



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR –TL184834**

**OPTIMISASI KEKUATAN BAN *AIRLESS* PADA *BALANCE BIKE*  
DENGAN VARIASI DESAIN GEOMETRI BAN *AIRLESS*  
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

**MUHAMMAD GEFIN  
NRP. 02511640000141**

**Dosen Pembimbing  
Mas Irfan P. Hidayat, S.T., M.Sc., Ph.D.  
Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020**





## **TUGAS AKHIR–TL 184834**

### **OPTIMISASI KEKUATAN BAN *AIRLESS* PADA *BALANCE BIKE* DENGAN VARIASI DESAIN GEOMETRI BAN *AIRLESS* MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

MUHAMMAD GEFIN  
NRP. 02511640000141

Dosen Pembimbing  
Mas Irfan P. Hidayat, S.T., M.Sc., Ph. D.  
Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT–TL 184834**

**OPTIMIZATION OF *AIRLESS* TIRE STRENGTH IN  
*BALANCE BIKE* WITH *AIRLESS* TIRE GEOMETRY  
DESIGN VARIATIONS USING FINITE ELEMENT  
METHODS**

MUHAMMAD GEFIN  
NRP. 02511640000141

Dosen Pembimbing  
Mas Irfan P. Hidayat, S.T., M.Sc., Ph. D.  
Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING  
DEPARTMENT  
Faculty of Industrial And Systems Engineering  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2020

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**OPTIMISASI KEKUATAN BAN AIRLESS PADA  
BALANCE BIKE DENGAN VARIASI DESAIN GEOMETRI  
BAN AIRLESS MENGGUNAKAN METODE ELEMEN  
HINGGA**

**TUGAS AKHIR**

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

Oleh:

**MUHAMMAD GEFIN**

NRP 02511640000141

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Mas Irfan P. Hidayat, S.T., M.Sc., Ph. D. .... (Pembimbing 1)
2. Mavindra Ramadhani, S.T., M.T. .... (Pembimbing 2)



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**OPTIMISASI KEKUATAN BAN AIRLESS PADA  
BALANCE BIKE DENGAN VARIASI DESAIN GEOMETRI  
BAN AIRLESS MENGGUNAKAN METODE ELEMEN  
HINGGA**

**Nama** : Muhammad Gefin  
**NRP** : 02511640000141  
**Departemen** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Dosen Pembimbing** : Mas Irfan P.Hidayat, S.T., M.Sc., Ph. D.  
**Co-pembimbing** : Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.

**Abstrak**

*Fused Deposition Modelling (FDM) banyak digunakan sebagai metode dalam pembuatan rapid prototyping dan salah satu yang dikembangkan adalah sepeda. Balance bike adalah jenis sepeda yang tidak menggunakan pedal. Balance bike bergerak dengan didorong menggunakan kaki sambil berlari atau berjalan. Salah satu bagian terpenting dalam sepeda yaitu ban. Namun, pada kenyataannya ban pneumatic memiliki kekurangan dalam permasalahan lingkungan. Pada penelitian ini, ban akan diproses dengan 3D printing dengan menggunakan filamen Thermoplastic polyurethane (TPU) pada pembuatannya. Dengan menganalisis beberapa variasi desain geometri ban yaitu honeycomb, tweel, diamond dan triangle. Dengan melakukan pengujian beban statis menggunakan software simulasi Ansys didapat bahwa ban airless dengan variasi honeycomb adalah yang terbaik dalam beberapa aspek yang dianalisis seperti equivalent stress sebesar 976.190 Pa, equivalent elastic strain sebesar 0.00043773 m/m, total deformation sebesar 0.000022627 m, kurva stress-strain terbaik dibandingkan desain lainnya, bobot real untuk skala banding 75% sebesar 410 gram, dan survey publik sebesar 32%. Sehingga ban ini layak dicetak dengan metode Fused Deposition Modelling (FDM).*

**Kata Kunci** : *Fused Deposition Modelling, Balance bike, Thermoplastic polyurethane (TPU)*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **OPTIMIZATION OF AIRLESS TIRE STRENGTH IN BALANCE BIKE WITH AIRLESS TIRE GEOMETRY DESIGN VARIATIONS USING FINITE ELEMENT METHODS**

**Student Name** : Muhammad Gefin  
**NRP** : 0251164000141  
**Department** : Material and Metallurgical Engineering  
**Advisor** : Mas Irfan P.Hidayat, S.T., M.Sc., Ph. D.  
**Co-Advisor** : Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.

## **Abstract**

*Fused Deposition Modeling (FDM) is widely used as a method in making rapid prototyping and one that is developed is a bicycle. Balance bike is a type of bicycle that does not use a pedal. Balance bike moves by being pushed with legs while running or walking. One of the most important parts of a bicycle is a tire. However, in reality pneumatic tires have disadvantages in environmental problems. In this study, the tire will be processed with 3D printing using Thermoplastic polyurethane (TPU) filaments in its manufacture. By analyzing several variations of tire geometry designs, namely honeycomb, tweel, diamond and triangle. By testing static load using Ansys simulation software, it is found that airless tire with honeycomb variation is the best in several aspects analyzed such as equivalent stress of 976,190 Pa, equivalent elastic strain of 0,00043773 m / m, total deformation of 0.000022627 m, the best stress-strain curve compare to other design, real weight for scale of 75% by 410 grams, and public survey by 32%. So that this tire is worth printing with the Fused Deposition Modeling (FDM) method.*

**Keywords** : *Fused Deposition Modelling, Balance bike, Thermoplastic polyurethane (TPU)*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur hanyalah milik Allah SWT, Tuhan Semesta Alam yang telah memberikan penulis limpahan rahmat untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir tentang “Analisis Pengaruh Internal Geometri Terhadap Sifat Mekanik Material Polylactic Acid (PLA) Dipreparasi Menggunakan 3D Printing”. Adapun laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri (FTI), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang selalu mencurahkan rahmat, anugerah, dan karunia kepada penulis untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini,
2. Kedua orang tua penulis, yang selalu mendoakan dan memberi dorongan motivasi selama ini,
3. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS.
4. Mas Irfan P.Hidayat, S.T., M.Sc., Ph. D. dan Mavindra Ramadhani, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan arahan, bimbingan dan masukan kepada penulis,
5. Dosen – dosen Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, yang memberikan ilmu selama penulis menempuh pendidikan S1,
6. Karyawan Laboratorium Inovasi Material dan Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS, yang telah memberi bantuan dalam hal teknis dan pengambilan data penelitian,
7. Keluarga Laboratorium Komputasi Material, Ghalib , Akhlis, Mas Dimas, Anyun, Yando, Alfa, Sugi, Bobby, Cut, dan Iqbal yang telah saling membantu dan menguatkan dalam pengerjaan Tugas Akhir penulis,
8. Seluruh kolega angkatan 2016 yang selalu saling menguatkan dalam bingkai keriangannya,

9. Dan seluruh pihak yang tidak dapat ditulis satu persatu disini yang telah memberikan kontribusi atas penulisan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan di berbagai sudutnya. Namun, dengan tulus penulis berharap bahwa laporan ini dapat bermanfaat bagi semua orang.

Surabaya, 19 April 2020  
Penulis

Muhammad Gefin  
0251164000141

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
Abstrak .....	vii
Abstract.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xxiii
<b>1 BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Lingkup Penelitian.....	3
1.6 Manfaat Penelitian.....	3
<b>2 BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	5
2.2 <i>Balance bike</i> .....	7
2.3 Dinamika Sepeda .....	13
2.4 Ban Non- <i>Pneumatic</i> .....	18
2.5 <i>Additive Manufacturing (AM)</i> .....	21
2.5.1 <i>Fused Deposition Modelling (FDM)</i> .....	24
2.5.2 Prinsip <i>3D printer</i> .....	25
2.6 Filamen <i>3D printer</i> .....	29
2.6.1 <i>Thermoplastic polyurethane (TPU)</i> .....	31
2.7 Metode Elemen Hingga .....	34
2.8 Optimisasi Topologi pada <i>Additive manufacturing</i> .....	38
<b>3 BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>41</b>
3.1 Diagram Alir .....	41
3.2 Variabel Penelitian.....	43
3.2.1 Variabel Respon .....	43

3.3	Spesifikasi Material.....	43
3.4	Peralatan Penelitian.....	50
3.5	Prosedur Penelitian.....	54
4	<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>63</b>
4.1	Hasil dari Proses <i>Modelling</i> Geometri.....	63
4.2	Hasil dari Proses Simulasi Analisis Statis dengan Menggunakan <i>Software Ansys</i> .....	71
4.2.1	Hasil Simulasi Statis pada Geometri Ban <i>Airless</i> berdasarkan <i>Total Deformation</i> .....	82
4.2.1	Hasil Simulasi Statis pada Geometri Ban <i>Airless</i> berdasarkan <i>Equivalent Elastic Strain</i> .....	85
4.2.1	Hasil Simulasi Statis pada Geometri Ban <i>Airless</i> berdasarkan <i>Equivalent Stress</i> .....	90
4.3	Hasil Analisis Bentuk Geometri Terhadap Kekuatan .....	94
4.3.1	Pengaruh Bentuk Geometri terhadap kurva Stress-Strain.....	96
4.4	Hasil Analisis Pengaruh Geometri terhadap Bobot .....	97
4.5	Hasil dari Proses Survey untuk Penentuan Desain .....	98
4.6	Hasil Analisis Aspek dalam Menentukan Desain.....	100
4.7	Hasil Optimalisasi Pengaturan Pencetakan Ban <i>Airless</i> dan Rim .....	102
4.7.1	Parameter Pencetakan <i>Ban Airless dan Rimbalance bike</i> .....	103
4.7.2	Hasil <i>Pencetakan Rim dan Ban Airless Balance bike</i> .....	109
4.7.3	Bobot dari Hasil Cetak Ban <i>Airless Honeycomb dan RimBalance bike</i> .....	112
	<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>115</b>
5.1	Kesimpulan.....	115
5.2	Saran .....	115



<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>117</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>121</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH.....</b>	<b>157</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>	<b>159</b>

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b>	Analisis struktur ban <i>airless</i> (Manibaalan, S, Keshore, & Haran, 2013).....	5
<b>Gambar 2. 2</b>	Kurva perbandingan <i>deflection</i> beban pada ban <i>airless</i> dan <i>pneumatic</i> .....	6
<b>Gambar 2.3</b>	Langkah-langkah dalam mengendarai sepeda sebelum menggunakan pedal (Becker & Jenny, 2017) .....	8
<b>Gambar 2. 4</b>	Spesifikasi Komponen dan Dimensi Balance Bike Secara Umum (Hotelsrate, 2017).....	9
<b>Gambar 2. 5</b>	Pengukuran Ban Sepeda Ukuran 406 mm. (Bike, 2020).....	10
<b>Gambar 2. 6</b>	Standar Berat Badan Anak Umur Dua Sampai Lima Tahun Berdasarkan <i>World Health Organization</i> . (WHO, 2000).....	13
<b>Gambar 2. 7</b>	Derajat kebebasan utama (Sasongko, Gunawan, & Kimsay, 2010) .....	14
<b>Gambar 2. 8</b>	Tata acuan koordinat dinamika sepeda (Sasongko, Gunawan, & Kimsay, 2010)....	15
<b>Gambar 2. 9</b>	Skema kinematika sepeda (Sasongko, Gunawan, & Kimsay, 2010) .....	16
<b>Gambar 2. 10</b>	Dinamika <i>leaning</i> (Sasongko, Gunawan, & Kimsay, 2010) .....	17
<b>Gambar 2. 11</b>	Aplikasi ban non <i>pneumatic</i> (a) <i>Earth mover</i> (b) <i>Wheel chair</i> (c) <i>Military car</i> ( Jin, Hou, Fan, Sun, & Lv, 2017) .....	21
<b>Gambar 2. 12</b>	Digital and alur kerja dari ide produk sampai komponen aktual (Thompson, et al., 2016)	23
<b>Gambar 2. 13</b>	Metode <i>Fused Deposition Modelling</i> (FDM) (Beatriz, 2018).....	25
<b>Gambar 2. 14</b>	Diagram alir proses 3D <i>printing</i> (Hager , Golonka, & Putanowicz, 2016) .....	26

<b>Gambar 2. 15</b>	Ilustrasi <i>nozzle head</i> (Carneiro, Silva, & Gomes, 2015).....	27
<b>Gambar 2. 16</b>	Ilustrasi parameter proses ekstrusi FDM (O.S. Carneiro, 2015).....	27
<b>Gambar 2. 17</b>	Tampilan <i>software</i> Cura untuk mencetak objek 3D. ....	28
<b>Gambar 2. 18</b>	Alur kerja pembuatan filamen. ....	30
<b>Gambar 2. 19</b>	Langkah produksi filamen nano-mikro komposit polimer (Ebubekir C., 2017).....	30
<b>Gambar 2. 20</b>	Struktur <i>Thermoplastic polyurethane</i> .....	31
<b>Gambar 2. 21</b>	Struktur dalam <i>Thermoplastic Elastomer</i> (TPE), (a) struktur <i>thermoplastic</i> (b) struktur <i>elastomer</i> (c) Struktur <i>Thermoplastic Elastomer</i> (TPE) .....	32
<b>Gambar 2. 22</b>	Struktur molekul dalam <i>Thermoplastic Urethane</i> (TPU) .....	32
<b>Gambar 2. 23</b>	Morfologi <i>TPU</i> menunjukkan <i>physical cross-links</i> mencair ketika dipanaskan dan menyatu ketika material didinginkan. ....	33
<b>Gambar 2. 24</b>	Proses Fabrikasi <i>Advanced Engineering System</i> (G.R. Liu, 2014).....	35
<b>Gambar 2. 25</b>	Skema <i>Meshing</i> .....	37
<b>Gambar 2. 26</b>	Contoh <i>Meshing Generation</i> .....	37
<b>Gambar 2. 27</b>	Optimisasi topologi yang dibuat pada <i>bracket</i> pesawat luar angkasa dengan AM (Brackett, Hague, & Ashcroft, 2011) .....	39
<b>Gambar 3. 1</b>	Diagram Alir Penelitian	42
<b>Gambar 3. 2</b>	<i>Software</i> yang digunakan (a) <i>Solidworks</i> (b) <i>Ansys Academic</i> (c) <i>Cura 4.0</i> .....	51
<b>Gambar 3. 3</b>	Mesin 3D Printer yang digunakan dalam Penelitian ini (a) <i>Creality CR-10 Pro V2</i> (b) <i>Creality CR 10 S4</i> .....	53
<b>Gambar 3. 4</b>	Diagram alir simulasi .....	58
<b>Gambar 3. 5</b>	<i>Free body diagram</i> . (a) Sepeda (b) Ban .....	59
<b>Gambar 3. 6</b>	Diagram alir proses <i>3D printing</i> . ....	60

<b>Gambar 3. 7</b>	<i>Print Setting</i> menggunakan <i>software</i> Cura.	61
<b>Gambar 4. 1</b>	Dimensi Ban <i>Honeycomb</i> Tampak Depan	63
<b>Gambar 4. 2</b>	Dimensi Ban <i>Triangle</i> Tampak Depan.....	64
<b>Gambar 4. 3</b>	Dimensi Ban <i>Diamond</i> Tampak Depan .....	65
<b>Gambar 4. 4</b>	Dimensi Ban <i>Tweel</i> Tampak Depan.....	66
<b>Gambar 4. 5</b>	Dimensi Variasi Ban Tampak Samping.....	66
<b>Gambar 4.6</b>	Optimisasi topologi yang dilakukan untuk <i>rimdeng</i> menggunakan Fusion 360. ....	67
<b>Gambar 4.7</b>	Gambar Tampak Isometrik <i>Rimbalance bike</i> Menggunakan <i>Software Solidworks</i> .....	67
<b>Gambar 4. 8</b>	Dimensi Gambar Tampak Depan <i>Rimbalance bike</i> Menggunakan <i>Software Solidworks</i> ...	68
<b>Gambar 4.9</b>	Tampak Papan Menggunakan <i>Software Solidworks</i> .....	68
<b>Gambar 4.10</b>	Dimensi Papan Menggunakan <i>Software Solidworks</i> .....	69
<b>Gambar 4. 11</b>	Hasil <i>rendered assembly</i> (a) <i>Triangle</i> (b) <i>Diamond</i> (c) <i>Honeycomb</i> (d) <i>Tweel</i> .....	71
<b>Gambar 4. 12</b>	<i>View checking</i> pada <i>contact</i> pertama yang terjadi pada geometri: (a) <i>Target View Body</i> (b) <i>Contact Region</i> .....	72
<b>Gambar 4. 13</b>	<i>View checking</i> pada <i>contact</i> kedua yang terjadi pada geometri: (a) <i>Target View Body</i> (b) <i>Contact Region</i> .....	73
<b>Gambar 4. 14</b>	Hasil <i>Meshing</i> Tampak <i>Isometric</i> . (a) Ban <i>Airless Triangle</i> , (b) Ban <i>Airless Honeycomb</i> , (c) Ban <i>Airless Tweel</i> , (d) Ban <i>Airless Diamond</i> . ....	76
<b>Gambar 4.15</b>	Hasil <i>Meshing</i> Tampak Depan. (a) Ban <i>Airless Triangle</i> , (b) Ban <i>Airless Honeycomb</i> , (c) Ban <i>Airless Tweel</i> , (d) Ban <i>Airless Diamond</i> . ....	78
<b>Gambar 4.16</b>	<i>Analysis Setting</i> yang Digunakan dalam Proses Simulasi.....	79
<b>Gambar 4. 17</b>	Proses <i>input</i> letak <i>fixed support</i> .....	80

<b>Gambar 4. 18</b>	Proses <i>input</i> letak dan besarnya pembebanan ( <i>Force</i> ). .....	80
<b>Gambar 4. 19</b>	Spektrum warna nilai tegangan .....	81
<b>Gambar 4. 20</b>	Hasil Simulasi Statis Berdasarkan <i>Total Deformation</i> Pada Ban <i>Airless</i> (a) <i>Triangle</i> (b) <i>Honeycomb</i> (c) <i>Tweel</i> dan (d) <i>Diamond</i> .....	83
<b>Gambar 4. 21</b>	Lokasi Maksimum <i>Total Deformation</i> Pada Ban <i>Airless</i> (a) <i>Triangle</i> (b) <i>Honeycomb</i> (c) <i>Tweel</i> dan (d) <i>Diamond</i> .....	85
<b>Gambar 4. 22</b>	Hasil Simulasi Statis Berdasarkan <i>Equivalent Elastic Strain</i> pada Ban <i>Airless</i> (a) <i>Triangle</i> (b) <i>Honeycomb</i> (c) <i>Tweel</i> dan (d) <i>Diamond</i> .....	87
<b>Gambar 4. 23</b>	Lokasi Maksimum <i>Equivalent Elastic Strain</i> Pada Ban <i>Airless</i> (a) <i>Triangle</i> (b) <i>Honeycomb</i> (c) <i>Tweel</i> dan (d) <i>Diamond</i> .....	89
<b>Gambar 4. 24</b>	Hasil Simulasi Statis Berdasarkan <i>Equivalent Stress</i> Ban <i>Airless</i> (a) <i>Triangle</i> (b) <i>Honeycomb</i> (c) <i>Tweel</i> dan (d) <i>Diamond</i> .....	91
<b>Gambar 4. 25</b>	Lokasi Maksimum <i>Equivalent Stress</i> Pada Ban <i>Airless</i> (a) <i>Triangle</i> (b) <i>Honeycomb</i> (c) <i>Tweel</i> dan (d) <i>Diamond</i> .....	93
<b>Gambar 4. 27</b>	Perbandingan nilai <i>equivalent stress</i> pada geometri ban <i>airless</i> .....	95
<b>Gambar 4. 28</b>	Perbandingan nilai <i>equivalent elastic strain</i> pada geometri. ....	95
<b>Gambar 4. 29</b>	Perbandingan nilai deformasi total pada geometri.....	96
<b>Gambar 4. 30</b>	Grafik <i>Stress-Strain</i> pada geometri <i>triangle</i> , <i>honeycomb</i> , <i>tweel</i> dan <i>diamond</i> .....	97
<b>Gambar 4. 31</b>	Hasil survey yang dilakukan pada publik untuk (a) Mengetahui pengetahuan mengenai ban <i>airless</i> (b) Mengetahui perkembangan	

	ban <i>airless</i> (c) Mengetahui desain yang terbanyak. ....	100
<b>Gambar 4. 32</b>	Grafik batang Total Nilai dari Aspek Pemilihan.....	102
<b>Gambar 4. 33</b>	Display <i>Rim balance bike</i> yang Telah Dibagi Dua Menggunakan <i>Software Solidworks</i> .	105
<b>Gambar 4. 34</b>	Tampilan Pengaturan Cetak <i>Rim balance bike</i> pada <i>software Cura</i> .....	106
<b>Gambar 4. 35</b>	Tampilan Pengaturan Cetak <i>Ban Airless Balance bike</i> pada <i>software Cura</i> .....	108
<b>Gambar 4. 36</b>	Hasil Pencetakan <i>RimBalance bike</i> (a) Proses Cetak Objek dengan <i>Progress</i> < 50 % (b) Cetak Objek dengan <i>Progress</i> > 50 % (c) Proses Pencetakan Objek Selesai .....	110
<b>Gambar 4. 37</b>	Hasil Pencetakan Ban <i>Airless</i> dengan variasi <i>Honeycomb</i> (a) Layar Screen Printer (b) Proses Cetak Objek dengan <i>Progress</i> < 50 % (c) Proses Cetak Objek dengan <i>Progress</i> > 50 % (d) Proses Pencetakan Objek Selesai ...	112
<b>Gambar 4. 38</b>	Penimbangan bobot Ban <i>Airless</i> dan <i>Rim Balance bike</i> .....	113

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b>	Tingkat partisipasi dalam bersepeda di Amerika Serikat (Becker & Jenny, 2017) ....	7
<b>Tabel 2. 2</b>	Tabel Spesifikasi Dasar Balance Bike .....	9
<b>Tabel 2. 3</b>	Standar Ukuran Diameter Ban Sepeda Secara Umum.....	11
<b>Tabel 2. 4</b>	Perbandingan antara ban <i>pneumatic</i> dan non <i>pneumatic</i> .....	21
<b>Tabel 2. 5</b>	Sifat dan deskripsi filamen <i>Thermoplastic polyurethane (TPU)</i> komersil .....	34
<b>Tabel 3. 1</b>	Gambaran Umum Material <i>Thermoplastic polyurethane (TPU)</i> .....	43
<b>Tabel 3.2</b>	Spesifikasi Sifat Material <i>Thermoplastic polyurethane (TPU)</i> .....	44
<b>Tabel 3.3</b>	Deskripsi Proses Material <i>Thermoplastic polyurethane (TPU)</i> .....	46
<b>Tabel 3. 4</b>	Gambaran Umum Material <i>PolyActic Acid (PLA)</i> .....	47
<b>Tabel 3. 5</b>	Sifat Material <i>PolyActic Acid (PLA)</i> . ....	48
<b>Tabel 3. 6</b>	Deskripsi Proses Material <i>PolyActic Acid (PLA)</i> . ....	50
<b>Tabel 3.7</b>	Dimensi Geometri ban <i>airless balance bike</i>	55
<b>Tabel 3.8</b>	Variasi geometri ban <i>airless balance bike</i> . .	55
<b>Tabel 4. 1</b>	Jumlah <i>node</i> dan element pada tiap variasi desain berdasarkan <i>span angle center</i> .....	74
<b>Tabel 4. 2</b>	Estimasi Perhitungan Massa Geometri VariasBan Airless Berdasarkan Software Solidworks.....	98
<b>Tabel 4. 3</b>	Besaran Nilai berdasarkan <i>Rank</i> .....	101
<b>Tabel 4. 4</b>	Aspek Penilaian pada Pemilihan Ban yang akan dicetak .....	101
<b>Tabel 4. 5</b>	Parameter Pencetakan Menu Basic pada Cura 4.4 dalam Proses Pencetakan <i>Rim Balance Bike</i> .....	104

<b>Tabel 4. 6</b>	Parameter Pencetakan Menu Basic pada Cura 4.4 dalam Proses Pencetakan Ban <i>Airless Honeycomb Balance bike</i> .....	106
-------------------	--	-----

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Berdasarkan (Rojko, 2017), produksi industri saat ini perlu beradaptasi dengan cepat karena permintaan pasar yang cepat berganti. Industri 4.0 menjadi pendekatan berdasarkan integrasi bisnis dengan proses manufaktur. Maka dari itu proses manufaktur perlu dilakukan perbaharuan dalam sistemnya.

Di Indonesia, (Hartarto, 2018), pada poin 9 berdasarkan prioritas Indonesia dalam mendorong inisiatif untuk mewujudkan Indonesia 4.0 yaitu investasi pada teknologi dalam menghadapi industri 4.0. Hal ini menjadi harapan kemenperin agar pelaku usaha dan perusahaan dapat menerapkan revolusi industri 4.0. Dengan menerapkan industri 4.0, kemenperin juga melakukan bantuan insentif bagi perusahaan yang mengadaptasi teknologi dengan subsidi, pemotongan pajak perusahaan dan pengecualian bea pajak impor.

Berdasarkan informasi yang disebar (Sarang Sheth, 2018), bahwa ban sepeda telah berhasil dibuat dengan proses *additive manufacturing* yang merupakan bagian dari industri 4.0 yaitu *3D printing* dengan menggunakan filamen *Thermoplastic polyurethane (TPU)*. Filamen *Thermoplastic polyurethane (TPU)* dikenal sebagai filamen yang memiliki fleksibilitas yang tinggi. Ban merupakan komponen penting dalam sepeda maupun kendaraan lainnya. Menurut penelitian sebelumnya (Mathew, Sahoo, & Chakravarthy, Design and Static Analysis of Airless Tyre to Reduce Deformation, 2016), pada umumnya ban *pneumatic* bertekanan udara rentan sekali rusak dan tidak dapat didaur ulang. Sehingga ban ini dinilai kurang efektif dalam berkendara. Sehingga penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh (Mathew, Sahoo, & Chakravarthy, Design and Static Analysis of Airless Tire to Reduce Deformation, 2017) dalam menyelesaikan permasalahan ban *pneumatic* yaitu dengan membuat ban *airless* atau ban non-

*pneumatic* berdasarkan variasi design yang diaplikasikan pada mobil dengan menggunakan *software ansys*

Menurut (Yanko Design, 2018), *balance bike* atau dikenal sebagai *balance bike* merupakan sepeda anak balita yang bertujuan untuk meningkatkan sistem fisik untuk perkembangan anak dalam menjaga koordinasi tubuh dan meningkatkan sistem motorik anak. *Balance bike* merupakan pilihan yang tepat untuk balita yang ingin belajar mengendarai sepeda roda dua, dikarenakan penggunaannya yang mudah tanpa sistem pedal pada sepeda tersebut. Daya dorong pada *balance bike* ini menggunakan kaki balita sehingga kecepatan pada *bushbike* ini tidak terlalu cepat. Tanpa adanya pedal dalam sistem *balance bike* dan daya dorong yang tidak terlalu cepat tentu dapat mengurangi angka kecelakaan saat berlatih mengendarai *balance bike*. *Balance bike* memiliki beberapa komponen penting, salah satunya adalah ban. Ban pada *balance bike* menggunakan ban *pneumatic*. Dengan mengaplikasikan ban *airless* pada *balance bike* merupakan sebuah inovasi yang dapat menjawab permasalahan pada limbah ban demi menjaga kestabilan lingkungan.

