mendefinisikan *mean stress theory* serta *ratio* yang akan digunakan.

Details of "Fatigue Tool"	
[-] <b>Domain</b>	
Domain Type	Time
[-] <b>Materials</b>	
Fatigue Strength Factor (Kf)	1.
[-] <b>Loading</b>	
Type	Ratio
Loading Ratio	9.6e-002
<input type="checkbox"/> Scale Factor	1.
[-] <b>Definition</b>	
<input type="checkbox"/> Display Time	End Time
[-] <b>Options</b>	
Analysis Type	Stress Life
Mean Stress Theory	Soderberg
Stress Component	Equivalent (von-Mises)
[-] <b>Life Units</b>	
Units Name	cycles
1 cycle is equal to	1. cycles

Gambar 4.14 Definisi Pada *Fatigue Tool*

Gambar 4.14 merupakan gambar definisi pada menu *fatiguetool* pada proses simulasi menggunakan *static structural*. Proses simulasi menggunakan *mean stress theory soderberg* untuk mengetahui umur *fatigue* pada ban ini, digunakan teori ini karena menggunakan *yield strength* sebagai keamanan *fatigue*, dimana nilai *yield strength* lebih kecil dari *ultimate tensile strength* yang digunakan sebagai batas keamanan *fatigue* oleh teori *goodman* sehingga pada teori *sorderberg* tingkat keamanan *fatigue* lebih aman. Pada simulasi ini menggunakan loading type *ratio* karena pembebanan yang di berikan pada simulasi ini diatas nol dan geometri pada simulai ini adalah ban, dimana nilai tegangan maksimum berada pada bagian bawah dari ban dan tegangan minimum berada pada bagian atas dari ban, maka dari itu menggunakan *loading type ratio* agar bisa dicari nilai rata-rata dari tegangan tersebut. Nilai *ratio* rata-rata yang telah didapatkan yaitu 0.096 akan digunakan sebagai input nilai *loading type ratio*. Setelah itu dilakukan proses simulasi dengan pembebanan yang sudah dijelaskan sebelumnya. Dimana padamodel ini jumlah *nodes* sebesar 74219 serta jumlah *elements* sebesar 89277 untuk masing-masing variasi pengujian. Berikut adalah gambar salah satu hasil simulasi untuk mengetahui umur *fatigue* padamodel ini.



Gambar 4.15 Hasil Simulasi *Safety factor* Pada *Spoke PVC*

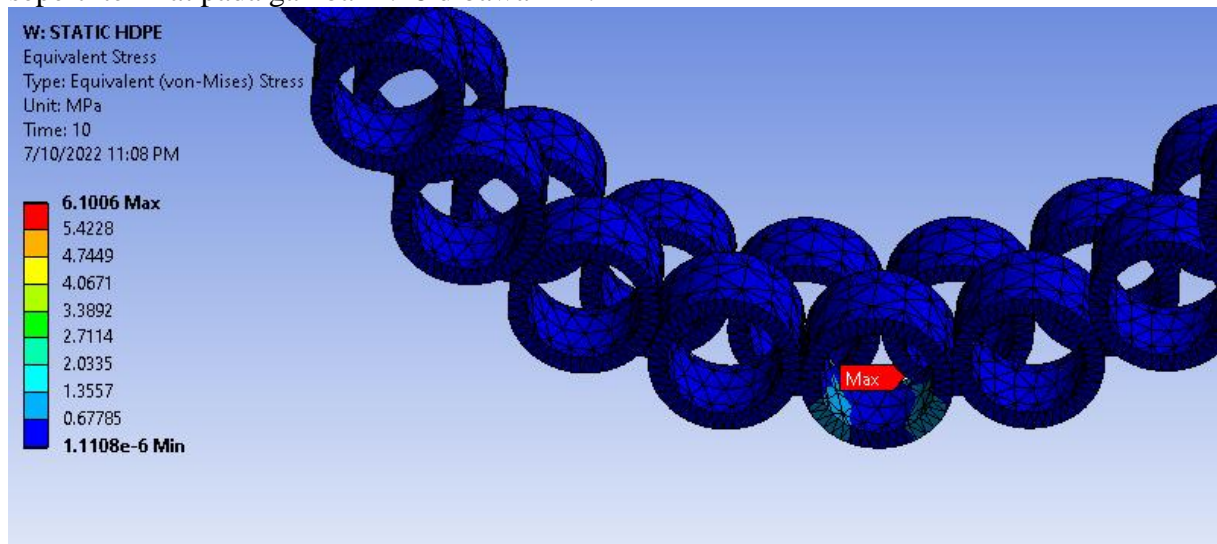
Gambar 4.15 diatas merupakan hasil simulasi untuk mengetahui *fatigue life* dan *safety factor* dari *spoke* material *pvc* dengan pembebanan seperti pada sub-bab 3.2.1. Dari hasil simulasi didapatkan nilai *fatigue life* sebesar  $1e7$  cycle dan terjadi pada *spoke* bagian atas. Hal ini mengidentifikasi dengan pembebanan yang diberikan *spoke* material *pvc* tersebut bisa dipakai dalam keadaan aman, belum ada daerah yang mengaami tahap *crack initiation* seperti terori pada bab 2. Selain *fatigue life* hasil dari simulai didapatkan data *safety factor* sebesar 15, hal ini berarti tegangan yang diterima oleh *spoke* berada dibawah tegangan minimal yang

membuat *fatigue life* tak terhingga. Dan juga pada kondisi pembebanan ini bisa dikatakan aman dari kegagalan *fatigue* karena factor keamanan dibawah nilai 1. Serta, *spoke* ini dikategorikan sebagai *infinite life* jika dikenai beban pada kondisi ini. Jika dihubungkan dengan teori bahwa desain dikatakan *infinite life* ketika umur kelelahannya lebih dari  $10^6$  cycle dan tegangan maksimal yang terjadi harus dibawah *endurance limit* dari material *PVC* yang besarnya 16 Mpa. Jika dihubungkan dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Sheldon S.N. Pinto, dkk hasil dari apabila diberikan beban dengan berat badan rata-rata manusia umur dari pelek *hubless* yaitu *infinite life*.

### 4.3 Analisa Pada Material HDPE

#### 4.3.1 Hasil Simulasi Tegangan

Spoke merupakan bagian terpenting dari ban *airless* sebagai pengganti angin dalam ban pneumatic. Tegangan sendiri dapat menentukan apakah material yang digunakan sudah aman atau tidak ketika diberi beban vertical sebesar 153.4 N. Adapun hasil tegangan pada ban *airless* seperti terlihat pada gambar 4.18 dibawah ini.



Gambar 4.16 Tegangan Pada *Spoke* Material *HDPE* Ban *airless*

Dari gambar 4.16, didapatkan nilai tegangan maksimum yang diterima spoke bermaterial *pvc* adalah 6.1006 MPa. Jika dihubungkan dengan teori 2.6, maka hasil yang didapatkan telah memenuhi syarat aman yaitu tegangan yang didapatkan harus kurang dari tegangan maksimum yang dapat diterima oleh material yang digunakan. Tegangan yang terjadi jauh dari batas aman material *pvc* yang sudah diketahui di sub-bab 3.1.4 yaitu sebesar 22 MPa. Sehingga ban ini memiliki kelebihan dalam hal ramah lingkungan karena mengurangi emisi *karbondioksida*, terutama untuk membantu pasien difable dalam melakukan aktivitas karena ban ini memanfaatkan spoke nya yang fleksibel yang berfungsi sebagai pengganti udara bertekanan pada ban pneumatic, sehingga ban ini masih dapat beroperasi sekalipun terkena benda tajam saat kendaraan beroperasi.

