

**TUGAS AKHIR - TM184835**

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

**MOHAMMAD NAUVAL VAROZDAQ RUSY AidY**  
0211184000034

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



**TUGAS AKHIR - TM184835**

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

**MOHAMMAD NAUVAL VAROZDAQ RUSYAIDY  
0211184000034**

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**

**IMPACT ANALYSIS OF ELECTRIC SCOOTER AIRLESS  
TIRES AS WHEELCHAIR PULLERS TO FACILITATE  
OPERATION BY DISABLED PATIENTS**

**MOHAMMAD NAUVAL VAROZDAQ RUSY AidY**  
0211184000034

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:

**Mohammad Nauval Varozdaq Rusyaidy**

NRP. 0211184000034

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

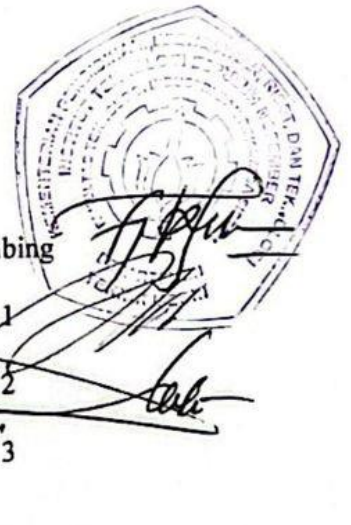
1. Dr.Ir. Agus Sigit Pramono DEA
2. Dr.Eng. Yohanes, S.T., M.Sc.
3. Ir. Yusuf Kaelani, M. Sc. E.
4. Ir.Julendra Bambang Ariadteja, MT.

Pembimbing

Penguji 1

Penguji 2

Penguji 3



SURABAYA  
Juli, 2022

**APPROVAL SHEET**

**IMPACT ANALYSIS OF ELECTRIC SCOOTER AIRLESS TIRES AS  
WHEELCHAIR PULLERS TO FACILITATE OPERATION BY DISABLED  
PATIENTS**

**FINAL PROJECT**

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

By:

**Mohammad Nauval Varozdaq Rusyaidy**

NRP. 0211184000034

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.

Adviser

Examiner 1

Examiner 2

Examiner 3



**SURABAYA  
July, 2022**

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Mohammad Nauval Varozdaq R. / 0211184000034

Departemen : Teknik Mesin

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

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “ Analisis Impak pada Ban Airless 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.


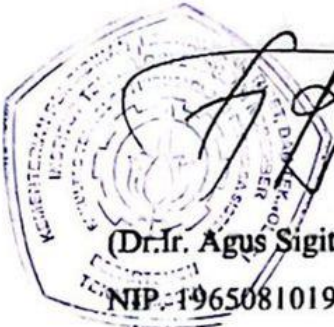
Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 1 Agustus 2022

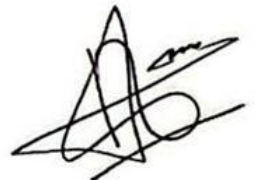
Mengetahui

Dosen Pembimbing

Mahasiswa,

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

(Mohammad Nauval Varozdaq R.)  
NRP. 0211184000034



## STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP : Mohammad Nauval Varozdaq R. / 02111840000034  
Department : Mechanical Engineering  
Advisor / NIP : Dr.Ir. Agus Sigit Pramono DEA / 196508101991021001

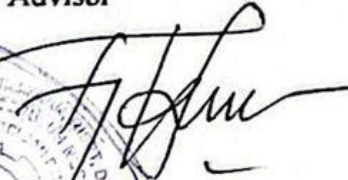
Hereby declare that the Final Project with the title of “ Impact Analysis of Electric Scooter Airless Tires as Wheelchair Pullers to Facilitate Operation by Disabled Patients “ is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

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, 1 August 2022

Acknowledged  
Advisor

Student,



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



(Mohammad Nauval Varozdaq R.)  
NRP. 02111840000034

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

Nama / NRP : Mohammad Nauval Varozdaq R./ 0211184000034

Departemen : Teknik Mesin FTIRS-ITS

Dosen Pembimbing : Dr.Ir.Agus Sigit Pramono DEA

## Abstrak

Pada era saat ini sering dijumpai pasien yang menderita lumpuh baik dikarenakan kecelakaan maupun hal lainnya, pasien tersebut membutuhkan kursi roda untuk mempermudah beraktivitas. Banyak diantara mereka yang menggerakkan kursi roda dengan menggunakan tangan guna mempermudah aktivitas mereka. Ada juga diantara mereka yang kesusahan menggerakkan kursi roda menggunakan tangan mereka sehingga mereka membutuhkan bantuan orang lain untuk melakukan aktivitas diatas kursi roda, dalam hal ini untuk berpindah tempat. Dengan latar belakang tersebut dimaksudkan untuk menggabungkan antara kursi roda dengan skuter elektrik untuk memudahkan pengoperasian bagi para pasien difabel.

Ban merupakan salah satu komponen kendaraan yang berpertan penting dalam keamanan dan kenyamanan berkendara. Ban yang saat ini tersedia secara massal yaitu ban radial dan solid, namun keduanya memiliki kekurangan. Ban radial memiliki kenyamanan baik namun tidak aman terhadap benda tajam, sedangkan ban solid kenyamanannya rendah walaupun aman terhadap benda tajam. Desain ban airless merupakan sebuah solusi yang dihadirkan untuk menjawab permasalahan tersebut. Pada umumnya pembuatan ban airless dilakukan dengan proses 3D printing dengan model spoke honeycomb atau rhombus. Pada penelitian ini akan diuji desain ban airless dengan model spoke cylindrical dan menggunakan material yang tersedia di pasaran yaitu Polyvinyl Chloride dan High Density Polyethylene.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar defleksi dan tegangan yang terjadi ketika ban dijalankan dalam beberapa variasi. Variasi yang digunakan yaitu material Polyvinyl Chloride dan High Density Polyethylene serta jalan dengan step dan paving block. Model ban dan juga profil jalan dibuat menggunakan software Solidworks, kemudian disimulasikan menggunakan software Explicit Dynamics. Hasil yang diamati dari simulasi yaitu equivalent stress, defleksi, dan vibration dose value yang digunakan sebagai acuan dalam menentukan keamanan dan kenyamanan dari ban ketika terkena beban impact akibat kontak antara ban dengan permukaan jalan. Model ban airless yang digunakan dalam penelitian ini telah diteliti dalam kondisi statis, sedangkan dalam pengoprasian kendaraan, ban juga beroperasi dalam kondisi dinamis yang dapat membuat ban terkena beban lebih besar dibandingkan kondisi statis. Oleh karena itu, pengaruh beban dinamis, dalam hal ini impact terhadap defleksi dan tegangan pada ban airless juga perlu diteliti.

Hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa pada model step didapatkan tegangan material PVC sebesar 5,12 MPa, material HDPE 2,58 Mpa. Defleksi pada material PVC sebesar 2,70 mm, material HDPE 3,19 mm. Vibration Dose Value pada material PVC sebesar  $4,654 \text{ m/s}^{1,75}$ , material HDPE  $3,227 \text{ m/s}^{1,75}$ . Pada model paving block didapatkan tegangan material PVC sebesar 3,25 MPa, material HDPE 1,27 MPa. Defleksi pada material PVC sebesar 1,18 mm, material HDPE 2,05 mm. Vibration Dose Value pada material PVC sebesar  $3,277 \text{ m/s}^{1,75}$ , material HDPE  $3,239 \text{ m/s}^{1,75}$ . Semua data tegangan maksimal pada variasi di atas masih di bawah dari nilai allowable stress dari masing-masing material yaitu PVC sebesar 52 MPa dan HDPE



*sebesar 30 Mpa. Begitu juga data defleksi dimana semua data defleksi pada setiap variasi masih berada di bawah defleksi maksimal yang diizinkan yaitu 78,7 mm. Data VDV yang diperoleh dari semua variasi pengujian berada pada tingkat resiko moderate karena nilai vibration dose value berada antara  $0,85 \text{ m/s}^{1,75}$  sampai  $17 \text{ m/s}^{1,75}$  dimana terdapat potensi resiko kesehatan kerja pada nilai ini.*

***Kata kunci: ban airless, defleksi ban, equivalent stress, Explicit Dynamics, Vibration Dose Value***

# IMPACT ANALYSIS OF ELECTRIC SCOOTER AIRLESS TIRES AS WHEELCHAIR PULLERS TO FACILITATE OPERATION BY DISABLED PATIENTS

**Student Name/NRP** : Mohammad Nauval Varozdaq R./02111840000034  
**Department** : Teknik Mesin FTIRS-ITS  
**Advisor** : Dr.Ir.Agus Sigit Pramono DEA

## Abstract

*In the current era, it is often found that patients who suffer from paralysis either due to accidents or other things, these patients need wheelchairs to facilitate their activities. Many of them move the wheelchair by hand to facilitate their activities. There are also those who have difficulty moving the wheelchair using their hands so that they need the help of others to carry out activities on the wheelchair, in this case to move places. With this background, it is intended to combine wheelchairs with electric scooters to facilitate operation for patients with disabilities.*

*Tires are one of the vehicle components that play an important role in driving safety and comfort. Tires that are currently mass available are radial and solid tires, but both have disadvantages. Radial tires have good comfort but are not safe against sharp objects, while solid tires have low comfort but are safe against sharp objects. Airless tire design is a solution that is presented to answer these problems. In general, the manufacture of airless tires is done by 3D printing process with honeycomb or rhombus spoke models. This study will test the design of airless tires with cylindrical spoke models and using materials available on the market, namely Polyvinyl Chloride and High Density Polyethylene.*

*This study aims to determine the amount of deflection and stress that occurs when the tire is run in several variations. The variations used are Polyvinyl Chloride and High Density Polyethylene materials and roads with steps and paving blocks. The tire model and road profile were created using Solidworks software, and then simulated using Explicit Dynamics software. The results observed from the simulation are the equivalent stress, deflection, and vibration dose value which are used as a reference in determining the safety and comfort of the tire when exposed to impact loads due to contact between the tire and the road surface. The airless tire model used in this research has been studied under static conditions, while in vehicle operation, tires also operate under dynamic conditions that can expose tires to greater loads than static conditions. Therefore, the effect of dynamic load, in this case impact, on deflection and stress in airless tires also needs to be investigated.*

*The results of this test show that in the step model, the stress of PVC material is 5,12 MPa, HDPE material is 2,58 Mpa. Deflection on PVC material amounted to 2,70 mm, HDPE material 3,19 mm. Vibration Dose Value on PVC material amounted to 4,564 m/s<sup>1,75</sup>, HDPE material 3,227 m/s<sup>1,75</sup>. In the paving block model, the stress of PVC material is 3.25 MPa, HDPE material is 1.27 MPa. Deflection on PVC material amounted to 1.18 mm, HDPE material 2.05 mm. Vibration Dose Value on PVC material amounted to 3,277 m/s<sup>1,75</sup>, HDPE material 3,239 m/s<sup>1,75</sup>. All maximum stress data in the above variations are still below the allowable stress value of each material, namely PVC of 52 MPa and HDPE of 30 Mpa. Likewise, deflection data where all deflection data in each variation is still below the maximum allowable deflection of 78.7 mm. VDV data obtained from all test variations are at a moderate risk level because the vibration dose value is between 0.85 m/s<sup>1,75</sup> to 17 m/s<sup>1,75</sup> where there is a potential occupational health risk at this value.*

***Keywords: airless tire, tire deflection, equivalent stress, Explicit Dynamics, Vibration Dose Value***

## 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. Bapak Irsyad Yusuf dan Ibu Lulis Ratnawati Yudi selaku orang tua penulis serta Mohammad Virryan Dienal Haq dan Adhiela Maziya Afkarina selaku adik 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 Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT. selaku dosen wali penulis yang telah memberikan nasihat sejak awal perkuliahan hingga akhir perkuliahan.
5. Seluruh teman satu bimbingan tugas akhir (Rizal, Garin, Huda, Shiddiq, Syarif) yang telah membantu, menemani, serta membagi ilmunya kepada penulis selama pengerjaan tugas akhir ini.
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

**Mohammad Nauval Varozdaq R.**  
**NRP. 0211184000034**

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	iv
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT .....	x
KATA PENGANTAR .....	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xvi
DAFTAR TABEL.....	xviii
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	1
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>3</b>
2.1 Ban .....	3
2.1.1 Jenis Ban.....	4
2.2 Material Pipa .....	6
2.2.1 <i>Polyvinyl Chloride</i> .....	6
2.2.2 <i>High-density Polyethylene</i> .....	6
2.3 Ukuran Ban .....	7
2.4 Impuls dan Momentum .....	8
2.5 Defleksi .....	10
2.5.1 Defleksi Vertikal.....	10
2.5.2 Defleksi Lateral .....	12
2.6 Tegangan.....	15
2.7 Uji Impak .....	16
2.8 Getaran Mekanis .....	16
2.8.1 Perhitungan Getaran Seluruh Tubuh ( <i>Whole Body Vibration</i> ).....	17
2.9 <i>Finite Element Method</i> .....	18
2.9.1 <i>Meshing</i> .....	19
2.9.2 <i>Explicit Dynamics</i> .....	19
2.10 Penelitian Terdahulu .....	20
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>27</b>

3.1 Diagram Alir Penelitian .....	27
3.2 Observasi.....	28
3.3 Perumusan Masalah .....	28
3.4 Studi Literatur .....	29
3.5 Identifikasi Pembebanan .....	29
3.6 Pengumpulan Data Awal .....	30
3.7 Pemodelan Simulasi.....	30
3.7.1 Pemodelan Pelek .....	30
3.7.2 Pemodelan Penampang <i>Spoke</i> .....	31
3.7.3 Pemodelan <i>Spoke</i> .....	32
3.7.4 Pemodelan Jalan .....	33
3.7.5 <i>Assembly Model 3D</i> .....	34
3.8 Simulasi <i>Finite Element Method</i> .....	35
3.8.1 Mendefinisikan <i>Engineering Data</i> .....	35
3.8.2 Mengimpor Geometri .....	36
3.8.3 Melakukan Pemodelan pada ANSYS.....	36
3.9 Eksperimen.....	41
3.9.1 Alat Uji Eksperimen .....	41
3.9.2 Alur Pengujian.....	41
3.10 Verifikasi.....	41
3.11 Analisis Hasil Data.....	42
<b>BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>43</b>
4.1 Verifikasi.....	43
4.1.1 Verifikasi Energi.....	43
4.1.2 Konvergensi.....	43
4.1.3 Data Hasil Eksperimen .....	45
4.2 Data Hasil Simulasi.....	47
4.3 Analisis Model Step.....	47
4.3.1 Tegangan pada Model Step .....	47
4.3.2 Defleksi pada Model Step.....	49
4.3.3 <i>Vibration Dose Value</i> pada Model Step .....	50
4.4 Analisis Model Paving .....	51
4.4.1 Tegangan pada Model Paving .....	51
4.4.2 Defleksi pada Model Paving .....	53
4.4.3 <i>Vibration Dose Value</i> pada Model <i>Paving</i> .....	54
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>56</b>



5.1 Kesimpulan .....	56
5.2 Saran.....	56
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>57</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>58</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Ban Radial.....	3
<b>Gambar 2.2</b> Ban Solid.....	4
<b>Gambar 2.3</b> Ban <i>airless</i> .....	4
<b>Gambar 2.4</b> Ban pneumatic.....	5
<b>Gambar 2.5</b> Ban Non Pneumatik .....	5
<b>Gambar 2.6</b> <i>Mechanical Properties</i> HDPE.....	7
<b>Gambar 2.7</b> Ukuran Ban .....	7
<b>Gambar 2.8</b> Kodifikasi Ban .....	8
<b>Gambar 2.9</b> Grafik Impuls .....	9
<b>Gambar 2.10</b> Momentum Linear.....	9
<b>Gambar 2.11</b> Momentum Angular.....	10
<b>Gambar 2.12</b> Variasi Waktu Integral Implisit dan Eksplisit.....	10
<b>Gambar 2.13</b> Skematik Ban dengan Tampak Samping .....	11
<b>Gambar 2.14</b> Potongan Melintang Ban.....	12
<b>Gambar 2.15</b> Potongan Ban Sebelum dan Sesudah Deformasi .....	13
<b>Gambar 2.16</b> Potongan Ban Menunjukkan $N\phi$ .....	14
<b>Gambar 2.17</b> Luasan Potongan Ban.....	14
<b>Gambar 2.18</b> Ilustrasi Gaya yang Bekerja pada Struktur.....	16
<b>Gambar 2.19</b> Diagram alir analisis menggunakan ANSYS <i>Workbench</i> .....	19
<b>Gambar 2.20</b> (a) Tampak Samping Desain Ban <i>Airless</i> yang Diajukan; (b) Penampang Ban <i>Airless</i> (Ridha, 2021) .....	21
<b>Gambar 2.21</b> (a) <i>Equivalent Stress</i> Ban pada Polisi Tidur Kecepatan 10 km/jam; (b) <i>Equivalent Stress</i> Ban pada Polisi Tidur Kecepatan 20 km/jam(Ridha, 2021) .....	22
<b>Gambar 2.22</b> (a) <i>Equivalent Stress</i> Ban pada Lubang Kecepatan 10 km/jam; (b) <i>Equivalent Stress</i> Ban pada Lubang Kecepatan 20 km/jam (Ridha, 2021).....	23
<b>Gambar 2.23</b> (a) Desain Ban <i>Airless</i> ; (b) Dimensi <i>Spoke</i> (Sigit, 2019).....	23
<b>Gambar 2.24</b> Hasil Simulasi (a) Defleksi; (b) Tegangan Total(Sigit, 2019) .....	24
<b>Gambar 2.25</b> (a) <i>Dark Eye</i> DA 1005 (b) <i>Dark Eye</i> DA 1006.....	25
<b>Gambar 2.26</b> (a) Hasil VDV pada DA 1005 (b) Hasil VDV pada DA 1006.....	25
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian .....	28
<b>Gambar 3.2</b> <i>Free Body Diagram</i> .....	29
<b>Gambar 3.3</b> Penampang Pelek .....	31
<b>Gambar 3.4</b> Tampak Samping Pelek .....	31
<b>Gambar 3.5</b> Tampak Depan Pelek .....	31
<b>Gambar 3.6</b> Penampang <i>Spoke</i> .....	32
<b>Gambar 3.7</b> Tampak Samping Penampang <i>Spoke</i> .....	32
<b>Gambar 3.8</b> Tampak Samping <i>Spoke</i> .....	33
<b>Gambar 3.9</b> Tampak Depan <i>Spoke</i> .....	33
<b>Gambar 3.10</b> Pemodelan <i>Step</i> .....	34
<b>Gambar 3.11</b> Pemodelan <i>Paving Block</i> .....	34
<b>Gambar 3.12</b> <i>Assembly Model Step</i> .....	35
<b>Gambar 3.13</b> <i>Assembly Model Paving Block</i> .....	35
<b>Gambar 3.14</b> <i>Engineering data</i> .....	36
<b>Gambar 3.15</b> <i>Import Geometri</i> .....	36
<b>Gambar 3.16</b> <i>Assign Material</i> pada Geometri .....	37
<b>Gambar 3.17</b> Kontak antara Ban dan Jalan.....	37
<b>Gambar 3.18</b> Kontak antara <i>Spoke</i> dengan Pelek .....	38
<b>Gambar 3.19</b> <i>Body Interaction</i> Ban dan Jalan .....	38

<b>Gambar 3.20</b> <i>Body Interaction</i> Pelek dan Ban.....	38
<b>Gambar 3.21</b> <i>Meshing</i> .....	39
<b>Gambar 3.22</b> <i>Mesh Quality</i> .....	39
<b>Gambar 3.23</b> <i>Steps Controls</i> .....	39
<b>Gambar 3.24</b> <i>Standard Earth Gravity</i> .....	40
<b>Gambar 3.25</b> <i>Force</i> .....	40
<b>Gambar 3.26</b> <i>Velocity</i> .....	40
<b>Gambar 3.27</b> <i>Remote Displacement</i> .....	40
<b>Gambar 3.28</b> <i>Solution</i> .....	41
<b>Gambar 3.29</b> Accelerometer .....	41
<b>Gambar 4.1</b> <i>Energy Summary</i> .....	43
<b>Gambar 4.2</b> Grafik Konvergensi Mesh .....	44
<b>Gambar 4.3</b> Distribusi <i>Orthogonal Quality</i> .....	45
<b>Gambar 4.4</b> <i>Orthogonal Quality Mesh Metric Spectum</i> .....	45
<b>Gambar 4.5</b> Alat Uji Eksperimen.....	45
<b>Gambar 4.6</b> Grafik Perbandingan Percepatan Total .....	46
<b>Gambar 4.7</b> Grafik Perbandingan eVDV .....	46
<b>Gambar 4.8</b> <i>Equivalent Stress</i> Ban dengan Material PVC pada <i>Step</i> .....	48
<b>Gambar 4.9</b> <i>Equivalent Stress</i> Ban dengan Material HDPE pada <i>Step</i> .....	48
<b>Gambar 4.10</b> Defleksi Ban dengan Material PVC pada <i>Step</i> .....	49
<b>Gambar 4.11</b> Defleksi Ban dengan Material HDPE pada <i>Step</i> .....	50
<b>Gambar 4.12</b> Total Percepatan PVC Model <i>Step</i> .....	50
<b>Gambar 4.13</b> Total Percepatan HDPE Model <i>Step</i> .....	51
<b>Gambar 4.14</b> <i>Equivalent Stress</i> Ban dengan Material PVC pada <i>Paving Block</i> .....	52
<b>Gambar 4.15</b> <i>Equivalent Stress</i> Ban dengan Material HDPE pada <i>Paving Block</i> .....	52
<b>Gambar 4.16</b> Defleksi Ban dengan Material PVC pada <i>Paving Block</i> .....	53
<b>Gambar 4.17</b> Defleksi Ban dengan Material HDPE pada <i>Paving Block</i> .....	53
<b>Gambar 4.18</b> Total Percepatan PVC Model <i>Paving Block</i> .....	54
<b>Gambar 4.19</b> Total Percepatan HDPE Model <i>Paving Block</i> .....	54

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Berat Molekul PVC (W V Titow, 1984) .....	6
<b>Tabel 2.2</b> Indeks Kecepatan pada Kodifikasi Ban .....	8
<b>Tabel 2.3</b> Indeks Beban pada Kodifikasi Ban.....	8
<b>Tabel 2.4</b> Tingkat Resiko Terhadap Paparan Getaran (ISO 2631-1).....	17
<b>Tabel 2.5</b> Data Hasil Simulasi Ban <i>Airless</i> (Ridha, 2021).....	21
<b>Tabel 2.6</b> Respons dari Tiap Variasi Ban <i>Airless</i> (Sigit, 2019).....	23
<b>Tabel 2.7</b> Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan .....	25
<b>Tabel 3.1</b> Dimensi Komponen .....	30
<b>Tabel 3.2</b> <i>Properties</i> Material .....	30
<b>Tabel 4.1</b> Hasil Uji Konvergen <i>Mesh</i> .....	44
<b>Tabel 4.2</b> Data Hasil Simulasi .....	47

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi di dunia transportasi sangatlah pesat. Hal tersebut tidak lepas dari meningkatnya mobilitas masyarakat dan kesadaran akan polusi yang dihasilkan dari alat transportasi maka munculah teknologi transportasi ramah lingkungan.