Maka dari itu penelitian ini membahas mengenai analisis struktur statis pada variasi desain ban *airless* dengan menggunakan simulasi elemen hingga dan pengaruh *additive manufacturing* ban *airless* terhadap beban statis *balance bike*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi desain ban *airless* (*Geometry selection*) pada *balance bike* terhadap beban statis?
2. Bagaimana pengaruh variasi desain geometri terhadap bobot ban *airless balance bike* dengan metode *additive manufacturing*?

---

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi desain ban *airless 3D printing* pada *balance bike (Geometry selection)* terhadap kekuatan.
2. Menganalisis pengaruh variasi desain geometri terhadap bobot ban *airless balance bike* dengan metode *additive manufacturing*.

### 1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak menyimpang dari permasalahan dan memperoleh hasil yang baik, terdapat pembatasan masalah pada:

1. Material filamen dianggap sempurna tanpa cacat.
2. Kondisi lingkungan eksternal dianggap tidak berpengaruh pada proses pencetakan objek.

### 1.5 Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian adalah sebagai berikut:

1. Temperatur cetak yang digunakan sesuai dengan standar *safety data sheet*.
2. Sepeda yang akan dicetak yaitu *balance bike*

### 1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah mendapatkan desain yang optimal untuk penggunaan ban *airless* pada *balance bike* sehingga dapat memperpanjang umur ban *airless* dan penggunaannya pada *balance bike* melalui proses *additive manufacturing*.

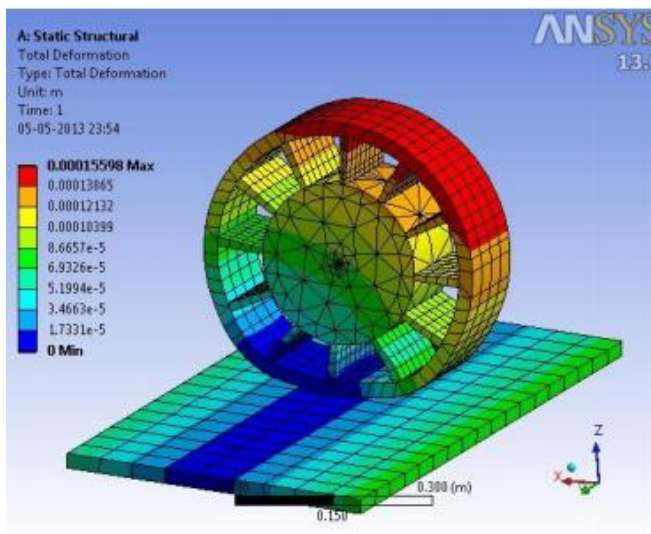
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi tentang penelitian sebelumnya yang memiliki keterkaitan dengan simulasi penggunaan ban *airless* pada *balance bike* dan beberapa dasar teori penunjang yang memiliki relevansi terhadap topik pada penelitian ini.

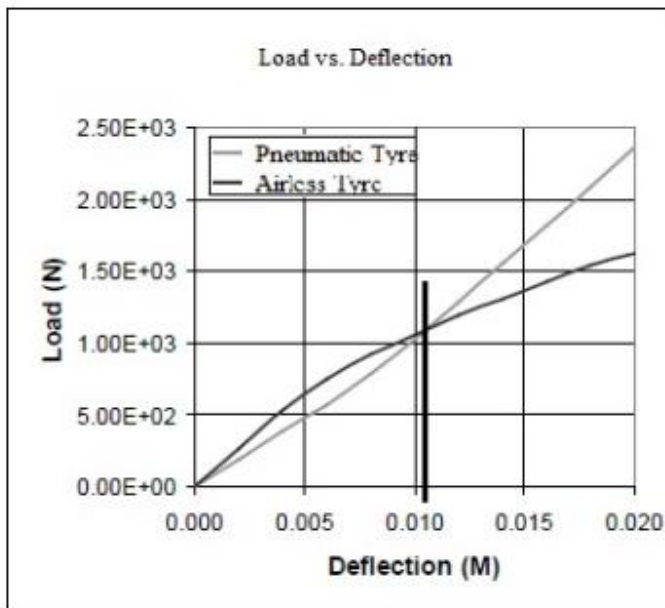
### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya terkait penggunaan ban *airless* terangkum dalam menganalisis struktur ban *airless* dengan menggunakan material *polyurethane*. Analisis yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 2.1 di bawah ini.



**Gambar 2. 1** Analisis struktur ban *airless* (Manibaaan, S, Keshore, & Haran, 2013)

Pada penelitian yang dilakukan (Manibaalan, S, Keshore, & Haran, 2013) , ban *airless* dianalisis kekuatannya dengan menggunakan struktur statis menggunakan *software ansys*. Kendaraan dengan menggunakan *airless* pada sastaa kondisi statis. *Deflection* yang terjadi pada ban untuk bermacam-macam pembebanan dan hasilnya dibandingkan dengan ban *pneumatic* dengan dimensi yang serupa. Ban *pneumatic* bertindak sebagai *hardening spring*, ban *airless* bertindak sebagai *softening spring*. Kedua ban tersebut memiliki *deflection* yang sama yaitu sekitar 0,011 M. Pada Gambar 2.2 kurva perbandingan *deflection* beban pada ban *airless* dan *pneumatic*.



**Gambar 2.2** Kurva perbandingan *deflection* beban pada ban *airless* dan *pneumatic*.

Penelitian mengenai ban *airless* pada *balance bike* yang dimanufaktur dengan proses *additive manufacturing* sangatlah



terbatas sumbernya. Namun penelitian *diatas* berkaitan dengan proses simulasi elemen hingga pada ban *airless*.

## 2.2 *Balance bike*

### a. Balance Bike

Menurut (Becker & Jenny, 2017), akhir-akhir ini peminat olahraga sepeda menurun pada 20 tahun terakhir. Sehingga terjadi penurunan aktivitas fisik di Amerika. Kemudian dilakukan kebijakan dalam pembaharuan sistem edukasi fisik untuk belajar sepeda sejak dini. Data mengenai partisipan untuk bersepeda ditunjukkan melalui Tabel 2.1 di bawah ini.

**Tabel 2.1** Tingkat partisipasi dalam bersepeda di Amerika Serikat (Becker & Jenny, 2017)

<i>Year</i>	<i>Cycling Participants</i>	<i>Reference</i>
1995	<i>56.3 million</i>	<i>Edmondson (2011)</i>
2000	<i>43.1 million</i>	<i>Edmondson (2011)</i>
2010	<i>39.8 million</i>	<i>Edmondson (2011)</i>
2012	<i>39.3 million</i>	<i>NBDA (2013)</i>
2013	<i>35.6 million</i>	<i>NBDA (2013)</i>

Dari data tersebut pemerintah Amerika melakukan usaha-usaha dalam menumbuhkan minat kembali dalam bersepeda yang bertujuan untuk meningkatkan aktivitas fisik pada balita maupun berbagai kalangan melalui perubahan kurikulum dan pembuatan *urban bike lanes* yang dapat diakses dengan mudah oleharganya. Selain itu peneliti disana juga berinovasi dengan membuat sepeda yang aman bagi balita dan dapat menambah kemampuan fisik pada balita sejak dini. *Balance bike* merupakan sebuah solusi dan penemuan yang dapat menjawab permasalahan untuk aktivitas ataupun kemampuan fisik sejak dini.

*Balance bike* adalah sepeda tanpa pedal yang digerakkan dengan berlari ataupun berjalan yang didesain khusus untuk mengajarkan balita bagaimana mengendarai sepeda dalam waktu

yang singkat untuk melatih keseimbangan dan berkemudi dengan resiko jatuh yang minimal.

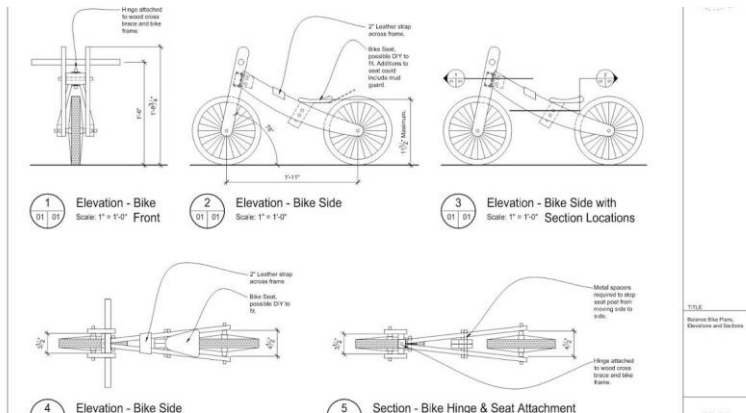
Proses mengendarai sepeda dibagi dalam 3 langkah yaitu menggunakan sepeda roda tiga, *learning progression* dan dilanjutkan dengan sepeda roda dua. *Balance bike* bertujuan sebagai pembelajaran sebelum menggunakan sepeda roda dua. Dengan keunggulan dalam waktu yang lebih efisien dan manfaat terhadap fisik dan motorik anak membuat *balance bike* ini menjadi pilihan terbaru dalam belajar sepeda. Hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 2.3 mengenai langkah langkah menuju bersepeda roda dua.



**Gambar 2.3** Langkah-langkah dalam mengendarai sepeda sebelum menggunakan pedal (Becker & Jenny, 2017)

Menurut (Parker, Graham, & Holt-Hale, 2013), mengajarkan keseimbangan, sesuai dengan namanya *balance bike* yang bertujuan dalam menjaga keseimbangan. Keseimbangan merupakan aspek yang paling sulit pada anak-anak dalam mengendarai sepeda. Namun, selain sepeda, hal ini adalah kemampuan fundamental yang digunakan sebagai aktivitas fisik. Keseimbangan juga digunakan pada setiap olahraga ataupun aktivitas fisik lainnya dan keseimbangan merupakan hal yang penting yang digunakan dalam keseharian hidup.

Menurut (Becker & Jenny, 2017), manfaat spesifik *balance bike* dibandingkan dengan metode lama dengan menggunakan bantuan roda ketika belajar terdapat tiga aspek, yaitu: keamanan, kepercayaan diri dan keseimbangan. *Balance bike* memiliki berat yang lebih ringan dibandingkan dengan sepeda pedal dengan roda tambahan. Kemudian balita juga dapat menyentuh tanah ketika mengendarainya. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan stabilitas dan mudah dikontrol. Selain itu dapat membuat mereka lebih aman dalam berkendara akibat resiko jatuh karena kehilangan keseimbangan. Spesifikasi dimensi *balance bike* secara umum ditunjukkan pada Gambar 2.4 dan Spesifikasi dasar ditunjukkan pada Tabel 2.2 dibawah ini.



**Gambar 2. 4** Spesifikasi Komponen dan Dimensi Balance Bike Secara Umum (Hotelsrate, 2017)

**Tabel 2. 2** Tabel Spesifikasi Dasar Balance Bike

Spesifikasi Dasar Balance Bike	
Tinggi	520-290 mm
Lebar	420 mm
Panjang	890 mm

---

---

Berat/Massa	4,6 kg
Kapasitas Pembebanan Frame	50 kg
Ukuran Ban Depan	12"
Ukuran Ban Belakang	12"

---

(Kostka, 2018)

Pada Tabel 2.2 menunjukkan bahwa balance bike menggunakan diameter ban sebesar 12 inci.

b. Ban Sepeda

Ban sepeda menjadi tinjauan penting dalam menelitian ini sebagai dasar pembentukan geometri untuk desain ban airless. Gambar 2.3 menunjukkan pengukuran ban sepeda yang berukuran diameter 406 mm.



**Gambar 2. 5** Pengukuran Ban Sepeda Ukuran 406 mm. (Bike, 2020)

Kemudian dilanjutkan dengan Tabel 2.3 dibawah ini yang menunjukkan standar ukuran diameter dari ban sepeda secara umum.

**Tabel 2.3** Standar Ukuran Diameter Ban Sepeda Secara Umum

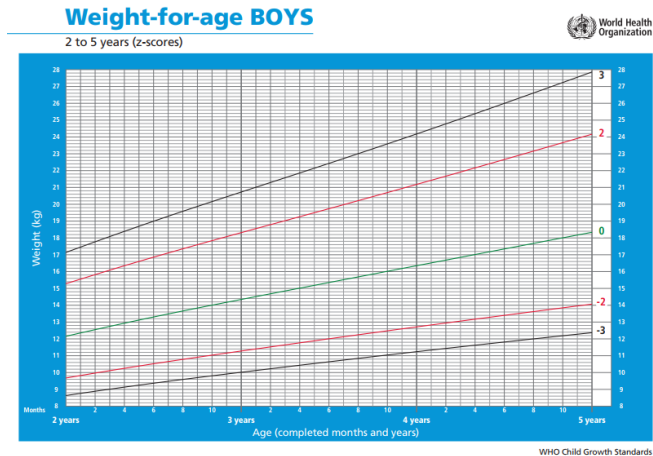
Common Name	ISO in MM	ISO In Inches	<a href="#">ISO 203</a>
			Tires
14"	254	10"	<a href="#">ISO 254</a> Tires
16" BMX / Kids	305	12"	<a href="#">ISO 305</a> Tires
16" Recumbent	349	13.75"	<a href="#">ISO 349</a> Tires
18" BMX / Kids	355	14"	<a href="#">ISO 355</a> Tires
18"	400	15.75"	<a href="#">ISO 400</a> Tires
20" BMX / Kids	406	16"	<a href="#">ISO 406</a> Tires
20 x 1-3/4"	419	16.5"	<a href="#">ISO 419</a> Tires
20 x 1-3/8", 20 x 1-1/8"	451	17.75"	<a href="#">ISO 451</a> Tires
22"	457	18"	<a href="#">ISO 457</a> Tires
22" Wheel Chair	501	19.75"	<a href="#">ISO 501</a> Tires
24" BMX / Kids	507	20"	<a href="#">ISO 507</a> Tires
24" Old Schwinn S-7 Size	521	20.5"	<a href="#">ISO 521</a> Tires
24" Wheel Chair	540	21.25"	<a href="#">ISO 540</a> Tires
24" Old Schwinn S-5 Size	547	21.5"	<a href="#">ISO 547</a> Tires

26" Mountain	559	22"	<a href="#">ISO 559 Tires</a>
650c - Small Road Bike	571	22.5"	<a href="#">ISO 571 Tires</a>
27.5 / 650b	584	23"	<a href="#">ISO 584 Tires</a>
26 x 1-3/8	590	23.25"	<a href="#">ISO 590 Tires</a>
26" Old Schwinn S-6	597	23.5"	<a href="#">ISO 597 Tires</a>
700c, 29", 28"	622	24.5"	<a href="#">ISO 622 Tires</a>
27" Road	630	24.8"	<a href="#">ISO 630 Tires</a>
36" Big Bike	787	31"	

(Bike, 2020)

c. Pengguna *Balance Bike*

Penentuan nilai beban untuk disesuaikan dengan rata-rata berat badan anak pada umur 5 tahun sebesar 18,5kg berdasarkan *World Health Organization (WHO)* yang ditunjukkan pada Gambar 4.26 di bawah ini.

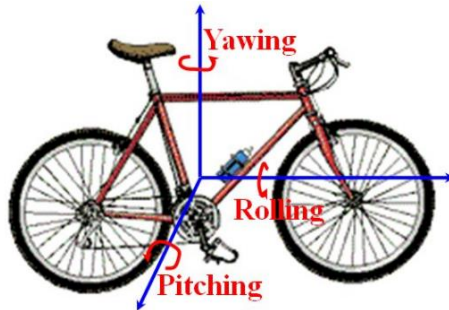


**Gambar 2. 6** Standar Berat Badan Anak Umur Dua Sampai Lima Tahun Berdasarkan *World Health Organization*. (WHO, 2000)

### 2.3 Dinamika Sepeda

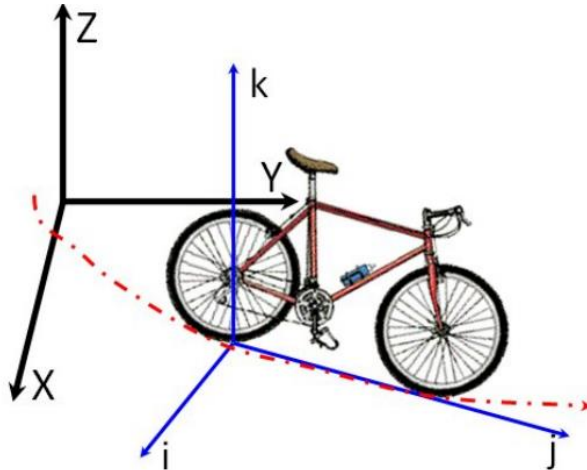
Sepeda dan/atau sepeda motor memiliki dinamika yang unik terkait dengan konfigurasi dimana dipengaruhi oleh beberapa hal seperti kecepatan, konfigurasi *frame* atau kerangka utama dan konfigurasi *fork* atau batang pemegang dan penggerak roda kendali. Hingga saat ini, pengkajian terhadap dinamika sepeda secara intensif terus berkembang, masih ada beberapa karakteristik dinamika sepeda yang belum dipahami dan diformulasikan secara lengkap sebagaimana yang disampaikan oleh Freeman Dyson, seorang ahli fisika teoritik dan matematikawan dalam media *Wired News* pada tahun 1998. Kajian tentang dinamika sepeda mencakup tentang masalah dinamika serta pengendalian sistem mekanik seperti masalah kestabilan dan pengendalian (*steering*). Perlu digaris bawahi bahwa dinamika utama sepeda muncul akibat konfigurasi kerangka utama (*frame*) dan dinamika batang kemudi (*fork*).

Pada penelitian (Sasongko, Gunawan, & Kimsay, 2010), pemodelan kinematika dan dinamika sepeda motor masih dilakukan dengan mengabaikan faktor mesin, suspensi, ban dan pengemudi. Derajat kebebasan utama ditinjau berdasarkan gerakan rotasi pada ketiga sumbu yang berbeda yaitu gerak *pitching*, *rolling* dan *yawing* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 di bawah ini. Gerak sepeda relatif didefinisikan pada titik beratnya dan juga gerak sepeda pada ruang inersia. Maka dua Tata Acuan Koordinat (TAK) digunakan pada proses pemodelan yaitu TAK inersia (XYZ) dan TAK benda (ijk) yang dideskripsikan pada Gambar 2.5 di bawah ini.



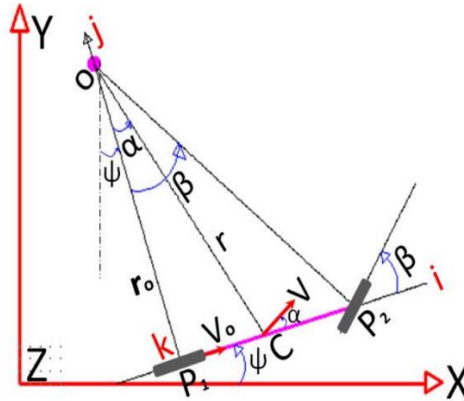
**Gambar 2.7** Derajat kebebasan utama (Sasongko, Gunawan, & Kimsay, 2010)





**Gambar 2. 8** Tata acuan koordinat dinamika sepeda (Sasongko, Gunawan, & Kimsay, 2010)

Langkah awal yang dilakukan adalah pemodelan kinematik gerak sepeda pada ruang inersia. Hubungan antara variabel gerak sepeda pada bidang horisontal (bidang X-Y ataupun bidang i-j) dapat diturunkan dengan skema pada Gambar 2.6. Dalam skema tersebut dapat dilihat hubungan antara variabel defleksi roda depan (sudut kemudi)  $\beta$ , dengan sudut orientasi kerangka utama  $\psi$ , arah vektor kecepatan  $a$ , radius putar  $r$  dan  $r_0$ . Variasi harga dari variabel tersebut menentukan perhitungan respon dinamika baik pada bidang lateral benda (bidang i-k) ataupun longitudinal benda (bidang k-j).



**Gambar 2. 9** Skema kinematika sepeda (Sasongko, Gunawan, & Kimsay, 2010)

Dapat diperoleh persamaan kinematika berdasarkan skema pada Gambar 2.6 di bawah ini, dimana persamaan 2.1, 2.2, 2.3 secara berturut-turut menyatakan (pada bidang inersia) kecepatan gerak sepeda dalam arah X, arah Y dan perubahan sudut orientasi  $\psi$ . Perubahan posisi titik berat sepeda pada ruang inersia dapat diperoleh dengan mengintegrasikan Persamaan 2.1 dan 2.2, kemudian percepatan pada sumbu inersia dapat diperoleh juga dengan menurunkan waktu persamaan tersebut. Variabel dari persamaan kinematik tersebut digunakan dalam pembentukan dinamika sepeda.

$$V_x(t) = V_o \left[ \cos(\psi) - \frac{a}{b} \sin(\psi) \tan(\beta) \right] \quad 2.1$$

$$V_y(t) = V_o \left[ \sin(\psi) + \frac{a}{b} \cos(\psi) \tan(\beta) \right] \quad 2.2$$

$$\psi = \frac{v}{r} = \frac{\tan(\beta)}{b} V_o \quad 2.3$$

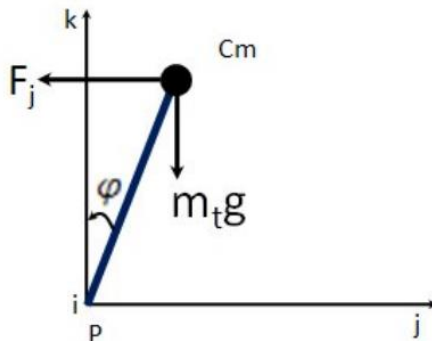
Gerak *leaning* atau *rolling* menggunakan persamaan dinamika yang dimodelkan secara matematik dengan memperhatikan kesetimbangan momen pada bidang latera sepeda (bidang i-k) dengan asumsi tidak terjadi *slip* pada roda. Hubungan dinamika *leaning* ini dengan sudut kemudi  $\beta$  dan kecepatan dapat dinyatakan oleh persamaan diferensial non-linier yang dapat dilihat pada Persamaan 2.4 sebagai berikut:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} = \frac{m_t g l \sin(\varphi)}{J} + \frac{m_t l V_o \cos(\varphi) \sqrt{\left(\frac{a}{b} \tan^2(\beta) V_o\right)^2 + \left\{\frac{(\alpha + a \tan^2(\beta)) d\beta}{dt} + V_o \tan(\beta)\right\}^2}}{J \sqrt{b^2 + a^2 \tan^2(\beta)}} \quad 2.4$$

Persamaan diatas dapat dilinierkan untuk memperoleh bentuk berikut:

$$\varphi = \frac{m_t g l}{J} \varphi + \frac{l m_t V_o}{J \left(\frac{V_o}{b} \beta + \frac{a}{b} \beta\right)} \quad 2.5$$

Selanjutnya Persamaan 2.5 dapat digunakan untuk membentuk fungsi transfer sudut *leaning* terhadap *input* sudut kemudi seperti yang ditunjukkan Gambar 2.7 dan digunakan untuk melakukan *Analisis* kestabilan pada bidang lateral.



**Gambar 2. 10** Dinamika *leaning* (Sasongko, Gunawan, & Kimsay, 2010)

*Front-fork* sepeda atau garpu depan memiliki kontribusi yang signifikan terhadap dinamika sepeda secara keseluruhan, saat memberikan *input* sudut kemudi dapat mengintroduksi momen tambahan yang mempengaruhi dinamika *leaning* sepeda. Dan sebaliknya gerak *leaning* sepeda memberikan beban torsi tambahan yang dirasakan pada batang kemudi akibat bentuk spesifik struktur *fork* tersebut. Momen yang bekerja pada *front-fork* akibat gerak *leaning* dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$M_L = F_L d = m_t g t \sin(\varphi) t \cos(\lambda) \quad 2.7$$

Dimana  $\lambda$  adalah *rake angle* atau sudut kemiringan garpu. Sedangkan momen yang muncul pada *fork* akibat diaplikasikannya suatu sudut kemudi  $\beta$  tertentu dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$M_S = m_t g \sin(\delta) \sin(\beta) \cos(\lambda) \quad 2.8$$

Dimana  $\delta$  adalah sudut antara poros putar kemudi dengan garis yang menghubungkan suatu titik pada poros putar dengan titik sentuh roda dengan tanah. Kedua momen pada persamaan 2.7 dan 2.8 menunjukkan beban torsi pada poros kemudi. Selain itu, karena konfigurasi *fork*, maka aplikasi suatu sudut kemudi tertentu yang membuat titik kerja gaya normal (pada titik sentuh roda depan dengan tanah) bergeser keluar dari bidang simetri (bidang longitudinal *frame*) sepeda. Hal ini akan menyebabkan munculnya momen *lean* tambahan yang akan membuat persamaan dinamika *leaning* menjadi:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} = \frac{a m_t g \sin(\beta)}{J(b+t \cos(\beta))} + \frac{m_t g \sin(\varphi)}{J} + \frac{m_t l V_o \cos(\varphi) \sqrt{\left(\frac{a}{b} t \tan^2(\beta) V_o\right)^2 + \left\{ \frac{(a + a t \tan^2(\beta)) d\beta}{dt} + V_o \tan(\beta) \right\}^2}}{J \sqrt{b^2 + \alpha^2 \tan^2(\beta)}} \quad 2.9$$

## 2.4 Ban Non-Pneumatic

Berdasarkan (Rangdale, Chandak, & Bagade, 2018), ban *Non-Pneumatic Tires* (NPT) atau ban *airless* adalah ban yang tidak disupport dengan tekanan udara. Umumnya, ban ini memiliki *rolling friction* yang lebih tinggi dan suspensi yang lebih rendah dibandingkan dengan ban *pneumatic*. Permasalahan lain pada ban *airless* yaitu mudah panas saat dikendarai. Teknologi resilien dan perusahaan Winconsin-Madison yang berfokus pada *polymer engineering* dan mendesain dalam pembuatan ban *airless* berupa *polymer* yang berbentuk *honeycomb* dibalut dengan *polymer* yang tebal. Penggunaan desain *honeycomb* pada ban *airless* bertujuan untuk mendukung dalam mendistribusi pembebanan pada ban dan mengurangi panas yang terjadi. Tujuan lainnya menggunakan

desain *honeycomb* yaitu mengurangi *stiffness* pada ban. Kemudian ban dengan desain *honeycomb* merupakan desain terbaik yang didapatkan dikarenakan dapat mendistribusi beban secara *uniform*.