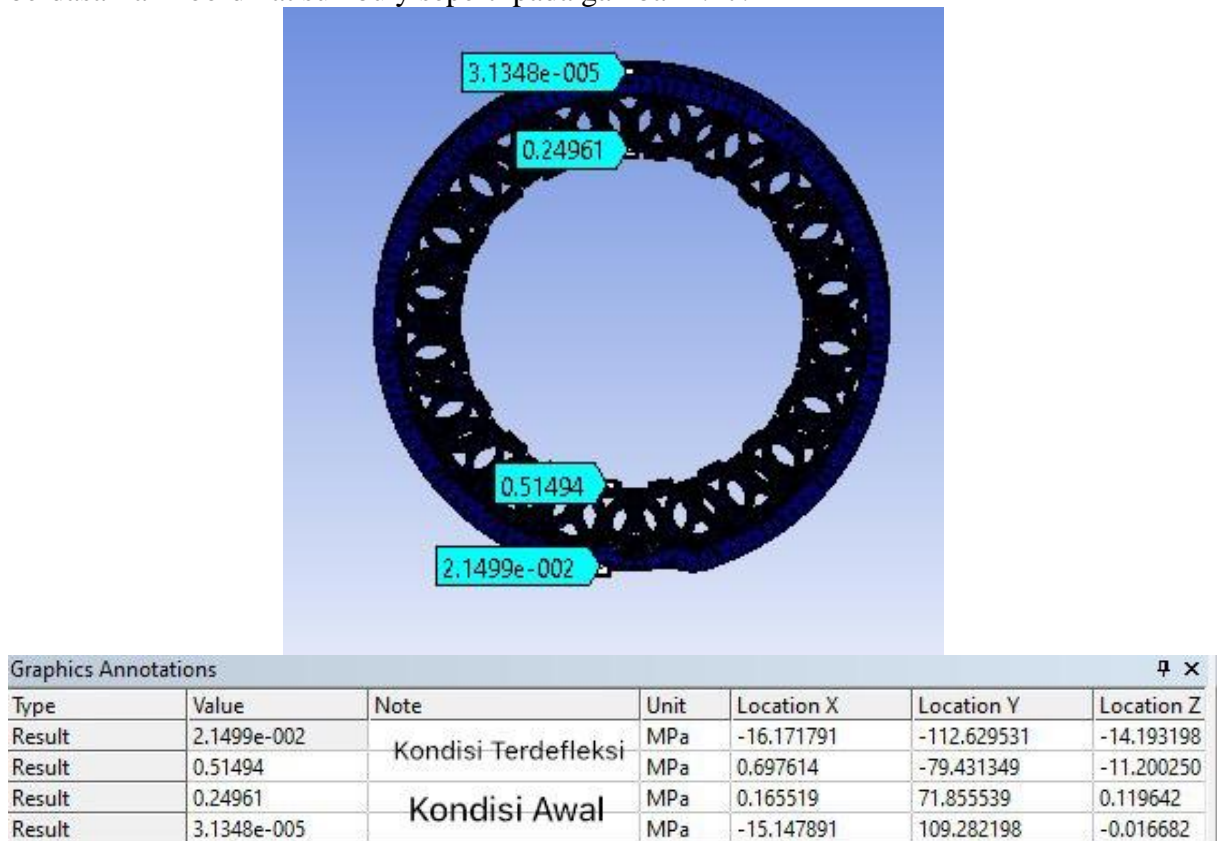
Hasil dari simulasi tegangan dari *hdpe* lebih kecil dari hasil simulasi *pvc*, hal ini dikarenakan dari *physical properties* material *hdpe* lebih elastis dari pada material *pvc*. Berarti dari simulasi ini sudah sesuai dengan teori Tegangan-Regangan yang ada di sub-bab 2.6 yaitu material yang lebih elastis akan memiliki nilai tegangan yang lebih rendah dikarenakan makin besar nilai modulus elastisitas suatu benda maka makin sulit benda tersebut mengalami perubahan.



### 4.3.2 Hasil Simulasi Kekakuan

Untuk mengukur performa saat berkendara, analisa mengenai kekakuan yang terjadi pada ban perlu dilakukan. Nilai kekakuan didapat dengan membagi antara besar gaya dan defleksi yang dihasilkan. Pada penelitian ini, hasil simulasi dari defleksi yang terjadi pada ban bagian belakang hanya defleksi vertical karena beban yang diberikan hanya beban vertical. Hasil simulai kekakuan yang didapatkan akan dibandingkan dengan hasil eksperimen dari ban *airless* sebagai validasi dan hasil eksperimen ban *pneumatic* agar diketahui apakah hasil simulasi masuk kedalam batas aman dari kekakuan.

Untuk mendapatkan hasil kekakuan dari simulasi, peneliti menggunakan lima beban yang berbeda agar diketahui nilai kekakuan dari ban dan menggunakan solusi *equivalent stress* dari ANSYS, kemudian peneliti menggunakan *probe* pada saat ban dengan kondisi awal dan kondisi setelah terdefleksi. *Probe* tersebut dapat digunakan untuk melihat seberapa besar defleksi yang terjadi pada ban *airless* dengan menggunakan material spoke HDPE dan material ban *hyperelastic*. Agar diketahui besaran defleksi yang terjadi penelititi melakukan perhitungan berdasarkan koordinat sumbu y seperti pada gambar 4.17.



Gambar 4.17 Defleksi Ban *airless*

Gambar 4.17 merupakan hasil penggunaan *probe* dengan menggunakan beban maksimal yaitu sebesar 153.4 N, dapat dilihat berdasarkan pengukuran tersebut, defleksi terbesar yang terjadi menghasilkan tegangan pada ban. Dimana saat ban mengalami tegangan total maksimum maka defleksi yang terjadi juga maksimum. Defleksi ini yang mengakibatkan terjadinya tegangan pada ban, sehingga nilai defleksi maksimum diambil saat ban mengalami tegangan maksimum.

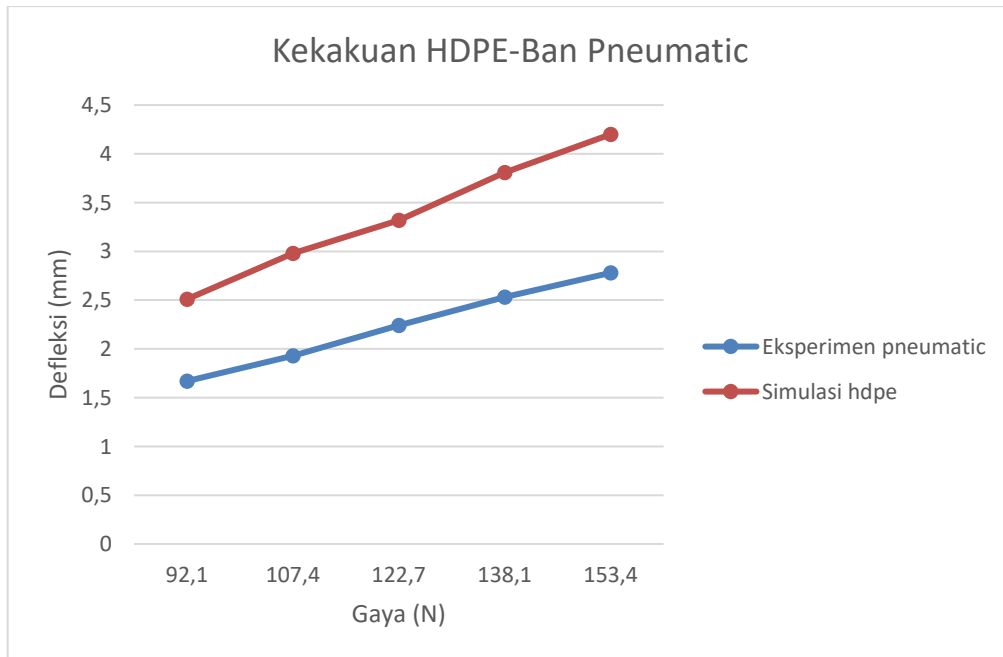
Nilai dari diameter ban saat kondisi awal didapatkan dari selisih *probe* dengan nilai  $109.28 - 71.85 = 37.4$  mm sedangkan nilai pada saat ban terdefleksi didapatkan dari selisih *probe* dengan nilai koordinat  $112.63 - 79.43 = 33.2$  mm. untuk mendapatkan nilai defleksi perlu dilakukan pengurangan antara hasil kondisi awal dengan kondisi terdeformasi, sehingga berdasarkan

perhitungan diatas defleksi yang terjadi pada ban *airless* yaitu sebesar 4.2 mm untuk defleksi kearah vertical. Berikut adalah hasil dari simulai kekakuan ban *airle*

Tabel 4.5 Hasil simulasi HDPE

	Gaya (N)	Defleksi (mm)	Kekakuan (N/mm)
Simulasi HDPE	92.1	2.51	36.7
	107.4	2.98	36.0
	122.7	3.32	37.0
	138.1	3.81	36.2
	153.4	4.2	36.5

Dari hasil simulasi pada table 4.5 dibandingkan dengan hasil eksperimen ban pneumatic agar diketahui apakah hasil simulasi material hdpe memiliki performa seperti pada ban pneumatic. Berikut adalah grafik perbandingan hasil simulasi dan eksperimen material ban pneumatic.