Skuter listrik adalah salah satu langkah untuk mengurangi ketergantungan kendaraan kita terhadap energi fosil menggunakan jenis ini digerakkan dengan motor, yang di *suply* energi listrik yang disimpan dalam baterai dan tempat penyimpanan energi lainnya. Motor listrik merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini dapat digunakan untuk penggerak skuter listrik. (Sihombing, 2020)

Pada era saat ini sering dijumpai pasien yang menderita lumpuh baik dikarenakan kecelakaan maupun hal lainnya. Banyak diantara mereka yang menggunakan kursi roda dengan menggunakan tangan untuk pengoprasianya guna mempermudah aktivitas mereka. Ada juga diantara mereka yang kesusahan menggerakkan kursi roda menggunakan tangan mereka sehingga mereka membutuhkan bantuan orang lain untuk melakukan aktivitas diatas kursi roda, dalam hal ini untuk berpindah tempat. (Liem et al., 2012)

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 juga 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 juga ban radial. Ban yang sangat mendominasi yaitu ban-ban jenis biasa, *tubeless*, dan radial. Namun dalam aplikasinya terdapat permasalahan yang secara langsung dapat kita rasakan saat menggunakan ban pneumatic tersebut, yaitu diantaranya rentan terhadap kebocoran, ban meletus apabila ban mendapatkan tekanan lebih, harus mengatur tekanan yang sama disetiap ban agar mendapatkan kondisi berkendara yang nyaman, ketika masuk medan becek atau berlumpur harus menggunakan ban khusus karena adanya slip, susah mendapatkan udara apabila terjadi kebocoran di tengah-tengah perjalanan. (R. Hamzah & R. A. Sriwijaya, 2019)

Ban tanpa udara atau ban non-pneumatik adalah ban yang tidak didukung oleh tekanan atmosfer. Ban ini dikenal sebagai *Tweel* yang bisa jadi merupakan gabungan dari kata *tyre* dan *wheel*. Hal ini dikarenakan *Tweel* tidak menggunakan *wheel hub assembly* konvensional. Konstruksi *Tweel* pertama kali diumumkan oleh Michelin pada tahun 2005. (JacobMathew et al., 2016)

Penggunaan skuter yang dihubungkan dengan kursi roda tentunya akan mempermudah bagi pasien yang mengharuskan penggunaan kursi roda guna membantu aktivitas secara mandiri. Penggantian ban skuter menggunakan model ban tanpa udara tentunya juga akan meminimalisir masalah pengoperasian kendaraan sehingga memudahkan pasien.

Pada penelitian kali ini, model yang diteliti sudah diuji pada keadaan yang statis dengan memberi beban keseluruhan kendaraan dan penumpang dalam kondisi diam. Namun dalam pengoprasian kendaraan, tentu permukaan jalan tidak selalu mulus. Adanya gundukan, lubang, maupun benda asing pada permukaan jalan dapat memberi dampak pada ban. Penelitian dilakukan dengan menggunakan Metode Elemen Hingga pada *software* ANSYS Explicit Dynamics.

### 1.2 Rumusan Masalah

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

1. Apakah tegangan maksimal yang terjadi pada material *Polyvinyl Chloride* dan *High-density polyethylene* aman atau tidak.
2. Apakah defleksi yang terjadi pada material *Polyvinyl Chloride* dan *High-density polyethylene* aman atau tidak.
3. Apakah getaran mekanis yang terjadi menyebabkan resiko pada pasien.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari tugas akhir adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kewanaman *spoke* dengan material *Polyvinyl Chloride* dan *High-density polyethylene* akibat tegangan yang terjadi.
2. Mengetahui kewanaman defleksi yang terjadi pada *Polyvinyl Chloride* dan *High-density polyethylene*.
3. Mengetahui seberapa besar nilai getaran mekanis dan seberapa besar resiko terhadap penumpang.

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menguji defleksi, tegangan, dan getaran mekanis yang terjadi pada ban sebagai acuan dalam menentukan keamanan dan kenyamanan ban.
2. Beban dampak terjadi akibat menabrakkan ban pada hambatan di permukaan jalan berupa perbedaan ketinggian permukaan jalan (*step*) dan permukaan jalan *paving*, dengan perbedaan ketinggian permukaan jalan sebesar 10mm dan celah 2,8mm dengan sudut 45°.
3. Variasi material *High-density polyethylene* dan *Polyvinyl chloride*
4. Diameter pipa yang digunakan adalah 26,67 mm.
5. Kecepatan kendaraan yang diberikan yaitu sebesar 10 km/jam.
6. Massa keseluruhan yang ditahan oleh ban sebesar 116 kg.
7. Keamanan dilihat berdasarkan defleksi pada ban dengan defleksi maksimal 78,7 mm dan tegangan tidak melebihi allowable stress *Polyvinyl chloride* sebesar 52 Mpa dan *High-density polyethylene* sebesar 30 Mpa.
8. Velg dimodelkan *rigid*, hal tersebut berdasarkan perbedaan nilai kekakuan material PVC dan Aluminium Alloy.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan referensi untuk penelitian yang berkaitan dengan analisa dampak pada ban *airless*.
2. Dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk pembuatan ban *airless* dengan material pipa yang sudah tersedia.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Ban

Ban adalah komposit struktural berteknologi tinggi yang kinerjanya dapat dirancang untuk memenuhi kriteria pengendalian, penanganan, dan traksi. (Neville Gent & D. Walter, 2006) Fungsi ban adalah untuk menyalurkan gaya-gaya seperti laju kendaraan, pengereman, dan mengarahkan kendaraan serta membawa beban dari kendaraan itu sendiri, juga merupakan satu-satunya komponen kendaraan yang bersentuhan langsung dengan permukaan jalan. (Samuel Kelly Clark, 1981) 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 memiliki dua atau lebih sabuk yang diletakkan secara diagonal di daerah tapak untuk menambah kekuatan dan stabilitas. Variasi konstruksi ban ini biasa digunakan pada ban kendaraan penumpang modern. (Neville Gent & D. Walter, 2006) Konstruksi ban jenis ini memiliki kemampuan untuk meningkatkan kenyamanan saat kendaraan berjalan. Namun ban ini memiliki sejumlah kekurangan, di antaranya proses pembuatannya yang rumit, tingkat kenyamanannya bergantung pada tekanan udara dalam ban, dan dapat rusak apabila terkena benda tajam. Deformasi dan kapasitas gesekan antara ban dan jalan hingga presentase 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 adalah jenis ban yang populer di bidang konstruksi dan aplikasi militer. Jenis ban ini adalah ban bebas kempes yang memiliki persyaratan perawatan yang lebih sedikit. Jenis ban solid ini biasa digunakan dalam kondisi seperti mengangkut beban berlebih dan beroperasi di permukaan kasar. (Dilhan Senanayake et al., n.d.) Dibandingkan dengan ban radial, ban ini lebih aman terhadap benda tajam, tapi kenyamanan yang 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* adalah ban yang tidak didukung oleh tekanan atmosfer. Ban ini dikenal sebagai *Tweel* yang bisa jadi merupakan gabungan dari kata *tyre* dan *wheel*. Hal ini dikarenakan *Tweel* tidak menggunakan *wheel hub assembly* konvensional. Konstruksi *Tweel* pertama kali diumumkan oleh Michelin pada tahun 2005. (JacobMathew et al., 2016) Ban ini memberikan keamanan dan kenyamanan pada kendaraan selama pengoperasian. Ban tersebut tetap berfungsi saat terkena benda tajam. 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 tinggi.



**Gambar 2.3** Ban *airless*

## **2.1.1 Jenis Ban**

### **2.1.1.1 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 harus lebih tinggi 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. (Pranav A. Rangdale et al., 2018)



**Gambar 2.4** Ban pneumatic

Sejak penemuannya pada tahun 1888 oleh Dunlop, ban pneumatik telah menjadi pilihan utama untuk digunakan pada mobil yang mengalami kondisi operasi yang berbeda karena beberapa keunggulan yang ditawarkan olehnya terutama kehilangan energi yang rendah saat menggelinding, kekakuan vertikal rendah yang menghasilkan efek bantalan, tekanan kontak rendah, dan massa rendah. (Mohan et al., 2017)

#### **2.1.1.2 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 replica terbaik dari ban *pneumatic* untuk meningkatkan kenyamanan berkendara. Tujuannya untuk mengurangi perubahan kekakuan ban, sehingga dapat memindahkan beban secara merata dan menjadi lebih homogen. (Pranav A. Rangdale et al., 2018)



**Gambar 2.5** Ban Non Pneumatik

Desain ban non pneumatik modern mengintegrasikan roda dan ban menjadi satu komponen. Ban non-pneumatik terdiri dari hub kaku, jari-jari fleksibel, *shear band*, dan tapak. Jari-jari fleksibel dan *shear band* adalah komponen yang menopang beban yang bekerja pada ban non-pneumatik seperti udara dalam kasus ban pneumatik. Beberapa penelitian sedang dilakukan untuk mengoptimalkan desain jari-jari dan *shear band*. (Mohan et al., 2017)

Kelebihan ban non-pneumatik ini yaitu tidak perlu melakukan pengisian udara, aman terhadap benda tajam dan terhadap kebocoranm kinerja yang lebih baik disbanding ban konvensional, memberikan kenyamanan dan kendalo 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 diganri secara keseluruhan.

## 2.2 Material Pipa

### 2.2.1 Polyvinyl Chloride

*Polyvinyl chloride* (PVC) tekah 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. (S Patrick & Rapra Technology Limited, 2005)

**Tabel 2.1** Berat Molekul PVC (W V Titow, 1984)

Viscosity number ISO 174-1974, and DIN 53 726	Inherent viscosity <sup>a</sup> ASTM D 1243-58T (Method A) <sup>b</sup>	Specific viscosity <sup>c</sup> ASTM D 1243-58T (Method B) <sup>b</sup>	$\eta_{sp}$ 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 (Fikenscher: 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	Polymerization 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. (S Patrick & Rapra Technology Limited, 2005)

### 2.2.2 High-density Polyethylene

Pipa *HDPE* merupakan pipa yang seringkali dipakai dalam pembuatan jaringan induk air bersih, biasanya dipakai dan distribusi perumahan maupun bangunan umum. Penggunaan *bahan dasar HDPE* atau *High Density Polyethylene* ini merupakan bahan yang kuat, fleksible dan tahan lama. Pipa *HDPE* merupakan jenis pipa plastik yang sudah sangat umum sekali dipakai oleh banyak industri perumahan, hotel, dan bangunan lainnya, karena sudah terkenal dengan ketangguhannya tahan benturan dan anti timbal. Ciri umum dari jenis pipa *HDPE* ini terlihat dari warnanya yang berbeda, warna hitam dengan strip biru berjumlah 4 yang ada di sepanjang badan pipa. Fungsi utama dari penggunaan pipa ini biasa dipakai sebagai jaringan induk untuk air bersih karena memiliki kelebihan dibandingkan dengan jenis

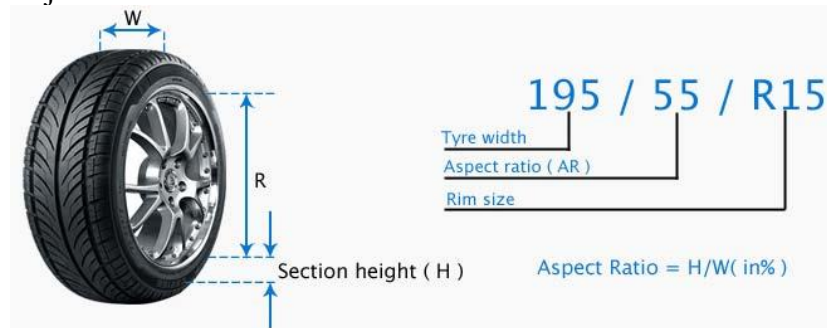
pipa lain seperti logam dan plastik lainnya. Untuk karena itu, pipa *HDPE* juga sering disebut sebagai pipa “*Non Toxic*” yang artinya tidak mengandung bahan / material beracun di dalamnya seperti timbal maupun karat. Bahan utama untuk pembuatan pipa *HDPE* ini berasal dari *Thermoplastic* yang sudah kurangi pada saat peningkatan suhu. Tekanan maksimum yang bisa diterima oleh pipa jenis ini mencapai 20 derajat celcius.

Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Rockwell R	33.0 - 66.0	33.0 - 66.0	Average value: 48.7 Grade Count 7
Hardness, Shore D	50.0 - 76.0	50.0 - 76.0	Average value: 64.5 Grade Count 252
Ball Indentation Hardness	35.0 - 58.0 MPa	5000 - 8418 psi	Average value: 68.3 MPa Grade Count 24
Tensile Strength, Ultimate	7.60 - 43.0 MPa	1100 - 6240 psi	Average value: 22.1 MPa Grade Count 109
Film Tensile Strength at Yield, MD	21.0 - 35.0 MPa	3050 - 5080 psi	Average value: 28.9 MPa Grade Count 5
Film Tensile Strength at Yield, TD	23.0 - 37.0 MPa	3340 - 5440 psi	Average value: 31.1 MPa Grade Count 5
Tensile Strength, Yield	11.0 - 43.0 MPa	1600 - 6240 psi	Average value: 26.2 MPa Grade Count 423
Film Elongation at Break, MD	595 - 950 %	595 - 950 %	Average value: 709 % Grade Count 5
Film Elongation at Break, TD	650 - 950 %	650 - 950 %	Average value: 860 % Grade Count 5
Elongation at Break	3.20 - 2230 %	3.20 - 2230 %	Average value: 580 % Grade Count 338
Elongation at Yield	3.00 - 50.0 %	3.00 - 50.0 %	Average value: 10.6 % Grade Count 119
Modulus of Elasticity	0.565 - 1.50 GPa	81.9 - 218 ksi	Average value: 0.976 GPa Grade Count 82
Flexural Yield Strength	13.0 - 75.0 MPa	2000 - 11000 psi	Average value: 33.9 MPa Grade Count 14
Flexural Modulus	0.280 - 1.00 GPa	40.6 - 275 ksi	Average value: 1.13 GPa Grade Count 379
Compressive Yield Strength	4.00 - 23.0 MPa	580 - 3340 psi	Average value: 12.6 MPa Grade Count 8
Secant Modulus	0.750 - 1.00 GPa	110 - 230 ksi	Average value: 1.02 GPa Grade Count 28
Izod Impact, Notched	0.0200 - 0.5340 J/cm	0.0375 - 10000 ft-lb/in	Average value: 0.029 J/cm Grade Count 182
Izod Impact, Notched	0.224238 - 5338.47 J/cm	0.420090 - 10000.1 ft-lb/in	Average value: 1.50 J/cm Grade Count 33
Izod Impact, Unnotched	0.300 - 0.5340 J/cm	0.562 - 10000 ft-lb/in	Average value: 0.300 J/cm Grade Count 3
Izod Impact, Unnotched	3.30 - 5338.47 J/cm	6.16 - 10000.1 ft-lb/in	Average value: 3.30 J/cm Grade Count 5
Izod Impact, Notched (ISO)	2.77 - 80.1 kJ/m <sup>2</sup>	1.32 - 38.1 ft-lb/in <sup>2</sup>	Average value: 25.8 kJ/m <sup>2</sup> Grade Count 24
Charpy Impact Unnotched	1000 J/cm <sup>2</sup> - ND	4700 ft-lb/in <sup>2</sup> - ND	Grade Count 0
Charpy Impact, Notched	0.200 - 11.0 J/cm <sup>2</sup>	0.952 - 2.52 ft-lb/in <sup>2</sup>	Average value: 1.92 J/cm <sup>2</sup> Grade Count 55
Charpy Impact, Notched	0.200 - 0.530 J/cm <sup>2</sup>	0.952 - 2.52 ft-lb/in <sup>2</sup>	Average value: 0.413 J/cm <sup>2</sup> Grade Count 16
Tensile Impact Strength	34.0 - 330 kJ/m <sup>2</sup>	16.2 - 157 ft-lb/in <sup>2</sup>	Average value: 121 kJ/m <sup>2</sup> Grade Count 13
Tensile Impact Strength	100 - 340 kJ/m <sup>2</sup>	47.6 - 165 ft-lb/in <sup>2</sup>	Average value: 228 kJ/m <sup>2</sup> Grade Count 10
Falling Dart Impact	31.1839 - 176.257 J	23.0000 - 130.000 ft-lb	Average value: 125 J Grade Count 3
Coefficient of Friction	0.0270 - 0.300	0.0270 - 0.300	Average value: 0.136 Grade Count 3
Tensile Creep Modulus, 1 hour	400 - 570 MPa	58000 - 82700 psi	Average value: 468 MPa Grade Count 4
Tensile Creep Modulus, 1000 hours	270 - 400 MPa	39200 - 58000 psi	Average value: 318 MPa Grade Count 4
Tear Strength Test	23.5 - 30.0	23.5 - 30.0	Average value: 28.4 Grade Count 4
Ethensdorf Tear Strength, MD	0.000 - 1.00 gm/incon	15.2 - 40.6 g/mil	Average value: 0.840 gm/incon Grade Count 5
Ethensdorf Tear Strength, TD	1.70 - 23.0 gm/incon	43.2 - 584 g/mil	Average value: 15.5 gm/incon Grade Count 5
Dart Drop	1.50 - 2.00 gm/incon	38.1 - 50.8 g/mil	Average value: 1.67 gm/incon Grade Count 4
Film Tensile Strength at Break, MD	35.0 - 55.0 MPa	5100 - 7900 psi	Average value: 47.1 MPa Grade Count 5
Film Tensile Strength at Break, TD	20.0 - 50.0 MPa	2900 - 7250 psi	Average value: 38.5 MPa Grade Count 6
Tangent Modulus	1170 - 1760 MPa	170000 - 255000 psi	Average value: 1310 MPa Grade Count 7

Gambar 2.6 Mechanical Properties HDPE

### 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 presentase rasio antar 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 195/55/R15, yang berarti bahwa ban memiliki lebar sebesar 195 mm, ukuran pelek 15 inch, dan ketinggian ban sebesar 107,25 mm yang didapat dari rasio 55%. Ketinggian keseluruhan ban adalah penjumlahan antara ukuran pelek (15 inch) dan ketinggian ban pada sisi atas maupun bawah (2x107,25 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. Angka (205) menunjukkan lebar ban (mm).
2. Angka (55) menunjukkan aspek rasio dalam %.
3. Huruf (R) menunjukkan tipe ban yang ada 3 huruf, yaitu: R = ban radial, D = ban bias, dan B = ban bias dengan sabuk.
4. Angka (16) menunjukkan ukuran pelek yang sesuai, atau ukuran diameter dalam ban.
5. Angka (91) merupakan kapasitas beban yang dapat ditumpu oleh ban sesuai indeks yaitu 615 kg.
6. Huruf (V) merupakan simbol kecepatan yang diperbolehkan pada ban. Huruf V sendiri memiliki batas kecepatan yaitu 240 km/jam.

**Tabel 2.2** Indeks Kecepatan pada Kodifikasi Ban

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 2.3** Indeks Beban pada Kodifikasi Ban

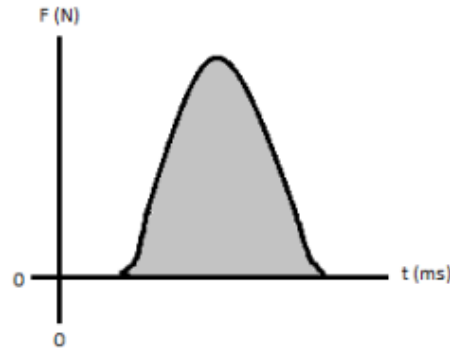
Load Index	Load in kg	Load Index	Load in kg	Load Index	Load in kg
62	265	84	500	106	950
63	272	85	515	107	975
64	280	86	530	108	1000
65	290	87	545	109	1030
66	300	88	560	110	1060
67	307	89	580	111	1090
68	315	90	600	112	1120
69	325	91	615	113	1150
70	335	92	630	114	1180
71	345	93	650	115	1215
72	355	94	670	116	1250

## 2.4 Impuls dan Momentum

Persamaan impuls dan momentum pada *rigid body* didapatkan dengan mengombinasikan persamaan gerak dengan kinematika. Dari kombinasi tersebut akan



menghasilkan solusi secara langsung pada permasalahan yang menyangkut tentang gaya, kecepatan dan waktu. Pada *rigid body*, terdapat dua bentuk impuls dan momentum yaitu linear dan angular. Impuls merupakan total gaya saat terjadinya sebuah tumbukan pada waktu yang singkat. Grafik impuls dapat dilihat pada gambar 2.9 berikut. (Abu-Khader, 2017)

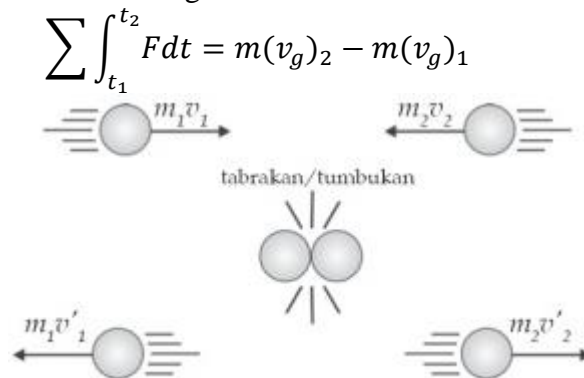


**Gambar 2.9** Grafik Impuls

Nilai impuls didapat dengan mengintegalkan grafik gaya dari  $t_1$  hingga  $t_2$ . Persamaan impuls dapat dituliskan dengan persamaan berikut.

$$J = \int_{t_2}^{t_1} F dt$$

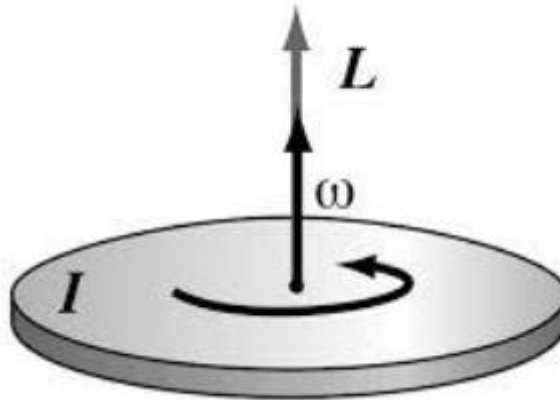
Jika sebuah benda memiliki *center of gravity* G dengan massa konstan dan bergerak dengan kecepatan  $(v_g)_1$  pada waktu  $t_1$  hingga kecepatan  $(v_g)_2$  pada waktu  $t_2$  maka persamaan impuls dan momentum linear adalah sebagai berikut.



**Gambar 2.10** Momentum Linear

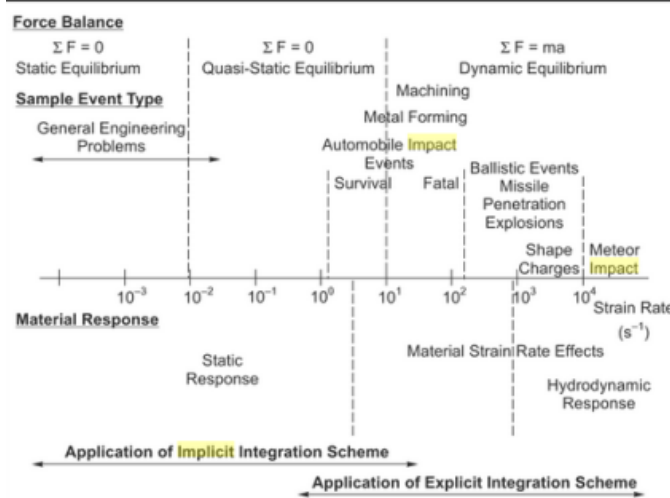
Jika sebuah benda memiliki *center of gravity* G dengan momen inersia konstan dan berputar dengan kecepatan sudut  $\omega_1$  pada waktu  $t_1$  hingga kecepatan sudut  $\omega_2$  pada waktu  $t_2$  maka persamaan impuls dan momentum angular adalah sebagai berikut. (Russel C. Hibbeler, 2011)

$$\sum \int_{t_1}^{t_2} M_G dt = I_g \omega_2 - I_g \omega_1$$



**Gambar 2.11** Momentum Angular

Ketika suatu benda menumbuk benda lain, waktu integrasi pada saat tumbukan akan berbeda-beda sesuai dengan jenis beban yang terjadi, respons material, dan juga laju regangan. Integrasi waktu saat tumbukan ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu implisit dan eksplisit. Untuk integrasi waktu implisit nilai laju regangan material dapat mencapai 50 hingga  $100 \text{ s}^{-1}$ , sedangkan untuk integrasi waktu eksplisit nilai laju regangan material dapat mencapai  $10^{-1}$  hingga  $10^5 \text{ s}^{-1}$ , dan seterusnya. (C Lakshmana et al., 2016)



**Gambar 2.12** Variasi Waktu Integral Implisit dan Eksplisit

## 2.5 Defleksi

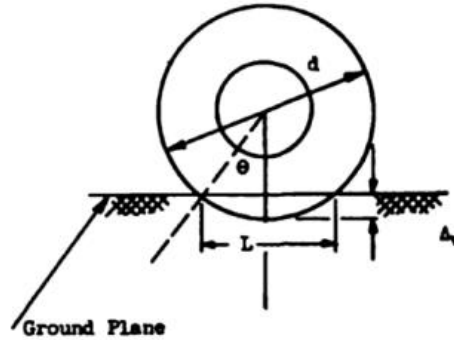
Analisa dimensi digunakan sebagai alat dasar untuk pengumpulan data eksperimen pada kekakuan vertikal maupun lateral pada ban pneumatik. Analisa tersebut dibantu dengan penyederhanaan gaya defleksi (*simplified force-deflection*) suatu model untuk ban tersebut pada kedua mode yaitu vertikal dan lateral.