Menurut (Jin, Hou, Fan, Sun, & Lv, 2017), sejak pertama kali ban non-*pneumatic* (NPTs) dikenalkan, ban ini telah mendapat perhatian yang cukup tinggi dikarenakan dari segi keuntungannya bahwa ban ini tidak dapat bocor dikarenakan tidak bertekanan udara dan *low rolling resistance* yang rendah dibandingkan dengan ban *pneumatic*. Dengan kelebihan *low rolling resistance* juga membuat ban *pneumatic* tidak membutuhkan energi yang besar untuk berputar.

Adapun keuntungan ketika menggunakan ban *airless* yaitu sebagai berikut.

1. Tidak ada lagi katup udara.
2. Tidak ada lagi kompresor udara di Pompa Bensin.
3. Tidak ada lagi ban kempes di tengah *long drive*.
4. *Tweel* memiliki tingkat kinerja yang menyerupai ban *pneumatic*.
5. Manfaat potensial dari *Tweel* termasuk keamanan dan kenyamanan yang jelas karena tidak pernah terjadi kempes. Konsep ini memiliki potensi untuk keuntungan kinerja yang sebenarnya.
6. Ini memberikan perjalanan yang nyaman dan meningkatkan penanganan kendaraan
7. Dapat menahan tembakan senjata api dan paku.
8. Fleksibilitasnya memberikan peningkatan area permukaan kontak sehingga meningkatkan pegangan dengan tanah.

Kekurangan ban non pneumatik.

1. Ban non-pneumatik lebih mahal dibandingkan dengan ban pneumatik.
2. Penggantian komponen apapun di ban non-pneumatik adalah mustahil yaitu setiap kali ban sudah usang kita harus mengganti seluruh perakitan.

3. Kurangnya penyesuaian adalah salah satu kelemahan ban non-pneumatik jika sekali diproduksi tidak bisa diubah atau disesuaikan.

Aplikasi mengenai penggunaan ban non *pneumatic* dapat ditunjukkan pada Gambar 2.8 di bawah ini.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 2. 11** Aplikasi ban non *pneumatic* (a) *Earth mover* (b) *Wheel chair* (c) *Military car* ( Jin, Hou, Fan, Sun, & Lv, 2017)

Kemudian pada Tabel 2.2 menunjukkan perbandingan antara ban *pneumatic* dan non *pneumatic* yang dapat dilihat di bawah ini.

**Tabel 2. 4** Perbandingan antara ban *pneumatic* dan non *pneumatic*

No	Parameter	Ban <i>Pneumatic</i>	Ban non- <i>pneumatic</i>
1	<i>Lifetime</i>	Kurang lama umurnya	Lebih lama umurnya karena terbuat dari <i>polymer</i>
2	<i>Efficiency</i>	Lebih dari 80%	Kurang dari 40%
3	<i>Cost</i>	Lebih murah	Lebih mahal
4	<i>Air</i>	Menjadi komponen penting	Tidak membutuhkan udara
5	<i>Air Valve</i>	Membutuhkan <i>valve</i>	Tidak membutuhkan <i>valve</i>
6	<i>Puncture/Bocor</i>	Dapat terjadi bocor	Tidak akan terjadi bocor

## 2.5 *Additive Manufacturing* (AM)

Menurut (Wong & Hernandez, 2012), proses *Additive Manufacturing* (AM) yaitu mengambil informasi dari file *software* desain geometri *Computer Aided Design* (CAD) dan kemudian di *convert* kedalam format file *stereolithography* (STL). Pada proses ini, gambar yang dibuat di *software Computer Aided Design* (CAD) diperkirakan melalui gambar segitiga-segitiga dan potongan yang berupa informasi pada setiap *layernya* dan dapat dicetak tiga dimensi.

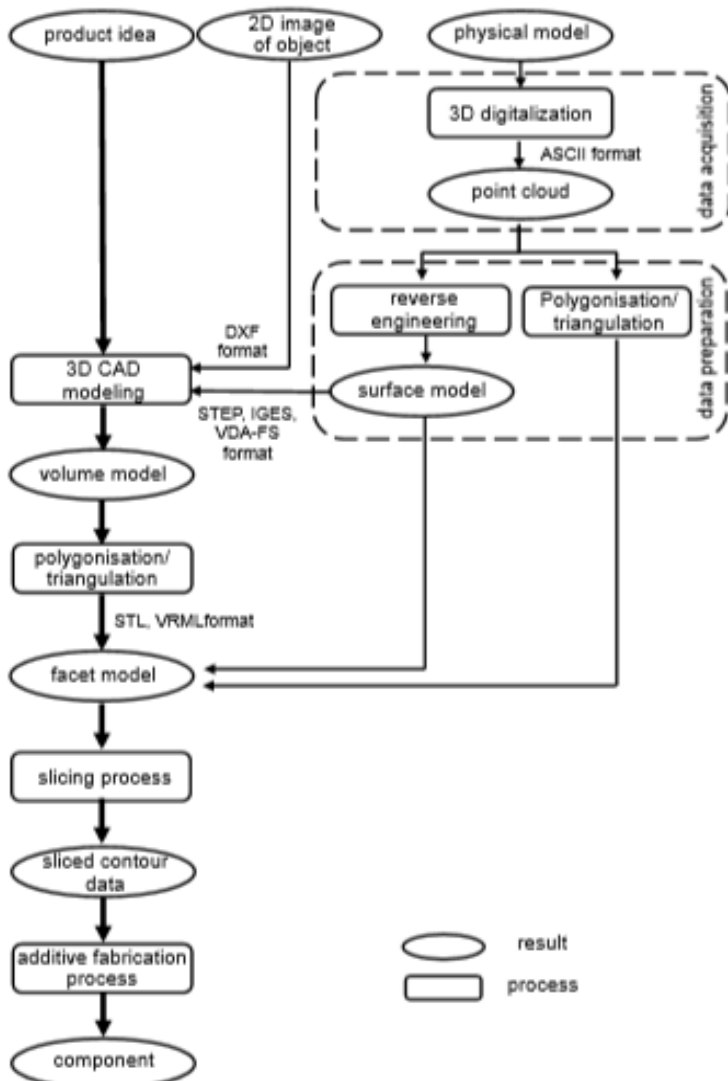
Berdasarkan buku yang dipublikasi oleh (Anderi, Schmid, Karg, & Martin, 2017), AM memperkenalkan banyak perubahan

yang signifikan dalam desain produk, pengolahan bahan, proses manufaktur dan manajemen rantai persediaan. Apabila dibandingkan dengan produksi tradisional (seperti permesinan, penempaan, finishing, pengecoran, dll.) AM memberikan peluang yang sangat besar dalam produksi keberlanjutan. Keuntungan dari manufaktur berkelanjutan yang menggunakan AM adalah sebagai berikut:

1. Semakin sedikit bahan baku yang dibutuhkan dalam proses rantai persediaan.
2. Efisiensi sumber daya yang tinggi dalam proses manufaktur.
3. Berkurangnya konsumsi, bahan limbah dan polusi dalam proses manufaktur.
4. Efisiensi dan fleksibilitas yang lebih tinggi dalam pendesainan bentuk produk.
5. Semakin sedikit jumlah proses transportasi dan mengurangi karbon *footprint*.
6. Proses manufaktur yang terdesentralisasi dan lebih dekat dengan konsumen.

Menurut (Thompson, et al., 2016). Proses *Additive manufacturing* (AM) memiliki data alir digital untuk mengintruksikan mesin AM mengikuti perintah kerja yang dapat mengubah raw material kedalam produk final. Hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 2.9 di bawah ini.





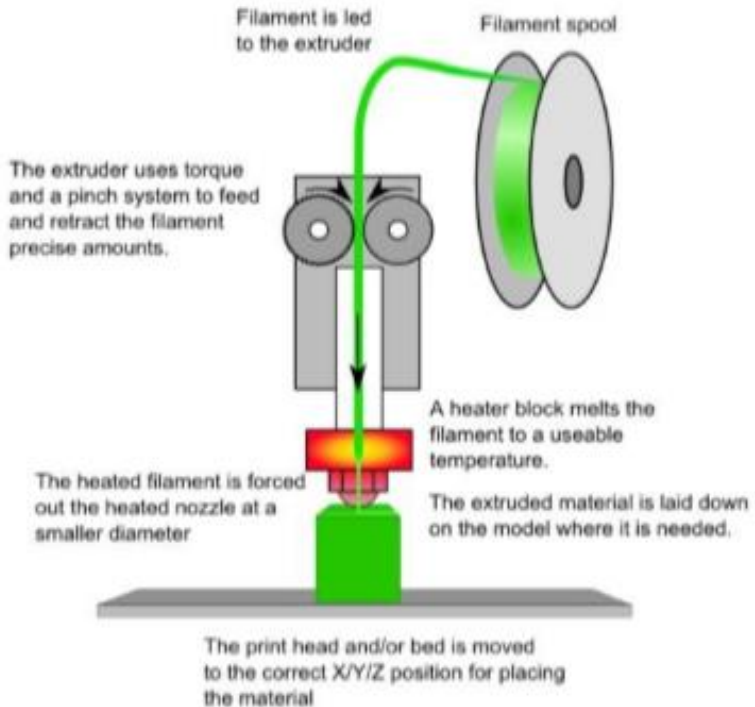
**Gambar 2. 12** Digital and alur kerja dari ide produk sampai komponen aktual (Thompson, et al., 2016)

---

### 2.5.1 *Fused Deposition Modelling (FDM)*

Menurut (Carneiro, Silva, & Gomes, 2015). Proses *Fused Deposition Modeling* adalah teknologi *Rapid Prototyping* dengan menyalurkan *thermoplastic* material, seperti ABS dan PLA (Dua material yang paling biasa digunakan pada FDM), kemudian diekstrusi dari kepala nozzle, kemudian difabrikasi layer per layer. Menurut (Novakova & Marcincinova, 2012), *Fused Deposition Modelling (FDM)* dikembangkan pertama kali oleh Stratasys di Eden Prairie, Minnesota. Pada proses ini, material plastic atau *wax* diekstrusi melalui *nozzle* secara *cross section* pada geometri *layer per layer*.

Untuk proses yang lebih baik dalam pengaturan parameter yang tepat selama preparasi pencetakan, terdapat algoritma yang diakumulasikan semua faktor-faktornya dan langkah-langkah dalam pemilihan pencetakan yang tepat. Pada tahap ini merupakan tahap preparasi untuk mencetak pada mesin *3D printer* yang menggunakan teknologi *Fused Deposition Modelling (FDM)* untuk membuat sebuah *prototype*. Dengan menggunakan program *software* untuk memodelkan dan melakukan *slicing*. Metode *Fused Deposition Modelling (FDM)* dapat dilihat pada Gambar 2.10 di bawah ini.

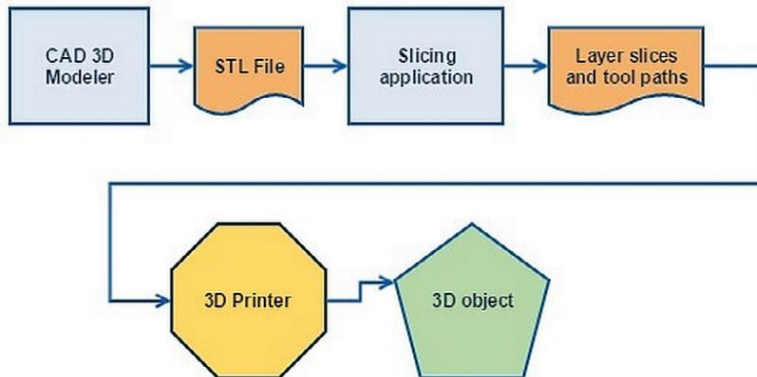


**Gambar 2. 13** Metode *Fused Deposition Modelling* (FDM)  
(Beatriz, 2018)

### 2.5.2 Prinsip 3D printer

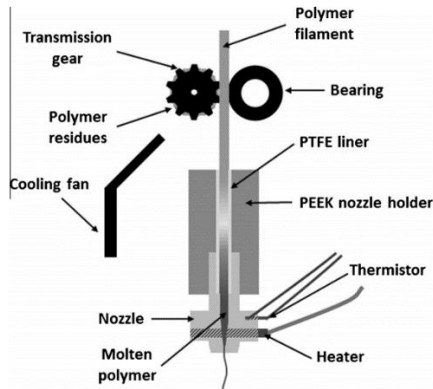
Menurut Pada dasarnya prinsip kerja mesin 3D printer tidak jauh berbeda dengan mesin Printer pada umumnya, namun yang berbeda hanyalah format file untuk pencetakan. Pada Gambar 2.11 dijelaskan mengenai ilustrasi proses pencetakan objek tiga dimensi menggunakan mesin 3D printer. Desain objek dibuat terlebih dahulu harus dikonversi ke dalam beberapa format file yang relevan dengan aplikasi yang digunakan. Desain awal objek menggunakan aplikasi CAD dengan format gambar .dwg atau langsung dikerjakan dalam aplikasi Autodesk Inventor maupun Solidwork atau aplikasi pemodelan lain yang relevan. Kemudian

hasil desain disimpan dalam bentuk format *.stl* untuk membentuk lapisan – lapisan yang membentuk objek menggunakan aplikasi pencetakan tiga dimensi yaitu *Cura*.



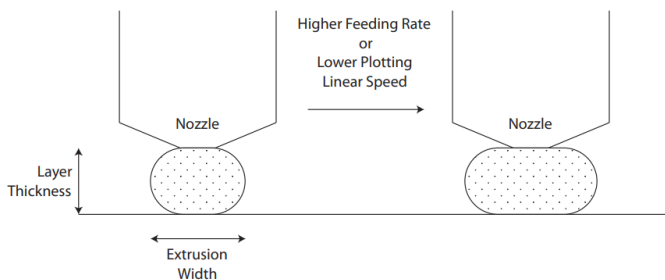
**Gambar 2. 14** Diagram alir proses 3D *printing* (Hager , Golonka, & Putanowicz, 2016)

Dalam penggunaannya, mesin 3D *printer* menggunakan input material berbentuk *filamen* jenis polimer termoplastik. Terdapat dua jenis material *filamen* yang paling umum digunakan yaitu *polylactic acid* (PLA) dan *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS) yang di ekstrusi dari *nozzle head*, dengan proses fabrikasi lapis demi lapis (*layer-by-layer*). *Filamen* dilunakkan di dalam *liquifier* di atas temperatur *meltingnya* dan ditekan melalui *nozzle die*. Saat *liquifier* bergerak, polimer yang terekstrusi turun pada *bed* yang terdapat pada mesin pencetak kemudian *catridge 3D printer* yang meliputi komponen pada Gambar 2.12 yang bergerak mengikuti pola dari desain yang akan dicetak. (Carneiro, Silva, & Gomes, 2015)



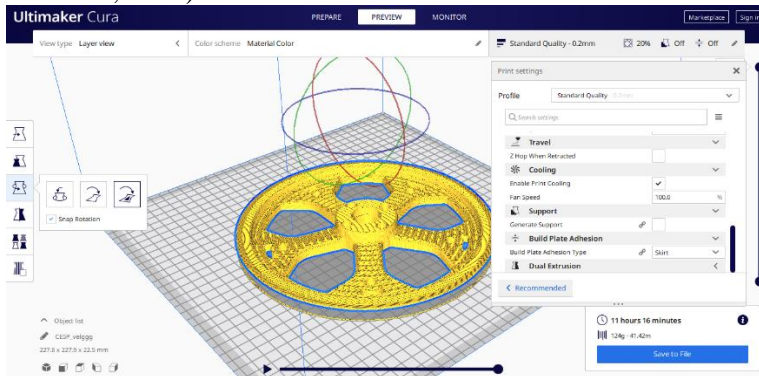
**Gambar 2. 15** Ilustrasi *nozzle head* (Carneiro, Silva, & Gomes, 2015)

Meskipun terlihat mudah, terdapat model kontrol untuk mengatur semua parameter secara bersamaan. Parameter tersebut diantaranya: *filamen feeding rate*, *extrusion width*, *linear speed*, dan *layer thickness*. Parameter – parameter tersebut merupakan kesatuan yang memengaruhi hasil pada proses FDM. Pada Gambar 2.13 merupakan ilustrasi dari parameter cetak *layer thickness* dan *extrusion width*.



**Gambar 2. 16** Ilustrasi parameter proses ekstrusi FDM (O.S. Carneiro, 2015).

Parameter – parameter tersebut diatur menggunakan aplikasi pencetak objek tiga dimensi *Cura*. Terdapat berbagai panel opsi untuk mengatur kecepatan pencetakan hingga ketebalan atau jumlah lapisan objek yang akan dicetak. Gambar 2.14 menunjukkan ilustrasi pengaruh pengaturan lebar dan tebal *layer* terhadap *feeding rate* dan *linear speed* yang dibutuhkan. Sebelum dicetak, pengaturan parameter – parameter tersebut diatur menggunakan aplikasi *Cura* seperti tampilan pada Gambar 2.14, objek yang akan dicetak harus berada pada area kerja yang menggambarkan area *bed 3D printer*. Pilihan menu utama untuk mengatur kerja *Printer* tersedia pada menu *basic* dan *advance* yang tersedia pada *toolbar* aplikasi *Cura*. Selain menentukan besaran parameter – parameter pencetakan objek tiga dimensi, aplikasi *Cura* juga berfungsi sebagai *licer* untuk menentukan jumlah *layers* dari objek berformat *.stl* yang akan dicetak. (Carneiro, Silva, & Gomes, 2015)



**Gambar 2.17** Tampilan *software Cura* untuk mencetak objek 3D.

Meskipun futuristik, prinsip *layer-by-layer* dapat memicu terjadinya kegagalan pada objek hasil cetak tiga dimensi. Beberapa bagian dari objek hasil 3D *printing* memiliki properti elastik yang lebih rendah dibandingkan dengan objek yang dibuat dengan cara *injection molding* dengan jenis polimer *thermoplastic* yang sama.

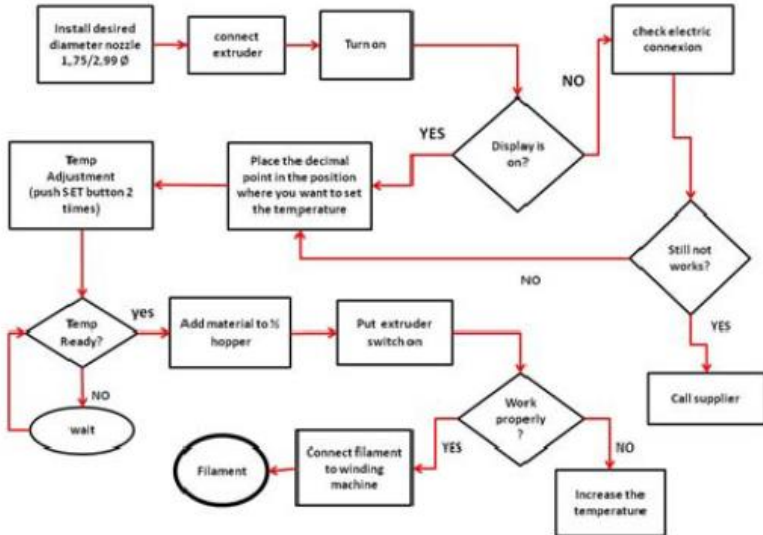
Beberapa penulis telah melakukan riset terhadap sifat mekanik terhadap objek hasil 3D *printing*. Salah satu fokus utamanya adalah agar memperoleh perbandingan hasil sifat mekanik objek yang dicetak menggunakan metode FDM konvensional dengan mesin 3D *printer* yang beredar dipasaran. (Weng , Wang, Senthil, & Wu, 2016)

## 2.6 Filamen 3D *printer*

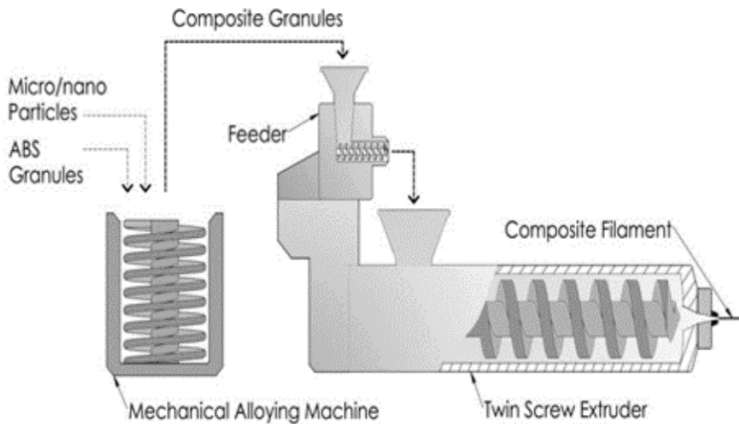
Menurut Miron (2017), manufaktur dalam material filamen semakin berkembang. Dalam hal ini filamen dapat dikatakan seperti tinta pada *Printer* konvensional. Seperti *Printer* kertas yang bergantung pada hasil yang diinginkan dan karakteristik *catridges* yang digunakan.

Pada awalnya material filamen terbatas pada ABS atau PLA untuk cetak tiga dimensi, namun semakin berkembangnya teknologi, banyak material baru yang dapat diaplikasikan dalam cetak tiga dimensi. Material lainnya itu adalah *Polycarbonate* (PC), *Polycaprolactone* (PCL), *Polyphenylsulfone* (PPSU), *Polyetherimide* (PEI) yang tahan api dan larutan, *wax* dan *Polyvinyl Acetate* (PVA) yang dapat dilarutkan dengan air.

Pada saat sekarang ini, filamen plastik yang dijual komersil yaitu berdiameter 1.75 mm dan atau 3 mm, spesifikasi warna dan perbedaan berat. Pada Gambar 2.15 mengenai alur kerja pembuatan filamen dan langkah produksi filamen pada Gambar 2.16 di bawah ini.



**Gambar 2. 18** Alur kerja pembuatan filamen.

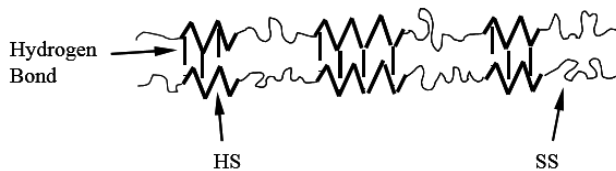


**Gambar 2. 19** Langkah produksi filamen nano-mikro komposit polimer (Ebubekir C., 2017).



### 2.6.1 *Thermoplastic polyurethane (TPU)*

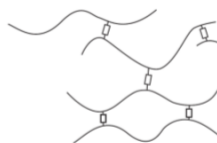
Menurut (Przybytek, Lipka, & Jani, 2018), filamen yang dispesifikkan kedalam *Thermoplastic Elastomer* (TPE) termasuk *copolymer* atau campuran karet dengan *thermoplastic*. *Thermoplastic polyurethane* adalah *copolymer* yang tersegmentasi secara acak (Hepburn, 1982) terdiri dari segmen keras dan lunak yang membentuk mikrostruktur dua fase. Menurut (Beatriz, 2018). *TPU* adalah kopolimer blok multi-fase yang dibuat ketika tiga bahan baku dasar digabungkan bersama-sama dengan cara tertentu. Masing-masing komponen yang diperlukan untuk memproduksi *TPU* adalah polyol atau rantai panjang diol, Jaringan Extender atau pendek-rantai diol dan diisocyanate. Pada Gambar 2.17 menunjukkan struktur *Thermoplastic polyurethane* dan Gambar 2.18 menunjukkan struktur *Thermoplastic Elastomer*.



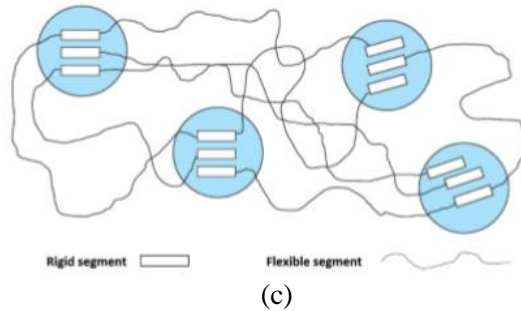
**Gambar 2. 20** Struktur *Thermoplastic polyurethane*



(a)

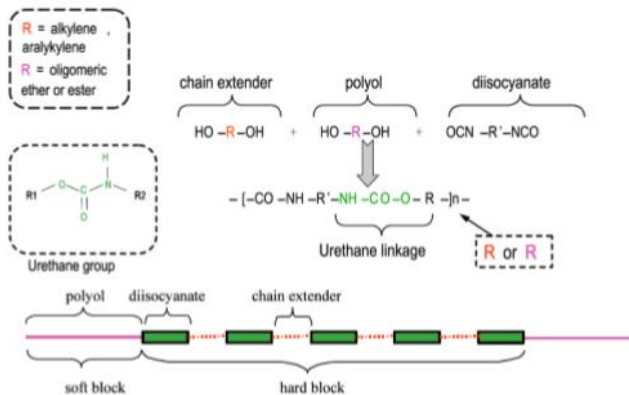


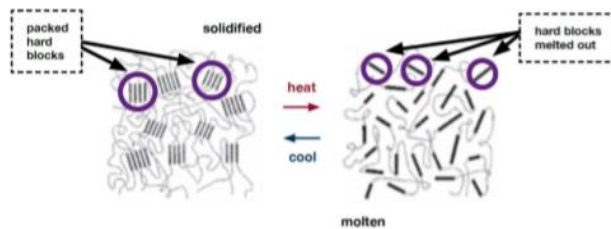
(b)



**Gambar 2. 21** Struktur dalam *Thermoplastic Elastomer* (TPE),  
(a) struktur *thermoplastic* (b) struktur *elastomer* (c) Struktur  
*Thermoplastic Elastomer* (TPE)

Pada Gambar 2.19 menunjukkan struktur molekul dalam *Thermoplastic Urethane* (TPU) dan Morfologi *physical cross-links* TPU dapat dilihat pada Gambar 2.20 di bawah ini.