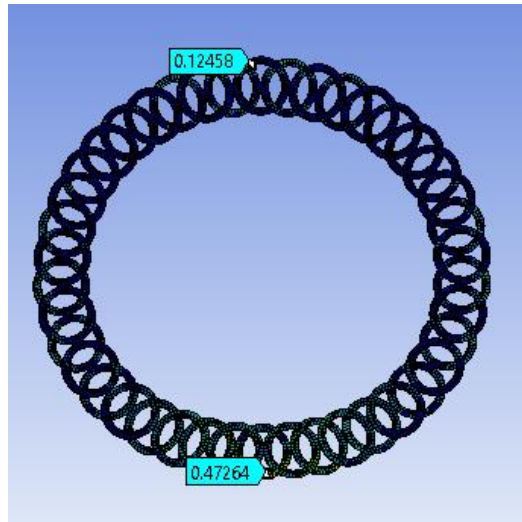
Gambar 4.18 Perbandingan simulasi hdpe dan eksperimen pneumatic.

Dapat dilihat berdasarkan grafik pada gambar 4.18, nilai kekakuan dari ban *airless* material *hdpe* jauh dibawah dari nilai kekakuan pada ban pneumatic, dengan nilai kekakuan pada ban pneumatic sebesar 55.1 N/mm dan pada simulasi *hdpe* sebesar 36.5 N/mm. Hal ini dikarenakan nilai defleksi dari simulasi *hdpe* lebih besar dari batas maksimum yang yang telah ditentukan, ketika defleksi yang terjadi lebih besar maka ban dapat menjadi ban mati atau sulit untuk terdefleksi lagi, yang dapat membuat kendali kendaraan terpengaruh dan bila terlalu besar dapat merusak pelek. Dari hasil tersebut berbeda dengan simulasi defleksi sebelumnya dengan

material *PVC* pada sub-sub-bab 4.2.2 yang hasilnya mendekati dari batas maksimum dan bisa dikatakan memiliki performa yang mendekati ban pneumatic, hal ini dikarenakan dari material *hdpe* itu sendiri lebih elastis dari pada material *pvc*. *Hdpe* mempunyai *modulus young* yang lebih kecil dari *pvc* yaitu sebesar 1000 MPa sedangkan *modulus young pvc* sebesar 3275. Berarti hal ini sudah sesuai, dimana material yang lebih elastis akan memiliki nilai defleksi yang lebih besar.

### 4.3.2 Hasil Simulasi Fatigue

Pada pengujian fatigue pada ban airless, sudah ditentukan batas umur fatigue agar dapat dikategorikan termasuk ke dalam infinite life yaitu sebesar  $1e6$  cycle. Untuk mengetahui umur fatigue yang dapat ditempuh oleh desain spoke, terlebih dahulu untuk mengetahui berapa besar tegangan maksimal yang didapatkan. Besaran beban diambil dari posisi spoke ban, beban maksimal akan terjadi ketika spoke berada dibawah sedangkan beban minimal akan terjadi ketika spoke ban berada diatas.



Gambar 4.19 Nilai Tegangan Pada Posisi *Spoke* Ban

Dari gambar 4.19 didapatkan nilai tegangan maksimal sebesar 0.47264 MPa dan tegangan minimal sebesar 0.12458 MPa. Untuk mendapatkan *ratio* dilakukan pembagian antara nilai tegangan minimal dengan nilai tegangan maksimal.

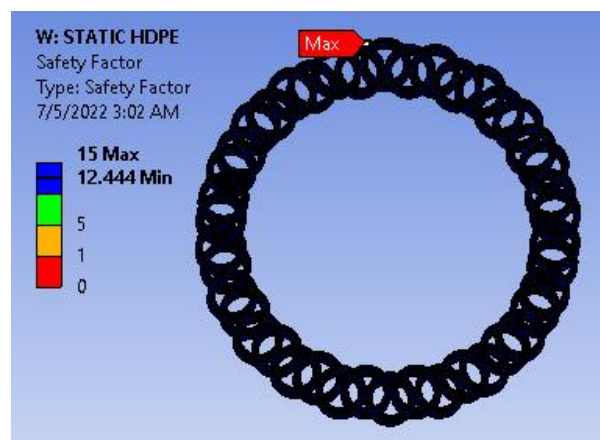
$$\begin{aligned}
 \text{Ratio} &= \frac{\sigma_{\text{minimal}}}{\sigma_{\text{maksimal}}} \\
 &= \frac{0.12458}{0.47264} \\
 &= 0.26
 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan *ratio* tegangan dari hasil perhitungan, kemudian dilakukan simulasi pada *spoke*. Pada proses simulasi untuk mendapatkan *fatigue life* dan *safety factor*, terlebih dahulu mendefinisikan *fatigue tool* untuk mendefinisikan *mean stress theory* serta *ratio* yang akan digunakan.

Details of "Fatigue Tool"	
[-] Domain	
Domain Type	Time
[-] Materials	
Fatigue Strength Factor (Kf)	1.
[-] Loading	
Type	Ratio
Loading Ratio	0.26
<input type="checkbox"/> Scale Factor	1.
[-] Definition	
<input type="checkbox"/> Display Time	End Time
[-] Options	
Analysis Type	Stress Life
Mean Stress Theory	Soderberg
Stress Component	Equivalent (von-Mises)
[-] Life Units	
Units Name	cycles
1 cycle is equal to	1. cycles

Gambar 4.20 Definisi Pada *Fatigue Tool*

Gambar 4.20 merupakan gambar definisi pada menu *fatiguetoold* pada proses simulasi menggunakan *static structural*. Proses simulasi menggunakan *mean stress theory soderberg* untuk mengetahui umur *fatigue* pada ban ini, digunakan teori ini karena menggunakan *yield strength* sebagai keamanan *fatigue*, dimana nilai *yield strength* lebih kecil dari *ultimate tensile strength* yang digunakan sebagai batas keamanan *fatigue* oleh teori *goodman* sehingga pada teori *sorderberg* tingkat keamanan *fatigue* lebih aman. Pada simulasi ini menggunakan loading type *ratio* karena pembebanan yang di berikan pada simulasi ini diatas nol dan geometri pada simulai ini adalah ban, dimana nilai tegangan maksimum berada pada bagian bawah dari ban dan tegangan minimum berada pada bagian atas dari ban, maka dari itu menggunakan *loading type ratio* agar bisa dicari nilai rata-rata dari tegangan tersebut. Nilai *ratio* rata-rata yang telah didapatkan yaitu 0.26 akan digunakan sebagai input nilai *loading type ratio*. Setelah itu dilakukan proses simulasi dengan pembebanan yang sudah dijelaskan sebelumnya. Dimana pada model ini jumlah *nodes* sebesar 74219 serta jumlah *elements* sebesar 89277 untuk masing-masing variasi pengujian. Berikut adalah gambar salah satu hasil simulasi untuk mengetahui umur *fatigue* padamodel ini.