### 2.5.1 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. (G. H. Nybakken & Samuel K. 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 2.13** Skematik Ban dengan Tampak Samping

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

dimana:

$\Delta v$  : defleksi vertikal

$d$  : diameter luar

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

Panjang potongan kontak dirumuskan sebagai berikut:

$$L \simeq d \sin \theta$$

dimana  $L$  adalah panjang potongan kontak yang ditunjukkan pada gambar 2.13

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

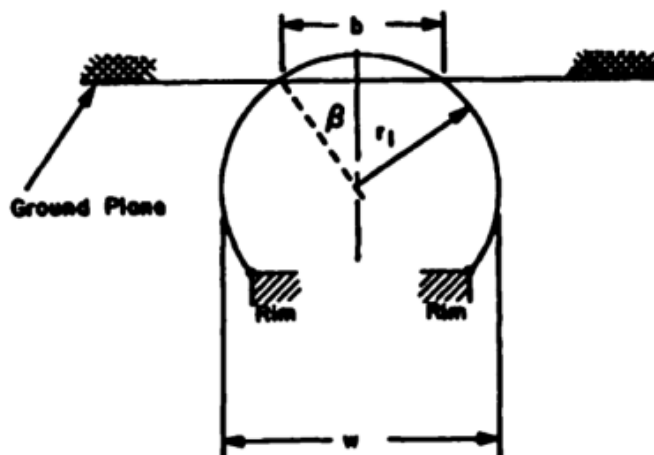
$$\Delta v = \frac{\theta^2 d}{2 \cdot 2}$$

dan

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

maka didapatkan

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



### Gambar 2.14 Potongan Melintang Ban

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

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

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:

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

atau

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

dimana:

$P$  : beban vertikal

$P_0$  : tekanan inflasi

$\Delta v$  : defleksi vertikal

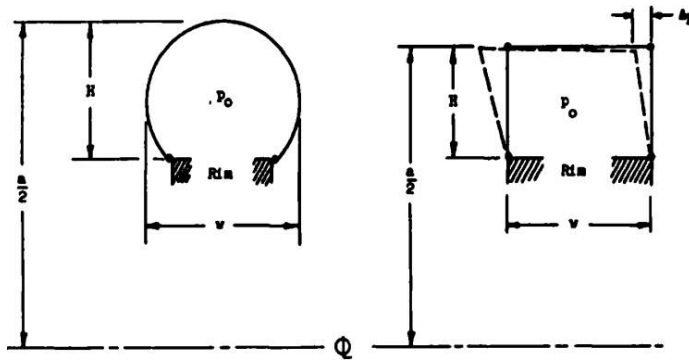
$d$  : diameter luar ban

$w$  : lebar tapak ban

#### 2.5.2 Defleksi Lateral

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

Pertama-tama mengembangkan persamaan yang berhubungan dengan parameter ban ke semua fondasi elastis lateral baik modulus, atau kekuatan, 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 2.15** Potongan Ban Sebelum dan Sesudah Deformasi

Untuk dinding sisi sebelah kanan, mengambil momen  $O_R$  memberikan

$$Q_1 H \cos \alpha = \frac{P_0 W}{2} H \sin \alpha + P_0 H \frac{H}{2}$$

untuk  $\alpha$  kecil,

$$Q_1 \approx P_0 \frac{W \Delta H}{2 H} + P_0 \frac{H}{2}$$

Untuk dinding sisi sebelah kiri, mengambil momen  $O_L$  memberikan

$$-Q_2 H \cos \alpha + \frac{P_0 W}{2} H = P_0 H \frac{H}{2} - Q_2 \approx P_0 \frac{H}{2} - P_0 \frac{W \Delta H}{2 H}$$

Jumlah kekuatan sisi Q adalah diberikan sebagai berikut

$$Q = Q_1 + Q_2 = P_0 \frac{W \Delta H}{H}$$

$$\frac{Q}{\Delta H} = P_0 \frac{W}{H} = K_L$$

dimana  $K_L$  adalah pondasi modulus lateral pada pegas.

Nilai lain yang dibutuhkan dalam analisa ini yaitu tegangan pegas. Teori tekanan vessel dapat digunakan untuk mendapatkan perkiraan persamaan untuk tegangan pegas ini. Teori membran memprediksikan

$$\frac{N_\phi}{r} + \frac{N_\theta}{r_0} = \frac{P_0}{t}$$

dimana:

$N_\phi$  : gaya per satuan luasan pada bagian arah lingkaran

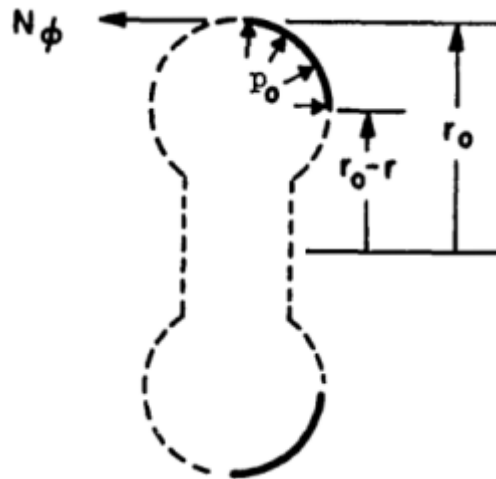
$r$  : jari-jari bagian ban

$N_\theta$  : gaya persatuan luasan pada keseluruhan ban

$r_0$  : jari-jari keseluruhan ban

$P_0$  : tekanan inflasi

$t$  : ketebalan membran



**Gambar 2.16** Potongan Ban Menunjukkan  $N_\phi$

Berdasarkan gambar 2.16  $N_\phi$  bertindak pada luasan  $2\pi r_0 t$  dan  $P_0$  bertindak pada luasan  $\pi(r_0^2 - (r_0 - r)^2)$ . Persamaan dua gay ini diberikan seperti berikut

$$N_\phi 2\pi r_0 t = \pi P_0 (r_0^2 - (r_0 - r)^2)$$

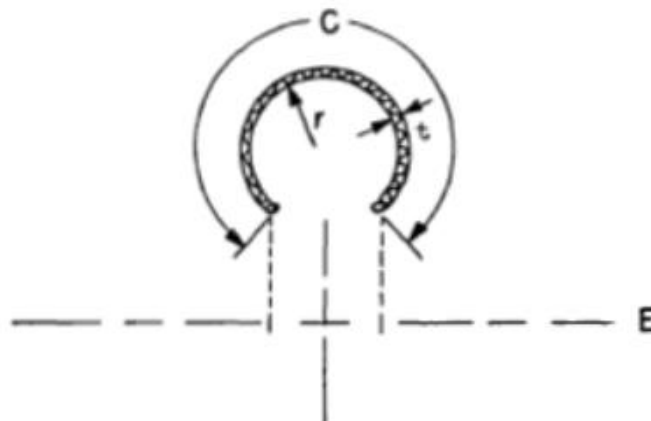
atau

$$N_\phi = \frac{P_0 r}{2r_0 t}$$

Substitusi-kan pada persamaan untuk  $N_\phi$  pada persamaan membran.  $N_\theta$  menjadi

$$\frac{P_0}{2r_0 t} (2r_0 - r) + \frac{N_\theta}{r_0} = \frac{P_0}{t}$$

$$N_\theta = \frac{P_0 r_0}{t} - \frac{P_0}{2t} (2r_0 - r) = \frac{P_0 r}{2t}$$



**Gambar 2.17** Luasan Potongan Ban

Berdasarkan gambar 2.17 dapat dilihat bahwa daerah dimana  $N_\theta$  bekerja dapat diperkirakan menjadi

$$Area = C \cdot t$$

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

$$T = \frac{P_0 r}{2t} = \frac{P_0 r C}{2}$$

Dengan asumsi

$$r = w/2$$

dimana

$w$  : lebar bagian

$r$  : jari-jari bagian

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

$$C = 2\pi r(f)$$

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

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

dimana

$T$  : tegangan tali

$u$  : perpindahan, lateral

$x$  : koordinat, keliling

$K_L$  : modulus fondasi

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

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

dimana

$S$  : beban titik lateral

$\Delta H$  : defleksi lateral

$P_0$  : tekanan inflasi

$w$  : lebar bagian

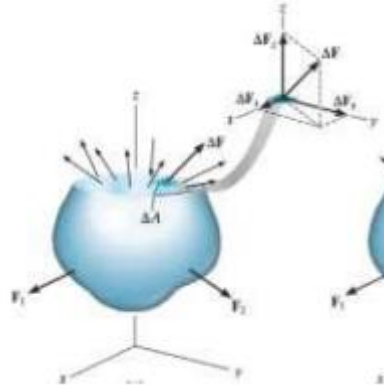
$f$  : tak berdimensi

## 2.6 Tegangan

Konsep tegangan digunakan dalam mengekspresikan beban dimana sebuah gaya diaplikasikan pada suatu luasan area pada objek. Tegangan didefinisikan sebagai intensitas gaya 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. (Russel C. Hibbeler, 2011) Tegangan normal didefinisikan sebagai intensitas gaya internal yang bekerja pada bidang normal luasan  $\Delta A$  (ditunjukkan oleh gambar 2.18). 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 pada bidang normal luasan  $\Delta A$  dapat dirumuskan sebagai:

$$\sigma_z = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_z}{\Delta A}$$

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



**Gambar 2.18** Ilustrasi Gaya yang Bekerja pada Struktur

Jika gaya normal tersebut bersifat “tarikan” seperti pada gambar 2.18, tegangan normal tersebut disebut dengan tegangan tarik. Sedangkan apabila bersifat “dorongan”, tegangan normal tersebut disebut dengan kompresif.

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

$$\tau_{zx} = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_x}{\Delta A}$$

$$\tau_{zy} = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_y}{\Delta A}$$

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

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

Gaya yang bekerja pada luasan bidang secara tegak lurus tersebut biasanya disebut dengan gaya geser yang disimbolkan dengan huruf V. (Russel C. Hibbeler, 2011)

## 2.7 Uji Impak

Uji impact adalah pengujian dengan menggunakan pembebanan yang cepat (*rapid loading*). Pengujian impact merupakan suatu pengujian yang mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Inilah yang membedakan pengujian impact dengan pengujian tarik dan kekerasan, dimana pembebanan dilakukan secara perlahan-lahan. Pengujian impact merupakan suatu upaya untuk mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dalam perlengkapan transportasi atau konstruksi dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan melainkan datang secara tiba-tiba, contoh deformasi pada bumper mobil pada saat terjadinya tumbukan kecelakaan

Dasar pengujian impact adalah penyerapan energi potensial dari beban yang berayun dari suatu ketinggian dan menumbuk benda yang diuji tersebut sampai mengalami deformasi (patahan). Pada pengujian ini banyak energi yang diserap oleh bahan untuk terjadinya patahan. Setelah benda uji patah akibat deformasi, bandul melanjutkan ayunan sehingga posisi h (*end of swing*). Bila bahan tersebut tangguh yaitu makin mampu menyerap energi lebih besar, maka makin rendah posisi h (*end of swing*). Suatu material dikatakan tangguh bila memiliki kemampuan menyerap beban kejut yang besar tanpa terjadi retak/terdeformasi dengan mudah. Pada pengujian impact, energi yang diserap oleh benda uji biasanya dinyatakan dalam satuan *joule*. (Ginanjar, 2014)

## 2.8 Getaran Mekanis

Getaran Mekanis didefinisikan sebagai getaran-getaran yang ditimbulkan oleh alat-alat mekanis, yang sebagian dari getaran tersebut sampai kepada tubuh pekerja, sehingga



menimbulkan akibat-akibat yang tidak diinginkan. Besarnya getaran dipengaruhi oleh intensitas getaran, frekuensi getaran, dan durasi getaran. Getaran mekanis dapat beresonansi dengan tubuh, apabila frekuensi getaran sama dengan frekuensi alami tubuh manusia, maka resonansi tersebut dapat mempengaruhi konsentrasi kerja, mempercepat terjadinya kelelahan, dan menimbulkan gangguan kesehatan mata, syaraf, otot, dan lain sebagainya. (Wignjosoebroto, 1995)

**Tabel 2.4** Tingkat Resiko Terhadap Paparan Getaran (ISO 2631-1)

Tingkat Resiko	Nilai Percepatan Getaran	<i>Value Dose Vibration</i> (VDV)	Keterangan
Low	<0,45	<0,85	Paparan getaran masih di bawah zona ‘ <i>Health Guidance Caution Zone</i> (HGCV)’. Kasus penyakit akibat kerja belum pernah ditemui pada nilai percepatan getaran ini.
Moderate	0,45-0,90	0,85-17	Paparan getaran berada di zona HGCV. Terdapat potensi resiko kesehatan kerja.
High	>0,90	>17	Paparan getaran berada di atas zona HGCV. Resiko kesehatan kerja sering terjadi pada tingkat ini.

**2.8.1 Perhitungan Getaran Seluruh Tubuh (*Whole Body Vibration*)**

Perhitungan getaran seluruh tubuh dapat dilakukan dengan menghitung nilai *Vibration Dose Value* (VDV). VDV merupakan pengukuran kumulatif dari getaran dan meningkat sebagai fungsi dari dosis dan besarnya nilai getaran. Paparan getaran yang terjadi dalam jangka waktu yang lama dapat menyebabkan VDV terus meningkat. VDV menunjukkan hubungan antara kekuatan getaran dengan ketidaknyamanan. Oleh karena itu, diperlukan VDV untuk menilai getaran intermiten dengan cara mengukur kumulatif tingkat getaran yang diterima selama periode waktu tertentu. Unit *Vibration Dose Value* (VDV) dinyatakan dalam  $m/s^{1,75}$ . Nilai VDV dapat dihitung dengan persamaan berikut. (Mansfield, 2005)

$$VDV = \sqrt[4]{\int_0^T a_w^4(t) dt}$$

Dimana :

$a_w$  = Percepatan Total ( $m/s^2$ )

T = durasi pajanan (jam)

Percepatan total ( $a_w$ ) diperlehdari perkalian data percepatan ( $a_x, a_y, a_z$ ) dengan pembobotan freakuensinya dalam hal ini kenyamanan ( $k_x, k_y, k_z = 1$ ). Studi ini difokuskan pada nilai getaran di *seat* pan dan alas kaki pada kursi roda dan kami menganggap kursi roda sebagai benda tegar (*rigid body*).

$$a_{total} = (k_x^2 a_x^2 + k_y^2 a_y^2 + k_z^2 a_z^2)^{1/2}$$

Untuk mengetahui nilai VDV dapat dilakukan dengan melakukan perhitungan nilai eVDV (*estimate vibration dose value*). Dimana pada perhitungan eVDV diperluka *root mean square acceleration* (RMSA) dengan rumus sebagai berikut.

$$RMSA = PA \times 0,7071$$
$$eVDV = k \times a_{rms} \times t^{0,25}$$

Dimana :

$$k = 1,4$$

$a_{rms}$  = *root mean square acceleration*

## 2.9 Finite Element Method

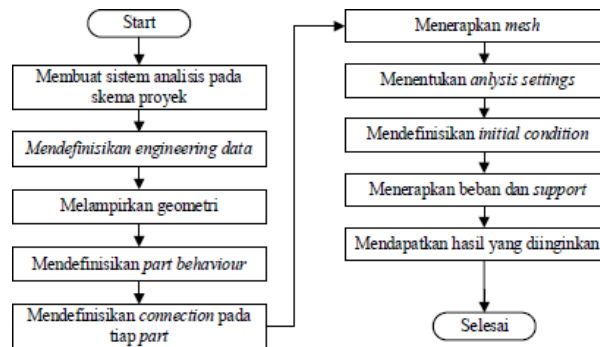
Metode elemen hingga atau *Finite Element Method* adalah sebuah teknik komputasional yang digunakan untuk mendapatkan solusi pendekatan dari permasalahan dengan nilai- nilai batas pada bidang *engineering*. Permasalahan nilai batas secara sederhana didefinisikan sebagai sebuah permasalahan matematis 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 materi volume 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 batas (x,y) yang akan ditentukan pada setiap titik P(x,y), seperti persamaan-persamaan fisis yang diketahui secara eksak pada setiap titik. Sehingga kita akan mendapatkan solusi matematis pada setiap titik tersebut, yang mana solusi tersebut adalah sebuah persamaan aljabar dari variabel- variabel tetap. Akan tetapi pada kenyataannya, domain tersebut mungkin sangat kompleks sekali. Sehingga nilai ketepatan solusi aljabar bentuk akan sangat rendah. Oleh karena itu, solusi pendekatan berdasarkan teknik numerik dan komputasi sering kali dibutuhkan dalam analisis *engineering* pada permasalahan-permasalahan yang kompleks. Dan analisis elemen hingga atau metode elemen hingga 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.

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 (ANSYS Inc., 2016). Berikut merupakan tahapan analisis yang akan digunakan dalam penelitian ini.

**Gambar 2.19** Diagram alir analisis menggunakan ANSYS *Workbench*

### 2.9.1 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.

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.

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. (Logan, 2012)

### 2.9.2 Explicit Dynamics

Analisa *Explicit dynamics* digunakan untuk mendapatkan suatu respons dinamis dari sebuah struktur atau *body* akibat gelombang rambatan tegangan, dampak, maupun beban fluktuatif yang berkaitan dengan waktu. Pertukaran momentum antara dua benda bergerak dan efek inersia biasanya menjadi aspek penting dalam analisa ini. Analisa *Explicit Dynamics* ini juga dapat digunakan untuk memodelkan kejadian dengan ke non-linearitas yang tinggi, seperti dari material (*hyperelasticity*, aliran plastis, dan kegagalan), kontak (tabrakan kecepatan tinggi dan dampak), dan juga deformasi geometris (*buckling* atau kerubuhan).

Pada ANSYS sendiri, *Explicit Dynamics* merupakan sebuah sub program yang berfungsi untuk mengkaji analisa *transient explicit dynamics* yang dapat menampilkan simulasi variasi dalam bidang rekayasa, termasuk perilaku pemodelan dinamik non linear dari benda-

benda solid, fluida, gas, dan interaksi yang berkaitan. Sub program ANSYS *explicit dynamics* dapat membantu dalam melakukan visualisasi fisik dalam kurun waktu yang singkat terhadap pemodelan suatu benda yang memiliki kasus non linear tinggi dan gaya transien dinamik sehingga dapat memaksimalkan desain dari produk itu sendiri. Program analisis elemen hingga ANSYS *explicit dynamics* ini memiliki berbagai fitur, antara lain :

- Durasi singkat, kompleks, atau interaksi perubahan struktur.
- Analisa *Quasi-static*.
- Benturan kecepatan tinggi dan *hypervelocity*.
- Beban berat dalam sebuah deformasi material yang luas.
- Kegagalan material.
- Kegagalan material fragmentasi.
- Penetrasi mekanik.
- Benturan celah keruntuhan (*hypervelocity*).
- Proses manufaktur dengan reaksi nonlinear plastis.

### 2.9.2.1 Penggunaan Mesh pada Explicit Dynamics

Metode meshing yang tersedia pada aplikasi Workbench dapat digunakan dalam sistem Explicit Dynamics, yaitu sebagai berikut :

- *Swept Volume Meshing*
- *Patch Dependant Volume Meshing*
- *Hex Dominant Meshing*
- *Patch Independent Tetrahedral Meshing*
- *Multizone Volume Meshing*
- *Patch dependant shell meshing*
- *Patch independent shell meshing*

*Mesh* yang seragam dan halus perlu digunakan pada bagian yang akan dilakukan analisis. Pada bagian lainnya, ukuran *mesh* yang dibuat kasar dan besar dapat membantu mengurangi ukuran dan waktu pemecahan keseluruhan masalah. Perlu untuk menggunakan preferensi *meshing explicit* yang telah diatur secara default untuk menetapkan kontrol otomatis *mesh default* yang akan memberikan *mesh* yang sesuai untuk analisis *explicit dynamics*. Akan tetapi, preferensi lainnya dapat digunakan apabila memiliki konsistensi yang lebih baik, dan diinginkan dalam analisis antara model implisit dan eksplisit.

Pertimbangan harus diberikan pada jumlah elemen dalam model, dan kualitas mesh untuk memberikan langkah waktu yang lebih besar sehingga simulasi lebih efisien. *Mesh* yang kasar seting digunakan untuk mendapatkan pengamatan tentang dinamika dasar suatu sistem. Sementara itu, *mesh* yang lebih halus diperlukan untuk menyelidiki efek dan kegagalan material *nonlinear*.

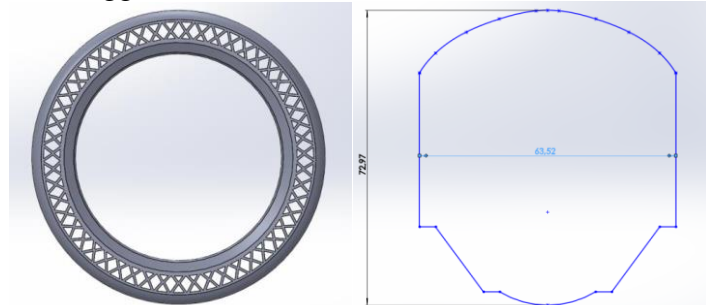
Metode *swept* atau *multizone* mesh lebih banyak digunakan dalam analisis *explicit dynamics*. Oleh karenanya, akan dikombinasikan dengan opsi bagian *multibody* dalam *design modeler*. Hal tersebut akan memberikan ruang untuk terbentuknya heksahedron *meshing*. Sebagai alternatif, dapat juga untuk menggunakan metode penambalan tetrahedron *mesh* untuk mendapatkan ukuran elemen yang lebih seragam, dan memanfaatkan *defeaturing* otomatis. Elemen berbentuk piramida tidak didukung pada analisa *explicit dynamics*. Elemen piramida ini akan dikonversi menjadi dua elemen tetrahedron, dan akan terdapat peringatan pada sistem terkait hal ini.

## 2.10 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 Iqbal Khaleed Ridha pada tahun 2021, Agus Sigit Pramono *et al.* pada tahun 2019.

Penelitian pertama yaitu dari Iqbal Khaleed Ridha dengan judul “*Analisis Impak pada Desain Ban Airless Sepeda Motor Menggunakan Elemen Hingga*”. Pada penelitian ini, Iqbal Khaleed Ridha membuat desain ban *airless* dengan *spoke* berbentuk belah ketupat dengan ketebalan *spoke* 4mm, *rhombic angle* 107,778°, dan material ban *Polyurethane* L100 dengan memvariasikan kecepatan sebesar 10 dan 20 km/jam. Desain awal ban *airless* yang dibentuk memiliki dimensi yaitu diameter dalam ban 381,84 mm, ketebalan ban 72,97 mm, dan lebar ban 63,52 mm. Dimana ban tersebut akan berputar melewati polisi tidur dan lubang dengan dimensi lebar 350 mm dan tinggi/kedalaman 50 mm.