**Gambar 2. 23** Morfologi *TPU* menunjukkan *physical cross-links* mencair ketika dipanaskan dan menyatu ketika material didinginkan.

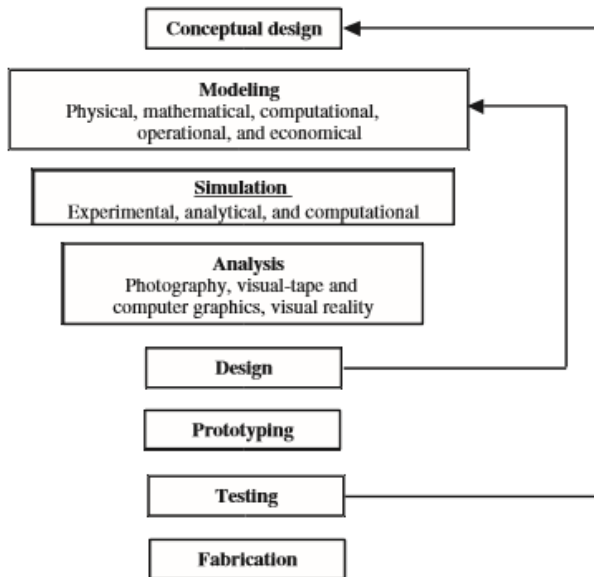
Pada umumnya informasi mengenai komposisi macam macam campuran yang bersifat fleksibel terdapat pada perusahaan yang memproduksi filamen tersebut. Filamen fleksibel yang dijual secara komersil tersedia pada merek dagang: *Poro-Lay series*, *NinjaFlex*, *UniFlex* dan *Flexifil*. Pada Tabel 4.4 mendeskripsikan mengenai review dari filamen komersil yang ada. Semuanya yang dikarakterisasi memiliki sifat fleksibilitas yang tinggi, elongasi, *durability*, ikatan antar *layer* kuat dan tahan terhadap pelarut kimia. (Przybytek, Lipka, & Jani, 2018)

**Tabel 2.5** Sifat dan deskripsi filamen *Thermoplastic polyurethane (TPU)* komersil

Tipe-tipe filamen	Material	Tradename	Rekomendasi temperatur ekstrusi	Rekomendasi teknologi 3D Printin	Negara	Perusahaan Manufaktur	Diameter yang tersedia	Deskripsi
	TPE+PVA	Porolay Series	220-240	FDM	Jerman	Kai Parthy	1.75, 3.00	Campuran dua komponen utama yaitu elastomer dan PVA. PVA dapat larut dengan air. Hasil akhirnya adalah material fleksibel dengan poros mikro
	TPU	Ninja Flex	225-235	FDM, 3DP, SLS	USA	Ninja Tek	1.75, 3.00	Terbuat dari TPU yang sudah diformulasi, teknologi patennya membuat tekstur feed
Fleksibel filamen	TPU	Ultimaker TPU 95 A	245-260	FDM	Belanda	Ultimaker	2.9	Semi fleksibel dan tahan terhadap reaksi kimia dengan ikatan layer yang kuat
	TPU	TPU 92A-1	-	SLS	Belgia	Materialise	-	TPU jenis ini tergolong kuat dan memiliki fleksibilitas yang cukup tinggi dan durable, secara visual terlihat seperti butiran
	TPE + Nylon	PCTPE	230	FDM	USA	Taulam 3D	1.75, 2.85	TPE fleksibel dengan durability yang mirip dengan nylon
	TPU	DuraForm Flex TPU	-	SLS	USA	3D Systems	-	Elastomer, TPU dengan elongasi yang cukup besar dan memiliki durability yang baik.

## 2.7 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga atau dikenal dengan *finite element method* berperan penting dalam pemodelan dan sistem *advanced engineering* pada berbagai bidang keilmuan. Adapun tahapan dalam melakukan sistem *advanced engineering* yaitu pemodelan, simulasi, visualisasi, analisis, desain, *prototype*, pengujian, dan fabrikasi yang rumit. Pada awalnya, *Finite Element Method* (FEM) digunakan untuk memecahkan masalah analisis *solid* dan struktural. Namun setelah berkembang, FEM juga diaplikasikan ke bidang lain seperti analisis termal, analisis aliran fluida, analisis *piezoelectric*, dan lain-lain (G.R. Liu, 2014). Pada Gambar 2.21 menjelaskan tentang skema simulasi elemen hingga.



**Gambar 2. 24** Proses Fabrikasi *Advanced Engineering System*  
(G.R. Liu, 2014)

Menurut (G.R. Liu, 2014), pada penggunaannya hampir semua masalah diselesaikan dengan metode numerik. Prosedur dari permodelan komputasi yang menggunakan FEM secara umum terdiri dari empat langkah, yaitu:

1. *Modelling of Geometry*

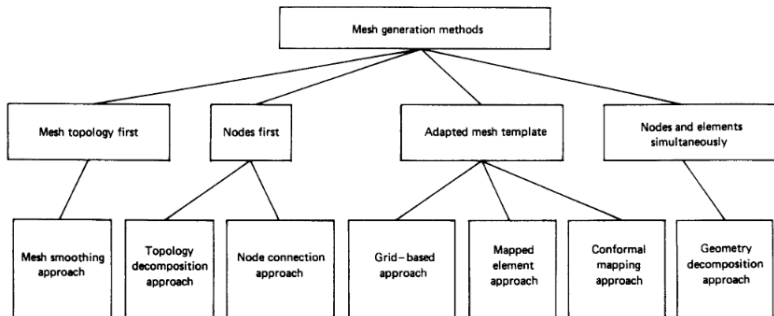
Geometri dipresentasikan oleh kumpulan elemen-elemen, garis-garis/permukaan berliku dan elemen-elemen yang diasumsikan sebagai segmen yang datar/lurus (diasumsikan linear). Elemen yang lebih banyak, representasi dari bagian berliku oleh tepian lurus akan semakin halus dan akurat. Akan tetapi, dengan elemen yang lebih banyak, *computational time* yang dibutuhkan akan semakin lama. Ada banyak cara dalam membuat geometri yang baik dengan menggunakan *software* pada computer untuk membuat *finite element*. Poin-poin bisa dibuat dengan

---

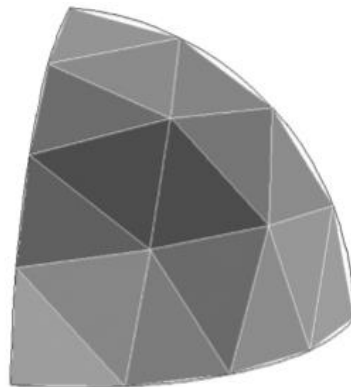
mudah dengan *keying* pada koordinat. Garis dan kurva bisa dibuat dengan menyambungkan poin-poin atau *nodes*. Permukaan bisa dibuat dengan menyambungkan, rotasi, atau translasi garis atau kurva yang ada. Bentuk solid bisa dibuat dengan berbagai cara penyambungan, rotasi, translasi permukaan yang ada. Poin, garis, kurva, permukaan, dan bentuk solid bisa di translasikan, dirotasikan, direfleksikan untuk membuat bentuk baru

## 2. *Meshing*

Ketika geometri atau domain direpresentasikan menjadi bagian-bagian kecil, yang disebut elemen atau sel, proses ini disebut *meshing*. Tujuan *meshing* adalah memudahkan variasi solusi diantara elemen dengan membagi domain menjadi elemen elemen yang lebih kecil agar dapat menggunakan fungsi polinomial. Variasi kolektif dari solusi untuk semua elemen ini kemudian membentuk variasi solusi untuk seluruh permasalahan domain. Menurut Le (1998). Adapun skema dalam melakukan *meshing* yang ditunjukkan pada Gambar 2.22 dan contoh gambar *meshing* pada Gambar 2.23 di bawah ini.



**Gambar 2. 25** Skema *Meshing*



**Gambar 2. 26** Contoh *Meshing Generation*

### 3. Spesifikasi *properties* material

Banyak sistem rekayasa yang terdiri dari beberapa komponen dan masing-masing komponen bisa terdiri dari material yang berbeda. Faktanya, walaupun pada *single* komponen, akan ada *multiple* material seperti halnya pada material komposit. Sifat-sifat material bisa didefinisikan untuk sekumpulan elemen ataupun untuk material individu jika dibutuhkan. FEM bisa bekerja dengan mudah untuk sistem dengan *multiple* material, dimana hal ini merupakan keuntungan yang signifikan dari FEM. Untuk

fenomena atau fisika yang berbeda, perbedaan sifat-sifat material dibutuhkan. Sebagai contoh, *modulus young* dan modulus geser dibutuhkan untuk analisis tegangan solid dan struktur dimana koefisien konduktivitas termal dibutuhkan untuk analisis termal. Ada beberapa database material yang komersil yang bisa digunakan untuk material yang telah distandarisasi, namun eksperimen biasanya dibutuhkan untuk menentukan keakuratan dari sifat-sifat material yang spesial untuk digunakan pada sistem.

#### 4. *Boundary, initial, and loading conditions*

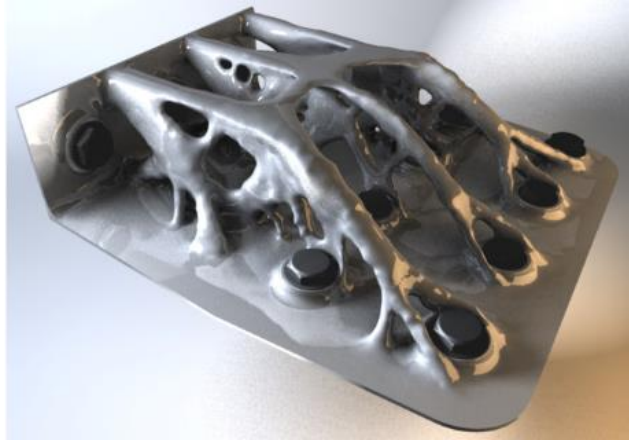
*Boundary, initial, dan loading conditions* mempunyai peran yang sangat menentukan pada simulasi. Untuk menentukan kondisi yang biasanya diselesaikan dengan mudah menggunakan *preprocessor* komersial dan juga terkadang digambarkan dengan grafik. Peneliti dapat menspesifikasikan kondisi-kondisi ini dengan identitas geometri (titik, garis atau kurva, permukaan, dan bentuk solid) atau *mesh identity (nodes, element, element edges, dan element surface)*. Kemudian, untuk mengakuratkan simulasi kondisi-kondisi ini untuk sistem rekayasa yang nyata membutuhkan pengalaman, pengetahuan, dan penilaian rekayasa yang baik.

### 2.8 Optimisasi Topologi pada *Additive manufacturing*

Menurut (Brackett, Hague, & Ashcroft, 2011), optimisasi topologi adalah pendekatan yang dapat diandalkan dalam mencari distribusi desain material yang tepat. Seringkali, optimisasi topologi memiliki bentuk yang cukup kompleks dan sulit untuk dimanufaktur. Namun dengan adanya *additive manufacturing* membuat desain sesulit apapun dapat dimanufaktur. Dengan menggunakan teknologi *additive manufacturing* juga dapat mengurangi *cost* produksi.

Pada Gambar 2.24 adalah sebuah contoh optimisasi topologi yang dibuat pada *bracket* pesawat luar angkasa. Komponen ini dimanufaktur dengan metal *Selective Laser Melting (SLM)*.





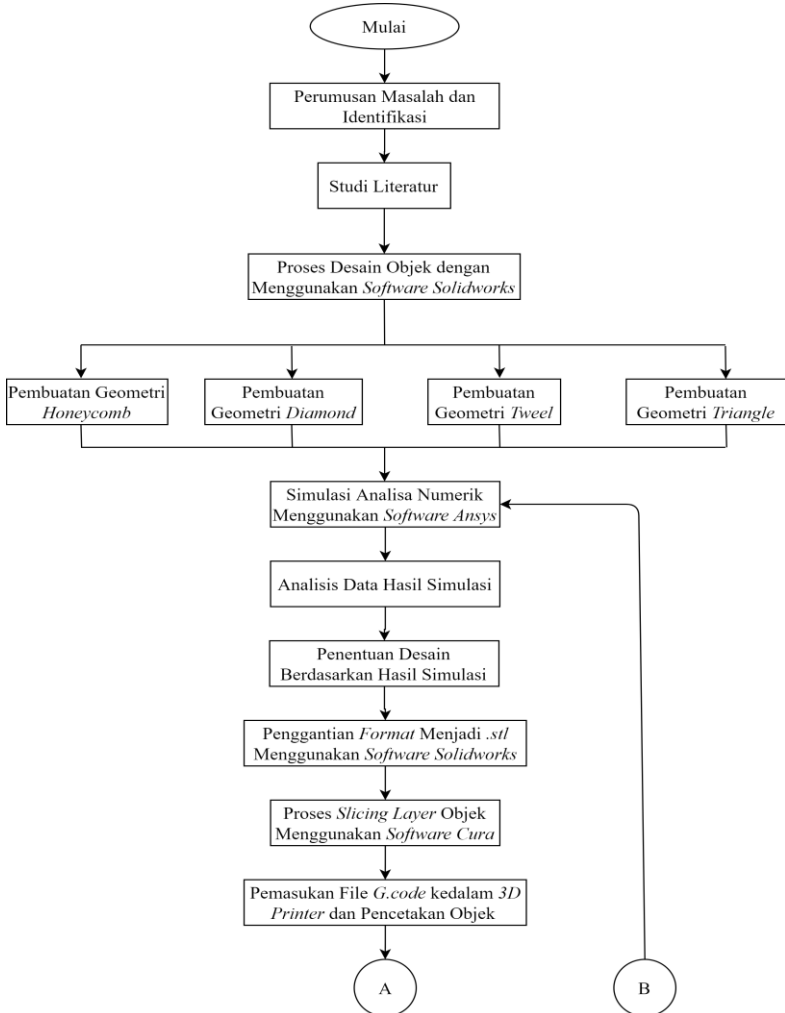
**Gambar 2. 27** Optimisasi topologi yang dibuat pada *bracket* pesawat luar angkasa dengan AM (Brackett, Hague, & Ashcroft, 2011)

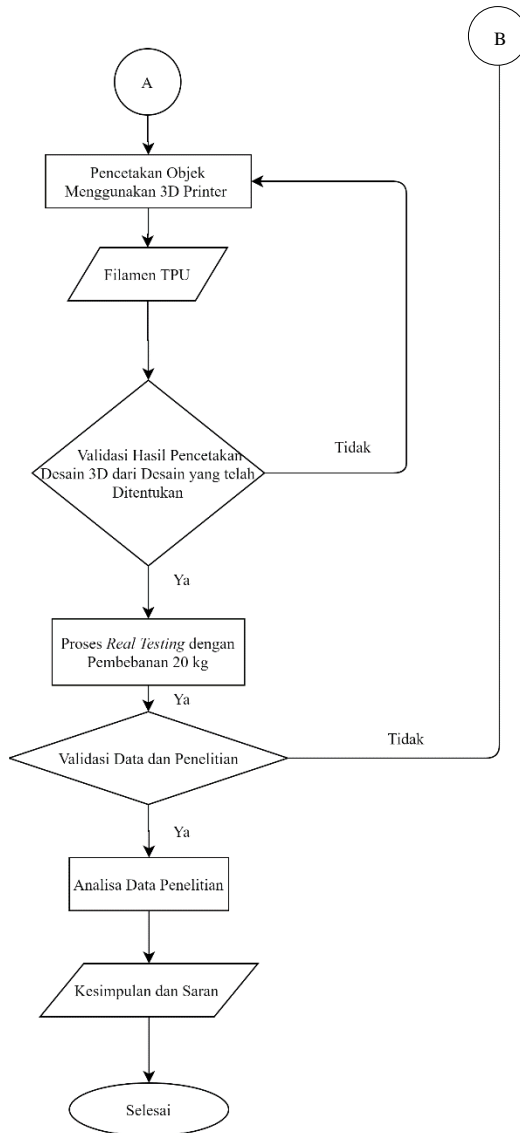
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir

Adapun diagram alir dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

## 3.2 Variabel Penelitian

Nilai-nilai variabel yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan teori tentang ban *airless* pada *balance bike* dan penelitian sebelumnya. Adapun penjabaran desain penelitian yang meliputi variabel respon dan proses.

### 3.1.1 Variabel Respon

Variabel respon merupakan variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel proses, dimana hasilnya didapatkan setelah melakukan simulasi dan validasi. Variabel respon dalam penelitian ini adalah Kekuatan (*Strength*). Kekuatan yang diharapkan mendapatkan nilai yang paling maksimum

### 3.2.2 Variabel Proses

Variabel proses adalah variabel yang nilainya ditentukan dan divariasikan dengan tujuan mendapatkan hasil dan analisis tentang pengaruh variabel proses terhadap variabel respon. Variabel proses yang dianalisis dalam penelitian ini adalah variasi desain geometri ban *airless*.

## 3.3 Spesifikasi Material

Material yang digunakan adalah *Thermoplastic polyurethane (TPU)* dan Polyactic Acid (PLA). Untuk spesifikasi yang menunjukkan material *TPU* dapat dilihat pada Tabel 3.1, Tabel 3.2 dan Tabel 3.3 di bawah ini.

**Tabel 3.1** Gambaran Umum Material *Thermoplastic polyurethane (TPU)*.

<i>Thermoplastic polyurethane (TPU)</i>	
Kategori:	<i>Polymer; Rapid Prototyping Polymer; Thermoplastic; Polyurethane, TP</i>

Deskripsi Material:	<p>Filamen <i>TPU</i> menunjukkan adhesi interlayer yang sangat baik dan reganganyang tinggi pada saat <i>break</i>. Memberikan fleksibilitas, cengkeraman, dan ketahanan abrasi.</p> <p>Aplikasi: engsel fleksibel, ikat pinggang, colokan, Gasket, sarung pelindung, overgrip, roda, Sol Sepatu, peredam getaran, kisi menyerap energi, dll.</p> <p>Definisi sumbu yang digunakan dalam tabel data properti: XY adalah arah cetak. ZX adalah membangun arah. YX adalah sumbu ortogonal ketiga.</p>
---------------------	--

**Tabel 3.2** Spesifikasi Sifat Material *Thermoplastic polyurethane (TPU)*.

<b>Physical Properties</b>	<b>Metrik</b>	<b>Keterangan</b>
<i>Density</i>	1.21 g/cc	Molded; ISO 1183
<i>Melt Flow</i>	30 - 50 g/10 min	ASTM D 1238
	@Load 2.16 kg,	
	Temperature 210 Å°C	
<b>Mechanical Properties</b>	<b>Metrik</b>	<b>Keterangan</b>
<i>Hardness, Shore A</i>	90	ASTM D 2240
<i>Tensile Strength</i>	17.0 MPa	ZX; ASTM D 412

	25.0 MPa	YX; ASTM D 412
	32.0 MPa	XY; ASTM D 412
	37.0 MPa	45°-45°; ASTM D 412
	44.0 MPa	Molded; ASTM D 412
<i>Tensile Modulus</i>	0.416 GPa	ZX; ASTM D 412
	0.520 GPa	Molded; ASTM D 412
	0.630 GPa	YX; ASTM D 412
	0.710 GPa	XY; ASTM D 412
	0.844 GPa	45°-45°; ASTM D 412
<i>100% Modulus</i>	7.00 MPa	45°-45°; ASTM D 412
	7.00 MPa	YX; ASTM D 412
	7.00 MPa	ZX; ASTM D 412
	8.00 MPa	XY; ASTM D 412
	10.0 MPa	Molded; ASTM D 412

<i>300% Modulus</i>	13.0 MPa	YX; ASTM D 412
	13.0 MPa	ZX; ASTM D 412
	14.0 MPa	XY; ASTM D 412
	14.0 MPa	45°-45°; ASTM D 412
	23.0 MPa	Molded; ASTM D 412
<b><i>Thermal Properties</i></b>	<b>Metrik</b>	<b>Keterangan</b>
<i>Vicat Softening Point</i>	128 °C	ASTM D 1525
<i>Glass Transition Temp, T<sub>g</sub></i>	-30.0 °C	Internal
<b><i>Processing Properties</i></b>	<b>Metrik</b>	<b>Keterangan</b>
<i>Nozzle Temperature</i>	240 °C	

**Tabel 3.3** Deskripsi Proses Material *Thermoplastic polyurethane (TPU)*.

<b>Descriptive Properties</b>	<b>Hasil</b>
<i>Bed Temperature, °C</i>	23-60
<i>Enclosure Temperature, °C</i>	<i>Room Temperature</i>
<i>Extrusion Temperature, °C</i>	205-250



<i>Print Settings</i>	<i>Infill: 100%; 20 mm/s, layer height: 0.3mm, extrusion multiplier: 1.05, nozzle diameter: 1.0 mm</i>
<i>Print Speed, mm/s</i>	15-30

Untuk gambaran umum, sifat dan deskripsi proses yang menunjukkan material PLA yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.4, Tabel 3.5 dan Tabel 3.6 di bawah ini.

**Tabel 3.4** Gambaran Umum Material *PolyActic Acid (PLA)*

<b><i>PLA Additive Manufacturing Filament</i></b>	
<b>Kategori:</b>	<i>Polymer; Rapid Prototyping Polymer; Renewable/Recycled Polymer; Thermoplastic; Polylactic Acid (PLA) Biopolymer</i>
<b>Deskripsi Material:</b>	<p>PLA telah dirancang khusus untuk digunakan dalam aditif manufaktur. Kekuatan tarik, modulus dan resistensi dampak dibandingkan dengan PLA standar. Suhu defleksi panas yang tinggi dari ketahanan panas yang sangat baik dan tingkat kristalisasi yang lebih cepat. Cetakan dengan sangat detail pada kecepatan tinggi.</p> <p>Definisi sumbu yang digunakan dalam tabel data properti: XY adalah arah cetak. ZX adalah membangun arah. YX adalah sumbu ortogonal ketiga.</p>

**Tabel 3. 5** Sifat Material *PolyActive Acid (PLA)*.

<b><i>Physical Properties</i></b>	<b>Metrik</b>	<b>Keterangan</b>
<i>Density</i>	1.24 g/cc	Molded; ISO 1183
<i>Melt Flow</i>	7.0 - 9.0 g/10 min	ASTM D 1238
	@Load 2.16 kg, Temperature 210 Â°C	
<b><i>Mechanical Properties</i></b>	<b>Metrik</b>	<b>Keterangan</b>
<i>Tensile Strength</i>	43.0 MPa	ZX; ASTM D 638
	51.0 MPa	YX; ASTM D 638
	61.0 MPa	XY; ASTM D 638
	66.0 MPa	Molded; ASTM D 638
<i>Tensile Modulus</i>	2.824 GPa	ZX; ASTM D 638
	3.167 GPa	YX; ASTM D 638
	3.387 GPa	XY; ASTM D 638
	3.538 GPa	Molded; ASTM D 638
<i>Flexural Strength</i>	64.0 MPa	YX; ASTM D 638

	73.0 MPa	ZX; ASTM D 638
	105 MPa	XY; ASTM D 638
	126 MPa	Molded; ASTM D 638
<i>Flexural Modulus</i>	2.307 GPa	YX; ASTM D 790
	2.696 GPa	ZX; ASTM D 790
	3.167 GPa	XY; ASTM D 790
	4.357 GPa	Molded; ASTM D 790
<i>Izod Impact, Notched</i>	0.310 J/cm	XY; ASTM D 256
	0.320 J/cm	Molded; ASTM D 256
	0.400 J/cm	YX; ASTM D 256
	0.400 J/cm	ZX; ASTM D 256
<b><i>Thermal Properties</i></b>	<b>Metrik</b>	<b>Keterangan</b>
<i>Melting Point</i>	165 - 180 Â°C	ASTM D 3418

<i>Maximum Service Temperature, Air</i>	70.0 Â°C	<i>Heat deflection temperature, load unknown; ASTM D 648</i>
<i>Glass Transition Temp, Tg</i>	55.0 - 60.0 Â°C	ASTM D 3418
<b>Processing Properties</b>	<b>Metrik</b>	<b>Keterangan</b>
<i>Nozzle Temperature</i>	235 Â°C	

**Tabel 3. 6** Deskripsi Proses Material *PolyActic Acid (PLA)*.

<b>Descriptive Properties</b>	
<i>Bed Temperature, Â°C</i>	23-60
<i>Enclosure Temperature, Â°C</i>	<i>Room Temperature</i>
<i>Extrusion Temperature, Â°C</i>	190-240
<i>Print Settings</i>	<i>Infill: 100%; 30 mm/s, layer height: 0.3mm, extrusion multiplier: 1.0, nozzle diameter: 1.0 mm</i>
<i>Print Speed, mm/s</i>	30-70

### 3.4 Peralatan Penelitian

Terdapat beberapa peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 1. Perangkat Komputer

Terdapat perangkat komputer yang digunakan yakni Laptop HP Pavilion dengan spesifikasi RAM 8 GB, CPU Intel ® Core i5 6<sup>th</sup> generation, dan Windows 10 Home x64 yang digunakan untuk menggambar desain dan juga digunakan untuk melakukan simulasi analisis statis dari ban *airless*.

## 2. Piranti Lunak

Terdapat tiga piranti lunak yang digunakan dalam penelitian ini yakni *Solidworks* 2018, *Ansys Student* dan *Ultimaker Cura 4.4*. Dalam membuat desain digunakan *Solidworks*, kemudian untuk melakukan simulasi numerik digunakan *Ansys 19.1* dan *Ultimaker Cura 4.4* berperan sebagai *slicing software* untuk proses cetak tiga dimensi. Software yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.2 di bawah ini.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 3.2** Software yang digunakan (a) *Solidworks* (b) *Ansys Academic* (c) *Cura 4.0*

## 3. Mesin 3D printer

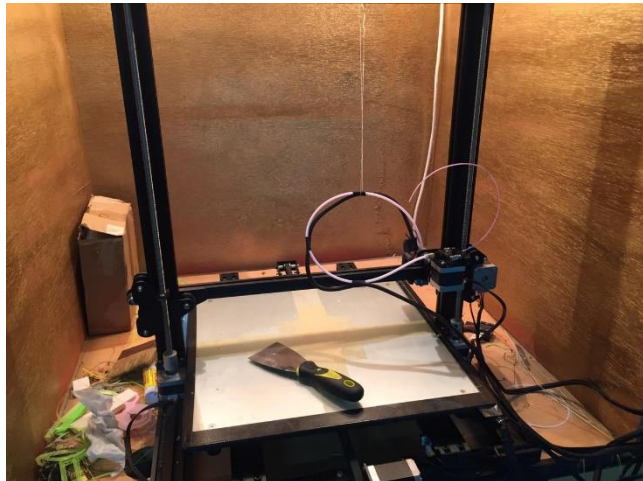
*3D printer* yang digunakan untuk mencetak objek tiga dimensi yakni *Crealty3D CR-10 S5* dengan spesifikasi

---

ukuran cetak objek sebesar 500x500x500 mm, akurasi cetak 0.1 mm, kecepatan cetak 80-200 mm/s serta dapat mencetak objek dengan bahan dari jenis PLA, copper, wood, carbon fiber dan lain-lainnya. Mesin *3D printer* yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.3 di bawah ini.