Gambar 4.21 *Safety factor* Pada *Spoke PVC*

Gambar 4.21 diatas merupakan hasil simulasi untuk mengetahui *fatigue life* dan *safety factor* dari *spoke* material *pvc* dengan pembebanan seperti pada sub-bab 3.2.1. Dari hasil simulasi didapatkan nilai *fatigue life* sebesar  $1e7$  cycle dan terjadi pada *spoke* bagian atas. Hal

ini mengidentifikasi dengan pembebanan yang diberikan *spoke* material *pvc* tersebut bisa dipakai dalam keadaan aman, belum ada daerah yang mengaami tahap *crack initiation* seperti terori pada bab 2. Selain *fatigue life* hasil dari simulai didapatkan data *safety factor* maksimal sebesar 15, sedangkan *safety factor* minimal sebesar 12.4. Hal ini berarti tegangan yang diterima oleh *spoke* berada dibawah tegangan minimal yang membuat *fatigue life* tak terhingga. Dan juga pada kondisi pembebanan ini bisa dikatakan aman dari kegagalan *fatigue* karena factor keamanan dibawah nilai 1. Serta, *spoke* ini dikategorikan sebagai *infinite life* jika dikenai beban pada kondisi ini. Jika dihubungkan dengan teori bahwa desain dikatakan *infinite life* ketika umur kelelahannya lebih dari  $10^6$  *cycle* dan tegangan maksimal yang terjadi harus dibawah *endurance limit* dari material *HDPE* yang besarnya 16 Mpa. Jika dihubungkan dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Sheldon S.N. Pinto, dkk hasil dari apabila diberikan beban dengan berat badan rata-rata manusia umur dari pelek *hubless* yaitu *infinite life*.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi statik pada pelek *hubless* yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Pada simulasi material PVC kekakuan yang terjadi mempunyai rata-rata nilai sebesar 52.2 N/mm masih mendekati dari batas maksimum kekakuan yang ditentukan pada kekakuan ban pneumatic dengan nilai rata-rata kekakuan sebesar 55.1 N/mm. Sedangkan pada simulasi material HDPE kekakuan yang terjadi mempunyai rata-rata nilai sebesar 36.5 N/mm jauh dibawah batas nilai kekakuan yang ditentukan pada ban pneumatic. Hal ini dikarenakan defleksi yang terjadi pada material PVC memiliki perbedaan pada material sebesar 5% dari defleksi yang ditentukan. Sedangkan pada material HDPE defleksi yang terjadi sebesar 4.2mm berada diatas dari batas maksimum yang ditentukan dengan perbedaan sebesar 55% dari defleksi yang ditentukan. Dari nilai kekakuan tersebut, material PVC dalam kategori memiliki performa yang mendekati ban pneumatic digunakan saat berkendara sebagai *spoke* ban *airless* dan material HDPE dalam kategori kurang nyaman digunakan saat berkendara sebagai *spoke* ban *airless*.
2. Tegangan yang terjadi pada semua material aman karena berada di bawah *allowable stress* material yaitu sebesar 52 MPa untuk material PVC dan 22 MPa untuk material HDPE sehingga material ban aman ketika berkendara, dengan nilai tegangan maksimal pada material PVC sebesar 7.2436MPa dan 6.1006MPa pada material HDPE.
3. Pada simulasi fatigue untuk mencari tingkat keamanan pada masing-masing material mempunyai life cycle sebesar  $1e9$  untuk PVC dan  $1e7$  untuk HDPE Sedangkan safety factor pada material PVC sebesar 15 dan pada material HDPE sebesar 12.444. Berdasarkan dasar teori tentang suatu komponen dapat dikatakan mempunyai infinite life dan aman jika life cycle diatas  $1e6$  cycle dan safety factor diatas 1, maka pelek yang digunakan pada penelitian ini memiliki umur infinite life dan pelek ini masuk dalam kategori aman.
4. Pada uji eksperimen ban *airless* material PVC Ketika pembebanan diberikan terjadi perubahan bentuk dari ban, dimana permukaan ban yang bersentuhan dengan permukaan jalan akan mengalami defleksi. Defleksi yang terjadi pada ban hyperelastis sebesar 2.67mm dan deformasi pada spoke sebesar 0.58 dengan defleksi total sebesar 3.25mm. Dapat disimpulkan defleksi yang terjadi pada ban *hyperelastis* lebih besar dari defleksi dengan material elastis. Berarti hal ini sesuai dengan sifat material bahwa material *hyperelastis* akan memiliki nilai deformasi dan defleksi yang lebih besar dibandingkan dengan material elastis.

### 5.2 Saran

Hasil dari simulasi dan eksperimen ini merupakan sarana pendukung dalam proses pembuatan desain untuk ban *airless*. Akan tetapi dibutuhkan penelitian lebih detail mengenai ban ini dikarenakan kurangnya literatur yang melakukan penelitian pada ban ini. Berikut merupakan saran yang bisa digunakan sebagai acuan penelitian lebih lanjut.

1. Pembebanan yang digunakan sebaiknya lebih besar dari penelitian ini agar diketahui *lifetimenya*
2. Aplikasi untuk kendaraan yang lebih besar
3. Dilakukan uji *roundness* pada eksperimen untuk validasi geometri
4. Penelitian tentang defleksi lateral

5. Penelitian untuk bagian ban depan
6. Pengujian untuk fatigue pada material adhesive
7. Pengujian damping radial untuk mengetahui tingkat kenyamanan

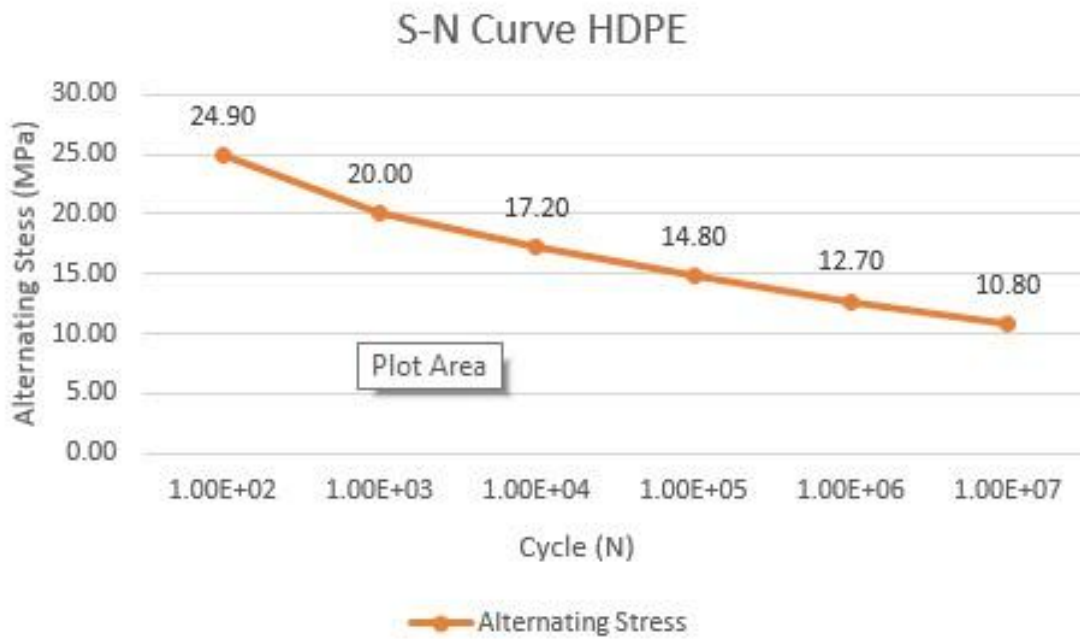
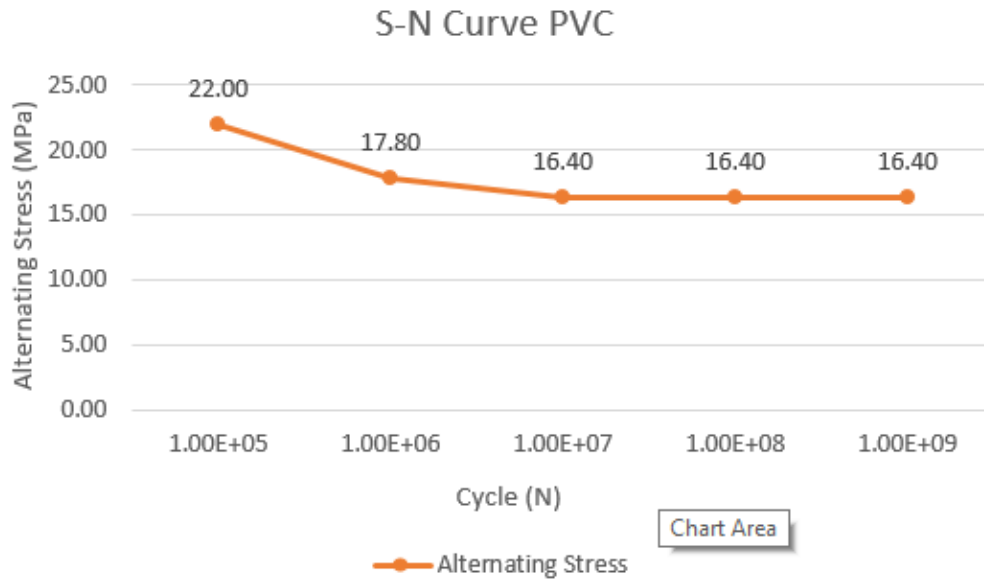
## DAFTAR PUSTAKA