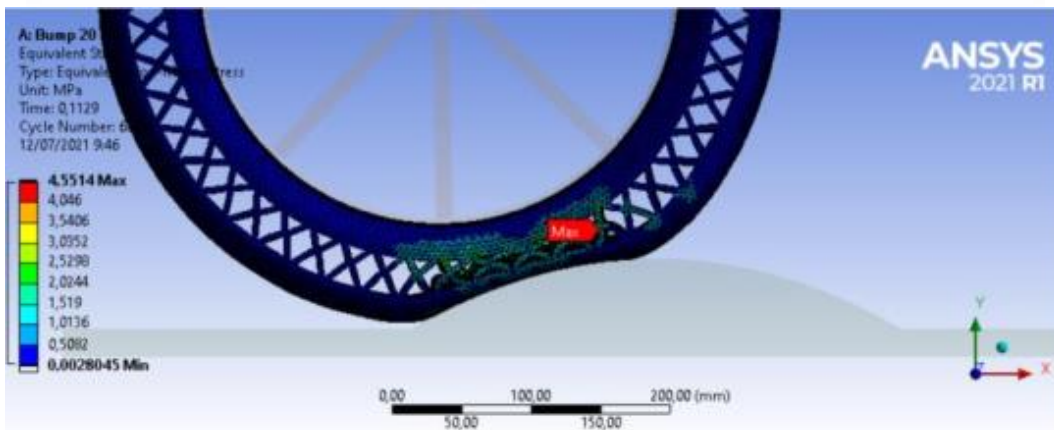
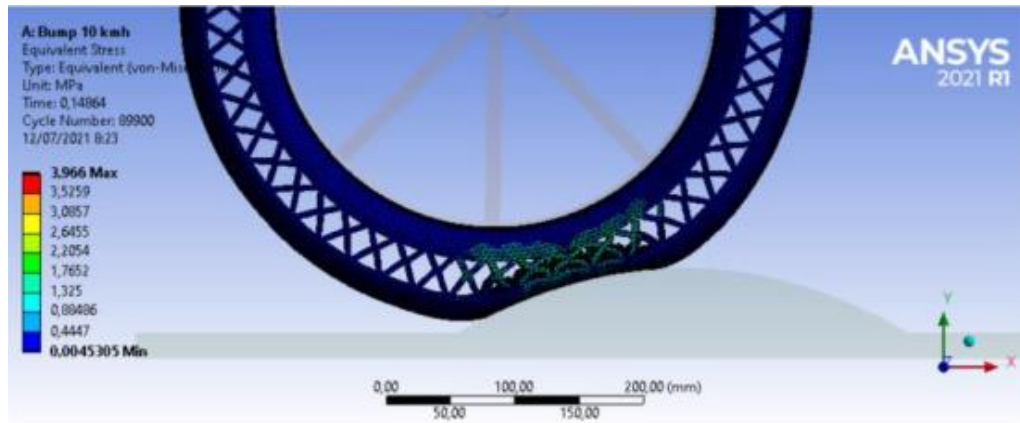


**Gambar 2.20** (a) Tampak Samping Desain Ban *Airless* yang Diajukan; (b) Penampang Ban *Airless* (Ridha, 2021)

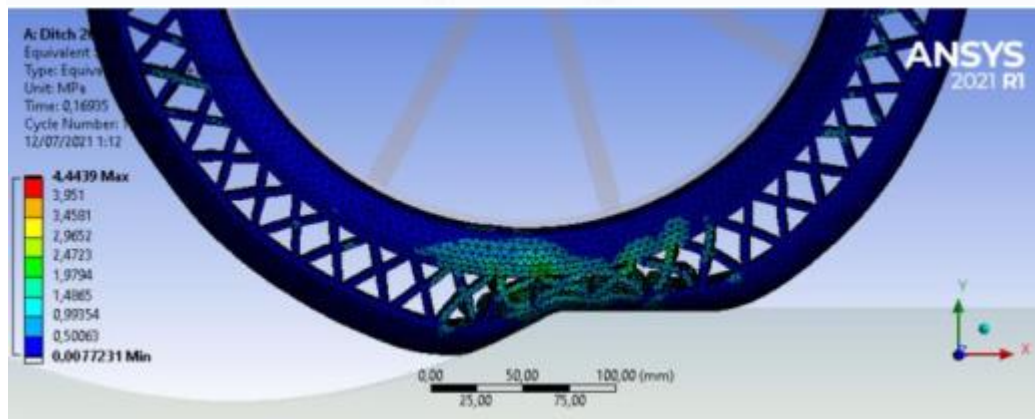
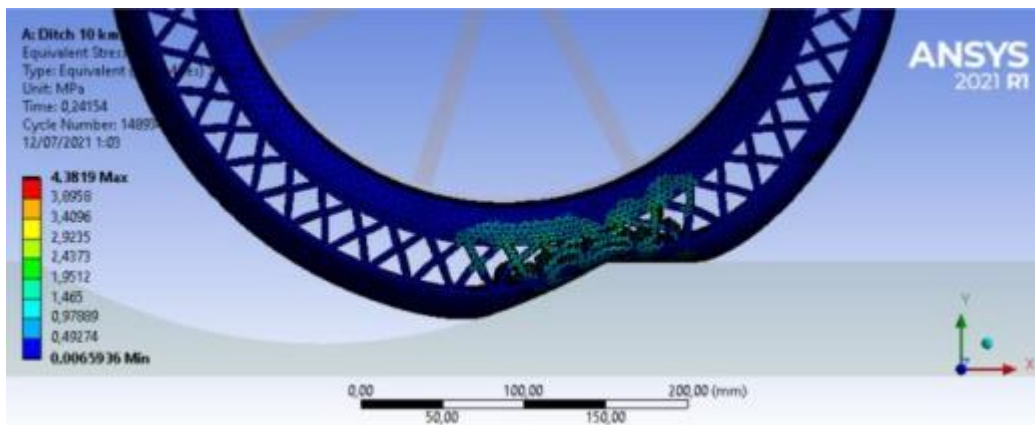
Desain yang telah dibuat kemudian dianalisis dengan pemberian beban statis menggunakan Finite Element Method untuk mendapatkan respons berupa defleksi dan juga tegangan total yang digunakan sebagai acuan dalam menentukan keamanan ban. Dari analisis yang telah dilakukan akan didapatkan data defleksi dan tegangan yang akan dibandingkan dengan defleksi maksimal material sebesar 22,71 mm dan *allowable stress* material sebesar 31 MPa.

**Tabel 2.5** Data Hasil Simulasi Ban *Airless* (Ridha, 2021)

Variasi Model	Defleksi Maksimal (mm)	Maximum Equivalent Stress (MPa)
Polisi Tidur 10 km/jam	21,27	3,966
Polisi Tidur 20 km/jam	25,24	4,5514
Lubang 10 km/jam	26,69	4,3819
Lubang 20 km/jam	27,90	4,4439



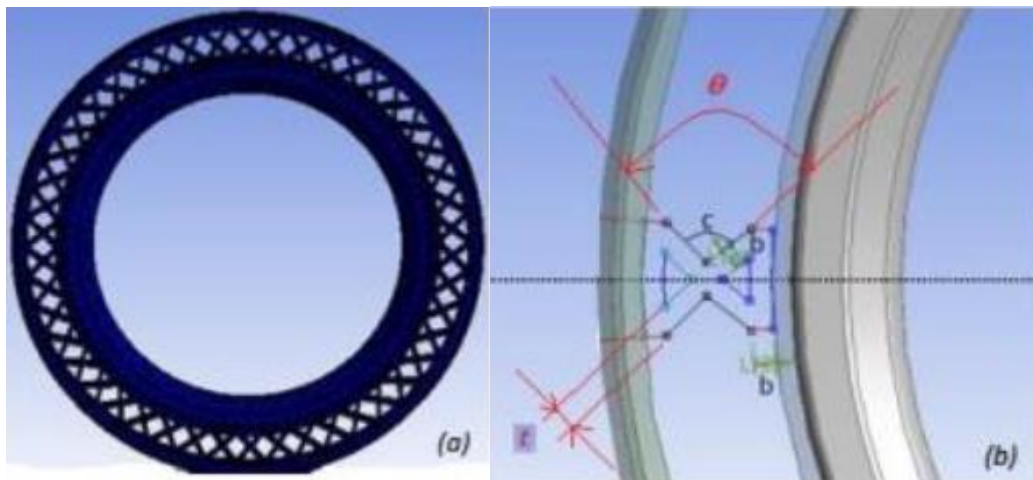
**Gambar 2.21** (a) *Equivalent Stress* Ban pada Polisi Tidur Kecepatan 10 km/jam; (b) *Equivalent Stress* Ban pada Polisi Tidur Kecepatan 20 km/jam(Ridha, 2021)





**Gambar 2.22** (a) *Equivalent Stress* Ban pada Lubang Kecepatan 10 km/jam; (b) *Equivalent Stress* Ban pada Lubang Kecepatan 20 km/jam (Ridha, 2021)

Penelitian kedua 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 2mm, 3mm, dan 4mm. 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*. 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.

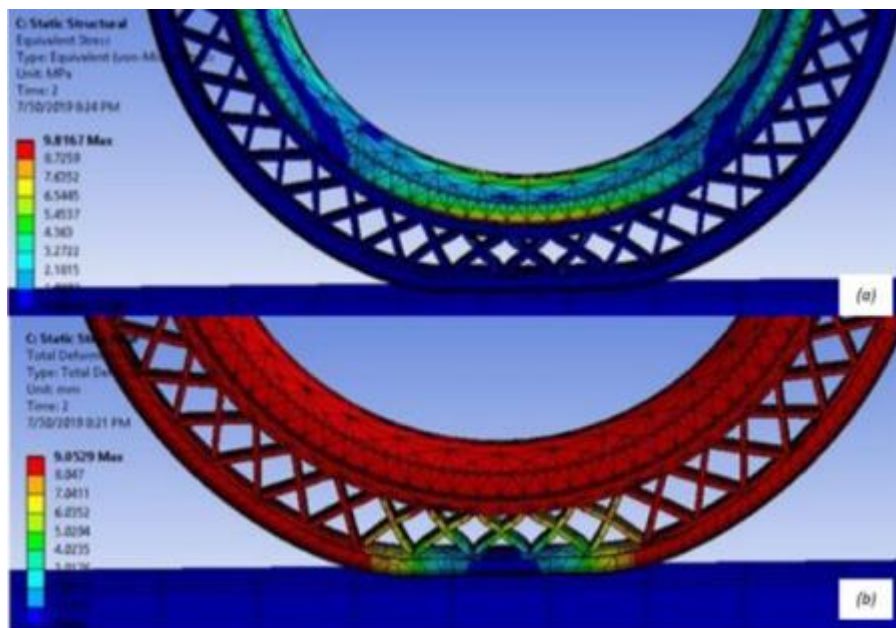


**Gambar 2.23** (a) Desain Ban *Airless*; (b) Dimensi *Spoke* (Sigit, 2019)

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 kedalam *Back Propagation Neural Network (BPNN)* 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 2.6** Respons dari Tiap Variasi Ban *Airless*(Sigit, 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 2.24** Hasil Simulasi (a) Defleksi; (b) Tegangan Total(Sigit, 2019)

Setelah data-data tersebut di-*input* ke dalam *Back Propagation Neural Network (BPNN)* 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* 4 mm. Desain tersebut menghasilkan *output* defleksi sebesar 5.824 mm dengan tegangan total 9.287 MPa.

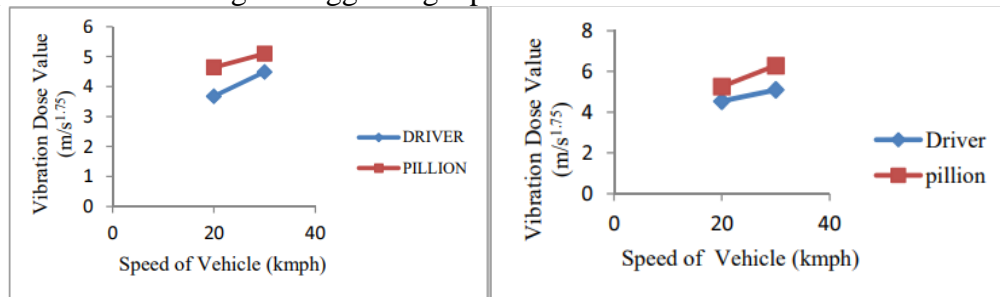
Penelitian ketiga yaitu dari Vikas Kumar *et al.* dengan judul “*Study of Vibration Dose Value and Discomfort due to Whole Body Vibration Exposure for a Two Wheeler Drive*” pada tahun 2013. Analisa pada *vibration dose value* dilakukan dengan melakukan eksperimen pada 6 subjek laki-laki dengan rata-rata pengalaman mengemudi roda dua selama 6,6 tahun, eksperimen dilakukan dengan menggunakan kendaraan roda dua yang berjalan melewati dua pemutus kecepatan (*speed breaker*). Variasi pemutus kecepatan yang digunakan yaitu *Dark Eye DA 1006* dan *Dark Eye DA 1005*. Pengujian dilakukan pada kecepatan 20 km/h dan 30 km/h.





**Gambar 2.25** (a) *Dark Eye* DA 1005 (b) *Dark Eye* DA 1006

Pengukuran dilakukan dengan merekam data *Vibration Dose Value* selama dua menit yang direkam menggunakan pengukur getaran manusia VM-30H saat mengoperasikan kendaraan. Paparan terhadap *whole body vibration* (WDV) diukur sesuai dengan standar ISO 2631-1 dan 2631-5. Ketidaknyamanan di berbagai bagian tubuh dinilai oleh operator pada skala empat poin mulai dari ringan hingga sangat parah.



**Gambar 2.26** (a) Hasil VDV pada DA 1005 (b) Hasil VDV pada DA 1006

Dari data yang ada diperoleh kesimpulan bahwa VDV dan ketidaknyamanan meningkat dengan peningkatan kecepatan kendaraan dan ketinggian pemutus kecepatan untuk pengemudi serta pembonceng. Waktu untuk mencapai 15 VDV meningkat seiring dengan penurunan kecepatan kendaraan dan ketinggian pemutus kecepatan untuk pengemudi dan pembonceng. Pembonceng lebih banyak terkena getaran dibandingkan pengemudi, sehingga pembonceng merasakan ketidaknyamanan lebih dari pengemudi kendaraan roda dua yang sama. Direkomendasikan agar pemutus kecepatan *Dark Eye* DA 1005 digunakan sebagai ganti *Dark Eye* DA 1006 untuk menjaga VDV dalam batas yang dapat diterima dan mencegah efek kesehatan yang merugikan.

**Tabel 2.7** Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Parameter	Penelitian			
Penelitian	Iqbal	Agus Sigit	Vikas Kumar	Penulis
Model <i>Spoke</i>	<i>Rhombus</i>	<i>Rhombus</i>	×	<i>Cylindrical</i>
Material <i>Spoke</i>	<i>Polyurethane 100</i>	<i>Polyurethane L42, L100, L135</i>	×	<i>Polyvinyl Chloride, Nitril Butadiene Rubber</i>

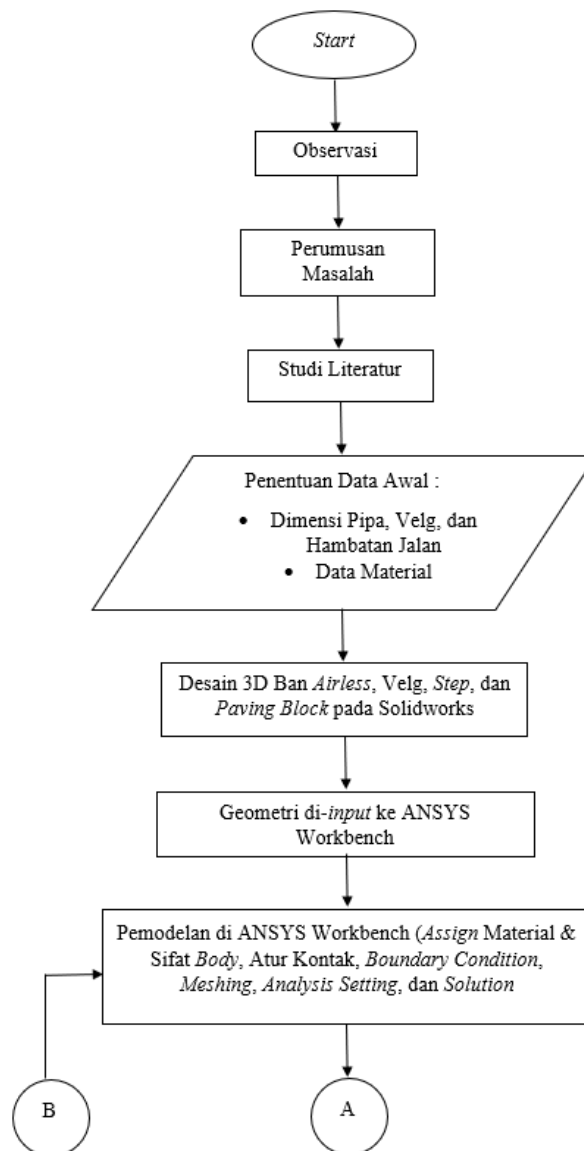
Menganalisis Tegangan Total	✓	✓	✗	✓
Menganalisis Defleksi	✓	✓	✗	✓
Menganalisis VDV	✗	✗	✓	✓
Optimasi Material	✗	✓	✗	✗
Jenis simulasi	Dinamis	Statis		Dinamis

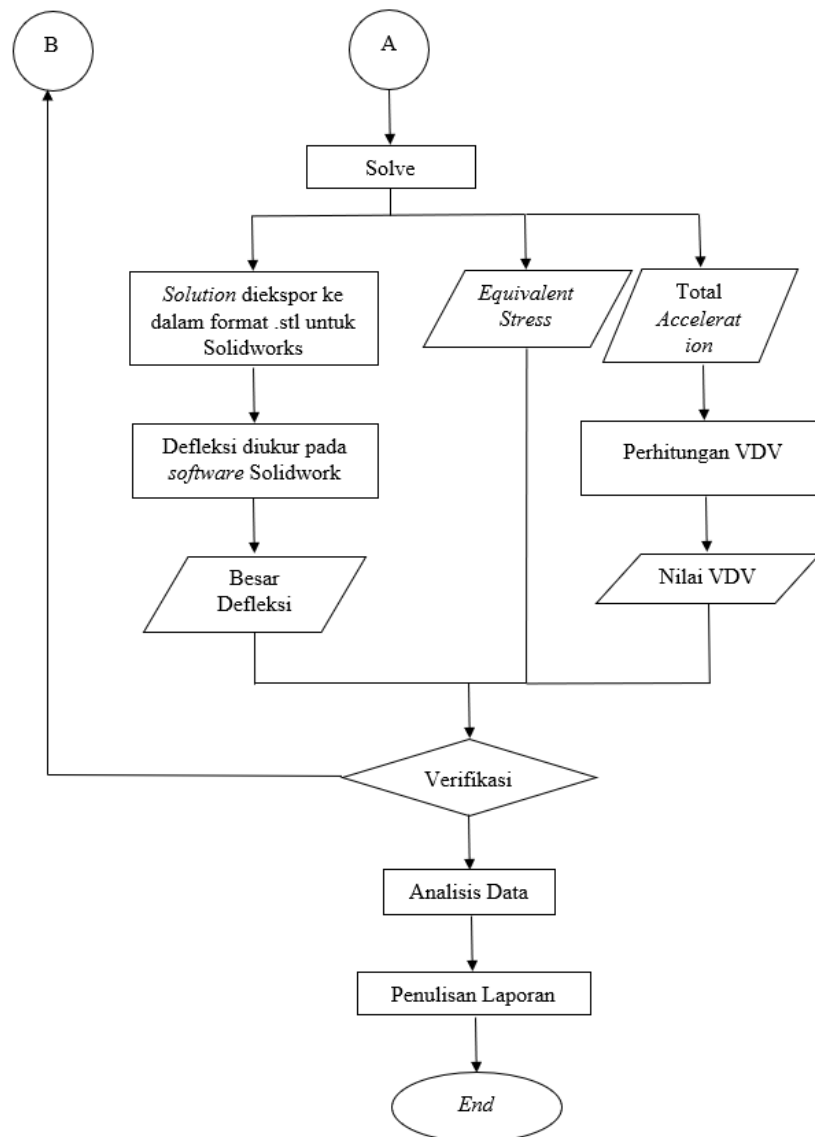
### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini, dijelaskan tahapan - tahapan pelaksanaan yang akan dilaksanakan oleh penulis guna menyelesaikan penelitian mengenai 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

### 3.2 Observasi

Pada tahap ini, penulis melakukan peninjauan terkait ruang lingkup permasalahan serta pembahasan yang akan dilakukan. Observasi yang dilakukan berkaitan dengan ban *airless* beserta lingkup kemampuan pengaplikasiannya dan juga mengenai getaran mekanis. Tujuan dari observasi ini adalah untuk memberikan gambaran pada penulis mengenai ban *airless* dan permasalahan yang dapat diangkat pada penelitian.

### 3.3 Perumusan Masalah

Observasi yang telah dilakukan akan dijadikan pertimbangan masalah yang akan diangkat dalam penelitian ini, sehingga penulis mampu merumuskan masalah yang sesuai dengan ruang lingkup penelitian. Permasalahan yang diidentifikasi adalah kemungkinan – kemungkinan terjadinya masalah pada proses pengoprasian ban *airless*, seperti kemampuan menahan defleksi, tegangan apabila digunakan dijalan, dan getaran mekanis yang ditimbulkan. Melalui penelitian ini diharapkan desain yang telah dibuat

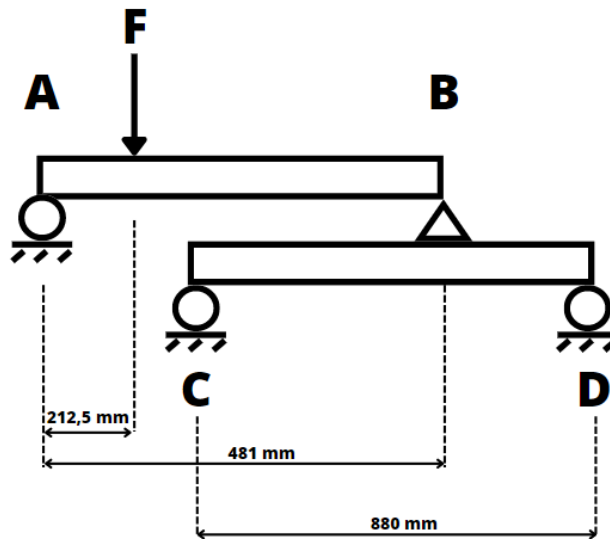
dapat dikembangkan sehingga ban *airless* dapat diproduksi secara massal dengan performa yang mampu menyaingi ban yang umum digunakan.

### 3.4 Studi Literatur

Pada tahap ini, penulis melakukan studi literatur dengan tujuan untuk mengetahui dan mempelajari teori-teori dasar yang akan digunakan dalam penelitian ini. Penulis melakukan studi literatur dengan mencari jurnal dan juga buku yang berhubungan dengan topik penelitian berupa dasar teori ban, defleksi pada ban, teori metode elemen hingga, teori *vibration dose value*, dan penggunaan ANSYS *explicit dynamics* untuk mendukung jalannya penelitian.

### 3.5 Identifikasi Pembebanan

Untuk melakukan analisis pada ban *airless*, diperlukan identifikasi beban yang diterima oleh ban *airless* yaitu berupa beban dari kursi roda dan juga penumpang yang bertumpu pada sambungan di *deck* skuter.