(a)



(b)

**Gambar 3.3** Mesin 3D Printer yang digunakan dalam Penelitian ini (a) Creality CR-10 Pro V2 (b) Creality CR 10 S4

#### 4. Jangka Sorong, Mistar dan Meteran

Digunakan untuk mengukur akurasi dimensi objek hasil cetakan dengan desain objek pada komputer dan juga digunakan untuk mengukur presisi selama proses berlangsung.

#### 5. Tool Kit

Digunakan sebagai peralatan untuk menggabungkan antar *part* sepeda lainnya.

#### 6. Beban 20 kg

Digunakan untuk pembebanan real testing yang dilakukan secara statis.

### 3.5 Prosedur Penelitian

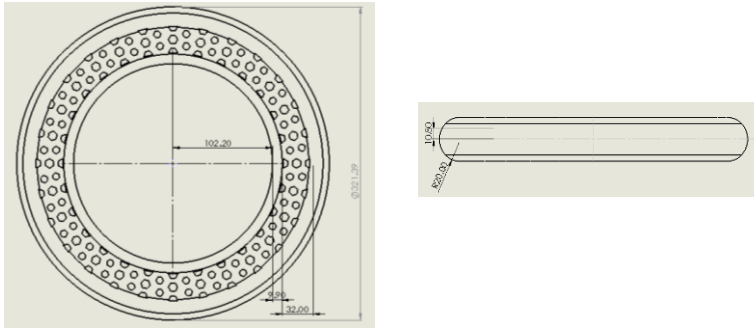
Berdasarkan diagram alir penelitian pada Gambar 3.1, tahapan – tahapan dalam penelitian akan dijelaskan sebagai berikut.

#### 1. Pembuatan Geometri

Pada penelitian ini, objek terlebih dahulu digambar desain tiga dimensinya menggunakan *software Computer Aided Design (CAD)* yaitu *solidwork* dengan jenis variasi geometri yang berbeda-beda dan disimpan dengan format *.sldprt*. Berdasarkan Tabel 2.3 mengenai standar ukuran ban sepeda secara umum. Ban *airless balance bike* memiliki diameter sebesar 305 mm. Kemudian dimensi geometri ban *airless* pada *balance bike* disesuaikan dengan standar ban sepeda secara umum yang ditunjukkan pada Tabel 3.7 di bawah ini. Dalam penelitian ini, terdapat empat jenis variasi geometri yaitu *honeycomb*, *triangle*, *tweel* dan *diamond* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.8 di bawah ini.

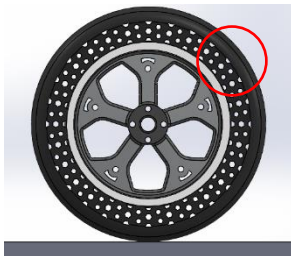


**Tabel 3.7** Dimensi Geometri ban *airless balance bike*  
**Tampak Depan** **Tampak Samping**



**Tabel 3.8** Variasi geometri ban *airless balance bike*.

**Gambar** **Geometri** **Keterangan**



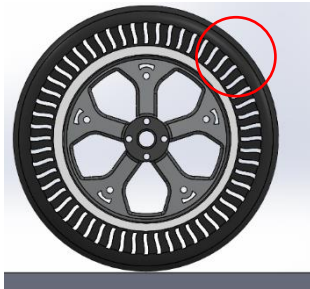
*Honeycomb*



*Triangle*



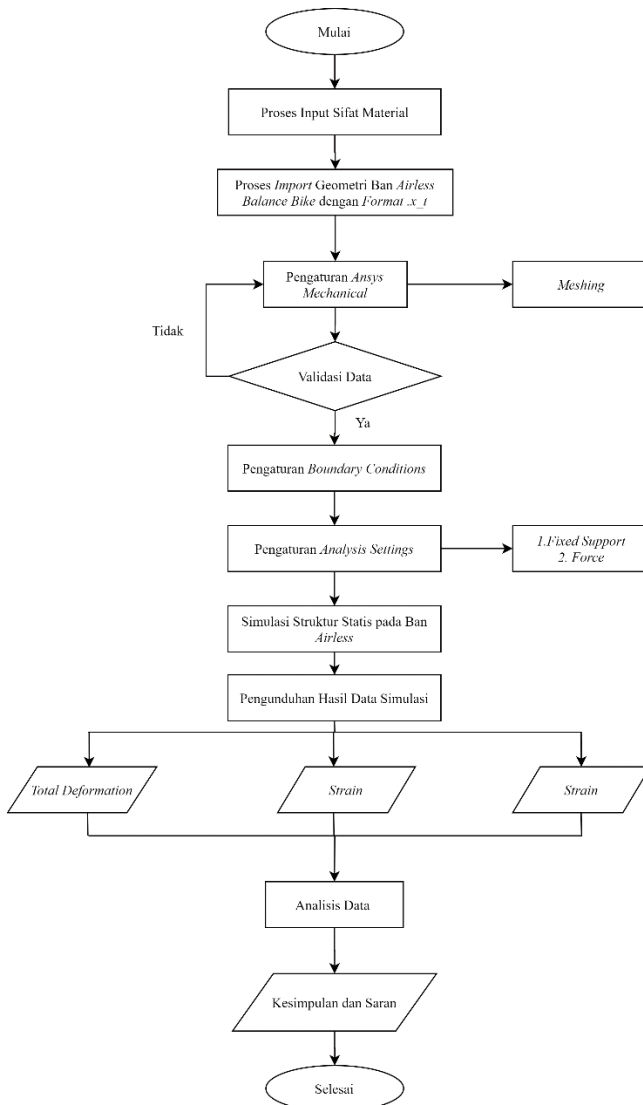
*Diamond*

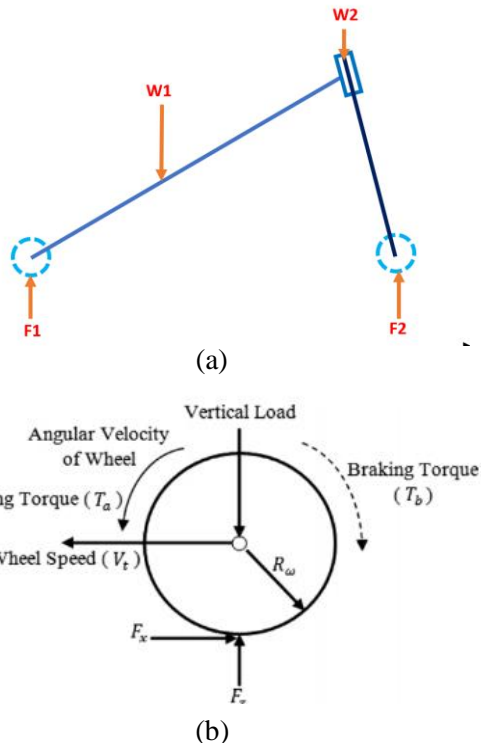


*Tweel*

## 2. Pelaksanaan Analisis Numerik

Desain tiga dimensi dengan variasi geometri yang berbeda kemudian disimulasikan menggunakan *software ANSYS* dengan metode Analisis struktur statis dengan rangkaian proses yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 di bawah ini. Setelah dilakukan Analisis hasil dari simulasi, desain tiga dimensi yang memiliki hasil terbaik akan dipilih sebagai desain yang ditetapkan untuk dicetak dengan kriteria memiliki *stress* dan *strain* yang tinggi serta massa objek yang ringan. Penentuan titik pembebanan statis diletakkan sesuai dengan *free body* diagram pada sepeda yang diilustrasikan pada Gambar 3.5.

**Gambar 3. 4** Diagram alir simulasi.

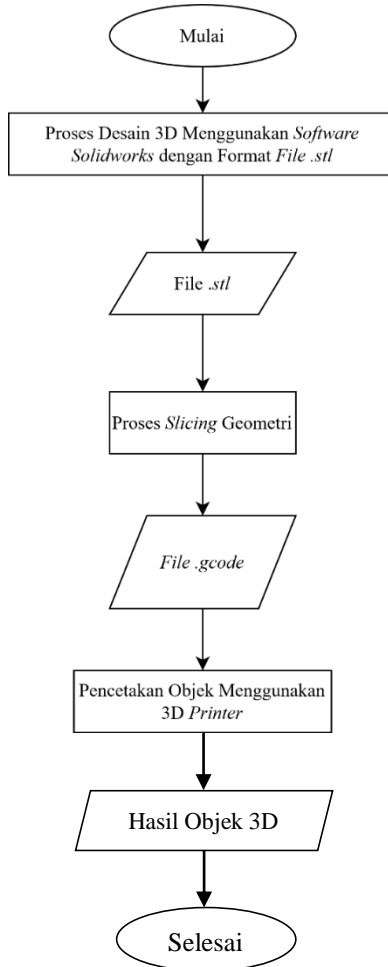


**Gambar 3.5** *Free body diagram.* (a) Sepeda (b) Ban

### 3. *Printing Preparation*

Objek tiga dimensi dengan ukuran yang telah ditentukan pada proses sebelumnya kemudian diubah format nya menjadi *.stl* menggunakan *software Solidworks*. Selanjutnya *file* objek tiga dimensi tersebut dibuka dengan *software Cura* yang digunakan untuk proses *slicing layers* dimana secara otomatis jumlah lapisan dari objek tiga dimensi yang akan dicetak dapat diketahui jumlahnya dan dapat ditentukan jumlahnya dengan mengatur ketebalan dari setiap lapisannya.

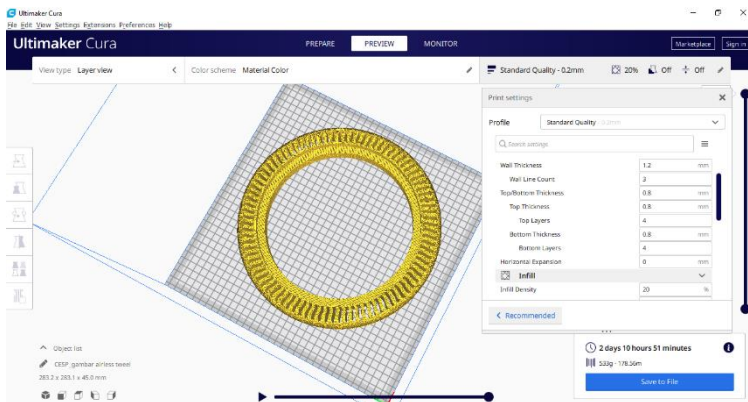
Diagram alir yang menunjukkan proses *printing preparation* ditunjukkan pada Gambar 3.6 di bawah ini.



**Gambar 3. 6** Diagram alir proses 3D *printing*.

#### 4. Pencetakan 3D

Proses *slicing* geometri yang telah diproses pada *software* Cura kemudian dicetak menggunakan *3D printer* dengan panjang, massa filamen, durasi pencetakan serta ketebalan *thickness* per *layer* yang telah diatur menggunakan *software* Cura seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7 di bawah ini.



**Gambar 3.7** *Print Setting* menggunakan *software* Cura.

#### 5. Real Testing

Hasil cetak objek tiga dimensi diuji coba untuk pembebanan dengan benda yang memiliki bobot 20 kg.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil dari Proses *Modelling* Geometri

Terdapat beberapa komponen yang digambarkan sebelum dilakukan proses simulasi yaitu penggambaran variasi ban yang akan dianalisis, *rimbalance bike* dan papan.

Adapun hasil dari hasil dari *modelling* geometri dengan menggunakan *software solidworks* adalah sebagai berikut.

1. Variasi ban *airless* beserta dimensi

Variasi ban *airless* pada penelitian kali ini terdapat empat macam variasi desain yang ditunjukkan sebagai berikut.

a. *Honeycomb*

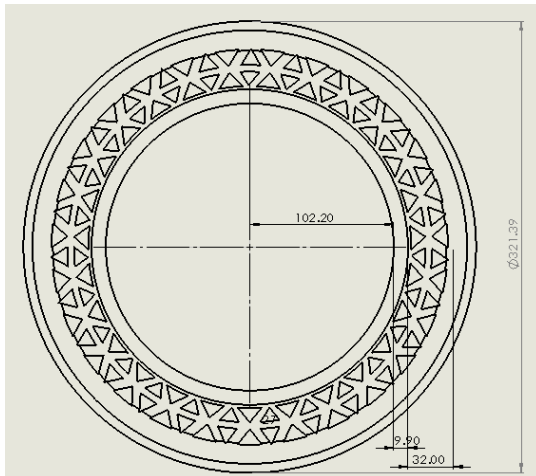
Desain pertama dari variasi ban *airless* yang akan dianalisis yaitu dengan variasi *honeycomb*. Untuk dimensi dari geometri ban *airless* dengan variasi desain *honeycomb* dapat ditunjukkan pada Gambar 4.1 di bawah ini.



**Gambar 4. 1** Dimensi Ban *Honeycomb* Tampak Depan

b. *Triangle*

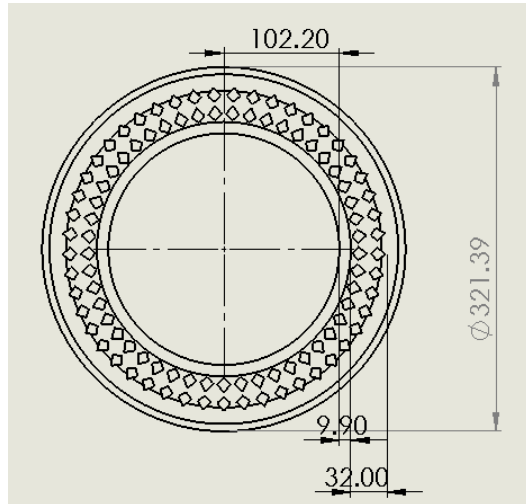
Desain kedua dari variasi ban *airless* yang akan dianalisis yaitu dengan variasi *triangle*. Untuk dimensi dari geometri ban *airless* dengan variasi desain *triangle* dapat ditunjukkan pada Gambar 4.2 di bawah ini.



**Gambar 4. 2** Dimensi Ban *Triangle* Tampak Depan

c. *Diamond*

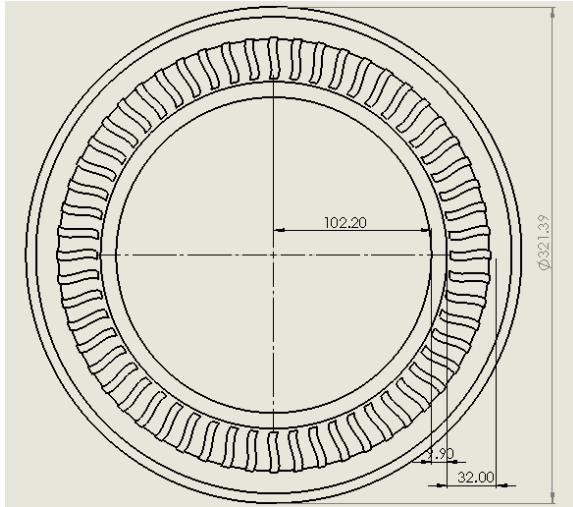
Desain pertama dari variasi ban *airless* yang akan dianalisis yaitu dengan variasi *diamond*. Untuk dimensi dari geometri ban *airless* dengan variasi desain *diamond* dapat ditunjukkan pada Gambar 4.3 di bawah ini.



**Gambar 4. 3** Dimensi Ban *Diamond* Tampak Depan

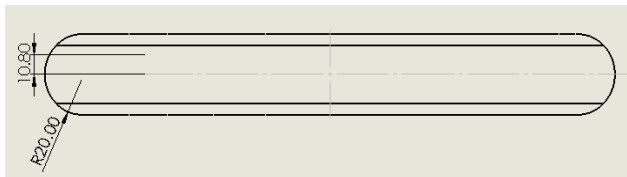
d. *Tweel*

Desain pertama dari variasi ban *airless* yang akan dianalisis yaitu dengan variasi *tweel*. Untuk dimensi dari geometri ban *airless* dengan variasi desain *tweel* dapat ditunjukkan pada Gambar 4.4 di bawah ini.



**Gambar 4. 4** Dimensi Ban *Tweel* Tampak Depan

Di samping gambar-gambar berikut terdapat dimensi tampak samping yang identik sama yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 sebagai berikut.

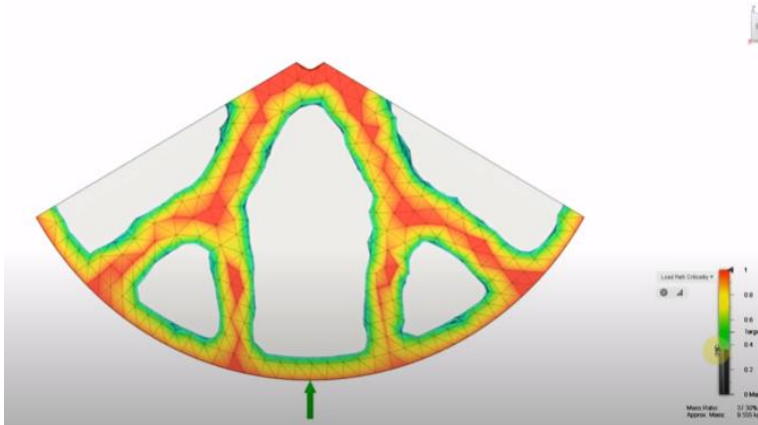


**Gambar 4. 5** Dimensi Variasi Ban Tampak Samping

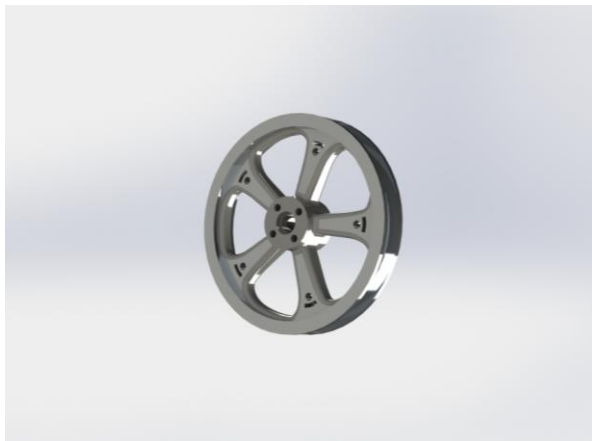
## 2. *Rim*balance bike

Penggunaan *rim* dengan desain di bawah ini berdasarkan optimisasi topologi menggunakan *software* fusion 360 menggunakan *generative design* yang ditunjukkan pada Gambar 4.6. Proses optimisasi yang dilakukan bertujuan untuk mengoptimalkan distribusi *stress* yang terjadi pada *rim* tersebut. Untuk hasil desain

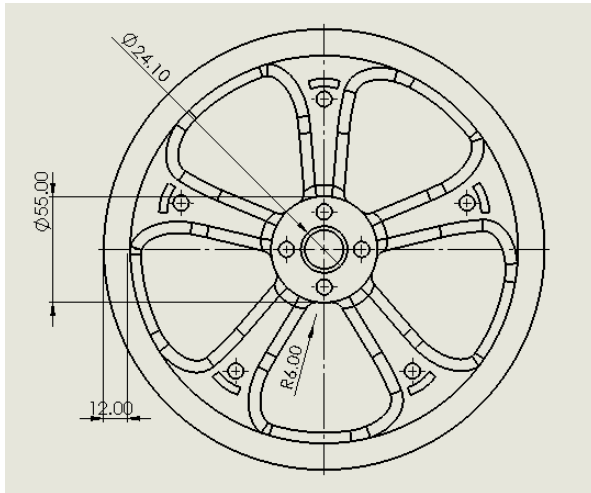
dan dimensi dari *rim* tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 di bawah ini.



**Gambar 4.6** Optimisasi topologi yang dilakukan untuk *rim* dengan menggunakan Fusion 360.



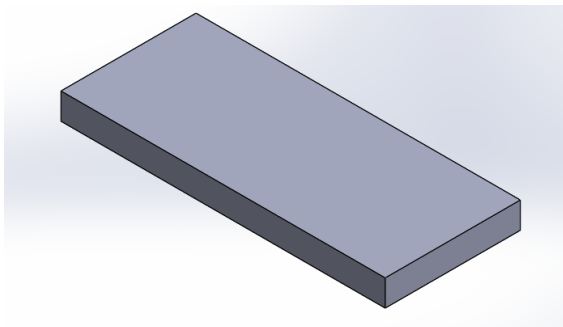
**Gambar 4.7** Gambar Tampak Isometrik *Rim* balance bike Menggunakan Software Solidworks



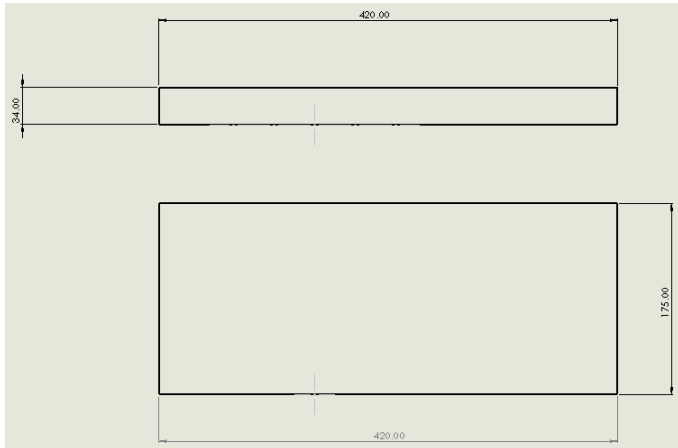
**Gambar 4. 8** Dimensi Gambar Tampak Depan *Rim*balance bike Menggunakan *Software Solidworks*

### 3. Papan

Penggunaan papan berujung sebagai kontak dasar simulasi dengan permukaan ban. Papan dapat ditunjukkan pada Gambar 4.9 di bawah ini. Kemudian dimensi dari papan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.10.



**Gambar 4.9** Tampak Papan Menggunakan *Software Solidworks*



**Gambar 4.10** Dimensi Papan Menggunakan *Software Solidworks*

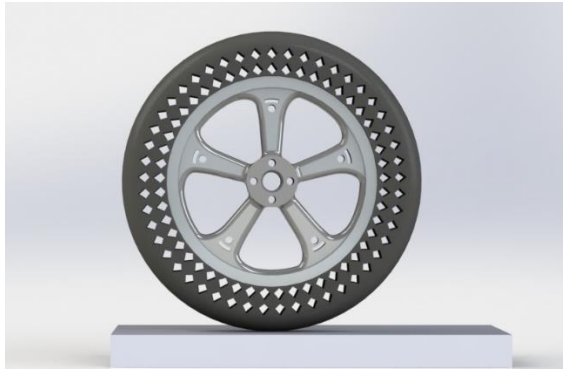
#### 4. Hasil dari Proses *Assembly Part*

*Assembly* adalah sebuah proses penggabungan dua atau lebih part sebagai satu kesatuan.

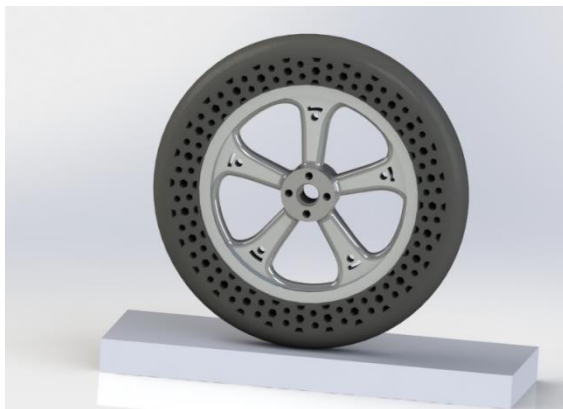
Adapun hasil dari hasil dari proses *rendered assembly part* dengan menggunakan *software solidworks* adalah ditunjukkan pada Gambar 4.11 sebagai berikut.



(a)

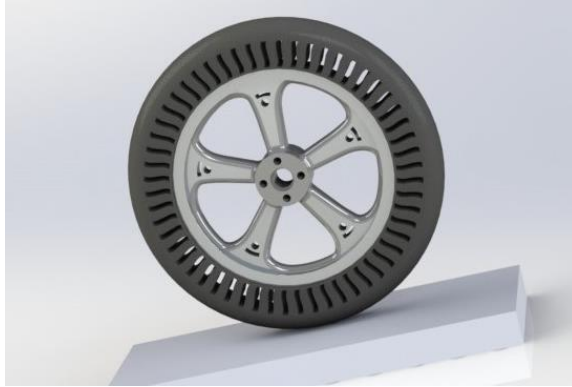


(b)



(c)





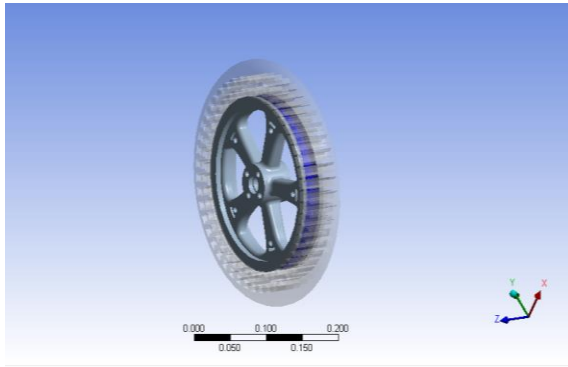
(d)

**Gambar 4.11** Hasil *rendered assembly* (a) *Triangle* (b) *Diamond* (c) *Honeycomb* (d) *Tweel*

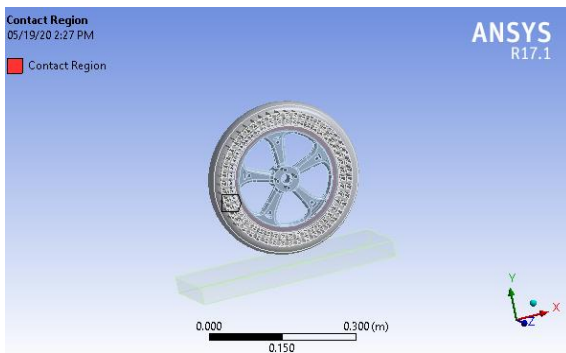
#### 4.2 Hasil dari Proses Simulasi Analisis Statis dengan Menggunakan *Software Ansys*

Simulasi analisis statis yang dilakukan dengan *ansys* pada penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kekuatan terbaik dari variasi desain yang akan dianalisis berdasarkan solusi yang ditawarkan oleh *ansys* yaitu pada *equivalent von mises stress*, *strain* dan *total deformation* yang terjadi.