- Auto2000. (2020). *4 Fungsi Ban Mobil yang Penting* | Auto2000.  
<https://auto2000.co.id/berita-dan-tips/fungsi-ban-mobil#>
- Carahalios, A. (2015). *AN ANALYSIS OF THE BICYCLE-RIDER INTERFACE FORCES IN STATIONARY ROAD CYCLING*.
- Daryl L. L. (2012). *a first course in the finite element*.
- Vladimir, V. F. (1967).. *Gastronomía Ecuatoriana y Turismo Local.*, 1(69), 5–24.
- Hibbeler, R. C. (2011). *MECHANICS OF MATERIALS*.
- Hidayat, R., Pranoto, S. E., Tauviquirrahman, M., & Bayuseno, A. P. (2016). Stress investigation on the rolling tires across the speed bump using finite element method. *AIP Conference Proceedings*, 1725. <https://doi.org/10.1063/1.4945482>
- Hutton. (2004). *Fundamentals of Finite Element Analysis. Fundamentals of Finite Element Analysis*.
- Madenci, E., & Guven, I. (2015). The finite element method and applications in engineering using ANSYS®, second edition. In *The Finite Element Method and Applications in Engineering Using ANSYS, Second Edition*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7550-8>
- Nyabakken, G. H., & Clark, S. K. (1969). Vertical and Lateral Stiffness Characteristics of Aircraft Tires. *Vertical and Lateral Stiffness Characteristics of Aircraft Tires*, 08, 1–26.
- patrick, stuart. (2008). No Title. *Practical Guide to Polyvinyl Chloride*, 1(1), 170.
- Pramono, A. S., & Effendi, M. K. (2019). Optimization in airless tires design using backpropagation neural network (BPNN) and genetic algorithm (GA) approaches. *AIP Conference Proceedings*, 2187. <https://doi.org/10.1063/1.5138331>
- Rangdale, P. A., Chandak, K. R., & Bagade, G. M. (2018). INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES & RESEARCH TECHNOLOGY NON PNEUMATIC TYRE. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*.  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.1165624>
- Shigley's. (2011). *Mechanical Engineering Design*.
- Tarachiwin, L., & Tanaka, Y. (2009). *Recent Advances in Structural Characterization of Natural Rubber*.
- Sheldon S.N. Pinto, *Design and Analysis of a Hubless Personal Vehicle*. 2014.
- Souvanny, "US20120024613A1," 2012.
- Ansys, "Ansys Workbench." 2021.

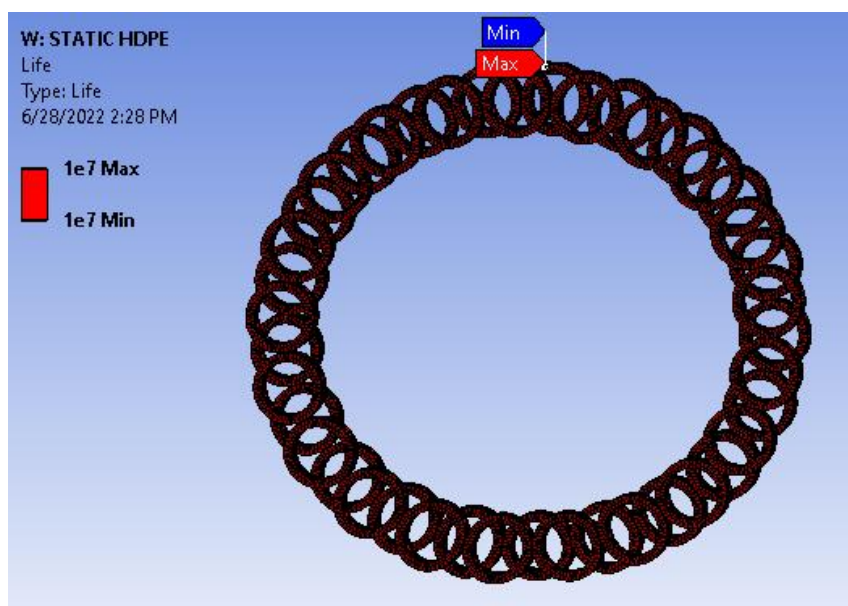
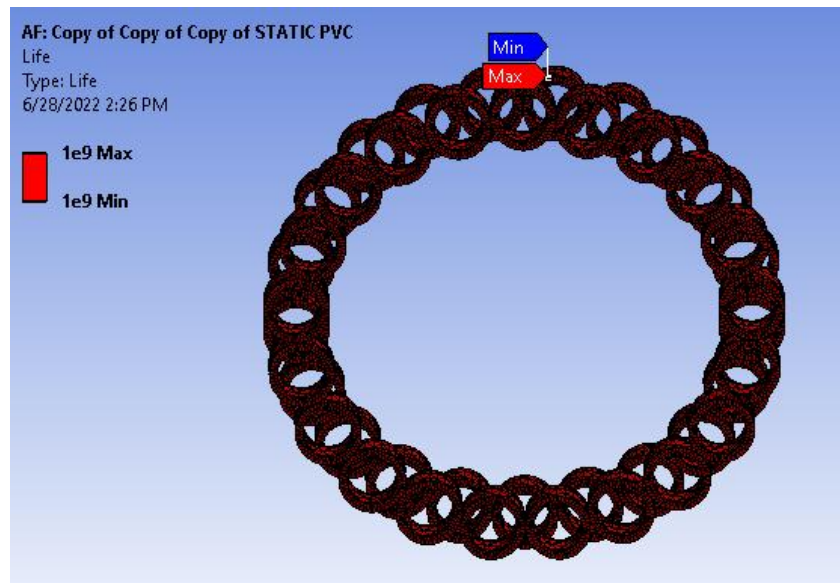


# LAMPIRAN

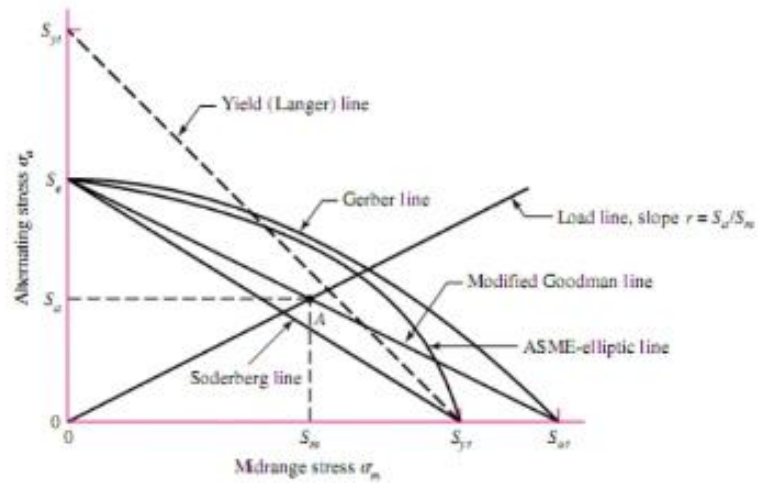
## S-N CURVE



## FATIGUE LIFE



## Teori mean stres



## Defleksi

- Beban eksperimen

```
COM7
|
Load_cell output val: 3013.53
Load_cell output val: 3013.26
Load_cell output val: 3013.03
Load_cell output val: 3012.77
Load_cell output val: 3012.64
Load_cell output val: 3012.76
Load_cell output val: 3012.94
Load_cell output val: 3012.95
Load_cell output val: 3013.06
Load_cell output val: 3013.35
Load_cell output val: 3013.55
Load_cell output val: 3013.60
Load_cell output val: 3013.49
Load_cell output val: 3013.18
Load_cell output val: 3013.05
Load_cell output val: 3012.96
Load_cell output val: 3012.91
Load_cell output val: 3013.06
Load_cell output val: 3013.01
Load_cell output val: 3012.96
Load_cell output val: 3012.95
Load_cell output val: 3012.89
Load_cell output val: 3012.56
Load_cell output val: 3012.26
Load_cell output val: 3011.83
Load_cell output val: 3011.66
Load_cell output val: 3011.57
Load_cell output val: 3011.08
Load_cell output val: 3010.45
Load_cell output val: 3009.87
Load_cell output val: 3009.48
```