Gambar 3.2 Free Body Diagram

Perhitungan beban yang terjadi pada sambungan kursi roda

$$\begin{aligned} \sum F_y &= F_{y_A} - W + F_{y_B} \\ &= F_{y_A} - 1137,57 \text{ N} + F_{y_B} \\ 1054,7 \text{ N} &= F_{y_A} + F_{y_B} \dots \dots \dots (1) \end{aligned}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$\sum M_A = (W \times 212,5 \text{ mm}) - (R_{y_B} \times 481 \text{ mm})$$

$$481 R_{y_B} = 224123,75$$

$$R_{y_B} = 465,9 \text{ N}$$

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

$$\sum M_D = 0$$

$$\sum M_D = (465,9 \text{ N} \times 278 \text{ mm}) - (F_{y_C} \times 880 \text{ mm}) + (w \times 440)$$

$$880 F_{y_C} = 135020$$

$$F_{y_C} = 153,4 \text{ N}$$

### 3.6 Pengumpulan Data Awal

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

**Tabel 3.1** Dimensi Komponen

Komponen	Parameter	Nilai
Pipa	Diameter	26,67 mm
	Tebal	3,17 mm
	Lebar	30,57 mm
Pelek	Diameter	166 mm
	Tebal	49 mm
<i>Paving Block</i>	Celah	2,8 mm
	Sudut	45 °
<i>Step</i>	Kedalaman	10 mm
	Sudut	90 °

**Tabel 3.2** *Properties* Material

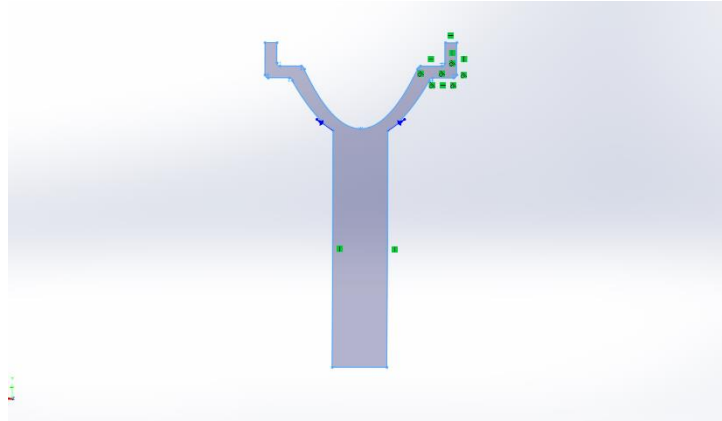
Komponen	Material	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Young Modulus (MPa)	Poisson Ratio	Allowable Stress (MPa)
Pipa	PVC	1450	3275	0,38	52
	HDPE	980	1000	0,46	30
Pelek	Aluminium Alloy	2770	71000	0,33	280
Polisi Tidur	Ashpalt Concrete	2240	22000	0,2	
Karet Outer	Neoprene Rubber	1250	0,08	0,49	4

### 3.7 Pemodelan Simulasi

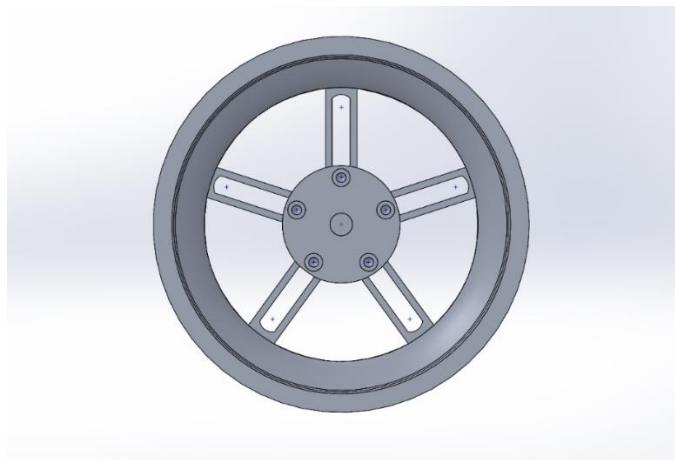
Setelah data dikumpulkan, maka bentuk fisik dari komponen dapat dimodelkan melalui *software Computer Aided Design* di mana penulis menggunakan *Solidworks*. Dalam proses mendesain, dibuat beberapa komponen yang akan disimulasikan, dalam hal ini yaitu pelek, ban *airless*, dan jalan. Pembuatan model mengacu pada dimensi dan juga *properties* yang telah ditentukan sebelumnya.

#### 3.7.1 Pemodelan Pelek

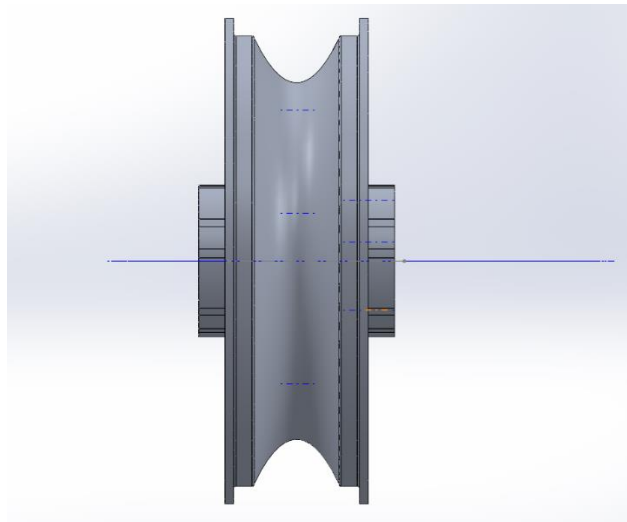
Pemodelan pelek dibuat dengan ukuran sesuai dengan ukuran pelek skuter sebenarnya yaitu diameter luar 166 mm diameter dalam 122 mm dan lebar pelek 49 mm.



**Gambar 3.3** Penampang Pelek



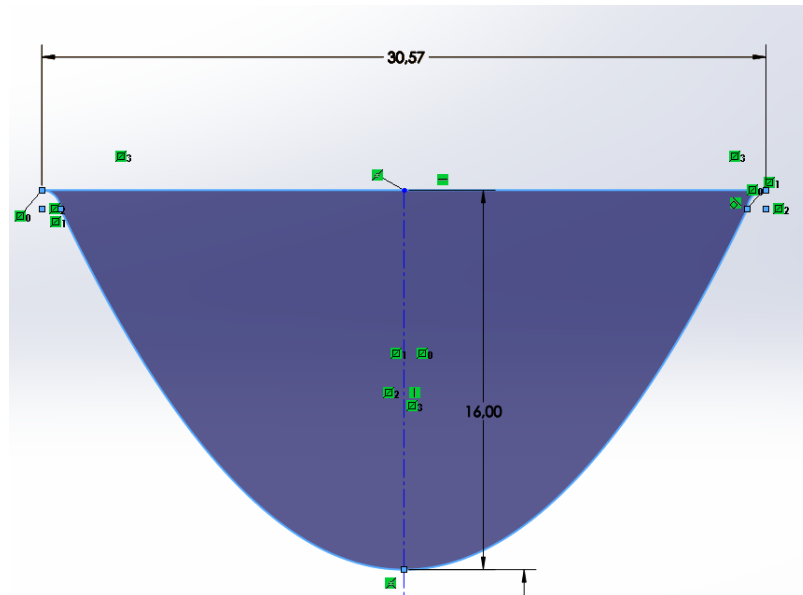
**Gambar 3.4** Tampak Samping Pelek



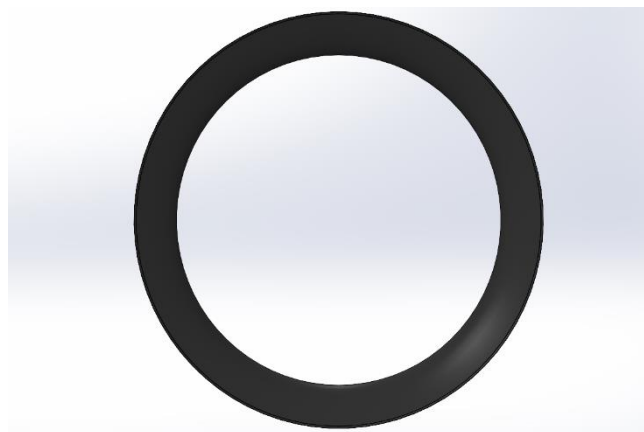
**Gambar 3.5** Tampak Depan Pelek

### **3.7.2** Pemodelan Penampang *Spoke*

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



**Gambar 3.6** Penampang *Spoke*

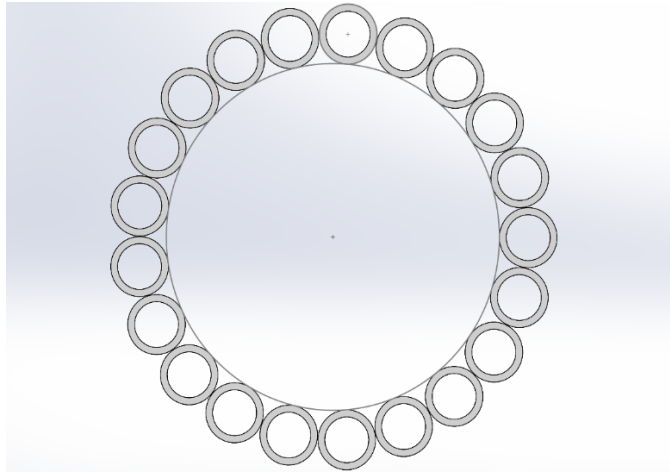


**Gambar 3.7** Tampak Samping Penampang *Spoke*

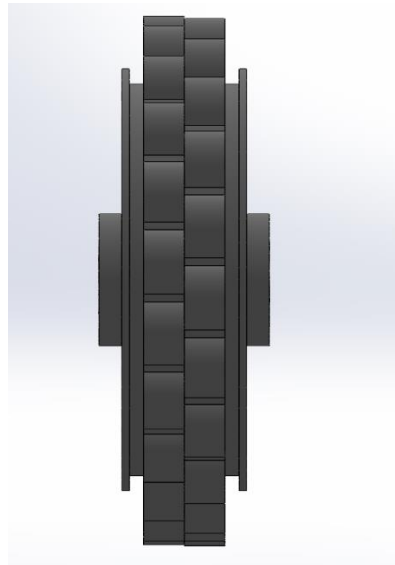
### 3.7.3 Pemodelan *Spoke*

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





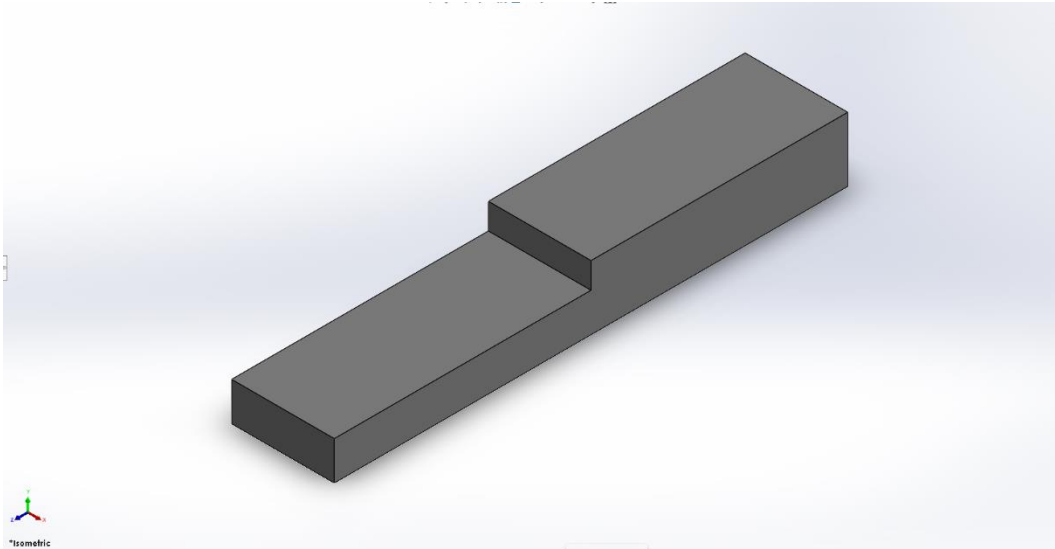
**Gambar 3.8** Tampak Samping *Spoke*



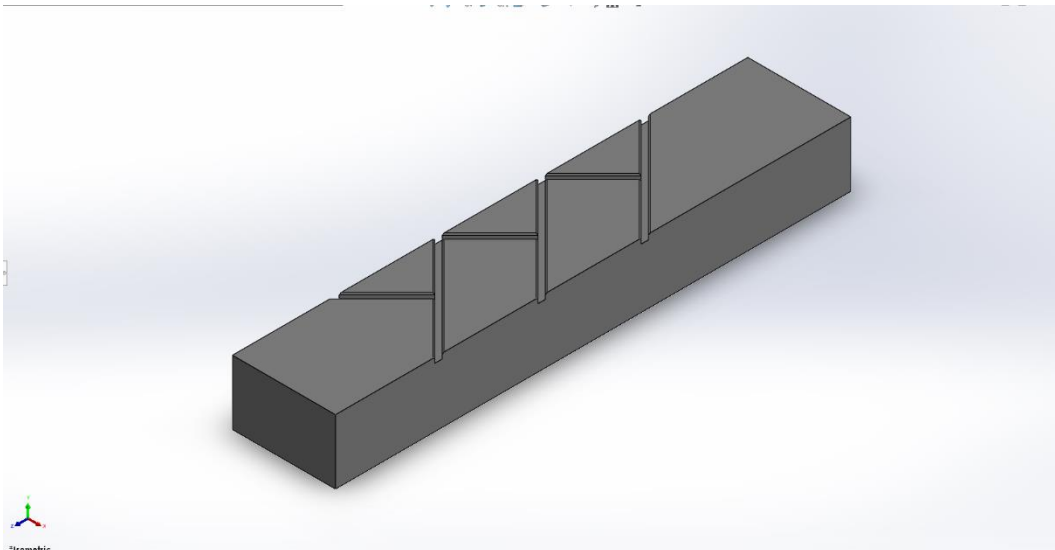
**Gambar 3.9** Tampak Depan *Spoke*

#### **3.7.4** Pemodelan Jalan

Jalan diberi dua hambatan yaitu *step* dan *paving block*. *Step* dibuat dengan tinggi 10 mm dan sudut  $90^\circ$  agar didapat impak maksimal. *Paving block* diberikan dimensi dengan celah 2,8 mm dan sudut  $45^\circ$ .



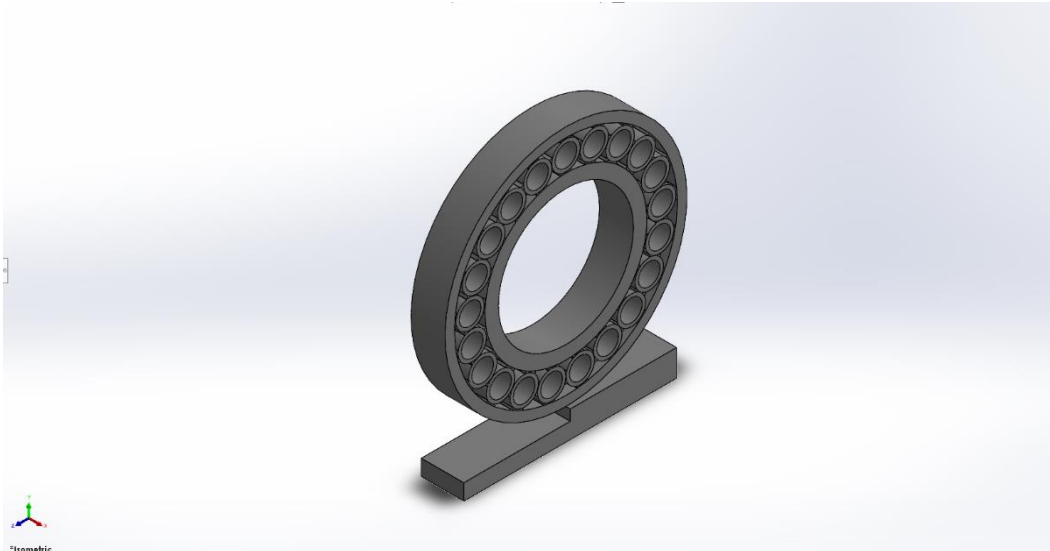
**Gambar 3.10** Pemodelan *Step*



**Gambar 3.11** Pemodelan *Paving Block*

### **3.7.5 Assembly Model 3D**

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



**Gambar 3.12** *Assembly Model Step*



**Gambar 3.13** *Assembly Model Paving Block*

### **3.8 Simulasi *Finite Element Method***

Pada penelitian ini, penulis melakukan simulasi menggunakan *software finite element analysis* yaitu ANSYS Workbench 2021 R1 dengan modul *explicit dynamics*. Dalam melakukan analisis, perlu dilakukan pengaturan sebelum dilakukan simulasi.

#### **3.8.1 Mendefinisikan *Engineering Data***

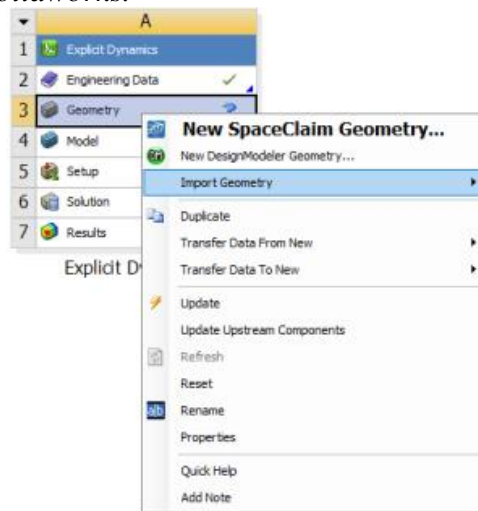
*Engineering data* merupakan data dari material yang akan digunakan untuk simulasi. Material yang digunakan untuk *spoke* ban *airless* yaitu *Polyvinyl Chloride* dan *High-density polyethylene*, untuk pelek menggunakan *aluminium alloy*, dan untuk permukaan jalan *Asphalt Concrete*, dan *PolyLactid Acid* untuk penampang *spoke*. Maka dari itu, ditambahkan sifat mekanis dari empat material tersebut pada *engineering data*.

Outline of Schematic B2: Engineering Data					
A		B	C	D	E
Contents of Engineering Data		Source			Description
1	Material				
2	Aluminum Alloy		Gene		General aluminum alloy. Fatigue properties come from MIL-HDBK-5H, page 3-277.
3	CONCRETE-L		Expl		C.M. Wentzel et al "Concrete under Multi-Axial Dynamic Loading" - Tran. Load. + resp. Struct. 1998
4	HDPE		D:\S		
5	Neoprene Rubber		Hype		Sample data for a neoprene rubber
6	PLA		D:\S		
7	PVC		D:\S		
8	Structural Steel		Gene		Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5 -110.1
9	* Click here to add a new material				

Gambar 3.14 Engineering data

### 3.8.2 Mengimpor Geometri

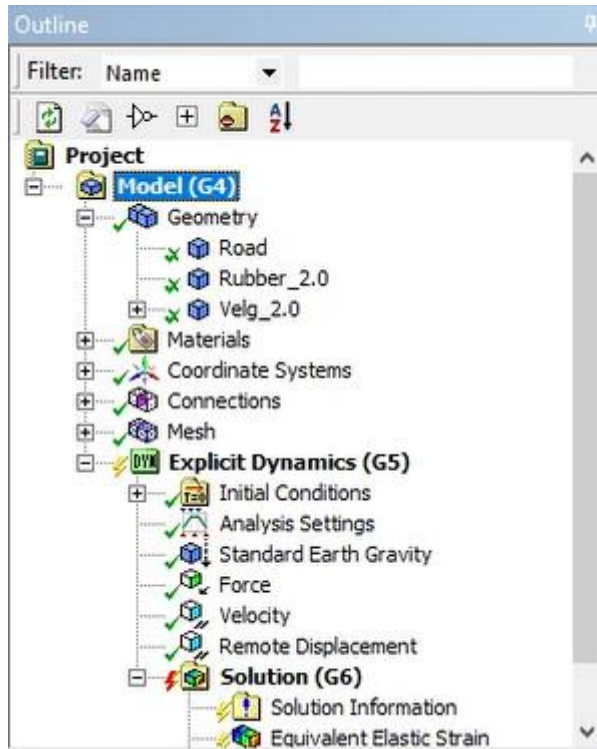
Setelah memasukkan *engineering data*, langkah selanjutnya yaitu mengimpor geometri yang telah dibuat di *software Solidworks*.



Gambar 3.15 Import Geometri

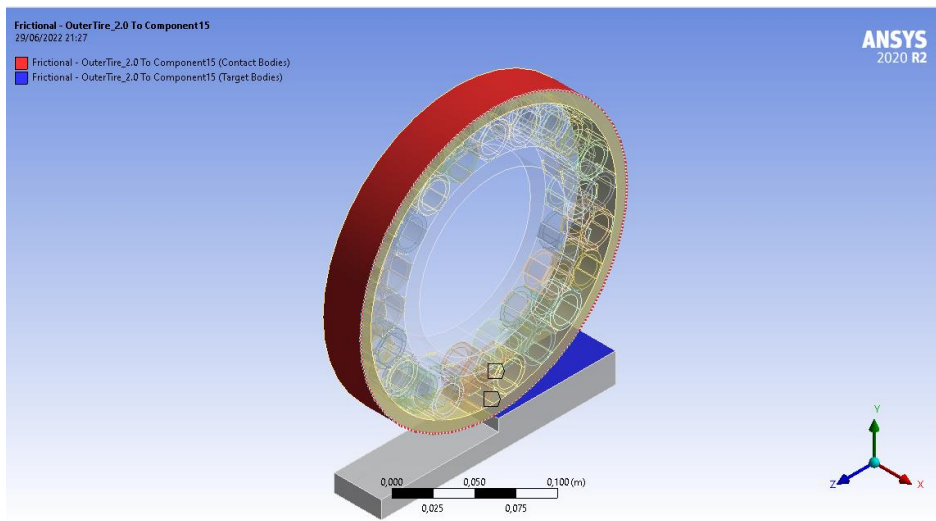
### 3.8.3 Melakukan Pemodelan pada ANSYS

1. Menunjuk material yang telah dimasukkan ke *engineering data* ke geometri yang telah diimpor ke *Explicit Dynamics* dan menentukan sifat dari geometri. Pada pelek ditunjuk material *Alumminium Alloy* dengan sifat *rigid*. Kemudian pada jalan ditunjuk material *Asphalt Concrete* dengan sifat *rigid*. Pada *spoke* ditunjuk material *Polyvinyl Chloride* atau *High-density polyethylene* dengan sifat *body* fleksibel.

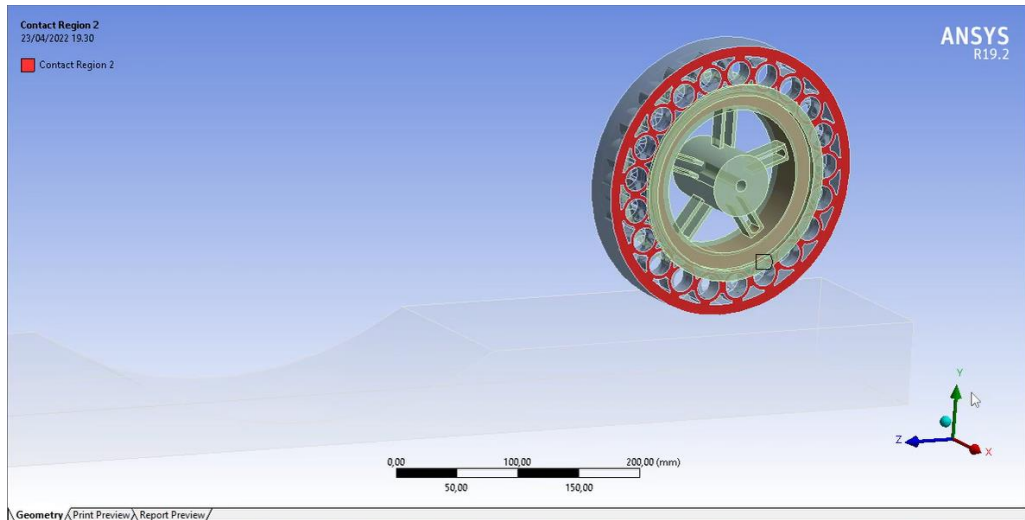


**Gambar 3.16** Assign Material pada Geometri

2. Menentukan kontak antara ban *airless* dengan jalan yaitu kontak *frictional* dengan koefisien gesek 0,4, *spoke* dengan pelek yaitu kontak *bonded* dengan toleransi kontak 2,9932 mm.