Komponen pertama dalam tahap simulasi ditunjukkan pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13 yaitu *contact* yang terjadi pada proses *assembly* yang telah dikonversi kedalam *Ansys* dengan format file *Parasolid* (*\_xt*).

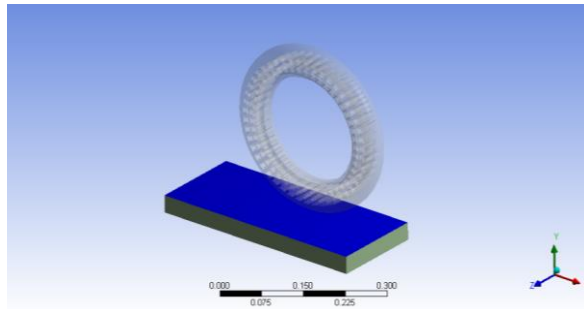


(a)

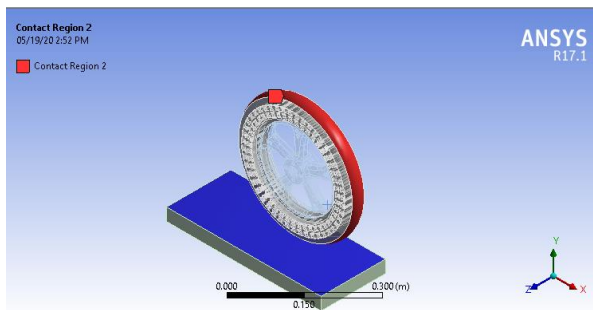


(b)

**Gambar 4.12** *View checking* pada *contact* pertama yang terjadi pada geometri: (a) *Target View Body* (b) *Contact Region*



(a)



(b)

**Gambar 4.13** *View checking* pada *contact* kedua yang terjadi pada geometri: (a) *Target View Body* (b) *Contact Region*

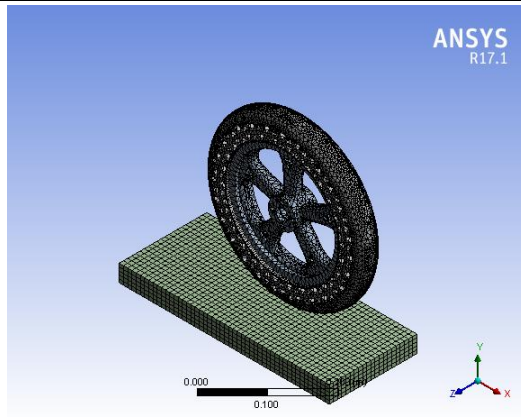
Komponen selanjutnya yang didapatkan dari *software* simulasi yaitu proses *meshing* yang dilakukan terhadap geometri yang akan dianalisis. Pada penelitian kali ini proses *meshing* dilakukan dengan berdasarkan ukuran *span angle center* yang tersedia di Ansys Mechanical. *Span angle center* memiliki opsi berupa *coarse*, *medium*, dan *fine*. Namun pada penelitian kali ini menggunakan *fine span angle center* untuk melakukan proses

*meshing*. Hal ini dikarenakan hasil dari perbandingan antara coarse, medium dan fine span angle centre menunjukkan fine mshing menunjukkan data yang lebih akurat dibandingkan yang lainnya. Pada Tabel 4.1 menunjukkan jumlah *node* dan element pada tiap variasi desain berdasarkan *span angle center*.

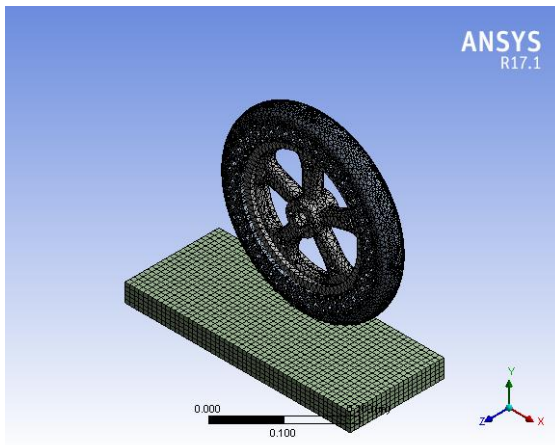
**Tabel 4.1** Jumlah *node* dan element pada tiap variasi desain berdasarkan *span angle center*.

Geometri	Span Angle Center	Node	Element
Triangle	Coarse	35553	17386
	Medium	41513	20700
	Fine	71444	37412
Honeycomb	Coarse	53005	27897
	Medium	59034	31283
	Fine	89754	48385
Tweel	Coarse	35795	17702
	Medium	41720	20971
	Fine	74891	39587
Diamond	Coarse	33873	17291
	Medium	39726	20506
	Fine	69558	37130

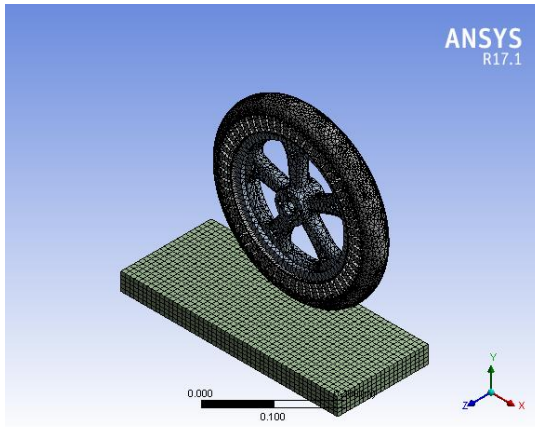
Dalam proses *meshing* yang dilakukan dalam penelitian ini terdapat dua gambar proyeksi dari tampak depan dan tampak isometrik variasi ban yang akan dianalisis yang ditunjukkan pada Gambar 4.14 dan Gambar 4.15 sebagai berikut.



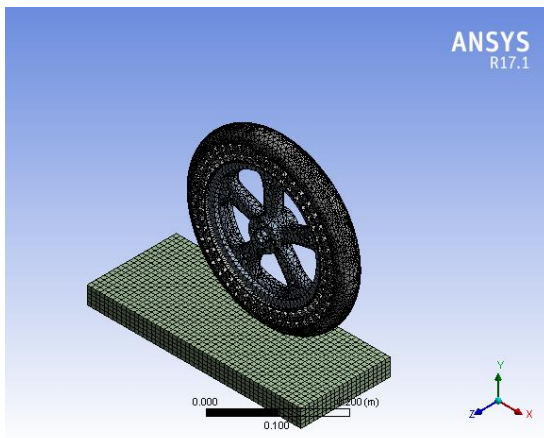
(a)



(b)

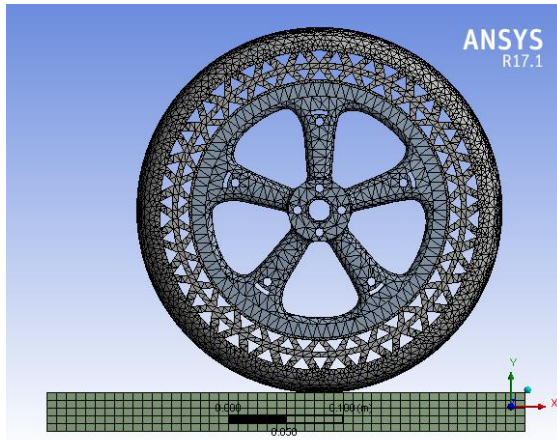


(c)

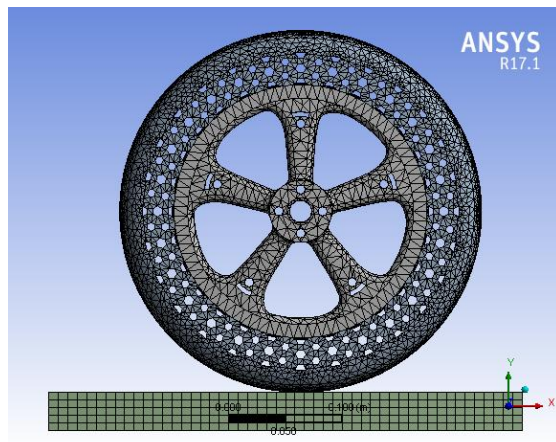


(d)

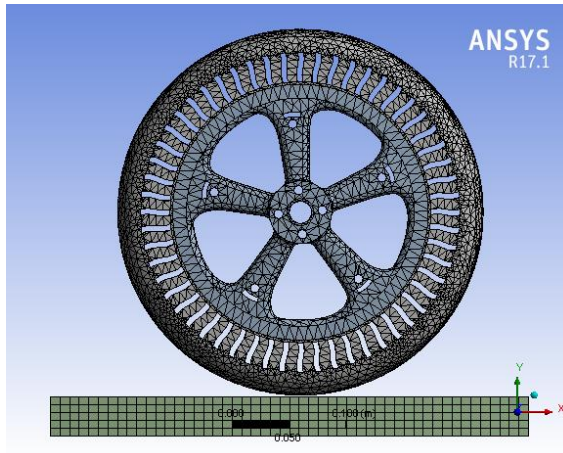
**Gambar 4. 14** Hasil *Meshing* Tampak *Isometric*. (a) *Ban Airless Triangle*, (b) *Ban Airless Honeycomb*, (c) *Ban Airless Tweel*, (d) *Ban Airless Diamond*.



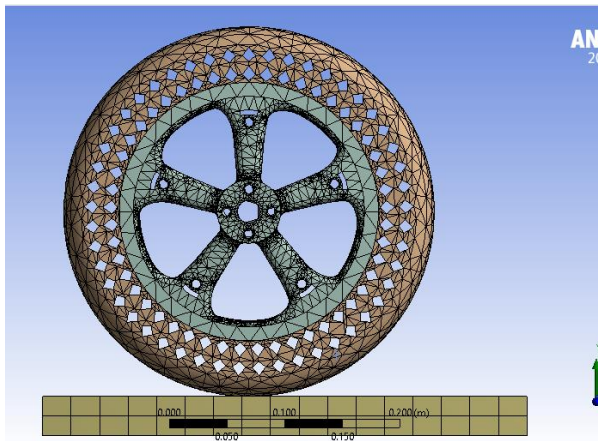
(a)



(b)



(c)



(d)

**Gambar 4.15** Hasil *Meshing* Tampak Depan. (a) *Ban Airless Triangle*, (b) *Ban Airless Honeycomb*, (c) *Ban Airless Tweel*, (d) *Ban Airless Diamond*.



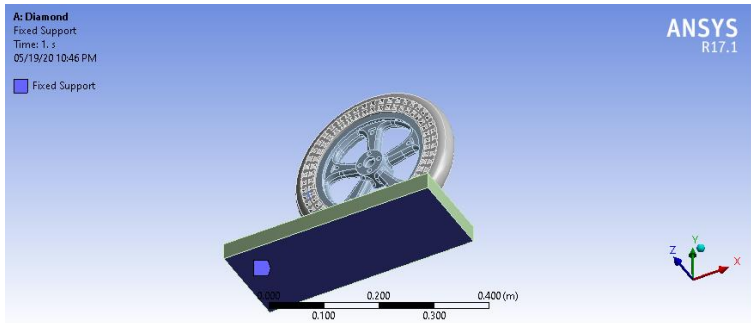
Selanjutnya dalam tahap simulasi dilanjutkan dengan proses analisis statis dengan menentukan *analysis setting*, meng-*input* letak dan besarnya pembebanan (*Force*) dan menentukan letak *fixed support*.

Untuk *analysis setting* yang digunakan pada penelitian ini yaitu mengaturnya seperti Gambar 4.16 yang ditunjukkan sebagai berikut.

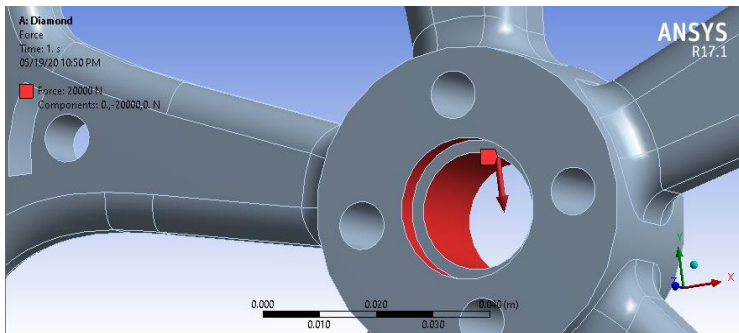
Details of "Analysis Settings"	
<b>Step Controls</b>	
Number Of Steps	2.
Current Step Number	1.
Step End Time	1. s
Auto Time Stepping	On
Define By	Substeps
Initial Substeps	20.
Minimum Substeps	20.
Maximum Substeps	100.
<b>Solver Controls</b>	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	On
Inertia Relief	Off

**Gambar 4.16** *Analysis Setting* yang Digunakan dalam Proses Simulasi

Dalam melakukan proses simulasi pada penelitian ini *fixed support* ditunjukkan pada Gambar 4.17 di bawah ini.



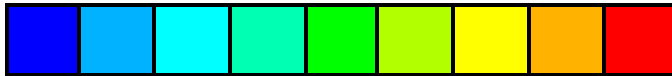
**Gambar 4. 17** Proses input letak *fixed support*



**Gambar 4. 18** Proses input letak dan besarnya pembebanan (*Force*).

Dalam penelitian ini pendekatan secara numerik telah dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga untuk mengamati pengaruh bentuk geometri dan material filamen *Polyactic Acid (PLA)* dan *Thermoplastic polyurethane (TPU)* terhadap kekuatan dan berat dari ban *airless balance bike*. Simulasi dilakukan menggunakan *software* berbasis metode elemen hingga yaitu *ANSYS Workbench Mechanical R19.3*. Pada *Ansys Wokbench Mechanical R19.3* terdapat penambahan material yang disediakan oleh *Granta Design Material (GDM)* khusus untuk menyediakan material material yang memiliki keterkaitan dengan *additive manufacturing*. Gambar 4.19 menampilkan

kemungkinan lokasi terjadinya konsentrasi tegangan dengan spektrum warna. Perbedaan warna menunjukkan indikasi nilai tegangan yang mungkin terjadi pada titik-titik atau area tertentu. Warna paling kiri yaitu biru menandakan nilai terendah, apabila semakin ke kanan nilainya akan semakin besar dan berwarna merah apabila mencapai nilai maksimum. Kemudian material *properties* dapat ditinjau pada Tabel 3.2.

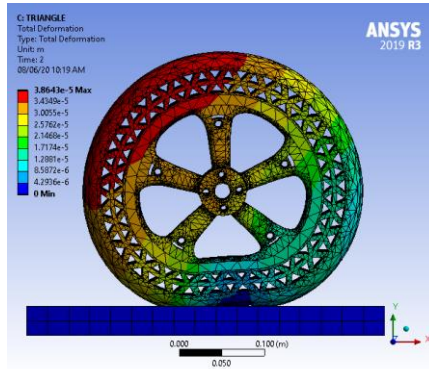


**Gambar 4. 19** Spektrum warna nilai tegangan

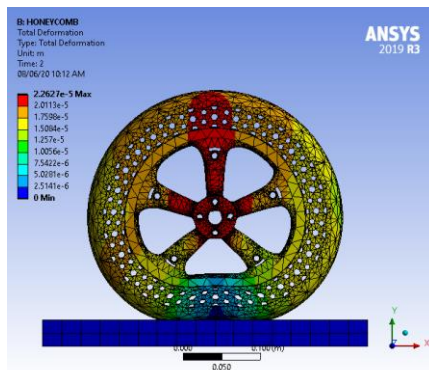
Dalam simulasi ini menggunakan perhitungan tegangan berdasarkan kriteria von Mises. Von Mises (1913) menyatakan bahwa akan terjadi luluh bilamana invarian kedua deviator tegangan melampaui harga kritis tertentu. Dengan kata lain luluh akan terjadi pada saat energi distorsi atau energi regangan geser dari material mencapai suatu nilai kritis tertentu. Secara sederhana dapat dikatakan bahwa energi distorsi adalah bagian dari energi regangan total per unit volume yang terlibat di dalam perubahan bentuk. Dalam ilmu material dan teknik, kriteria luluh von Mises dapat juga diformulasikan dalam von Mises *stress* atau *equivalent tensile stress*, nilai tegangan skalar dapat dihitung dari tensor tegangan. Dalam kasus ini, material dikatakan mulai luluh ketika tegangan von Mises mencapai nilai kritis yang diketahui sebagai *yield strength*. Tegangan von Mises digunakan untuk memprediksi tingkat keluluhan material terhadap kondisi pembebanan dari hasil pengujian tarik simpul uniaksial (Atmojo, 2012).

#### 4.2.1 Hasil Simulasi Statis pada Geometri Ban Airless berdasarkan *Total Deformation*

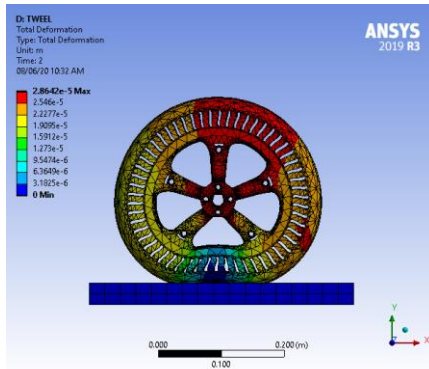
Berikut merupakan hasil simulasi statis pada ban airless dengan *output total deformation* yang ditunjukkan pada Gambar 4.20 di bawah ini.



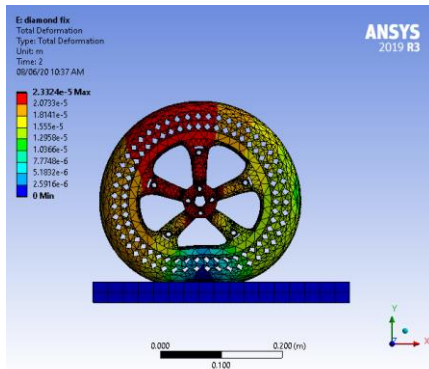
(a)



(b)



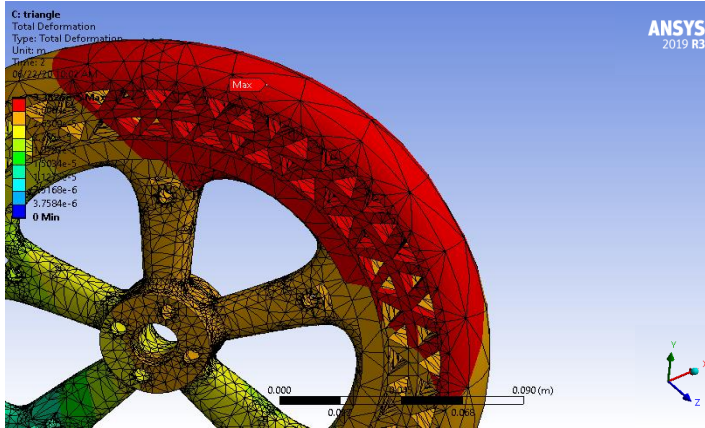
(c)



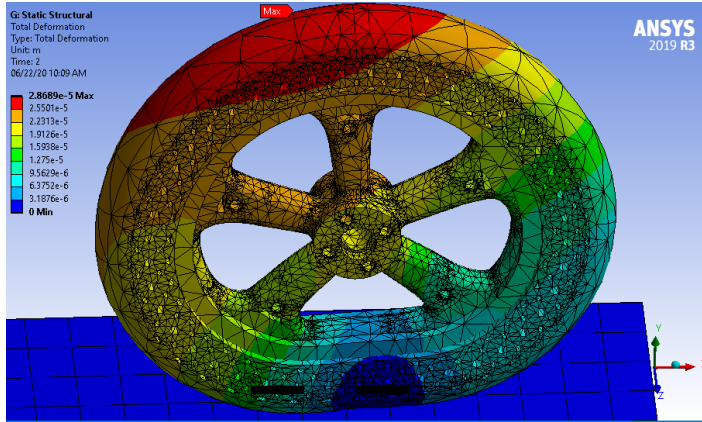
(d)

**Gambar 4. 20** Hasil Simulasi Statis Berdasarkan *Total Deformation* Pada Ban Airless (a) *Triangle* (b) *Honeycomb* (c) *Tweel* dan (d) *Diamond*

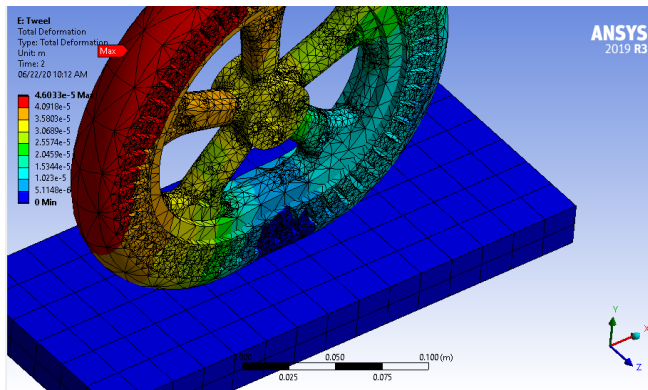
Berikut merupakan lokasi maksimum terjadinya total deformation yang ditunjukkan pada Gambar 4.21 dibawah ini.



(a)



(b)



(c)

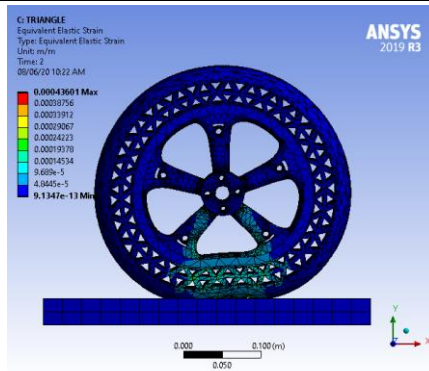


(d)

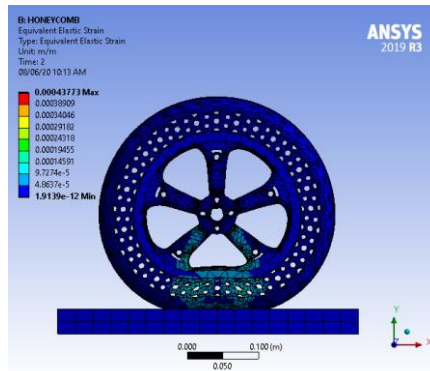
**Gambar 4. 21** Lokasi Maksimum *Total Deformation* Pada Ban *Airless* (a) *Triangle* (b) *Honeycomb* (c) *Tweel* dan (d) *Diamond*

#### 4.2.1 Hasil Simulasi Statis pada Geometri Ban *Airless* berdasarkan *Equivalent Elastic Strain*

Berikut merupakan hasil simulasi statis pada ban *airless* dengan *output equivalent elastic strain* yang ditunjukkan pada Gambar 4.22 di bawah ini.

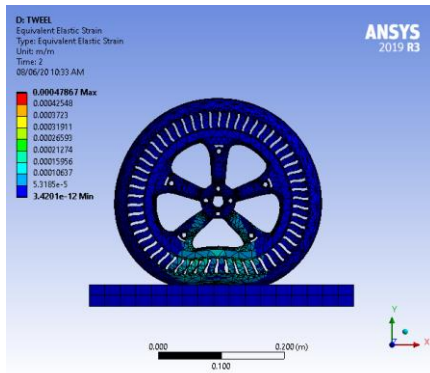


(a)

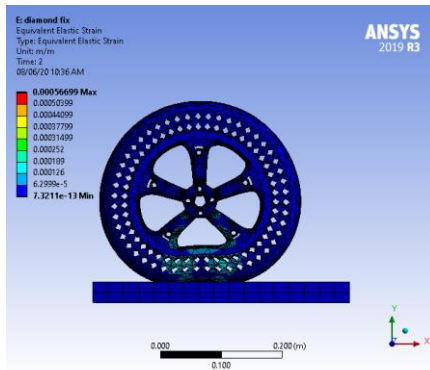


(b)





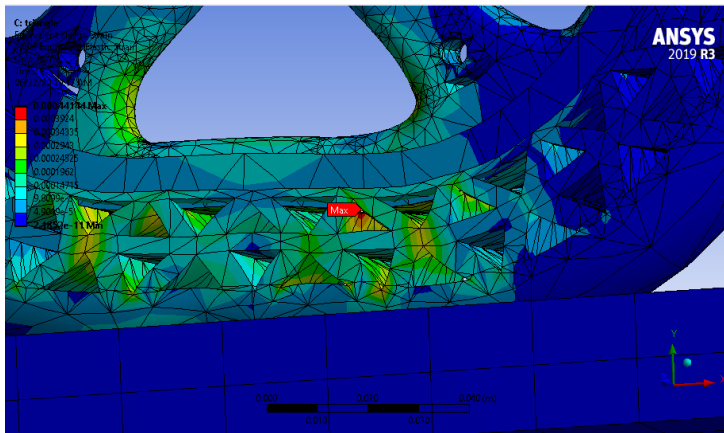
(c)



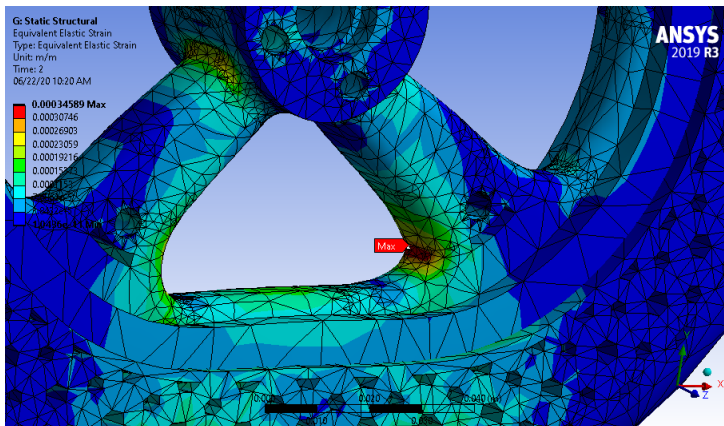
(d)

**Gambar 4.22** Hasil Simulasi Statis Berdasarkan *Equivalent Elastic Strain* pada Ban Airless (a) *Triangle* (b) *Honeycomb* (c) *Tweel* dan (d) *Diamond*

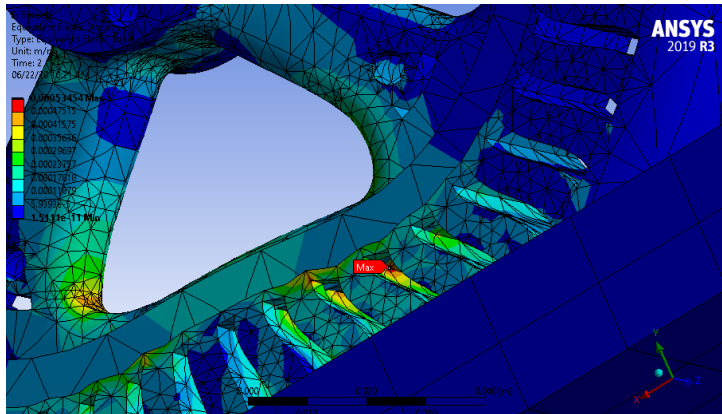
Berikut merupakan lokasi maksimum terjadinya *Equivalent Elastic Strain* yang ditunjukkan pada Gambar 4.23 dibawah ini.