Autoscroll  Show timestamp

Newline 57600 baud Clear output

27°C Kabut ENG 11:13 PM INTL 7/23/2022

COM7

```
Load_cell output val: 6148.40
Load_cell output val: 6146.92
Load_cell output val: 6145.52
Load_cell output val: 6144.28
Load_cell output val: 6142.91
Load_cell output val: 6141.51
Load_cell output val: 6139.92
Load_cell output val: 6138.62
Load_cell output val: 6137.07
Load_cell output val: 6135.64
Load_cell output val: 6134.48
Load_cell output val: 6133.42
Load_cell output val: 6132.21
Load_cell output val: 6130.85
Load_cell output val: 6129.36
Load_cell output val: 6127.94
Load_cell output val: 6126.56
Load_cell output val: 6125.37
Load_cell output val: 6123.98
Load_cell output val: 6122.64
Load_cell output val: 6121.38
Load_cell output val: 6120.19
Load_cell output val: 6119.18
Load_cell output val: 6118.11
Load_cell output val: 6117.21
Load_cell output val: 6116.20
Load_cell output val: 6115.14
Load_cell output val: 6114.08
Load_cell output val: 6112.97
Load_cell output val: 6111.97
Load_cell output val: 6111.10
```

Autoscroll  Show timestamp

Newline 57600 baud Clear output

Type here to search 27°C Kabut ENG 11:13 PM INTL 7/23/2022

COM7

```
Load_cell output val: 9218.80
Load_cell output val: 9221.38
Load_cell output val: 9223.94
Load_cell output val: 9226.29
Load_cell output val: 9228.30
Load_cell output val: 9230.46
Load_cell output val: 9232.65
Load_cell output val: 9234.61
Load_cell output val: 9236.52
Load_cell output val: 9236.84
Load_cell output val: 9236.78
Load_cell output val: 9235.79
Load_cell output val: 9234.72
Load_cell output val: 9233.84
Load_cell output val: 9233.14
Load_cell output val: 9232.36
Load_cell output val: 9231.62
Load_cell output val: 9230.73
Load_cell output val: 9229.81
Load_cell output val: 9228.97
Load_cell output val: 9228.12
Load_cell output val: 9227.24
Load_cell output val: 9226.36
Load_cell output val: 9225.52
Load_cell output val: 9224.73
Load_cell output val: 9224.31
Load_cell output val: 9223.95
Load_cell output val: 9223.14
Load_cell output val: 9222.41
Load_cell output val: 9221.53
Load_cell output val: 9220.63
```

Autoscroll  Show timestamp

Newline 57600 baud Clear output

Type here to search 27°C Kabut ENG 11:14 PM INTL 7/23/2022

COM7

```
Load_cell output val: 12210.77
Load_cell output val: 12209.15
Load_cell output val: 12207.55
Load_cell output val: 12206.08
Load_cell output val: 12205.24
Load_cell output val: 12204.62
Load_cell output val: 12204.07
Load_cell output val: 12203.33
Load_cell output val: 12203.33
Load_cell output val: 12203.46
Load_cell output val: 12208.07
Load_cell output val: 12213.12
Load_cell output val: 12217.84
Load_cell output val: 12222.42
Load_cell output val: 12226.69
Load_cell output val: 12230.79
Load_cell output val: 12235.00
Load_cell output val: 12239.48
Load_cell output val: 12243.92
Load_cell output val: 12248.06
Load_cell output val: 12252.11
Load_cell output val: 12255.89
Load_cell output val: 12259.38
Load_cell output val: 12262.62
Load_cell output val: 12265.95
Load_cell output val: 12268.67
Load_cell output val: 12268.67
Load_cell output val: 12267.16
Load_cell output val: 12265.02
Load_cell output val: 12263.16
Load_cell output val: 12261.35
```

Autoscroll  Show timestamp

Newline 57600 baud Clear output

27°C Kabut ENG 11:16 PM  
INTL 7/23/2022

COM7

```
Load_cell output val: 12235.00
Load_cell output val: 12239.48
Load_cell output val: 12243.92
Load_cell output val: 12248.06
Load_cell output val: 12252.11
Load_cell output val: 12255.89
Load_cell output val: 12259.38
Load_cell output val: 12262.62
Load_cell output val: 12265.95
Load_cell output val: 12268.67
Load_cell output val: 12268.67
Load_cell output val: 12267.16
Load_cell output val: 12265.02
Load_cell output val: 12263.16
Load_cell output val: 12261.35
Load_cell output val: 12259.68
Load_cell output val: 12257.97
Load_cell output val: 12256.18
Load_cell output val: 12254.71
Load_cell output val: 12253.18
Load_cell output val: 12251.65
Load_cell output val: 12250.12
Load_cell output val: 12248.52
Load_cell output val: 12246.97
Load_cell output val: 12245.55
Load_cell output val: 12244.14
Load_cell output val: 12242.64
Load_cell output val: 12241.17
Load_cell output val: 12239.86
Load_cell output val: 12238.42
Load_cell output val: 12236.91
```