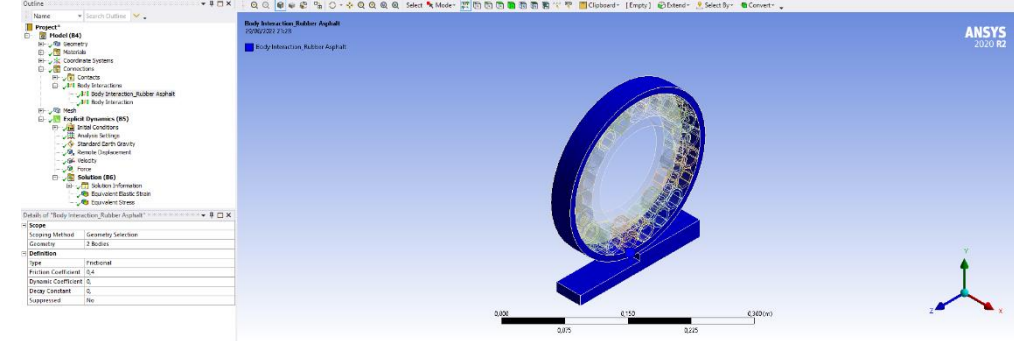


**Gambar 3.17** Kontak antara Ban dan Jalan

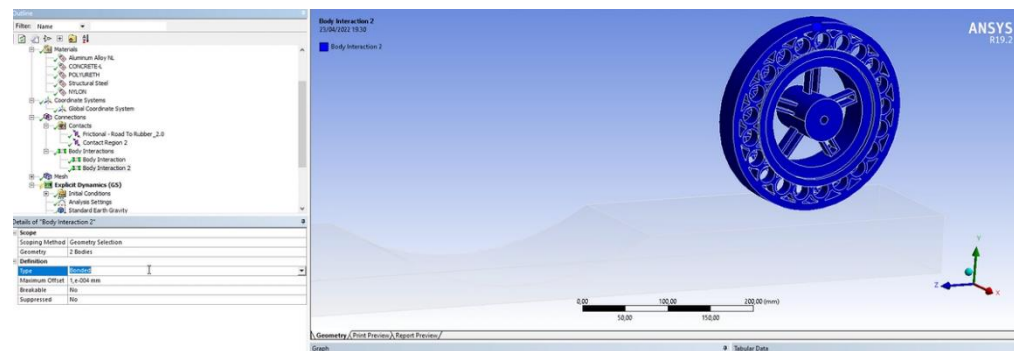


Gambar 3.18 Kontak antara *Spoke* dengan Pelek

3. Mendefinisikan *body interaction* yang pertama untuk jalan dengan ban *airless* dengan jenis *frictional* dan untuk pelek dengan ban *airless* menggunakan jenis *bonded*.

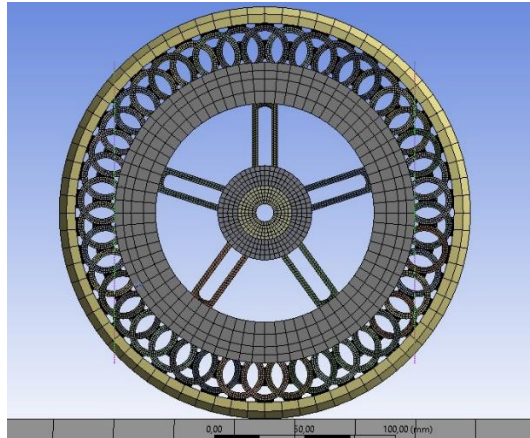


Gambar 3.19 *Body Interaction* Ban dan Jalan

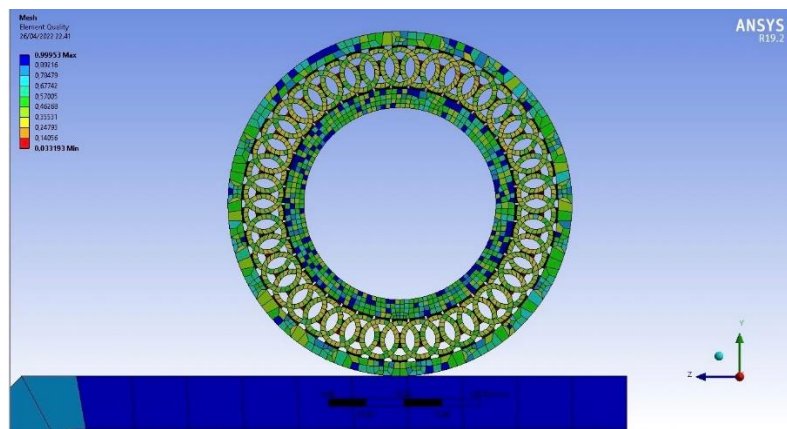


Gambar 3.20 *Body Interaction* Pelek dan Ban

4. Proses *meshing* sebagai proses utama yang berguna untuk membagi geometri atau model 3D yang telah dibuat menjadi model diskrit atau elemen hingga. Semakin banyak elemen *meshing* maka hasilnya akan semakin baik dan semakin mendekati nilai *real*. Namun, jumlah elemen yang digunakan dalam simulasi akan memengaruhi waktu yang dibutuhkan dalam proses simulasi. Pada model simulasi ini, metode *meshing* yang digunakan yaitu *edge sizing* untuk setiap komponen pada desain ban *airless*.



Gambar 3.21 Meshing



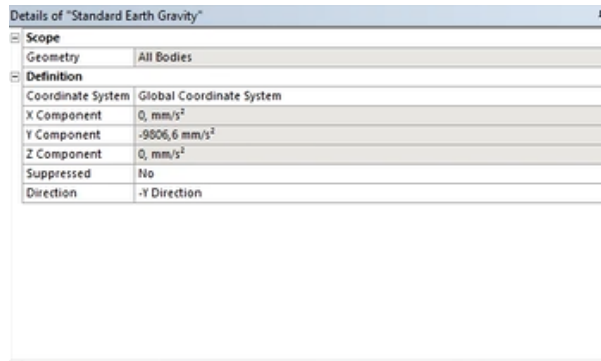
Gambar 3.22 Mesh Quality

5. Menentukan *Boundary Condition* pada model yaitu menentukan *step controls* dengan *number of steps* 3 dan *end time* 0,10 dengan *maximum energy error* 1. Kemudian mendefinisikan *standard earth gravity* pada sumbu x  $0 \text{ mm/s}^2$ , pada sumbu y  $-9806,6 \text{ mm/s}^2$ , dan sumbu z  $0 \text{ mm/s}^2$ . Lalu mendefinisikan beban pada permukaan lubang poros pelek sebesar  $-154,3 \text{ N}$  kearah sumbu y. Kemudian mendefinisikan kecepatan pada jalan yang bergerak pada sumbu z  $-2.777,78 \text{ mm/s}$ . Kemudian mendefinisikan *remote displacement* pada pusat pelek *free* rotasi pada sumbu x, *free* pada sumbu y agar pelek bisa bergerak ke atas dan bawah sesuai dengan kontur jalan, dan  $0 \text{ mm}$  pada sumbu z agar tidak ada pergerakan kearah sumbu z.

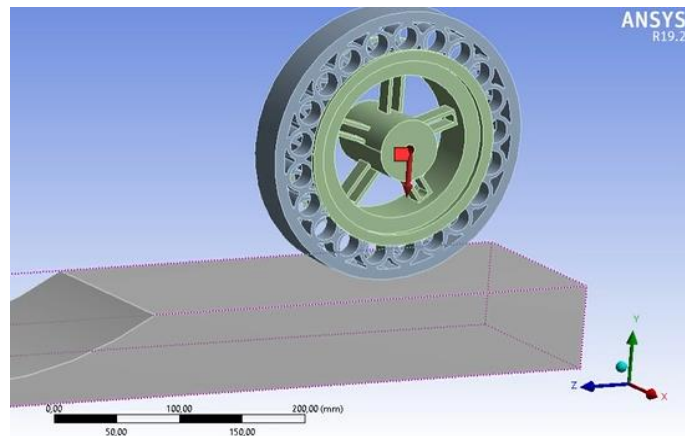
Analysis Settings Preference	
Type	Custom
Step Controls	
Number Of Steps	10
Current Step Number	10
End Time	0,1
Resume From Cycle	0
Maximum Number of Cycles	1e+07
Maximum Energy Error	1,
Reference Energy Cycle	0
Initial Time Step	Program Controlled
Minimum Time Step	Program Controlled
Maximum Time Step	Program Controlled
Time Step Safety Factor	0,9
Characteristic Dimension	Diagonals
Automatic Mass Scaling	No
Solver Controls	

Gambar 3.23 Steps Controls

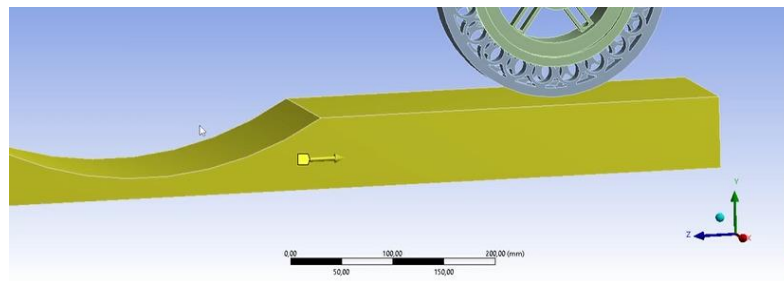




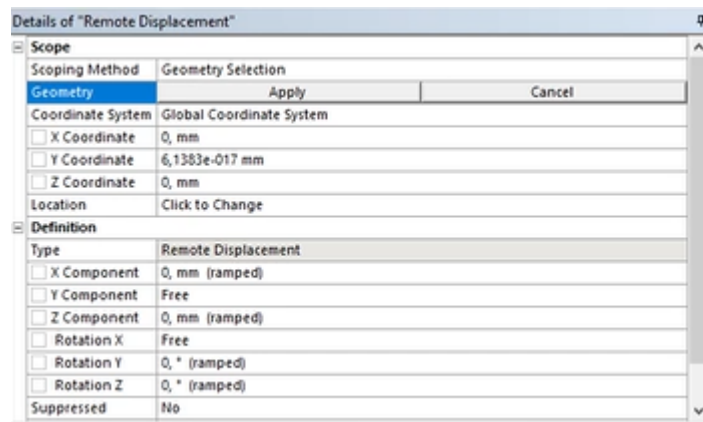
**Gambar 3.24** *Standard Earth Gravity*



**Gambar 3.25** *Force*



**Gambar 3.26** *Velocity*

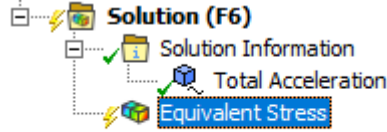


**Gambar 3.27** *Remote Displacement*

6. Setelah semua terdefiniskan dengan benar, maka simulasi dapat di-solve. Setelah *solution* selesai, hasil yang didapatkan perlu didefinisikan, dalam kasus ini yaitu



tegangan total yang terjadi pada ban dan percepatan total yang dialami ban, oleh karena itu dipilih *Solution Equivalent Stress* dan *total acceleration*.



Gambar 3.28 *Solution*

### 3.9 Eksperimen

#### 3.9.1 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 berupa *accelerometer* untuk mendapatkan nilai percepatan getaran yang diperoleh dan pemberian beban yang akurat. Pemberian beban sendiri dibantu dengan massa penumpang dan juga beban tambahan.



Gambar 3.29 Accelerometer

#### 3.9.2 Alur Pengujian

Untuk mendapatkan data eksperimen sebagai validasi dari hasil simulasi maka peneliti melakukan pengujian dengan alat uji eksperimen berupa *accelerometer*. Berikut adalah alur pengujian eksperimen.

- Ban *airless* dipasang pada skuter yang telah dihubungkan dengan kursi roda
- Accelerometer* dipasangkan pada *side arm* ban
- Diberikan beban/gaya yang telah ditentukan pada penelitian
- Skuter dikendarai dengan kecepatan yang telah ditentukan dan *accelerometer* menghitung data percepatan yang diperoleh

#### 3.10 Verifikasi

Verifikasi dilakukan untuk memastikan bahwa simulasi *finite element method* yang dilakukan mampu mewakili keadaan sesungguhnya. Pada penelitian ini penulis menggunakan metode kuantitatif dengan cara menganalisis keseimbangan energi pada desain yang dijalankan. Jika penelitian menunjukkan kesesuaian, maka penelitian akan dilanjutkan dengan analisis data hasil simulasi.

### 3.11 Analisis Hasil Data

Setelah ANSYS selesai menghitung model matematika dari simulasi, maka hasil dari simulasi tersebut perlu didefinisikan. Dalam penelitian ini, hasil yang diambil dari simulasi yaitu tegangan total dan juga besar defleksi yang dialami ban ketika ban berjalan dan mengenai hambatan. Untuk tegangan total, solusi yang dipilih yaitu *Equivalent Stress (Von-Mises)* dimana solusi ini dipilih untuk mengetahui tegangan total yang terjadi pada model.

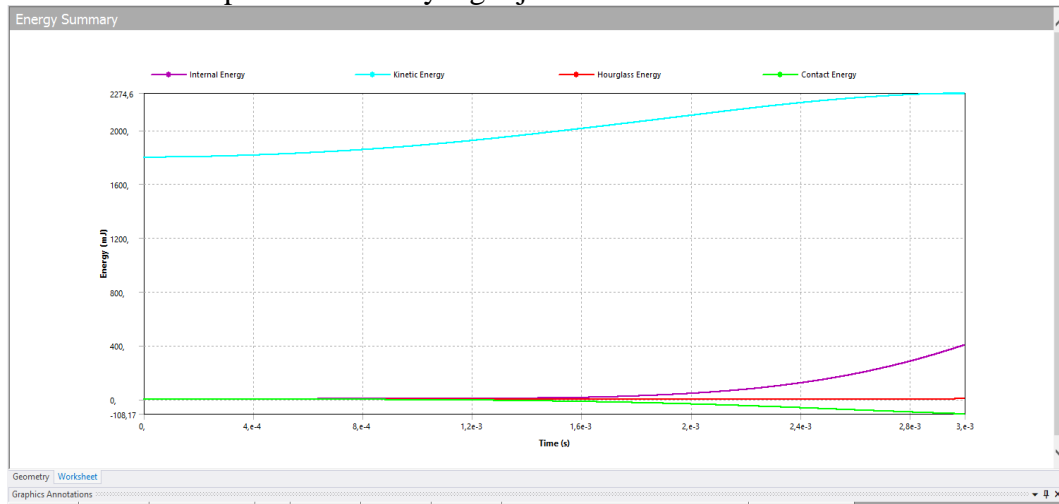
Hasil lain yang ingin dilihat dari simulasi ini yaitu besar defleksi maksimal saat ban berjalan dan juga ketika kontak dengan hambatan (polisi tidur dan lubang). Untuk mengetahui defleksi tersebut, dari solusi *Equivalent Stress* pada waktu tegangan tertinggi diekspor ke dalam file .stl, kemudian dibuka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

## BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Verifikasi

#### 4.1.1 Verifikasi Energi

Setelah solusi dari simulasi selesai dihitung, maka dapat dilihat beberapa *solution output* untuk melihat detail dari simulasi yang telah dilakukan seperti grafik *energy conservation*, *time increment*, *momentum summary*, dan juga *energy summary*. Grafik ini dapat digunakan untuk melakukan verifikasi apakah simulasi yang dijalankan oleh ANSYS sudah benar atau belum.



Gambar 4.1 Energy Summary

Gambar 4.1 merupakan grafik *energy summary* dari solusi yang telah dihitung ANSYS. Grafik tersebut dapat digunakan untuk melakukan verifikasi simulasi. Berdasarkan grafik tersebut, dapat dilihat bahwa energi kinetik meningkat, di mana pada kondisi tersebut ban atau jalan berjalan dengan kecepatan yang telah diberikan. Seperti yang telah diketahui, energi kinetik merupakan energi yang dimiliki suatu benda bergerak, dalam hal ini benda bergerak karena diberi kecepatan sehingga energi kinetik meningkat. Energi internal juga meningkat seiring dengan ban yang diberi beban ke arah sumbu y negatif akibat massa yang diberikan. Lalu sesaat sebelum detik 0,0008 s energi internal meningkat akibat terjadinya dampak antara ban dengan hambatan jalan.

Energi kinetik dan internal ini tidak turun ke nilai 0 karena ban disimulasikan terus berjalan pada jalanan, tidak diakhiri dalam kondisi diam. Energi *hourglass* pada grafik tersebut juga bernilai kecil. Energi ini harus bernilai kecil atau kurang dari 10% agar simulasi dapat dikatakan akurat, karena jika energi *hourglass* besar, analisis bisa tidak menghasilkan tegangan. Sehingga berdasarkan grafik tersebut simulasi yang dilakukan dapat dianggap akurat.

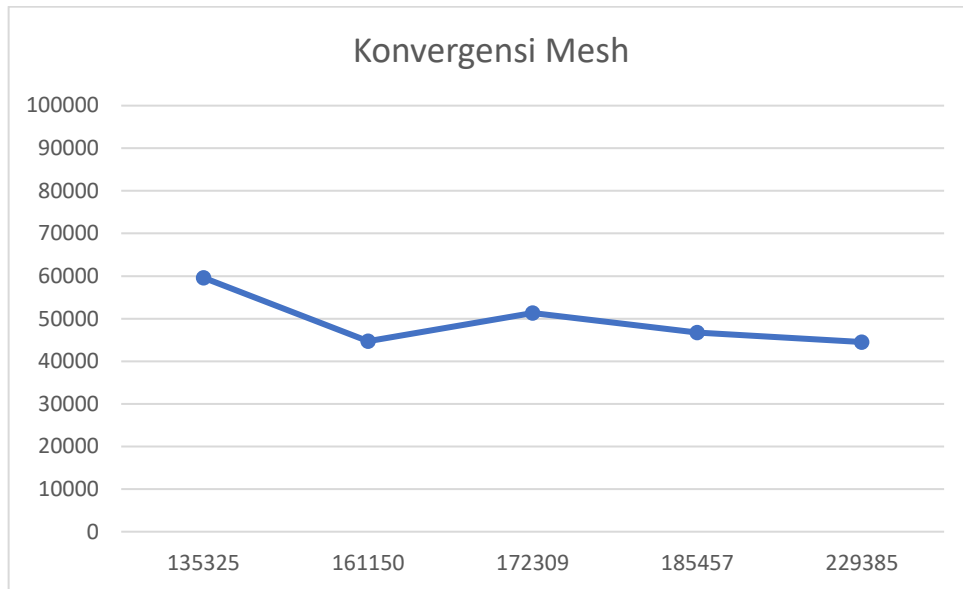
#### 4.1.2 Konvergensi

Dalam proses *solving*, hasil yang didapatkan tentunya tidak langsung berupa hasil yang akurat. Hal ini dikarenakan proses *meshing* tidak bisa sepenuhnya diperhitungkan secara analitis, seperti ukuran *mesh*, jenis *mesh*, dan lain sebagainya. Tentunya ini dapat terjadi dikarenakan geometri dari ban *airless* memiliki bentuk yang kompleks. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu metode untuk membuktikan bahwa hasil simulasi telah mendekati keakuratan terhadap pengaruh resolusi *mesh*. Ukuran elemen yang digunakan pada penelitian ini menggunakan ukuran 3,5 mm, yang didasari pada hasil tes konvergen. Tes konvergen pada

penelitian ini menggunakan 5 variasi elemen yaitu 5,5 mm, 5 mm, 4,5 mm, 4 mm, dan 3,5 mm. Empat percobaan variasi dilakukan pengujian pada *vertex* yang sama.

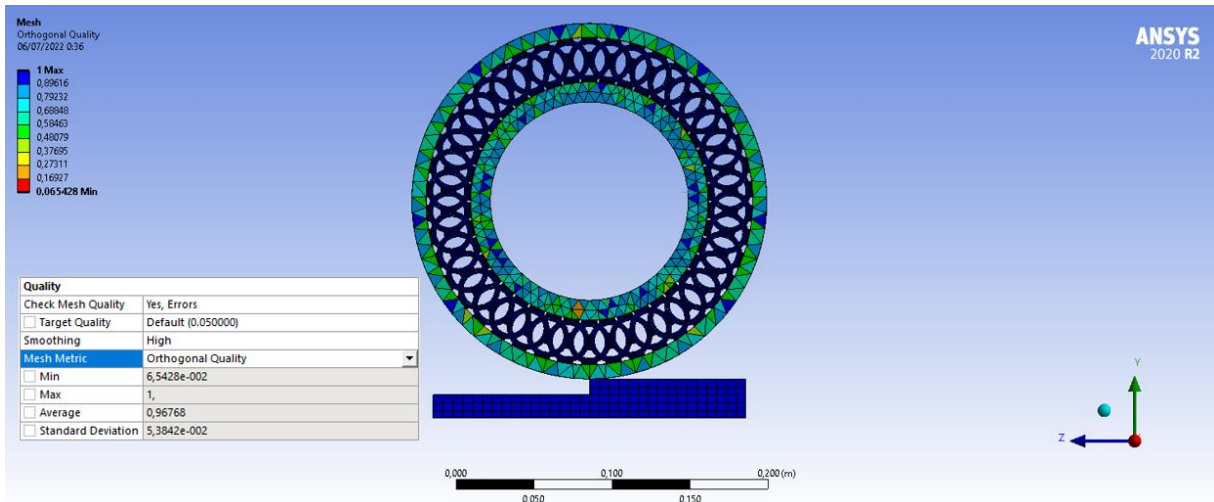
**Tabel 4.1** Hasil Uji Konvergen *Mesh*

Ukuran Elemen (mm)	Stress (Pa)	Jumlah Elemen	<i>Relative Error</i> (%)
5,5	59611	135325	
5	44697	161150	25%
4,5	51326	172309	15%
4	46562	185457	9%
3,5	44520	229385	5%

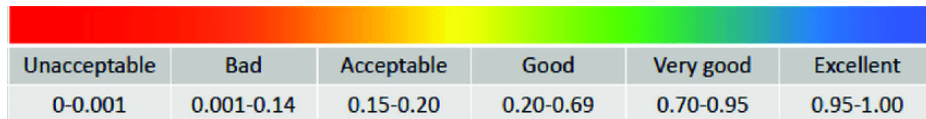


**Gambar 4.2** Grafik Konvergensi *Mesh*

Berdasarkan tabel diatas, didapatkan bahwa simulasi telah konvergen pada ukuran elemen 3,5 mm. Hal itu dibuktikan dengan nilai *relative error* yang sudah kecil yaitu 5%. Maka dari itu, simulasi yang akan digunakan pada ANSYS ini adalah menggunakan ukuran elemen 3,5 mm. Selain itu pada *mesh metric orthogonal quality* didapatkan nilai maksimum yaitu 1, nilai minimum yaitu 0,065 dan nilai *average* sebesar 0,967 yang bila dibandingkan dengan *spectrum orthogonal quality mesh metrics* berada dalam rentang *excellent*.



Gambar 4.3 Distribusi *Orthogonal Quality*



Gambar 4.4 *Orthogonal Quality Mesh Metric Spectrum*

#### 4.1.3 Data Hasil Eksperimen

Untuk mengetahui data yang didapat dari simulasi yang telah dilakukan bisa dikatakan valid atau benar, penulis melakukan realisasi uji pengukuran percepatan getaran pada ban *airless* dengan material PVC dan ban *pneumatic* yang selanjutnya akan di bandingkan dengan hasil simulasi yang telah dilakukan.