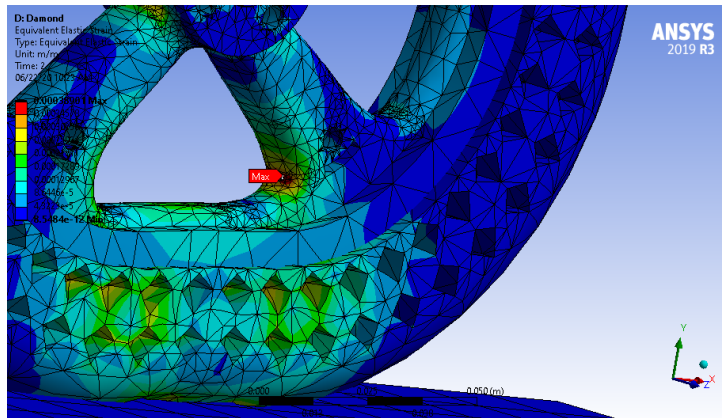
(a)



(b)



(c)

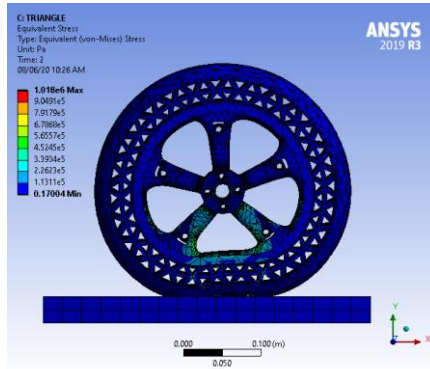


(d)

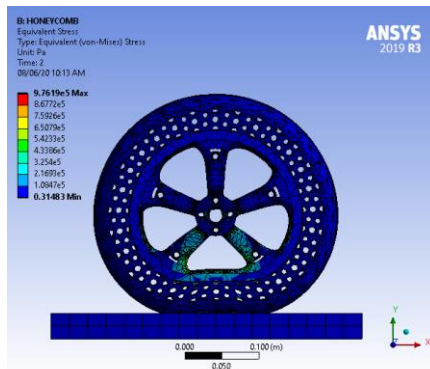
**Gambar 4. 23** Lokasi Maksimum *Equivalent Elastic Strain* Pada Ban *Airless* (a) *Triangle* (b) *Honeycomb* (c) *Tweel* dan (d) *Diamond*

#### 4.2.1 Hasil Simulasi Statis pada Geometri Ban Airless berdasarkan *Equivalent Stress*

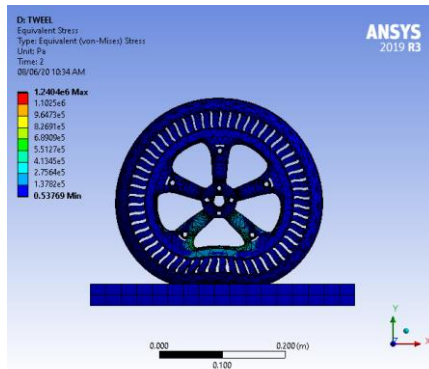
Berikut merupakan hasil simulasi statis pada ban airless dengan *output equivalent stress* yang ditunjukkan pada Gambar 4.24 di bawah ini.



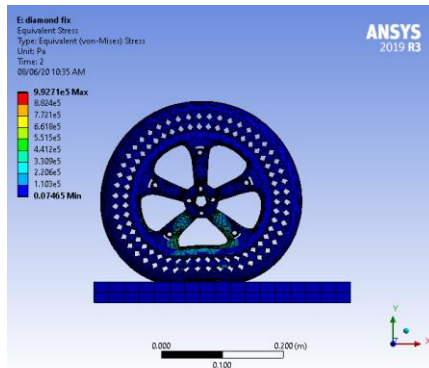
(a)



(b)



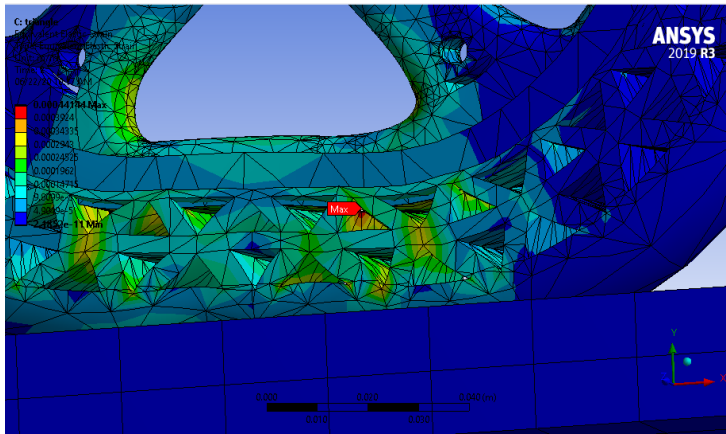
(c)



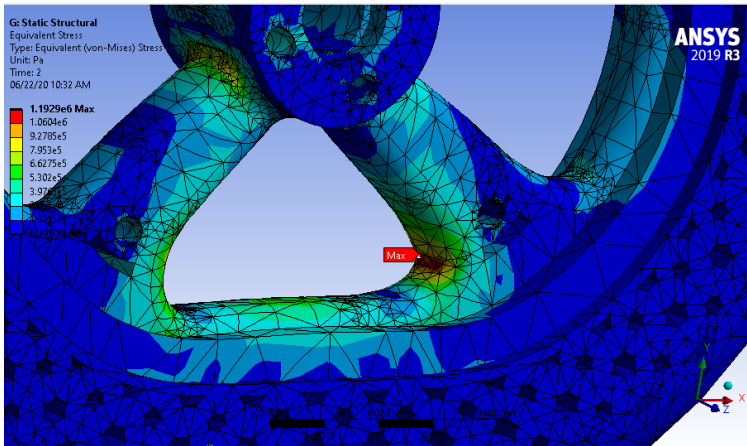
(d)

**Gambar 4.24** Hasil Simulasi Statis Berdasarkan *Equivalent Stress* Ban Airless (a) *Triangle* (b) *Honeycomb* (c) *Tweel* dan (d) *Diamond*

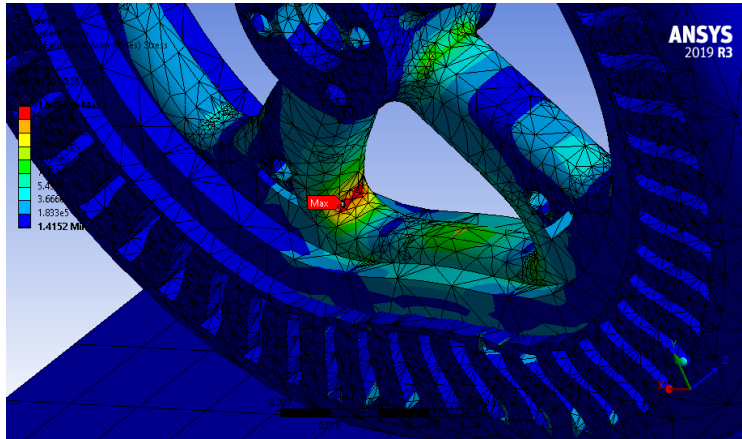
Berikut merupakan lokasi maksimum terjadinya *Equivalent Stress* yang ditunjukkan pada Gambar 4.25 dibawah ini.



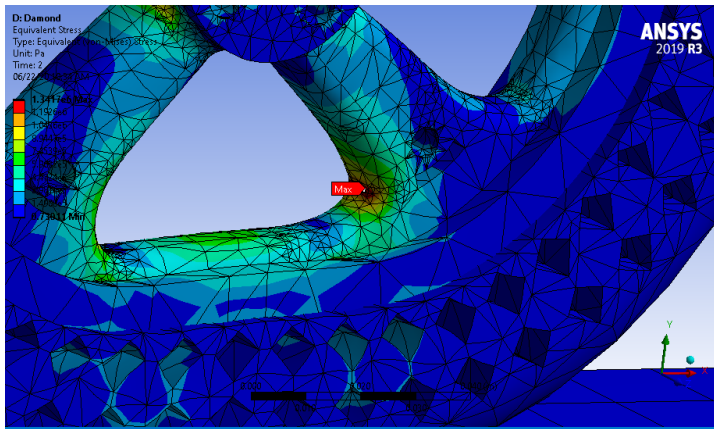
(a)



(b)



(c)



(d)

**Gambar 4. 25** Lokasi Maksimum *Equivalent Stress* Pada Ban *Airless* (a) *Triangle* (b) *Honeycomb* (c) *Tweel* dan (d) *Diamond*

---

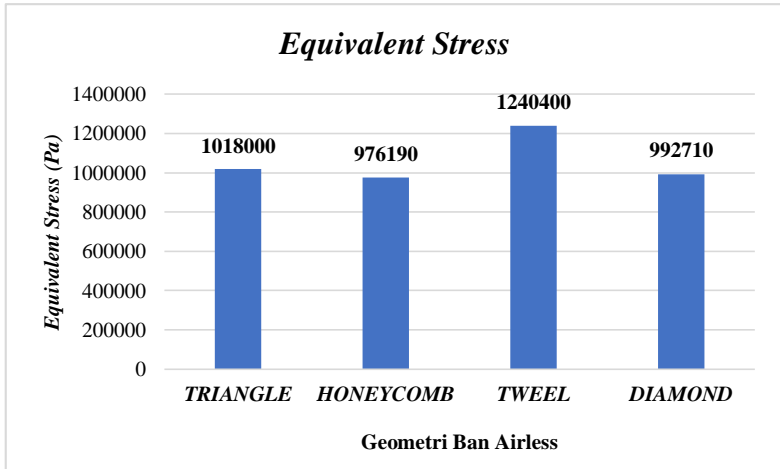
### 4.3 Hasil Analisis Bentuk Geometri Terhadap Kekuatan

Simulasi statis pada ban *airless balance bike* dengan bentuk geometri yang berbeda yaitu *honeycomb*, *tweel*, *triangle* dan *diamond* telah dilakukan dan menunjukkan gambaran penyebaran konsentrasi tegangan pada masing-masing bentuk geometri. Penentuan titik beban disesuaikan dengan *free body diagram* pada Gambar 3.5.

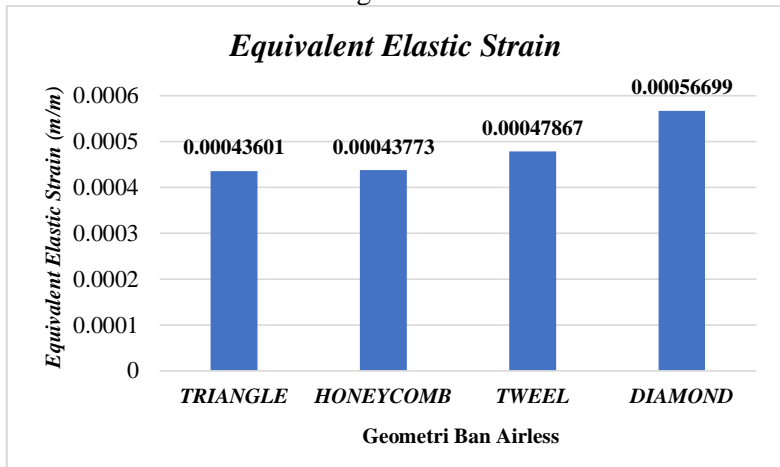
Namun berdasarkan pada rancangan desain ban *airless* sepeda telah ditentukan nilai maksimal berat badan sebesar 20 kg, dimana nilai besaran beban yang didapat yaitu 196,133 N dengan gravitasi sebesar  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Pada Gambar 4.24 menunjukkan perbandingan besaran nilai *equivalent stress*, dimana nilai *equivalent stress* maksimal pada geometri *tweel* sebesar 1.240.400 Pa atau setara dengan 1,24 Mpa. Kemudian dilanjutkan pada geometri *triangle* sebesar 1.018.000 Pa atau setara dengan 1,01 Mpa, lalu geometri *diamond* sebesar 992.710 Pa atau setara dengan 0,99 Mpa dan pada geometri *triangle* sebesar 976190 Pa atau setara dengan 0,97 Mpa.

Perbandingan besaran nilai *equivalent elastic strain* ditunjukkan pada Gambar 4.25, dimana nilai regangan elastis maksimal pada geometri *diamond* sebesar 0,00056699 m/m. Kemudian dilanjutkan pada geometri *tweel* sebesar 0,00047867 m/m. Lalu, geometri *honeycomb* sebesar 0,00043773 m/m dan pada geometri *triangle* sebesar 0,00043601 m/m.





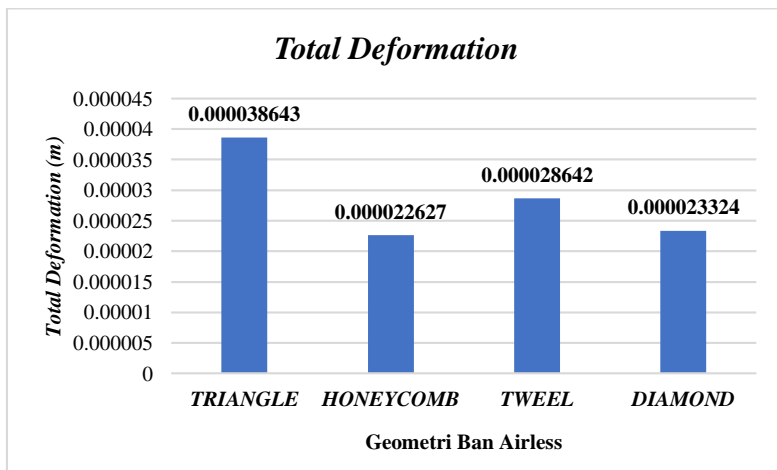
**Gambar 4. 26** Perbandingan nilai *equivalent stress* pada geometri ban *airless*.



**Gambar 4. 27** Perbandingan nilai *equivalent elastic strain* pada geometri.

Pada Gambar 4.26 dapat dilihat perbandingan nilai besaran deformasi total pada masing-masing geometri. Perubahan bentuk

terbesar terjadi pada geometri *triangle* dimana terjadi deformasi sebesar 0,038643 mm. Kemudian dilanjutkan pada geometri *tweel*, *diamond* dan *honeycomb* terjadi perubahan bentuk yang nilainya tidak jauh berbeda, dimana pada geometri *tweel* sebesar 0,28642 mm, geometri *diamond* sebesar 0,23324 mm dan geometri *honeycomb* sebesar 0,22627 mm. Perubahan yang terjadi dihasilkan oleh tegangan yang diaplikasikan pada titik tertentu dan deformasi yang dihasilkan dengan nilai terendah merupakan bentuk geometri terbaik yang dapat digunakan dalam rancangan pembuatan frame *balance bike*. Pemilihan tersebut berdasarkan nilai deformasi total yang dihasilkan oleh geometri *honeycomb* merupakan nilai terendah dibandingkan dengan bentuk geometri lainnya.

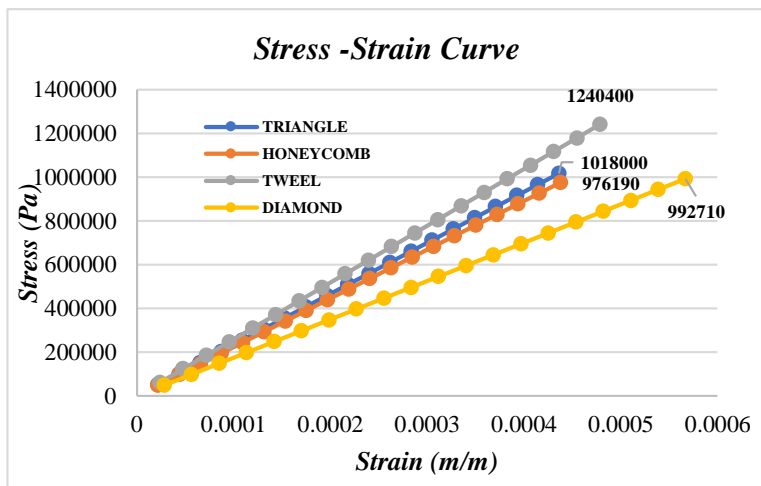


**Gambar 4. 28** Perbandingan nilai deformasi total pada geometri.

#### 4.3.1 Pengaruh Bentuk Geometri terhadap kurva Stress-Strain

Dalam subbab ini akan dibahas seberapa besar pengaruh bentuk geometri terhadap kurva stress-strain yang dihasilkan. Kurva stress-strain digunakan sebagai langkah awal untuk menginspeksi dan mengevaluasi dengan membandingkan hasil

kurva grafik dengan menggunakan material yang sama. Data yang digunakan pada kurva Stress-Strain merupakan hasil dari simulasi statis yang dilakukan menggunakan *software ANSYS Workbench* yang mengacu pada *Equivalent Stress* (von Mises *Stress*) dan *Equivalent Elastics Strain* (von Mises *Strain*). Pada Gambar 4.27 merupakan kurva stress-strain yang dihasilkan oleh perbandingan geometri *triangle*, *honeycomb*, *tweel* dan *diamond*. Gambar 4.27 menunjukkan kurva stress strain pada keempat variasi ban *airless* melalui data yang didapat dari hasil analisis.



**Gambar 4. 29** Grafik *Stress-Strain* pada geometri *triangle*, *honeycomb*, *tweel* dan *diamond*

#### 4.4 Hasil Analisis Pengaruh Geometri terhadap Bobot

Dalam menentukan penentuan desain objek gambar dengan menggunakan *3D printer*, perlu ditinjau bobot pada masing-masing geometri dengan material yang sama. Peninjauan bobot dilakukan dengan menghitung massa (kg) pada masing-masing geometri. Perhitungan dilakukan menggunakan *software solidworks*. Perhitungan menggunakan *software solidworks* dilakukan setelah proses *modelling* selesai dengan mengevaluasi

*mass properties* pada objek. Tabel 4.2 merupakan hasil perhitungan menggunakan *software solidworks* dimana ban *airless balance bike* dengan geometri *honeycomb* memiliki bobot terberat. Sedangkan ban *airless* yang paling ringan dimiliki oleh desain *triangle*.

**Tabel 4.2** Estimasi Perhitungan Massa Geometri VariasBan Airless Berdasarkan Software Solidworks

<b>Geometri</b>	<b>Solidworks</b>
<i>Triangle</i>	2192.98
<i>Honeycomb</i>	4871.52
<i>Tweel</i>	2262.01
<i>Diamond</i>	2198.30

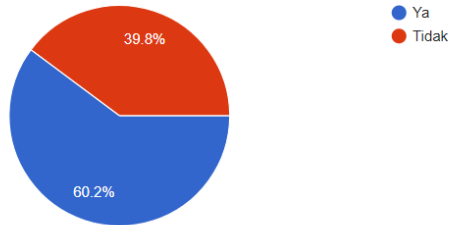
Hasil analisis pengaruh geometri terhadap kekuatan dan bobot yang telah dilakukan digunakan untuk menentukan objek geometri yang layak untuk dicetak. Penentuan objek juga menimbang unsur bentuk yang futuristik berdasarkan hasil survei yang dilakukan pada penelitian ini.

#### 4.5 Hasil dari Proses Survey untuk Penentuan Desain

Dalam menentukan pencetakan ban *airless*, desain merupakan salah satu aspek penting untuk menjadikan ban lebih futuristik. Berikut merupakan hasil survey yang dilakukan untuk mengetahui perkembangan ban *airless* dan penentuan desain ban *airless* pada penelitian kali ini yang ditunjukkan pada Gambar 4.28 di bawah ini.

Apakah anda mengetahui airless tire?

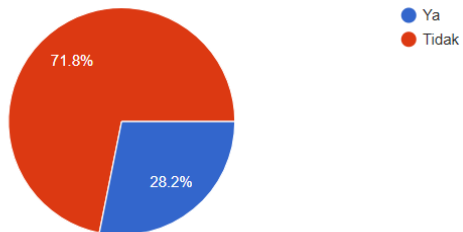
103 responses



(a)

Apakah anda mengikuti perkembangan airless tire?

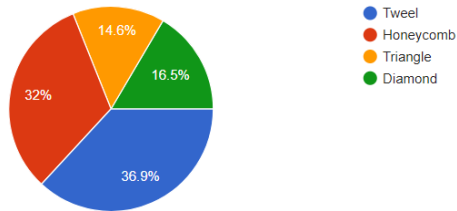
103 responses



(b)

Dalam penelitian kali ini, terdapat variasi desain yang akan dianalisis. Menurut anda, desain manakah yang terbaik dalam segi estetika desain?

103 responses



(c)

**Gambar 4. 30** Hasil survey yang dilakukan pada publik untuk  
 (a) Mengetahui pengetahuan mengenai ban *airless*  
 (b) Mengetahui perkembangan ban *airless* (c)  
 Mengetahui desain yang terbanyak.

Berdasarkan hasil dari beberapa pertanyaan, survey menunjukkan bahwa sekitar 60,2 % mengetahui ban *airless*, sekitar 28,2% mengikuti perkembangan ban *airless* dan untuk pilihan desain yang paling diminati adalah desain *tweel*.

Sehingga dalam menentukan aspek mengenai survey desain yang dilakukan dapat diurutkan berdasarkan minat terbanyak pada survey desain tersebut. Tingkatan pertama yang paling diminati adalah *tweel*, dilanjutkan dengan *honeycomb*, *diamond* dan *triangle*.

#### 4.6 Hasil Analisis Aspek dalam Menentukan Desain

Pemilihan dari geometri yang akan dicetak berdasarkan enam aspek didalamnya, yaitu stress, strain, total deformasi, modulus elastisitas, bobot, dan survey estetika. Dalam pemilihan aspek tersebut disesuaikan dengan *rank* satu sampai empat berdasarkan

aspek-aspek tersebut yang ditunjukkan pada Tabel 4.2 di bawah ini.

**Tabel 4.3** Besaran Nilai berdasarkan *Rank*

<i>Rank</i>	Nilai	Keterangan
1	100	Terbaik
2	75	Baik
3	50	Cukup
4	25	Kurang Baik

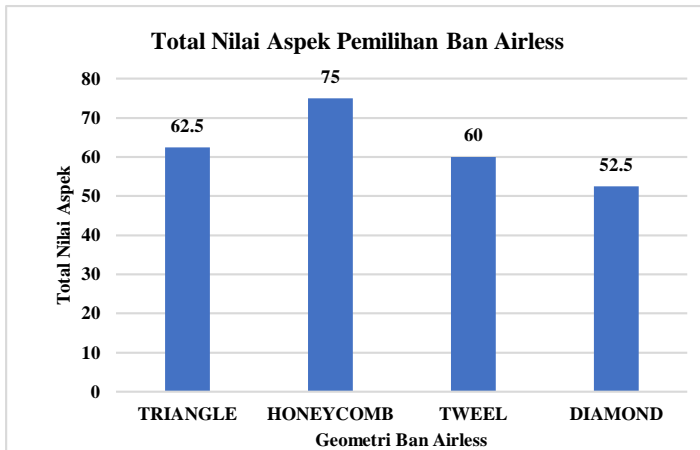
Pemilihan dari geometri yang akan dicetak berdasarkan 6 aspek didalamnya, yaitu stress, strain, total deformasi, modulus elastisitas, bobot, dan survey estetika. Dalam pemilihan aspek tersebut disesuaikan dengan rank satu sampai empat berdasarkan penilaian aspek-aspek tersebut yang ditunjukkan pada Tabel 4.3 di bawah ini.

**Tabel 4.4** Aspek Penilaian pada Pemilihan Ban yang akan dicetak

Aspek	Bobot (%)	Nilai Peringkat Berdasarkan Aspek Pada Variasi Ban <i>Airless</i>			
		<i>Triangle</i>	<i>Honeycomb</i>	<i>Tweel</i>	<i>Diamond</i>
<i>Strain</i>	20%	100	75	50	25
<i>Stress</i>	20%	50	100	25	75
<i>Total deformation</i>	20%	25	100	50	75
<i>Stress-Strain Curve</i>	20%	75	50	100	25
Bobot	10%	100	25	50	75
Survey Estetika	10%	25	75	100	50
<b>Total nilai</b>		<b>62.5</b>	<b>75</b>	<b>60</b>	<b>52.5</b>

Dalam menentukan variasi ban *airless* yang akan dicetak, Berikut merupakan total nilai dari penilaian beberapa aspek dengan grafik

menggunakan grafik batang yang ditunjukkan pada Gambar 4.29 di bawah ini.



**Gambar 4.31** Grafik batang Total Nilai dari Aspek Pemilihan

Pada aspek pemilihan ini juga ditentukan bobot dari aspek aspek tersebut. Dari hasil perhitungan yang dilakukan *honeycomb* merupakan desain terbaik untuk dicetak pada kesempatan kali ini. Desain ini memiliki keunggulan diberbagai aspek penilaian.