Autoscroll  Show timestamp

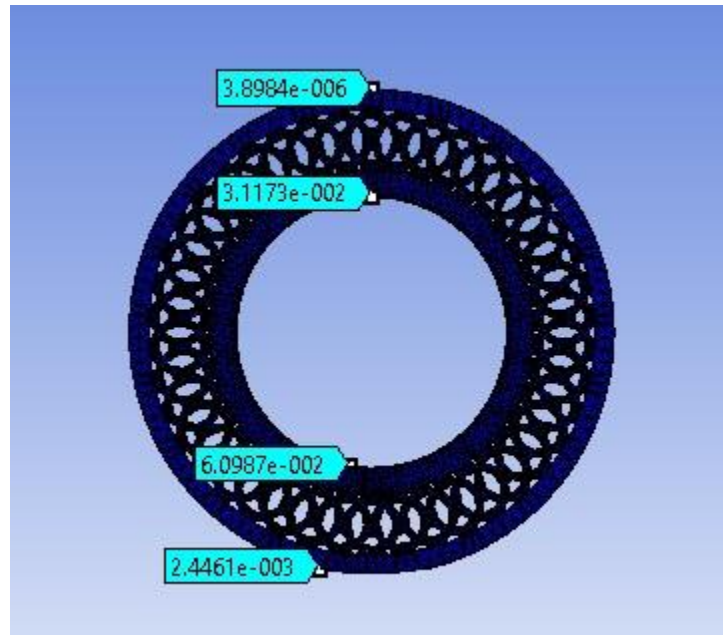
Newline 57600 baud Clear output

27°C Kabut ENG 11:16 PM  
INTL 7/23/2022

- Hasil eksperimen pvc

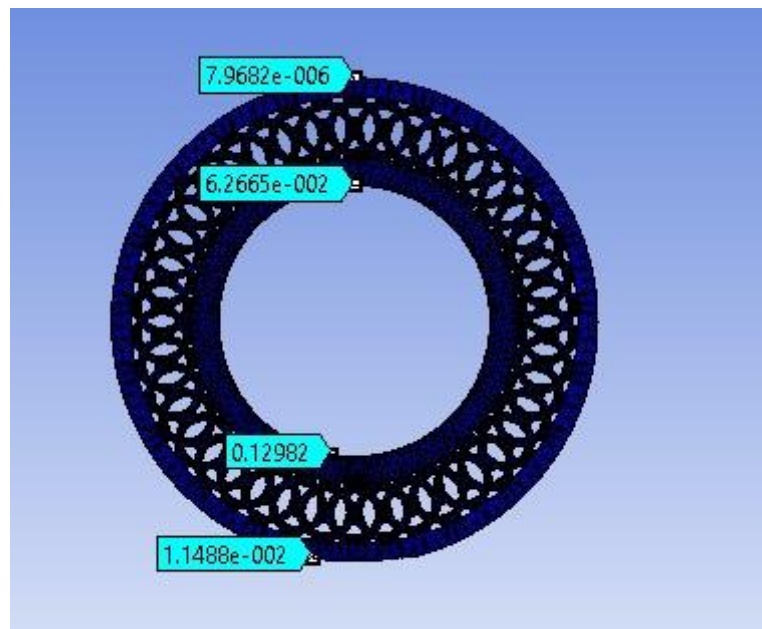


- Hasil defleksi simulasi pvc  
Gaya 92.1 N



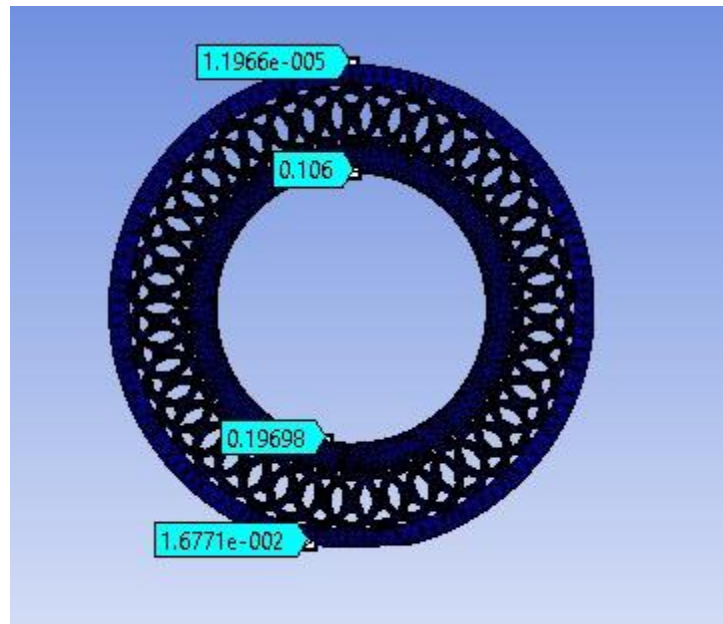
Graphics Annotations						
Type	Value	Note	Unit	Location X	Location Y	Location Z
Result	3.1173e-002	Kondisi awal	MPa	15.982580	62.726192	0.043556
Result	3.8984e-006		MPa	15.973429	112.806716	0.011801
Result	6.0987e-002	Kondisi Terdefleksi	MPa	12.477546	-63.305311	10.376497
Result	2.4461e-003		MPa	16.082178	-111.607525	24.676618

Gaya 107.4



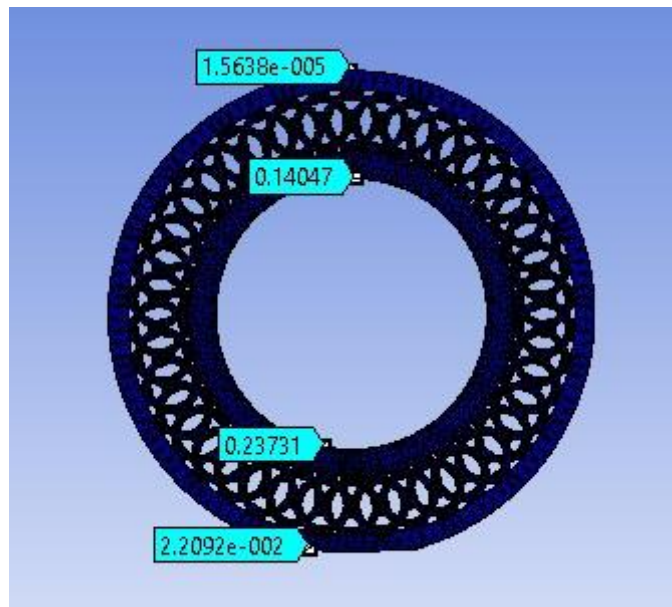
Graphics Annotations						
Type	Value	Note	Unit	Location X	Location Y	Location Z
Result	7.9682e-006	Kondisi Awal	MPa	15.939118	112.331976	0.113649
Result	6.2665e-002		MPa	15.958705	62.156474	0.106354
Result	1.1488e-002	Kondisi Terdefleksi	MPa	16.024887	-111.947649	19.731977
Result	0.12982		MPa	16.012407	-63.834320	10.854090

Gaya 122.7



Graphics Annotations						
Type	Value	Note	Unit	Location X	Location Y	Location Z
Result	1.1966e-005	Kondisi Awal	MPa	15.901692	111.762909	0.222295
Result	0.106		MPa	15.931900	61.714548	-1.463857
Result	1.6771e-002	Kondisi Terdefleksi	MPa	16.048333	-111.826167	19.760722
Result	0.19698		MPa	16.014866	-64.122459	11.685092

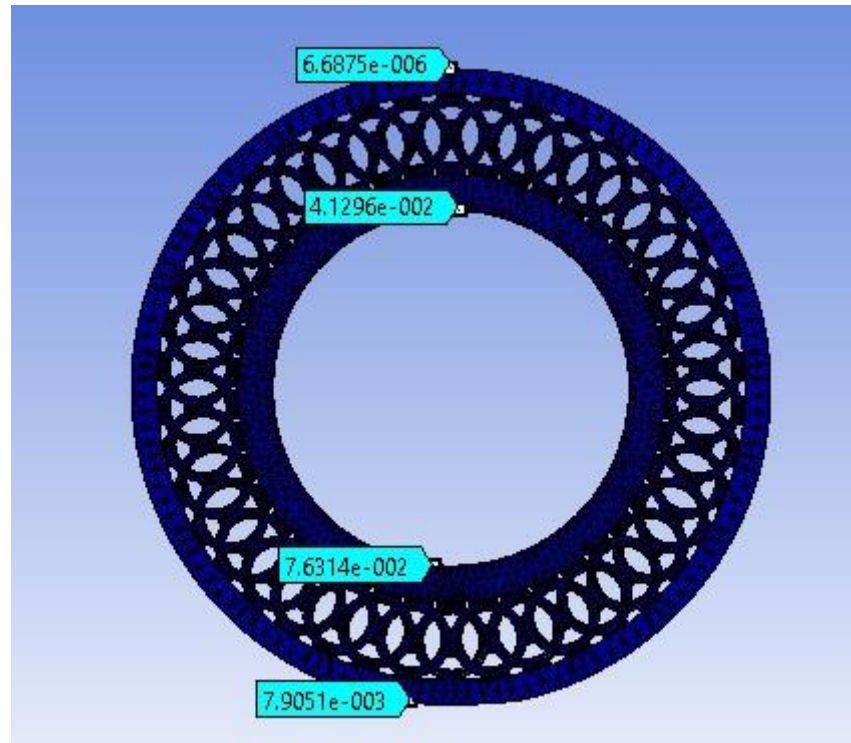
Gaya 138.1



Graphics Annotations						
Type	Value	Note	Unit	Location X	Location Y	Location Z
Result	1.5638e-005	Kondisi Awal	MPa	14.226099	111.476816	0.465418
Result	0.14047		MPa	15.903435	61.357129	-1.522673
Result	2.2092e-002	Kondisi Terdefleksi	MPa	16.041209	-111.816369	19.724935
Result	0.23731		MPa	14.818090	-64.293003	12.736909