Gambar 4.5 Alat Uji Eksperimen

Kemudian dilakukan pengambilan data menggunakan alat uji *accelerometer* yang telah disambungkan pada *side arm* skuter. Pada ban *airless* dengan material PVC didapatkan nilai percepatan total sebesar  $1628,08 \text{ m/s}^2$ . Kemudian dilakukan perhitungan eVDV sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 RMSA &= PA \times 0,7071 \\
 &= 1628,08 \times 0,7071
 \end{aligned}$$

$$= 1151,21 \text{ m/s}^2$$

Didapatkan nilai percepatan *root mean square* sebesar  $1151,21 \text{ m/s}^2$

$$\begin{aligned} eVDV &= k \times a_{rms} \times t^{0,25} \\ &= 1,4 \times 1151,21 \times 0,0023 \\ eVDV &= 3,70 \text{ m/s}^{1,75} \end{aligned}$$

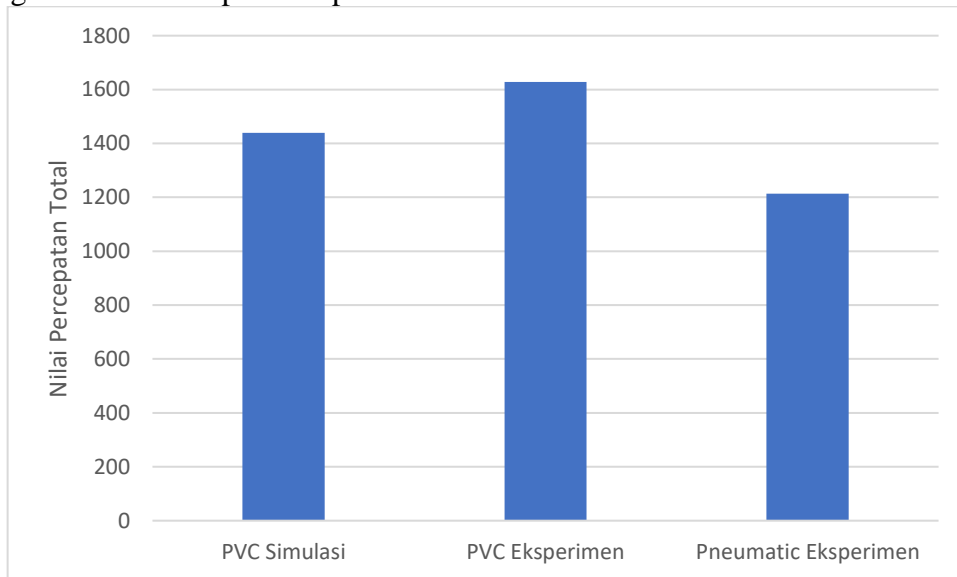
Kemudian dilakukan pengambilan data pada ban *pneumatic* didapatkan nilai percepatan total sebesar  $1213,44 \text{ m/s}^2$ . Kemudian dilakukan perhitungan eVDV sebagai berikut.

$$\begin{aligned} RMSA &= PA \times 0,7071 \\ &= 1213,44 \times 0,7071 \\ &= 858,02 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

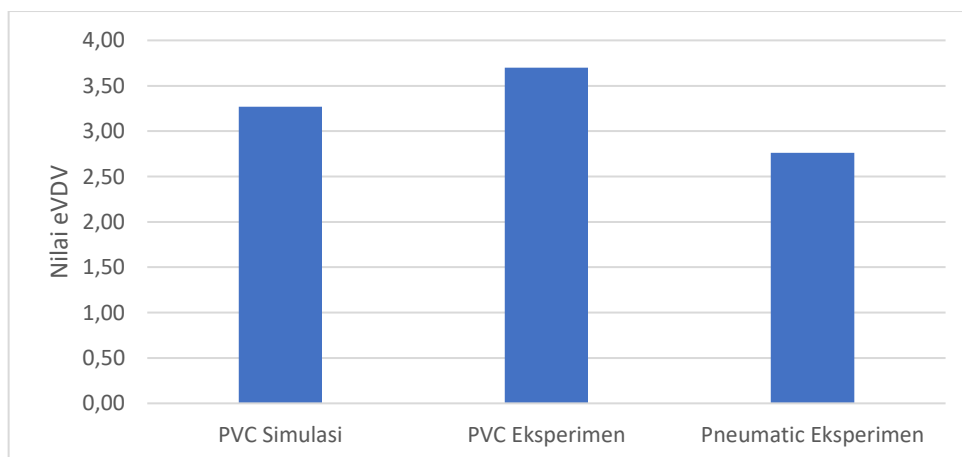
Didapatkan nilai percepatan *root mean square* sebesar  $858,02 \text{ m/s}^2$

$$\begin{aligned} eVDV &= k \times a_{rms} \times t^{0,25} \\ &= 1,4 \times 858,02 \times 0,0023 \\ eVDV &= 2,762 \text{ m/s}^{1,75} \end{aligned}$$

Setelah didapatkan data percepatan pada eksperimen selanjutnya dilakukan perbandingan nilai eVDV pada eksperimen dan simulasi.



**Gambar 4.6** Grafik Perbandingan Percepatan Total



**Gambar 4.7** Grafik Perbandingan eVDV

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai eVDV pada ketiga parameter memiliki perbedaan dimana untuk PVC simulasi sebesar  $3,277 \text{ m/s}^{1,75}$ , pada PVC eksperimen sebesar  $3,70 \text{ m/s}^{1,75}$ . Dari kedua data tersebut terdapat perbedaan sebesar 11,6 % terdapat beberapa factor yang mempengaruhi hasil dari eksperimen seperti permukaan *paving* di mana pada eksperimen permukaan *paving* pada keadaan sesungguhnya memiliki kekasaran tertentu sedangkan pada pemodelan didesain rata, pengaruh kekakuan yang dimiliki material PVC, sesuai dengan penelitian pada geometri yang sama yang dilakukan oleh M. Nurul Huda didapatkan bahwa nilai defleksi pada ban dengan material PVC lebih kecil dari ban *pneumatic*. 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 komponen penyambung dengan material yang sama dengan *spoke*. Ketiga nilai eVDV masih berada pada tingkat resiko yang sama sehingga simulasi yang dilakukan dapat dikatakan valid.

## 4.2 Data Hasil Simulasi

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, didapatkan beberapa data yaitu tegangan total atau *equivalent stress*, defleksi maksimal yang terjadi, dan nilai *estimate vibration dose value*. Terdapat 4 variasi yang disimulasikan, yaitu jenis hambatan step dengan 2 jenis material yaitu PVC dan HDPE, jenis hambatan *paving block* dengan 2 jenis material yaitu PVC dan HDPE. Data tersebut terlampirkan pada table di bawah ini.

**Tabel 4.2** Data Hasil Simulasi

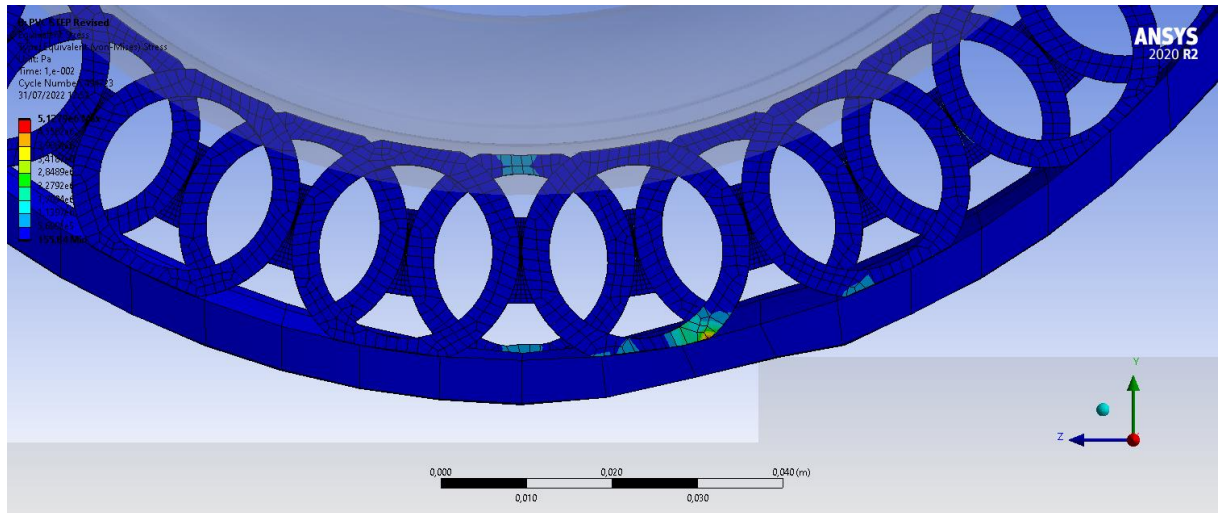
Variasi Model	Defleksi Maksimal (mm)	Maximum Equivalent Stress (MPa)	Estimate Vibration Dose Value ( $\text{m/s}^{1,75}$ )
PVC Step	2,70	5,12	4,564
HDPE Step	3,19	2,58	3,227
PVC <i>Paving Block</i>	1,18	3,25	3,277
HDPE <i>Paving Block</i>	2,05	1,27	3,239

## 4.3 Analisis Model Step

### 4.3.1 Tegangan pada Model Step

Model pertama yang dianalisa yaitu model step dengan 2 jenis material yaitu PVC dan HDPE. Dalam model ini, *end time* yang digunakan dalam simulasi yaitu 0,001 s, dengan input kecepatan  $2,7778 \text{ m/s}$  ke arah sumbu y negatif.

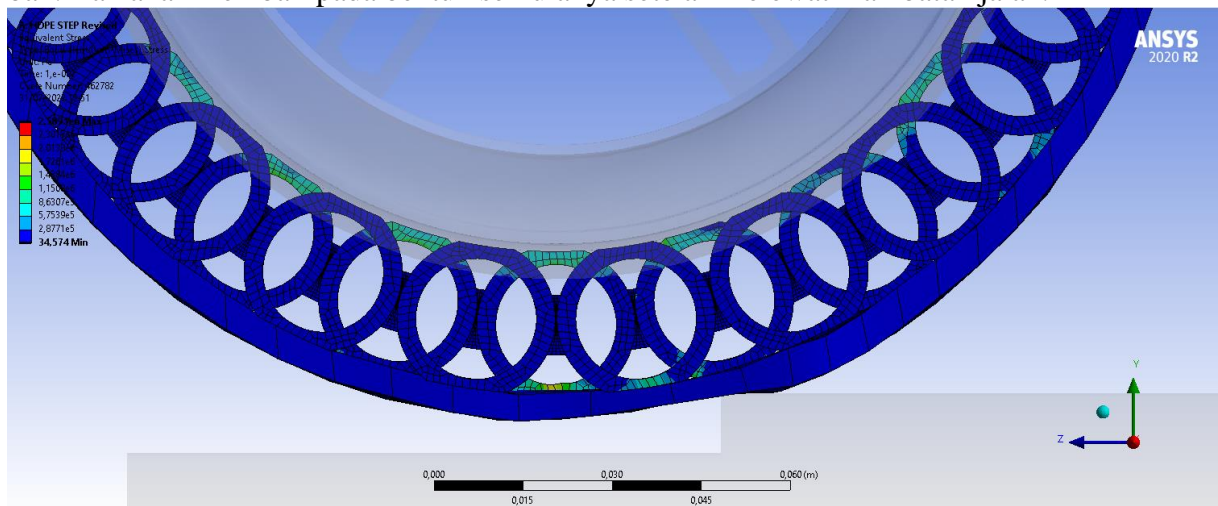




**Gambar 4.8** *Equivalent Stress* Ban dengan Material PVC pada *Step*

Pada gambar diatas, dapat dilihat terjadinya tegangan maksimal saat ban berjalan. Bagian yang terkena tegangan digambarkan dengan warna biru hingga merah, dengan warna merah menunjukkan nilai maksimum tegangan dan biru merupakan nilai minimum tegangan. Ketika ban berjalan dan menabrak hambatan jalan, terjadi tegangan maksimal pada bagian yang terdeformasi. Tegangan maksimum ini terjadi pada detik ke 0,001s dengan nilai tegangan 5,12 MPa dan tegangan minimum sebesar 0,000345 MPa dimana ban tidak terlihat terdeformasi.

Nilai tegangan maksimum 5,12 MPa ini masih jauh di bawah nilai *allowable stress* dari material *polyvinyl chloride* sebesar 52 MPa. Hal ini berarti tegangan yang terjadi pada simulasi model *step* masih dalam batas aman material dan tegangan yang terjadi tidak merusak material ban. Ban akan Kembali pada bentuk semulanya setelah melewati hambatan jalan.



**Gambar 4.9** *Equivalent Stress* Ban dengan Material HDPE pada *Step*

Variasi berikutnya yaitu menggunakan material *high-density polyethylene* atau HDPE. Gambar 4.9 menunjukkan saat ban menabrak *step*. Pada saat tersebut, terjadi tegangan maksimal yang dialami ban dengan besar tegangan 2,58 MPa. Tegangan terjadi pada detik ke 0,001 s. Tegangan terjadi karena ban terkena beban dari massa yang ditopang oleh ban dan juga beban dari hambatan jalan yang mengenai ban yang membuat ban tedeformasi dan menghasilkan nilai tegangan tersebut.

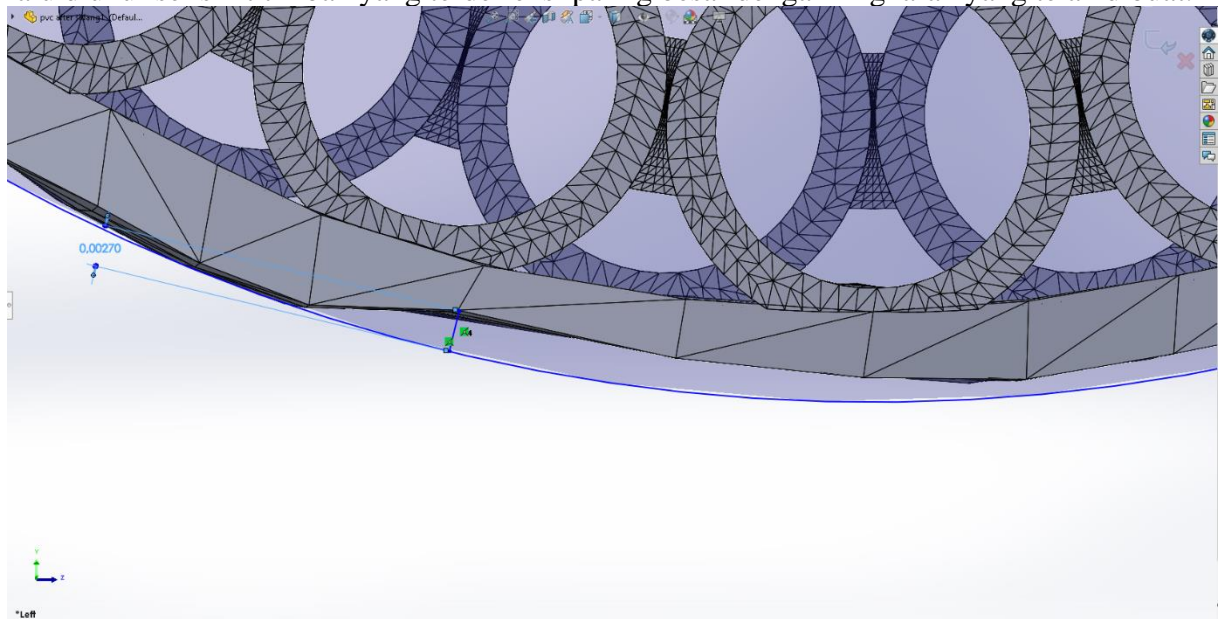
Nilai tegangan maksimum 2,58 MPa ini masih dibawah *allowable stress* material *high-density polyethylene* yaitu sebesar 30 MPa. Sehingga secara material, ban tidak akan rusak



ketika melewati *step* dengan ketinggian 10 mm. Selain itu dari dua variasi material yang telah disimulasikan didapatkan bahwa material PVC memiliki nilai tegangan maksimal (*equivalent stress*) yang lebih besar daripada material HDPE.

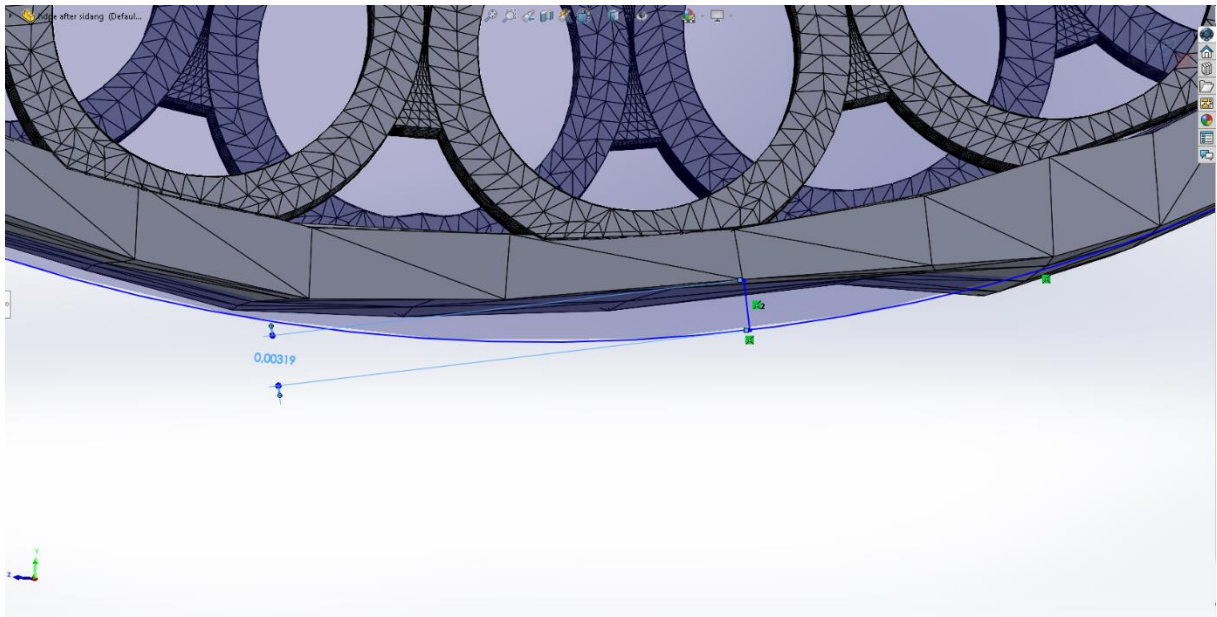
#### 4.3.2 Defleksi pada Model Step

Untuk nilai defleksi, solusi *equivalent stress* dari ANSYS diekspor ke dalam bentuk *.stl* agar geometri dapat dibuka pada *software solidworks*. Kemudian pada *solidworks*, dibuat sebuah lingkaran dengan diameter yang sama dengan diameter ban yang telah disimulasikan, lalu diukur selisih titik ban yang terdefleksi paling besar dengan lingkaran yang telah dibuat.



**Gambar 4.10** Defleksi Ban dengan Material PVC pada *Step*

Gambar 4.10 merupakan pengukuran yang dilakukan pada model *step* menggunakan material *polyvinyl chloride*. Dapat dilihat berdasarkan pengukuran tersebut, defleksi terbesar yang terjadi yaitu bernilai 2,70 mm. Defleksi yang terjadi menghasilkan tegangan pada ban, di mana saat ban mengalami tegangan total 5,12 MPa, maka defleksi yang terjadi juga defleksi maksimum. Dimana nilai 2,70 mm tersebut masih jauh dari nilai defleksi maksimal agar *deck* skuter dapat aman digunakan yaitu sebesar 78,7 mm dimana nilai tersebut didapat dari perhitungan *ground clearance* skuter Xiaomi Mijia M 365 Pro.



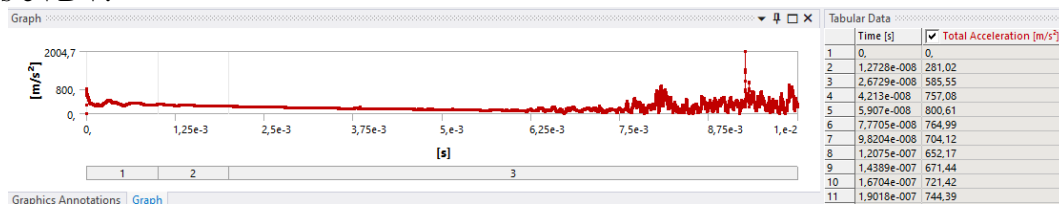
**Gambar 4.11** Defleksi Ban dengan Material HDPE pada *Step*

Berikutnya merupakan defleksi pada model *step* dengan menggunakan material *high-density polyethylene*. Gambar 4.8 menunjukkan keadaan ketika ban terdefleksi maksimal. Defleksi ini terjadi pada waktu 0,001 s saat ban mengalami tegangan total maksimum 2,58 MPa. Hal ini dikarenakan semakin besar defleksi semakin besar pula tegangannya, maka dari itu defleksi diukur saat terjadi tegangan total maksimum.

Pada gambar tersebut dapat dilihat besar defleksi maksimum ban sebesar 3,19 mm. Dimana nilai 3,19 mm tersebut masih jauh dari nilai defleksi maksimal agar *deck* skuter dapat aman digunakan yaitu sebesar 78,7 mm dimana nilai tersebut didapat dari perhitungan *ground clearance* skuter Xiaomi Mijia M 365 Pro.

### 4.3.3 *Vibration Dose Value* pada Model *Step*

Untuk *Vibration Dose Value*, solusi dari *total acceleration* pada ANSYS diekspor dengan format .xls yang kemudian dihitung rata-rata percepatan getarannya pada *software microsoft excel*. Kemudian rata-rata percepatan yang diperoleh akan dihitung menggunakan rumus eVDV.



**Gambar 4.12** Total Percepatan PVC Model *Step*

Gambar 4.12 merupakan grafik total percepatan yang didapat setelah proses simulasi dimana didapatkan nilai percepatan maksimal sebesar  $2004,7 \text{ m/s}^2$  selama 0,001 s. Kemudian dilakukan perhitungan nilai eVDV sebagai berikut :

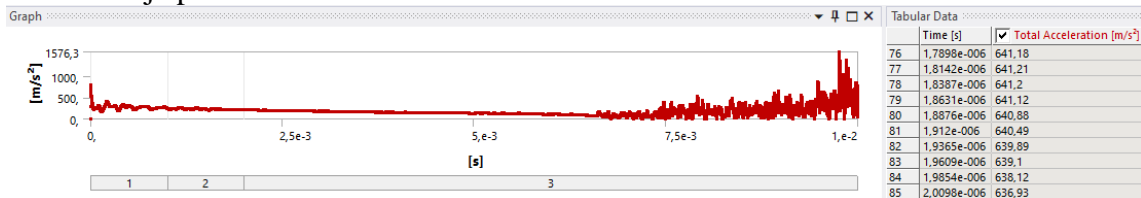
$$\begin{aligned}
 RMSA &= PA \times 0,7071 \\
 &= 2004,7 \times 0,7071 \\
 &= 1417,52 \text{ m/s}^2
 \end{aligned}$$

Didapatkan nilai percepatan *root mean square* sebesar  $1417,52 \text{ m/s}^2$

$$\begin{aligned}
 eVDV &= k \times a_{rms} \times t^{0,25} \\
 &= 1,4 \times 1417,52 \times 0,0023
 \end{aligned}$$

$$eVDV = 4,564 \text{ m/s}^{1,75}$$

Dari perhitungan di atas, dapat diketahui bahwa nilai *estimate vibration dose value* yang dialami oleh pengendara dalam hal ini ketika menggunakan material PVC dengan hambatan jalan model *step* adalah sebesar  $4,564 \text{ m/s}^{1,75}$ . Menurut ISO 2631-1 getaran yang dialami oleh pengendara tersebut memiliki tingkat resiko *moderate* karena nilai *vibration dose value* getarannya berada antara  $0,85 \text{ m/s}^{1,75}$  sampai  $17 \text{ m/s}^{1,75}$  dimana terdapat potensi resiko kesehatan kerja pada nilai ini.