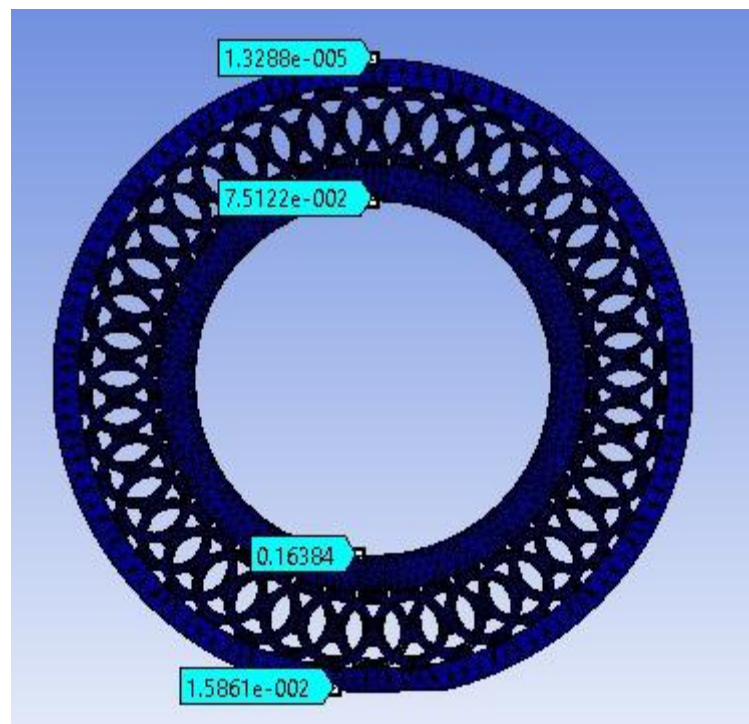


- Hasil simulasi HDPE  
Gaya 92.1



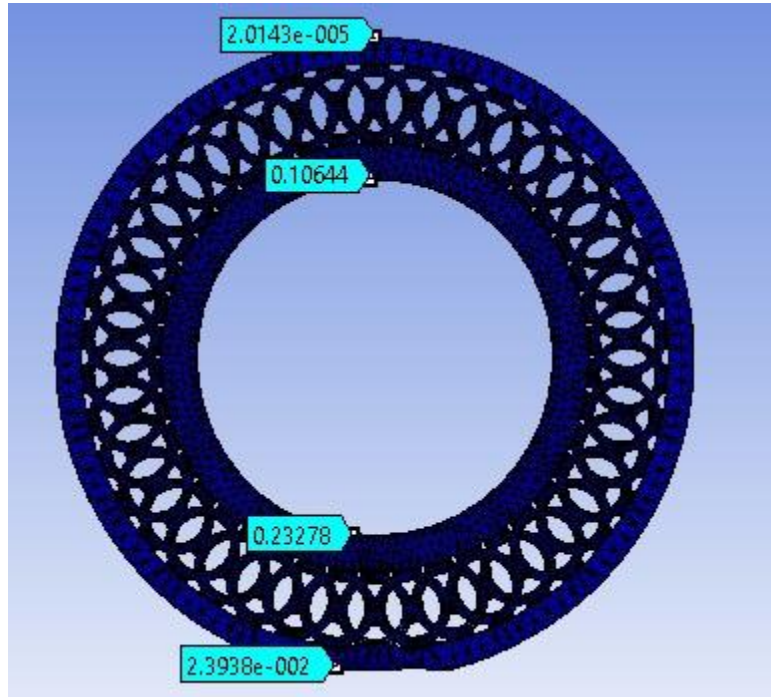
Type	Value	Note	Unit	Location X	Location Y	Location Z
Result	4.1296e-002	Kondisi Awal	MPa	16.032822	62.581665	-3.059106
Result	6.6875e-006		MPa	16.033771	112.760432	0.088551
Result	7.6314e-002	Kondisi Terdefleksi	MPa	16.031525	-64.279292	6.271700
Result	7.9051e-003		MPa	16.154455	-111.948945	14.540515

Gaya 107.4



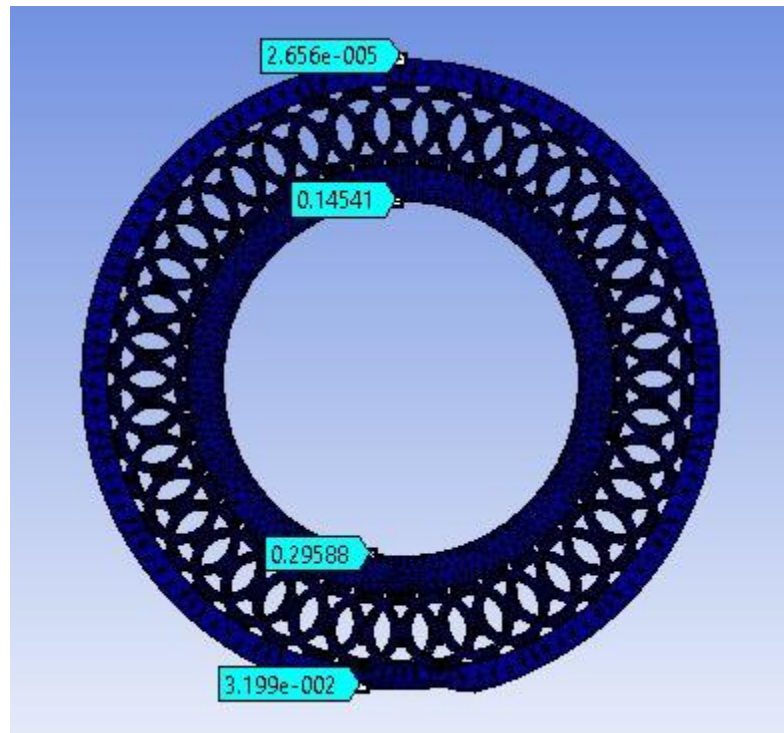
Type	Value	Note	Unit	Location X	Location Y	Location Z
Result	1.3288e-005	Kondisi Awal	MPa	16.067540	111.859988	0.230861
Result	7.5122e-002		MPa	16.065603	61.709272	0.073447
Result	1.5861e-002	Kondisi Terdefleksi	MPa	16.295093	-112.268558	13.738093
Result	0.16384		MPa	16.063039	-65.090172	5.754931

Gaya 122.7



Type	Value	Note	Unit	Location X	Location Y	Location Z
Result	2.0143e-005	Kondisi Awal	MPa	16.101315	111.032374	0.122185
Result	0.10644		MPa	16.098390	60.939994	1.817723
Result	0.23278	Kondisi Terdefleksi	MPa	16.094602	-65.718187	8.106924
Result	2.3938e-002		MPa	16.290360	-112.493008	14.072684

Gaya 138.1



Graphics Annotations							⌵	×
Type	Value	Note	Unit	Location X	Location Y	Location Z	⤴	
Result	0.14541	Kondisi Awal	MPa	16.131171	59.926327	1.900597		
Result	2.656e-005		MPa	16.135072	110.073346	0.265845		
Result	3.199e-002	Kondisi Terdefleksi	MPa	16.323019	-112.543269	14.025785		
Result	0.29588		MPa	16.126213	-66.208243	10.964943	⤵	

## BIODATA PENULIS



Tugas akhir ini ditulis oleh M Nurul Huda yang dilahirkan di Pasuruan, 18 November 1999. Penulis merupakan anak ke 2 dari 2 bersaudara dari pasangan Bapak M Sahanan dan Ibu Rahmi Chusnul Chotimah. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Logowok 2 Pasuruan, SMPN 7 Pasuruan, dan SMAN 1 Pasuruan sebelum akhirnya mengikuti seleksi SBMPTN dan diterima di Departemen Teknik Mesin FTIRS-ITS pada tahun 2018.

Selama menempuh pendidikan S-1, penulis sempat aktif di beberapa kegiatan yang diselenggarakan di dalam dan luar ITS. Diantaranya sebagai *staff* hubungan luar Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin Departemen Teknik Mesin (LBMM DTM) pada periode 2019/2020 sebelum kemudian menjabat sebagai kepala biro hubungan alumni pada periode 2020/2021.

Untuk Informasi, kritik, saran serta keperluan lain mengenai tugas akhir ini, penulis dapat dihubungi melalui *e-mail* berikut: [boshuda217@gmail.com](mailto:boshuda217@gmail.com).