**Gambar 4.13** Total Percepatan HDPE Model *Step*

Gambar 4.13 merupakan grafik percepatan total yang dihasilkan setelah dilakukan simulasi pada ANSYS dimana didapatkan nilai percepatan maksimal sebesar  $1576,3 \text{ m/s}^2$  selama  $0,001 \text{ s}$ . Kemudian dilakukan perhitungan nilai eVDV sebagai berikut :

$$\begin{aligned} RMSA &= PA \times 0,7071 \\ &= 1576,3 \times 0,7071 \\ &= 1002,32 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Didapatkan nilai percepatan *root mean square* sebesar  $1002,32 \text{ m/s}^2$

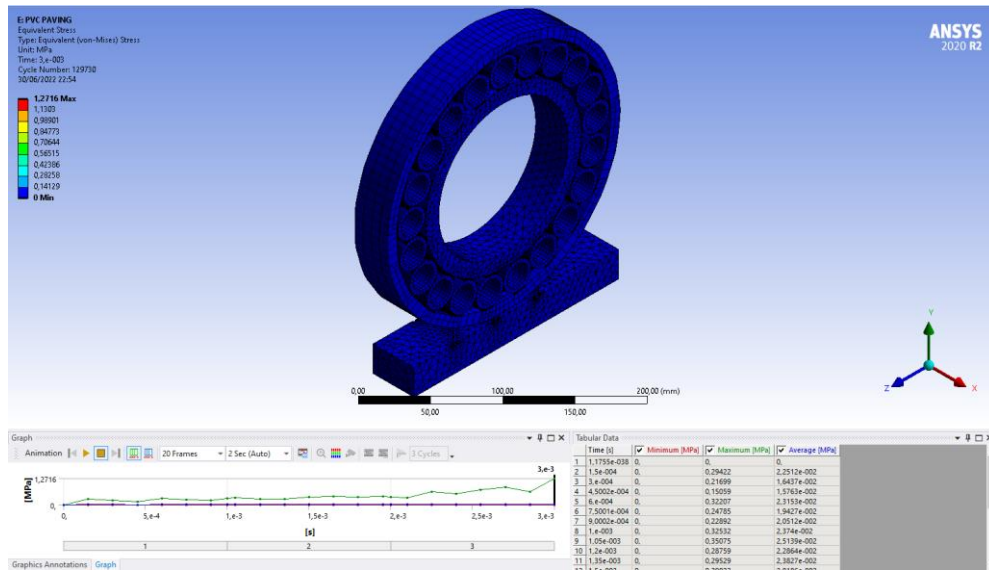
$$\begin{aligned} eVDV &= k \times a_{rms} \times t^{0,25} \\ &= 1,4 \times 1002,32 \times 0,0023 \\ eVDV &= 3,227 \text{ m/s}^{1,75} \end{aligned}$$

Dari perhitungan yang sudah dilakukan, dapat diketahui bahwa nilai *estimate vibration dose value* yang dialami oleh pengendara dalam hal ini *spoke* menggunakan material HDPE dengan hambatan jalan model *step* adalah sebesar  $3,227 \text{ m/s}^{1,75}$ . Menurut ISO 2631-1 getaran yang dialami pada variasi ini memiliki tingkat resiko *moderate* karena nilai *vibration dose value* berada antara  $0,85 \text{ m/s}^{1,75}$  sampai  $17 \text{ m/s}^{1,75}$  dimana terdapat potensi resiko kesehatan kerja pada nilai ini.

#### 4.4 Analisis Model Paving

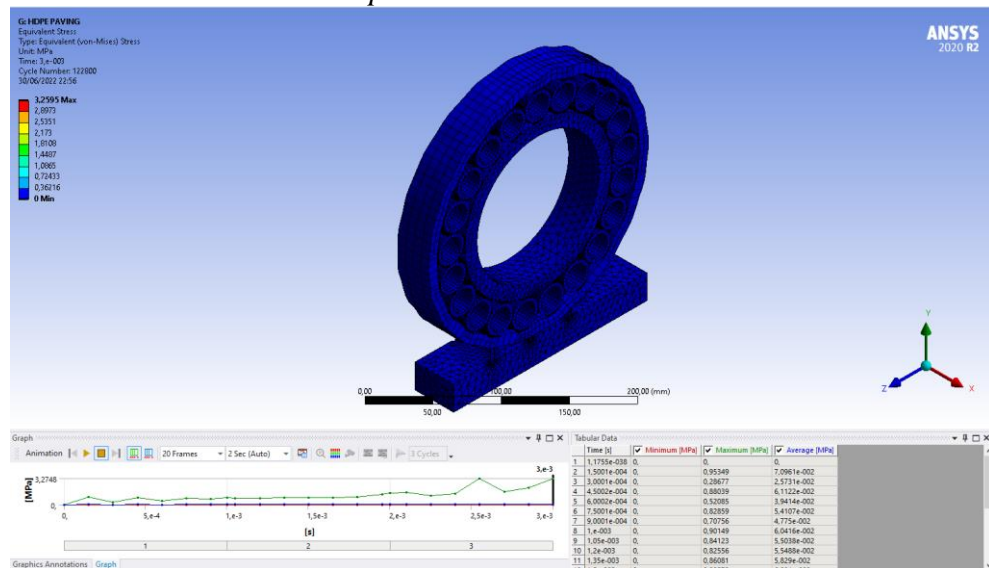
##### 4.4.1 Tegangan pada Model Paving

Hambatan lain pada jalan yang disimulasikan selain *step* yaitu permukaan jalan dengan *paving block*. Model *paving block* yang digunakan memiliki dimensi celah pada *paving* sebesar  $2,8 \text{ mm}$  dan sudut  $45^\circ$ . Ada 2 variasi material pada model *paving block* seperti pada model *step*, yaitu *polyvinyl chloride* dan *high-density polyethylene*.



**Gambar 4.14** Equivalent Stress Ban dengan Material PVC pada Paving Block

Gambar di atas menunjukkan ban dengan material *polyvinyl chloride* melewati permukaan jalan *paving block* dengan *input* kecepatan 2,778 m/s ke arah sumbu z negatif. Ban tersebut mengalami tegangan total maksimum saat ban melewati celah antar *paving block*. Pada saat tersebut, tegangan maksimum yang terjadi yaitu 3,259 MPa. Tegangan tersebut terjadi pada detik ke 0,025 s. Tegangan maksimum yang terjadi pada model ini masih jauh di bawah *allowable stress* dari material *polyvinyl chloride* sebesar 52 MPa. Hal ini berarti tegangan yang terjadi pada simulasi model *paving block* masih dalam batas aman material dan tegangan yang terjadi tidak akan merusak material *spoke*.



**Gambar 4.15** Equivalent Stress Ban dengan Material HDPE pada Paving Block

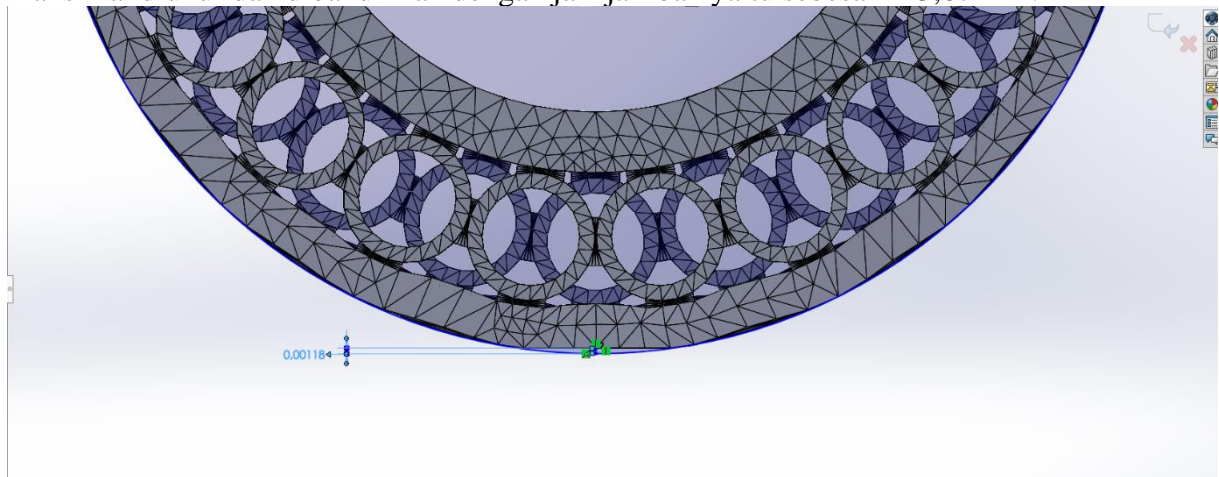
Berikutnya untuk variasi material *high-density polyethylene* dengan *input* kecepatan 2,778 m/s ke arah sumbu z negative. Dari gambar 4.15 dapat diketahui kondisi ban saat melewati permukaan jalan *paving block*. Saat kondisi tersebut ban mengalami tegangan total maksimum sebesar 1,27 MPa pada detik ke 0,025 s. nilai tegangan pada variasi ini pun masih jauh di bawah nilai *allowable stress* dari material *high-density polyethylene* sebesar 30 MPa. Artinya ketika ban dijalankan pada permukaan jalan *paving block* dengan kecepatan 10 km/h, *spoke* ban tidak akan rusak dan ban dapat kembali ke bentuk semula.



Jika dibandingkan kedua material yang disimulasikan, dapat terlihat material *high-density polyethylene* memperoleh tegangan total yang lebih besar dari pada *spoke* dengan material *polyvinyl chloride*.

#### 4.4.2 Defleksi pada Model Paving

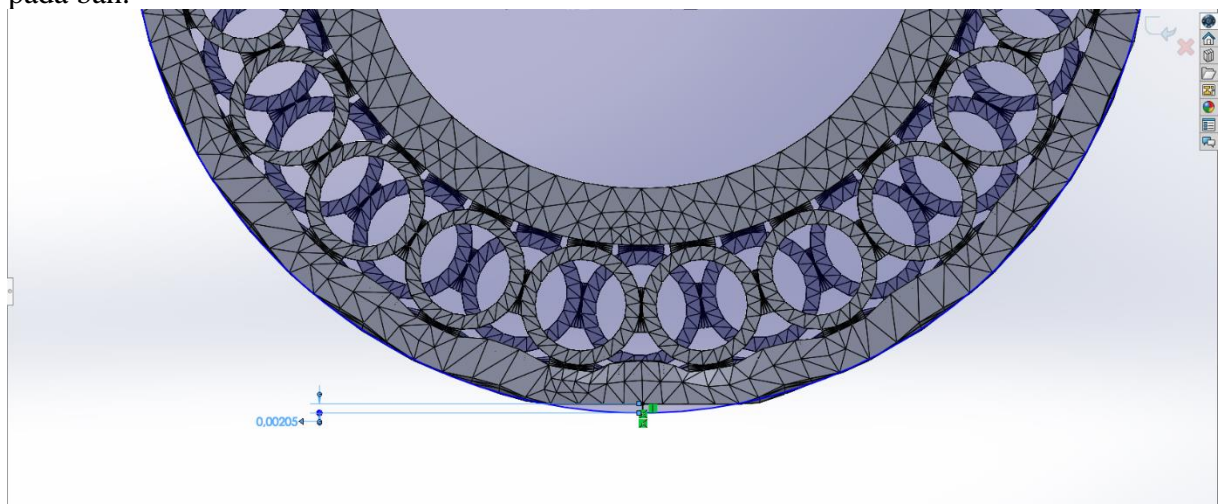
Sama seperti pada model *step*, nilai defleksi diukur menggunakan geometri yang diekspor dari solusi *equivalent stress* pada hasil simulasi ANSYS yang dibuka pada *software Solidwork*. Kemudian pada *software Solidwork*, jarak dari bagian ban yang terdefleksi maksimal diukur dan dibandingkan dengan jari-jari ban yaitu sebesar 113,67 mm.



**Gambar 4.16** Defleksi Ban dengan Material PVC pada *Paving Block*

Gambar 4.16 merupakan pengukuran yang dilakukan pada model *paving block* dengan menggunakan material *polyvinyl chloride*. Dapat dilihat berdasarkan pengukuran tersebut, defleksi yang terjadi tidak sebesar seperti pada model *step*. Defleksi yang terukur sebesar 0,00118 m atau 1,18 mm.

Nilai defleksi pada gambar 4.13 sebesar 1,18 mm yang terjadi pada model *paving block* dengan kecepatan 10 km/jam ini masih jauh dibawah batas defleksi yang ditentukan yaitu sebesar 78,7 mm. Pada kondisi ini, ban masih aman digunakan dan tidak akan merusak material pada ban.



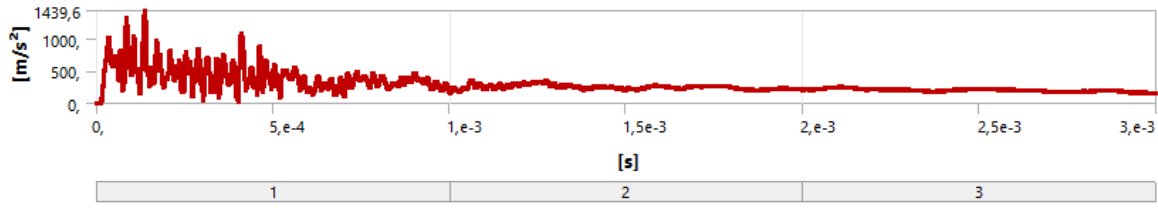
**Gambar 4.17** Defleksi Ban dengan Material HDPE pada *Paving Block*

Pada gambar 4.17, dapat dilihat bahwa ketika ban berjalan melewati *paving block* dengan material *high-density polyethylene* dan dengan kecepatan 10 km/jam, terjadi defleksi ban yang tidak terlalu besar. Defleksi ini terjadi bersamaan dengan nilai tegangan maksimum

yang didapatkan pada simulasi. Defleksi ini terjadi pada detik 0,025 s ketika ban melewati celah pada susunan *paving block*. Nilai defleksi maksimal yang terjadi adalah sebesar 0,00205 m atau 2,05 mm. Nilai ini masih jauh dibawah nilai defleksi maksimal yang ditentukan agar *deck* skuter tidak menyentuh permukaan jalan dan skuter dapat digunakan dengan aman.

#### 4.4.3 *Vibration Dose Value* pada Model *Paving*

Seperti pada model *step* dilakukan perhitungan *Vibration Dose Value*, solusi dari *total acceleration* pada ANSYS diekspor dengan format .xls yang kemudian dihitung rata-rata percepatan getarannya pada *software microsoft excel*. Kemudian rata-rata percepatan yang diperoleh akan dihitung menggunakan rumus VDV.



**Gambar 4.18** Total Percepatan PVC Model *Paving Block*

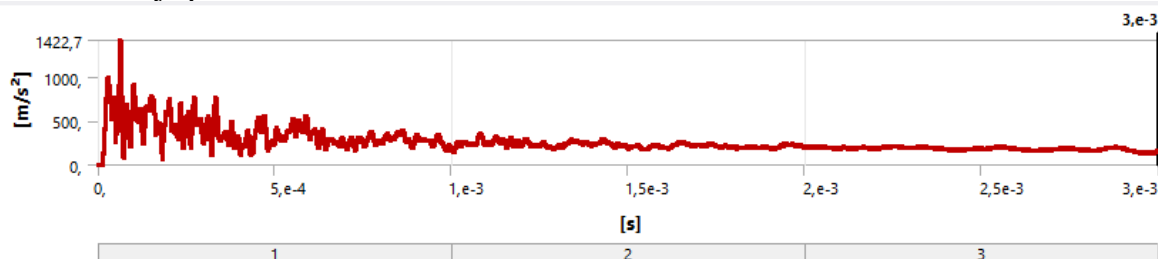
Gambar 4.18 merupakan grafik total percepatan yang dihasilkan melalui proses simulasi pada ANSYS menggunakan material *polyvinyl chloride* pada model jalan *paving block*. Didapatkan nilai percepatan maksimal  $1439,6 \text{ m/s}^2$  selama 0,001 s. Kemudian dilakukan perhitungan *estimate vibration dose value* sebagai berikut :

$$\begin{aligned} RMSA &= PA \times 0,7071 \\ &= 1439,6 \times 0,7071 \\ &= 1017,94 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Didapatkan nilai percepatan *root mean square* sebesar  $1002,32 \text{ m/s}^2$

$$\begin{aligned} eVDV &= k \times a_{rms} \times t^{0,25} \\ &= 1,4 \times 1017,94 \times 0,0023 \\ eVDV &= 3,277 \text{ m/s}^{1,75} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai *estimate vibration dose value* untuk material *polyvinyl chloride* dengan model jalan *paving block* sebesar  $3,277 \text{ m/s}^{1,75}$ . Menurut ISO 2631-1 getaran yang dialami pada variasi ini memiliki tingkat resiko *moderate* karena nilai *vibration dose value* berada antara  $0,85 \text{ m/s}^{1,75}$  sampai  $17 \text{ m/s}^{1,75}$  dimana terdapat potensi resiko kesehatan kerja pada nilai ini.



**Gambar 4.19** Total Percepatan HDPE Model *Paving Block*

Gambar 4.19 merupakan grafik total percepatan yang didapat setelah proses simulasi pada ANSYS untuk material HDPE dengan model jalan *paving block* dimana didapatkan nilai percepatan maksimal sebesar  $1422,7 \text{ m/s}^2$  selama 0,001 s. Kemudian dilakukan perhitungan nilai VDV sebagai berikut :

$$RMSA = PA \times 0,7071$$

$$= 1422,7 \times 0,7071$$

$$= 1005,99$$

Didapatkan nilai percepatan *root mean square* sebesar  $1005,99 \text{ m/s}^2$

$$eVDV = k \times a_{rms} \times t^{0,25}$$

$$= 1,4 \times 1005,99 \times 0,0023$$

$$eVDV = 3,239 \text{ m/s}^{1,75}$$

Dari perhitungan di atas, dapat diketahui bahwa nilai *estimate vibration dose value* yang dialami oleh pengendara dalam hal ini ketika menggunakan material HDPE dengan hambatan jalan model *paving block* adalah sebesar  $3,239 \text{ m/s}^{1,75}$ . Menurut ISO 2631-1 getaran yang dialami oleh pengendara tersebut memiliki tingkat resiko *moderate* karena nilai *vibration dose value* getarannya berada antara  $0,85 \text{ m/s}^{1,75}$  sampai  $17 \text{ m/s}^{1,75}$  dimana terdapat potensi resiko kesehatan kerja pada nilai ini.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Tegangan yang terjadi masih dalam kategori aman yaitu pada model *step* dengan material PVC sebesar 5,12 MPa material HDPE sebesar 2,58 MPa, sedangkan pada model *paving block* dengan material PVC sebesar 3,25 MPa material HDPE sebesar 1,27 MPa. Dimana nilai-nilai tersebut masih dibawah nilai *allowable stress* untuk masing-masing material yaitu PVC sebesar 52 MPa dan HDPE 30 MPa.
2. Defleksi yang terjadi pada semua variasi model aman yaitu pada model *step* dengan material PVC sebesar 2,70 mm material HDPE sebesar 3,19 mm. Pada model *paving block* dengan material PVC sebesar 1,18 mm material HDPE sebesar 2,05 mm. Dimana nilai-nilai tersebut masih dibawah batas maksimal defleksi yang telah ditentukan yaitu sebesar 78,7 mm.
3. *Estimate Variabel Dose Value* yang terjadi pada semua variasi berada pada tingkat resiko *moderate* sesuai dengan standar ISO 2631-1. Pada model *step* dengan material PVC sebesar  $4,564 \text{ m/s}^{1,75}$  material HDPE  $3,227 \text{ m/s}^{1,75}$ . Pada model *paving block* dengan material PVC sebesar  $3,277 \text{ m/s}^{1,75}$  material HDPE  $3,239 \text{ m/s}^{1,75}$ .

### 5.2 Saran

Adapun saran yang bisa diberikan sebagai berikut:

1. Disarankan untuk melakukan eksperimen sehingga dapat dilakukan perbandingan pada simulasi ANSYS dengan hasil eksperimen tersebut.
2. Disarankan untuk menambah waktu simulasi apabila daya komputasi memadai.
3. Disarankan untuk melakukan uji *roundness* pada ban *airless* untuk validasi geometri.
4. Disarankan untuk melakukan pengujian dengan mempertimbangkan *damping coefficient* dari tiap-tiap material.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abu-Khader, W. (2017). Momentum and Impulse : Chapter Eleven. In *Physics of Classical Mechanics 101*. University of Delaware.
- Chanaka, D. S., Wijesundara, K., & Premarathna, A. (n.d.). *Performance Comparison of Solid Tires and Non-Pneumatic Tires Using Finite Element Method: Application to Military Vehicles*.
- Clark, S. K. (1981). *Mechanics of Pneumatic Tires* (7th ed.). U.S. Department of Transportation National Highway Traffic Safety Administration.
- Ginanjari, A. G. (2014). *Pengujian Impact*.
- Hamzah, R., & Sriwijaya, R. A. (2019). *Analisis Pengaruh Beban Terhadap Tegangan dan Defleksi Pada Ban Tanpa Udara*. 367–371.
- Hibbeler, R. C. (2011). *Mechanics of Materials* (8th ed.).
- Hutton, D. V. (2004). *Fundamentals of Finite Element Method*.
- Jacob, N., Kumar, S. D., & Chakravarthy, E. M. (2016). *Design and Static Analysis of Airless Tyre to Reduce Deformation*.
- Lakshmana, R. C., Narayanamurthy, V., & Simha, K. R. Y. (2016). *Applied Impact Mechanics*. Wiley.
- Liem, Y. K. H., Pujiono, S., & Tasripan. (2012). *Rancang Bangun Kursi Roda Elektrik Menggunakan Perintah Suara Berbasis Aplikasi Android*. 01(01), 1–6.
- Logan, D. L. (2012). *A First Course in the Finite Element Method*. 5.
- Mansfield, N. J. (2005). *Human Response to Vibration*. Boca Raton : CRC Press.
- Mohan, A., Johny, C. A., Tamilarasu, A., Pradeep, B. J., & Ravi, K. (2017). *Design and Analysis of Non-Pneumatic Tyre*.
- Neville, G. A., & D. Walter, J. (2006). *Pneumatic Tire*. 01.
- Nybakken, G. H., & Clark, S. K. (1969). *Vertical and Lateral Stiffness Characteristics of Aircraft Tires*. Ohio State University, Langley Research Center.
- Rangdale, P. A., Chandak, K., & Bagade, G. M. (2018). *Non Pneumatic Tyre*.
- Ridha, I. K. (2021). *Analisis Impak Pada Desain Ban Airless Sepeda Motor Menggunakan Metode Elemen Hingga*.
- Patrick, S & Rapra Technology Limited. (2005). *Practical guide to polyvinyl chloride*. Shrewsbury, Shropshire, UK : Rapra Technology,.
- Sigit, A. (2019). *Optimization in Airless Tires Design Using Backpropagation Neural Network (BPNN) and Genetic Algorithm (GA) Approaches*.
- Sihombing, L. (2020). *Perancangan Skuter Motor Listrik Dengan Daya Angkut 75 KG dan Charger 80W*. 02(01), 29–34.
- Titow, W, V. (1984). *PVC Technology* (Fourth). Dordrecht : Springer Netherlands.
- Wignjosoebroto, S. (1995). *Ergonomi, Studi Gerak dan Waktu : Teknik Analisis untuk Peningkatan Produktivitas Kerja*. Guna Widya.

## BIODATA PENULIS



Mohammad Nauval Varozdaq Rusyaidy merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Irsyad Yusuf dan Lulis Ratnawati Yudi. Penulis lahir di Pasuruan, 16 April 2000. Penulis menempuh pendidikan Taman Kanak-kanak (TK) pada tahun 2004-2006 di Yayasan Pendidikan Miftahul Khoir, Sekolah Dasar pada tahun 2006-2012 di SDN 1 Purwosari. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Pasuruan pada tahun 2012-2015 kemudian melanjutkan Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Pasuruan pada tahun 2015-2018. Setelah tamat SMA, penulis melanjutkan jenjang pendidikan S-1 di Departemen Teknik Mesin FTIRS Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Bidang studi yang diambil oleh penulis yaitu bidang studi desain. Selama perkuliahan, penulis menjadi staf Hubungan Luar Himpunan Mahasiswa Mesin (HMM) pada tahun 2019-2020. Harapannya, dengan tugas akhir ini terkait penelitian ban tanpa udara (*airless*) ke depannya dapat bermanfaat bagi orang banyak.

Apabila ada yang ingin didiskusikan terkait tugas akhir / penelitian ini, dapat menghubungi penulis melalui *e-mail* [nauvalvr2000@gmail.com](mailto:nauvalvr2000@gmail.com).