#### 4.7 Hasil Optimalisasi Pengaturan Pencetakan Ban *Airless* dan Rim

Proses pencetakan objek tiga dimensi memerlukan beberapa tahapan yang perlu dilakukan, diikuti dengan proses desain modelling yang telah dibuat diubah menjadi format file dengan jenis .stl atau stereolithography dengan menggunakan *software solidworks*. Kemudian file tersebut diinput pada *software cura* untuk mengatur parameter pada pencetakan pada objek seperti jenis material cetak yang akan digunakan, ukuran nozzle, temperature nozzle dan bed. Parameter dalam pencetakan juga dibagi menjadi dua yaitu basic dan advance. Setelah pengaturan selesai, file disimpan dan otomatis akan menjadi file dengan jenis



.gcode dimana file dengan jenis tersebut akan dimasukkan dan dibaca oleh mesin *3D printer*. Sebelum mencetak objek, lebih baik dilakukan preheat terlebih dahulu pada nozzle head dan bed printer. Kemudian dilakukan uji coba pada proses ekstrusi dengan melakukan feed untuk mengetahui apakah ada kerusakan material atau error pada mesin extruder maupun part lainnya. Filamen *Thermoplastic polyurethane (TPU)* dan *Polyactic Acid (PLA)* yang telah melting akan diekstrusi dari nozzle head dengan proses fabrikasi *layer by layer*. *Filament* dilunakkan di dalam liquifier diatas temperatur meltingnya dan ditekan melalui nozzle die. Saat liquifier bergerak, filamen yang terekstrusi dengan ekstruder motor akan turun pada bed yang terdapat pada mesin pencetak, kemudian cartridge *3D printer* mengikuti pola dari desain yang akan dicetak melalui pergerakan stepper motor pada sumbu x dan y.

#### 4.7.1 Parameter Pencetakan *Ban Airless dan Rimbalance bike*

Dalam pemilihan parameter pencetakan terdapat beberapa opsi parameter pada *software* 3D Cura yaitu *Basic*, *Advance* dan *Expert* dimana terdapat beberapa indikator yang berbeda antara satu sama lain. Beberapa faktor utama penentu kualitas objek hasil cetak adalah *layer height*, *shell thickness*, dan *retraction*. *Layer height* adalah ketinggian dari lapisan penyusun setiap objek, nominalnya adalah 0,1 mm. Artinya apabila tebal *frame* sepeda sebesar 10 cm, maka terdapat 1000 layer penyusun pada objek tersebut. Kemudian faktor yang tidak kalah penting adalah *infill* yang terdiri dari *density* dan *pattern*. *Infill density* adalah nominal persentase material pada setiap lapisan penyusun objek. Dengan *input density* sebesar 100 % artinya setiap layer tersusun dari 100 % molten *TPU* ataupun 100% molten *PLA* yang terekstrusi dari *nozzle head printer*. Selanjutnya pada *infill pattern* terdapat 13 jenis bentuk dimana jenis terbaru *gyroid* merupakan *pattern* yang paling sering digunakan karena dapat membentuk struktur yang kokoh dan kekuatan yang lebih tinggi, sehingga struktur *rim* dicetak dengan *PLA* menggunakan *infill pattern* *gyroid*. Sedangkan *TPU* dicetak

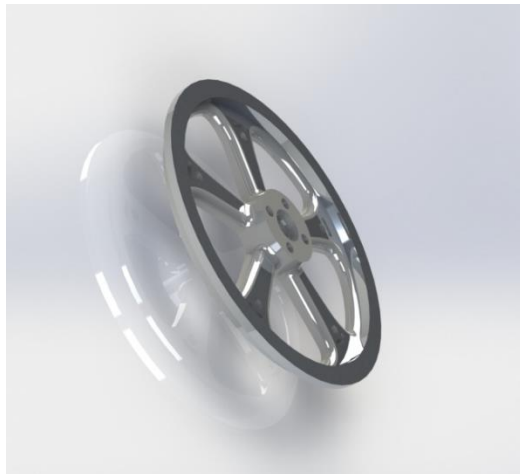
dengan menggunakan *infill pattern* yang berbeda dengan *rimbalance bike*. *Infill pattern* yang digunakan dalam proses pencetakan TPU yaitu *cubic*. *Cubic* merupakan *infill pattern* yang optimal ketika material yang akan dicetak memiliki tingkat fleksibilitas yang tinggi. Berikut merupakan setting parameter sebelum proses pencetakan *rimbalance bike* yang ditunjukkan pada Tabel 4.4 di bawah ini. Dan dilanjutkan dengan setting parameter sebelum proses pencetakan ban *airless* dengan variasi *honeycomb* yang ditunjukkan pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Parameter Pencetakan Menu Basic pada Cura 4.4 dalam Proses Pencetakan *Rim Balance Bike*

<i>Submenu</i>	<i>Parameter</i>	<i>Value</i>	<i>Unit</i>
<i>Quality</i>	<i>Layer Height</i>	0.3	mm
	<i>Line Width</i>	0.2	mm
<i>Infill</i>	<i>Infill Density</i>	20	%
	<i>Infill Pattern</i>	<i>Gyroid</i>	
<i>Material</i>	<i>Printing Temperature</i>	200	°C
	<i>Build Plate Temperature</i>	50	°C
	<i>Flow</i>	100	%
	<i>Initial Flow Layer</i>	100	%
<i>Speed</i>	<i>Print Speed</i>	100	mm/s
	<i>Infill Speed</i>	100	mm/s
	<i>Wall Speed</i>	40	mm/s
	<i>Outer Wall Speed</i>	40	mm/s
	<i>Inner Wall Speed</i>	40	mm/s
<i>Travel</i>	<i>Enable Retraction</i>	<i>Yes</i>	
	<i>Z Hop When Retracted</i>	<i>Yes</i>	
<i>Cooling</i>	<i>Enable Print Cooling</i>	<i>Yes</i>	
	<i>Fan Speed</i>	75	%

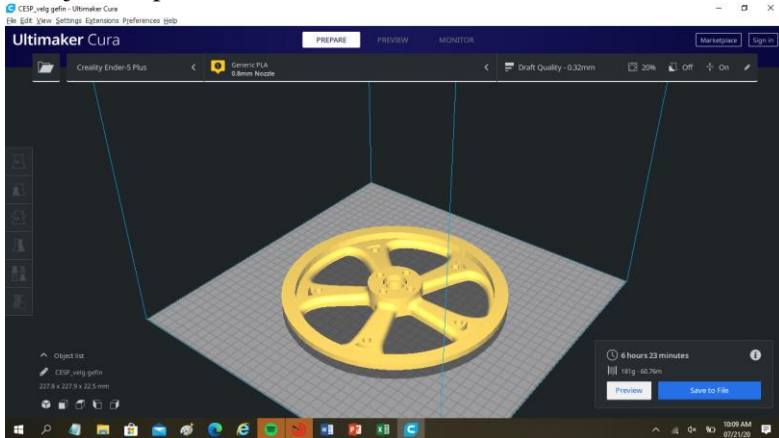
<i>Support</i>	<i>Generate Support</i>	<i>Yes</i>	
	<i>Support Placement</i>	<i>Touching Buildplate</i>	
	<i>Support Overhang Angle</i>	33	°
<i>Build Plate Adhesion</i>	<i>Build Plate Adhesion Type</i>	<i>Brim</i>	

Proses setting parameter untuk material *Polyactic Acid* (PLA) yang dilakukan pada pencetakan *rimbalance bike* telah distandarkan dengan menggunakan *software Cura* secara otomatis. Proses pencetakan *rim* yang dilakukan dibagi dua dengan tujuan untuk memudahkan proses masuknya ban kedalam rim. *Rim* yang sudah dibagi dua dapat dilihat menggunakan *software solidwork* yang ditunjukkan pada Gambar 4.30 di bawah ini.



**Gambar 4. 32** Display *Rim balance bike* yang Telah Dibagi Dua Menggunakan *Software Solidworks*

Berikut merupakan tampilan pengaturan parameter cetak yang dilakukan dalam proses pencetakan *rimbalance bike* ditunjukkan pada Gambar 4.31 di bawah ini.



**Gambar 4. 33** Tampilan Pengaturan Cetak *Rimbalance bike* pada *software* Cura.

Kemudian proses dilanjutkan dengan setting parameter sebelum proses pencetakan ban *airless* dengan variasi *honeycomb* yang ditunjukkan pada Tabel 4.5 di bawah ini.

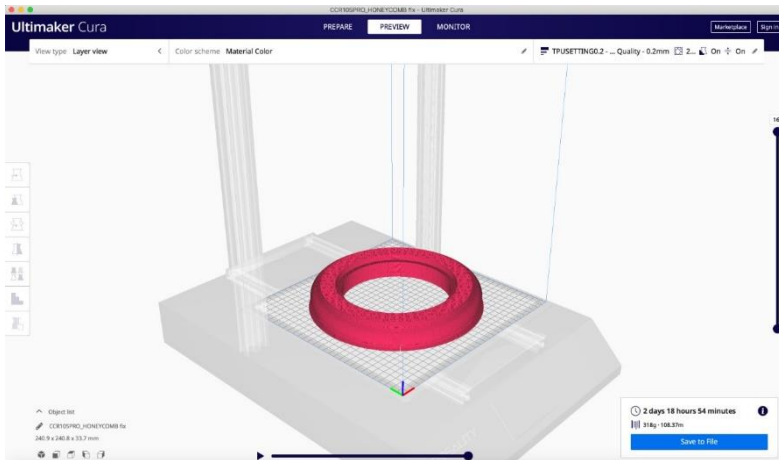
**Tabel 4. 6** Parameter Pencetakan Menu Basic pada Cura 4.4 dalam Proses Pencetakan Ban *Airless Honeycomb Balance bike*

<i>Submenu</i>	<i>Parameter</i>	<i>Value</i>	<i>Unit</i>
<i>Quality</i>	<i>Layer Height</i>	0.2	mm
	<i>Line Width</i>	0.4	mm
<i>Infill</i>	<i>Infill Density</i>	20	%
	<i>Infill Pattern</i>	<i>Cubic</i>	
<i>Material</i>	<i>Printing Temperature</i>	215	°C
	<i>Build Plate Temperature</i>	50	°C

	<i>Flow</i>	100	%
	<i>Initial Flow Layer</i>	100	%
<i>Speed</i>	<i>Print Speed</i>	50	mm/s
	<i>Infill Speed</i>	25	mm/s
	<i>Wall Speed</i>	25	mm/s
	<i>Outer Wall Speed</i>	25	mm/s
	<i>Inner Wall Speed</i>	25	mm/s
<i>Travel</i>	<i>Enable Retraction</i>	<i>Yes</i>	
	<i>Retraction speed</i>	25	mm/s
<i>Cooling</i>	<i>Enable Print Cooling</i>	<i>Yes</i>	
	<i>Fan Speed</i>	100	%
<i>Support</i>	<i>Generate Support</i>	<i>Yes</i>	
	<i>Support Placement</i>	<i>Touching Buildplate</i>	
	<i>Support Overhang Angle</i>	33	°
<i>Build Plate Adhesion</i>	<i>Build Plate Adhesion Type</i>	<i>Brim</i>	

Selanjutnya dalam menentukan parameter lainnya bergantung pada jenis material dan geometri objek yang akan dicetak. Dalam penggunaan material dengan jenis *thermoplastic polyurethane* terdapat beberapa perilaku khusus dimana material ini tergolong sulit untuk dicetak karena memiliki kriteria dan membutuhkan hardware tertentu dalam proses pencetakannya. Proses pencetakan dengan menggunakan *filament TPU* pada penelitian ini menggunakan bowden extruder dalam proses ekstrusi *filament* dari ekstruder kedalam nozzle head. Pada tabel 4.5 terdapat sub menu *speed* yaitu untuk mengatur kecepatan pencetakan objek dan juga temperatur yang terbagi menjadi dua yaitu *printing* serta *build plate/bed*. Kriteria khusus untuk mencetak objek dengan *Thermoplastic polyurethane (TPU)* yaitu temperatur pencetakan sebesar 215 °C dan *bed* temperatur diatas 50 °C sesuai dengan standar material data sheet yang diberikan

oleh pabrik. Karena temperatur yang digunakan tergolong tinggi, maka kapasitas mesinpun harus menyesuaikan dan juga part yang digunakan dalam proses ekstrusi material harus didampingi dengan kondisi eksternal seperti memaksimalkan fan untuk bertugas dalam mencegah *overheat* pada mesin.



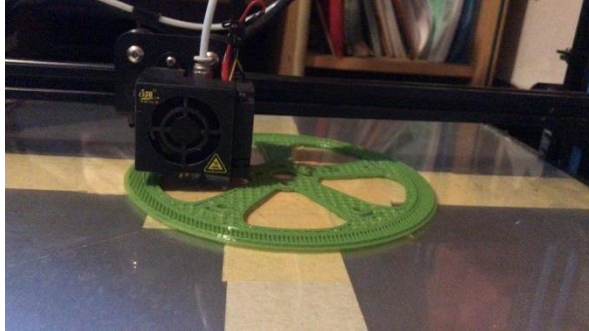
**Gambar 4. 34** Tampilan Pengaturan Cetak *Ban Airless Balance bike* pada software Cura.

Opsi menu *basic* digunakan dalam proses cetak *rim* dan *ban airless*. Keuntungan menggunakan menu *basic* adalah tampilan parameter yang lebih familiar serta mudah untuk dimengerti oleh operator. Hal terpenting lainnya adalah pengaturan posisi cetak yang berpengaruh pada *support* untuk objek yang terjadi *overhang* atau suatu posisi yang sulit dicetak tanpa adanya *support*.

---

#### 4.7.2 Hasil Pencetakan Rim dan Ban Airless Balance bike

- *Rim* balance bike



(a)



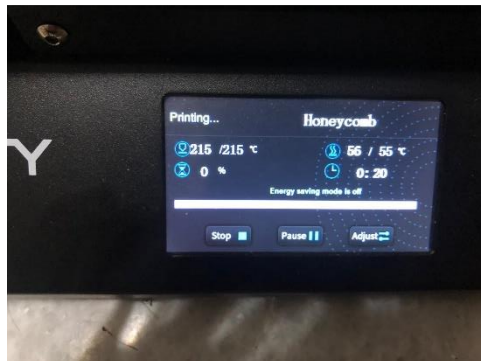
(b)



(c)

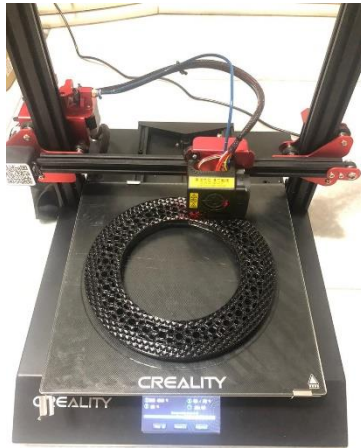
**Gambar 4. 35** Hasil Pencetakan *RimBalance bike* (a) Proses Cetak Objek dengan *Progress < 50 %* (b) Cetak Objek dengan *Progress > 50 %* (c) Proses Pencetakan Objek Selesai

- Ban *Airless* dengan variasi *Honeycomb*



(a)

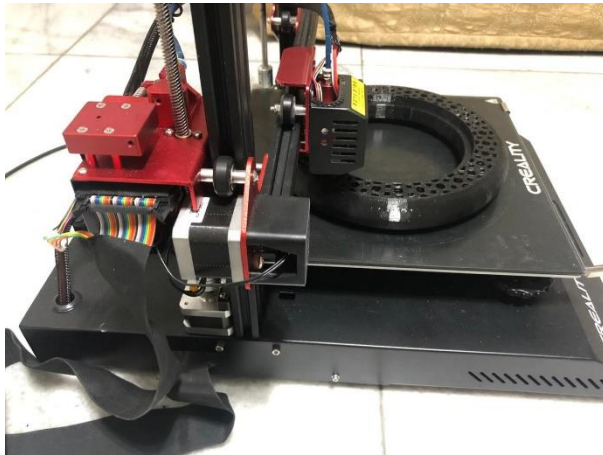




(b)



(c)



(d)

**Gambar 4. 36** Hasil Pencetakan Ban *Airless* dengan variasi *Honeycomb* (a) Layar Screen Printer (b) Proses Cetak Objek dengan *Progress* < 50 % (c) Proses Cetak Objek dengan *Progress* > 50 % (d) Proses Pencetakan Objek Selesai

#### 4.7.3 Bobot dari Hasil Cetak Ban *Airless Honeycomb* dan *RimBalance bike*

Setelah pencetakan ban *airless honeycomb* dan *rim* dengan skala 75% selesai, dilanjutkan dengan perhitungan bobot menggunakan timbangan digital. Untuk hasil dari penimbangan ini dapat ditunjukkan pada Gambar 4.35 di bawah ini.



**Gambar 4. 37** Penimbangan bobot Ban *Airless* dan *Rim Balance bike*

Pada Gambar 4.35 menunjukkan bobot dari ban *airless* dan *rimbalance bike* dengan skala 75% sebesar 0.410 kg atau sebesar 410 gram.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pengaruh variasi geometri ban *airless* terhadap beban statis menunjukkan bahwa variasi ban *honeycomb* merupakan desain terbaik untuk dilakukan pencetakan berdasarkan hasil simulasi struktur statis melalui ansys yang ditinjau dari *equivalent stress* sebesar 976.190 Pa, *equivalent elastic strain* sebesar 0.00043773 m/m, dan *total deformation* sebesar 0.000022627 m.
2. Pengaruh variasi geometri terhadap bobot ban *airless balance bike* berdasarkan perhitungan melalui software solidworks menunjukkan geometri *honeycomb* memiliki bobot terberat sebesar 4871.52 gram. Sedangkan ban *airless* yang paling ringan dimiliki oleh desain *triangle* 2192.98 gram.

#### **5.2 Saran**

Adapun saran dari dan bagi pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menggunakan *direct drive extruder* lebih direkomendasikan dibandingkan dengan *bowden extruder*.
2. Menggunakan *enclosure* untuk menjaga suhu ruang *print*.
3. Melakukan metode finishing yang tepat untuk filamen *Thermoplastic polyurethane* (TPU) dan *Polyactic Acid* (PLA).

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Jin, X., Hou, C., Fan, X., Sun, Y., & Lv, J. (2017, December 20). **Investigation on the static and dynamic behaviors of non-pneumatic tires with honeycomb spoke.** *Composite Structures*, p. 2.
- Anderi, R., Schmid, H., Karg, M., & Martin, K. (2017). *Additive Manufacturing*. Munich: National Academy of Science and Engineering.
- Beatriz, C. (2018). **EXTRUSION OF THERMOPLASTIC ELASTOMER.** *ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES INDUSTRIES CHIMIQUES*, 8-12.
- Becker, A., & Jenny, S. (2017). **No Need for Training Wheels: Ideas for Including Balance Bikes in Elementary Physical Education.** *Journal of Physical Education, Recreation & Dance*, 6.
- Bike, M. (2020, January 8). *Modern Bike*. Retrieved from **Modern Bike**: <https://www.modernbike.com/iso-sizes-for-bicycle-tires-and-rims>
- Boyd-Barrett, C. (2020, April 8). *Baby Center*. Retrieved from Baby Center: [https://www.babycenter.com/0\\_average-weight-and-growth-chart-for-babies-toddlers-and-beyo\\_10357633.bc](https://www.babycenter.com/0_average-weight-and-growth-chart-for-babies-toddlers-and-beyo_10357633.bc)
- Brackett, D., Hague, R., & Ashcroft, I. (2011, August 17). **Topology Optimization for Additive Manufacturing.** *Mechanical and Manufacturing*, pp. 349-350.
- Carneiro, O., Silva, A., & Gomes, R. (2015). **Fused Deposition Modeling with Polypropylene.** *Materials and Design*, 769-770.
- G.R. Liu, S. Q. (2014). *The Finite Element Method, Second Edition*. Oxford, England: Elsevier Science Ltd.
- Hager, I., Golonka, D., & Putanowicz, R. (2016). **3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction?** *International Conference on*

- 
- Ecology and new Building materials and products, ICEBMP (pp. 292-294).* Poland: Procedia Engineering.
- Hartarto, A. (2018). ***Making Indonesia 4.0.*** Jakarta: Kementerian Perindustrian Republik Indonesia.
- Hotelsrate. (2017, Januari 1). ***Wooden Balance Bike Plans.*** Retrieved from Wooden Balance Bike Plans: <http://www.hotelsrate.org/diy-wooden-balance-bike-plans/>
- Jin, X., Hou, C., Fan, X., Sun, Y., & Lv, J. (2017, December 20). **Investigation on the static and dynamic behaviors of non-pneumatic tires with honeycomb spoke.** *Composite Structures*, p. 2.
- Kostka. (2018, 1 2). ***Kostkascooters.*** Retrieved from KHS: <https://www.kostkafootbike.com/run/439-balance-bike-kostka-run.html>
- Manibaalan, C., S, B., Keshore, & Haran, D. (2013). **Static Analysis of Airless Tyres.** *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3.
- Mathew, N., Sahoo, D., & Chakravarthy, E. (2016). **Design and Static Analysis of Airless Tyre to Reduce Deformation.** *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* (pp. 1-2). Chennai: IOP Publishing .
- Mathew, N., Sahoo, D., & Chakravarthy, E. (2017). **Design and Static Analysis of Airless Tire to Reduce Deformation.** Chennai: IOP.
- Novakova, L., & Marcincinova. (2012). **Application of Fused Deposition Modeling Technology in 3D Printing Rapid Prototyping Area.** *Manufacturing and Industrial Engineering*, 36.
- Parker, M., Graham, G., & Holt-Hale, S. (2013, January 1). **Children Moving: A Reflective Approach to Teaching Physical Education.** p. 5.
- Przybytek, A., Lipka, J., & Jani, H. (2018). **Thermoplastic elastomer filaments and their application in 3D**
-



- 
- printing.** *elastomery termoplastyczne w technologii druku 3D*, 33-37.
- Rangdale, P., Chandak, K., & Bagade, P. (2018). **Non Pneumatic Tyre.** *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES & RESEARCH*, 64-65.
- Rojko, A. (2017). **Industry 4.0 Concept: Background and Overview.** *ECPE European Center for Power Electronics*, 4.
- Sasongko, R., Gunawan, L., & Kimsay, S. (2010). **Pemodelan dan Simulasi Dinamik untuk Pengembangan.** *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM)*, 171-175.
- Thompson, M., Moroni, G., Vaneker, T., Fadel, G., Campbell, R., Gibson, I., . . . Martina, F. (2016). **Design for Additive Manufacturing: Trends, Opportunities, Considerations and Constraints.** *CIRP Annals Manufacturing Technology*, 65(2), 2.
- Weng , Z., Wang, J., Senthil, T., & Wu, L. (2016). **Mechanical and thermal properties of ABS/montmorillonite.** *Materials and Design*, 276-277.
- WHO. (2000, January 17). **World Health Organization.** Retrieved from Child Grow Standard: [https://www.who.int/childgrowth/standards/cht\\_wfa\\_boy\\_s\\_z\\_0\\_5.pdf?ua=1](https://www.who.int/childgrowth/standards/cht_wfa_boy_s_z_0_5.pdf?ua=1)
- Wong, K., & Hernandez, A. (2012, June 12). **A Review of Additive Manufacturing.** *SRN Mechanical Engineering*, pp. 1-2.
-

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN

<b>STRAIN</b>					
<b>NO</b>	<b>Time</b>	<b>TRIANGLE</b>	<b>HONEYCOMB</b>	<b>TWEEL</b>	<b>DIAMOND</b>
1	5.00E-02	2.18E-05	2.19E-05	2.39E-05	2.72E-05
2	0.1	4.36E-05	4.38E-05	4.79E-05	5.44E-05
3	0.15	6.54E-05	6.57E-05	7.18E-05	8.17E-05
4	0.2	8.72E-05	8.75E-05	9.57E-05	1.09E-04
5	0.25	1.09E-04	1.09E-04	1.20E-04	1.36E-04
6	0.3	1.31E-04	1.31E-04	1.44E-04	1.63E-04
7	0.35	1.53E-04	1.53E-04	1.68E-04	1.91E-04
8	0.4	1.74E-04	1.75E-04	1.91E-04	2.18E-04
9	0.45	1.96E-04	1.97E-04	2.15E-04	2.45E-04
10	0.5	2.18E-04	2.19E-04	2.39E-04	2.72E-04
11	0.55	2.40E-04	2.41E-04	2.63E-04	2.99E-04
12	0.6	2.62E-04	2.63E-04	2.87E-04	3.27E-04
13	0.65	2.83E-04	2.85E-04	3.11E-04	3.54E-04
14	0.7	3.05E-04	3.06E-04	3.35E-04	3.81E-04
15	0.75	3.27E-04	3.28E-04	3.59E-04	4.08E-04
16	0.8	3.49E-04	3.50E-04	3.83E-04	4.36E-04
17	0.85	3.71E-04	3.72E-04	4.07E-04	4.63E-04
18	0.9	3.92E-04	3.94E-04	4.31E-04	4.90E-04
19	0.95	4.14E-04	4.16E-04	4.55E-04	5.17E-04
20	1	4.36E-04	4.38E-04	4.79E-04	5.44E-04

<b>STRESS</b>					
<b>NO</b>	<b>Time</b>	<b>TRIANGLE</b>	<b>HONEYCOMB</b>	<b>TWEEL</b>	<b>DIAMOND</b>
1	5.00E-02	5.09E+04	4.88E+04	6.20E+04	6.30E+04
2	0.1	1.02E+05	9.76E+04	1.24E+05	1.26E+05

3	0.15	1.53E+05	1.46E+05	1.86E+05	1.89E+05
4	0.2	2.04E+05	1.95E+05	2.48E+05	2.52E+05
5	0.25	2.55E+05	2.44E+05	3.10E+05	3.15E+05
6	0.3	3.05E+05	2.93E+05	3.72E+05	3.78E+05
7	0.35	3.56E+05	3.42E+05	4.34E+05	4.41E+05
8	0.4	4.07E+05	3.90E+05	4.96E+05	5.04E+05
9	0.45	4.58E+05	4.39E+05	5.58E+05	5.67E+05
10	0.5	5.09E+05	4.88E+05	6.20E+05	6.30E+05
11	0.55	5.60E+05	5.37E+05	6.82E+05	6.93E+05
12	0.6	6.11E+05	5.86E+05	7.44E+05	7.56E+05
13	0.65	6.62E+05	6.35E+05	8.06E+05	8.19E+05
14	0.7	7.13E+05	6.83E+05	8.68E+05	8.82E+05
15	0.75	7.64E+05	7.32E+05	9.30E+05	9.45E+05
16	0.8	8.14E+05	7.81E+05	9.92E+05	1.01E+06
17	0.85	8.65E+05	8.30E+05	1.05E+06	1.07E+06
18	0.9	9.16E+05	8.79E+05	1.12E+06	1.13E+06
19	0.95	9.67E+05	9.27E+05	1.18E+06	1.20E+06
20	1	1.02E+06	9.76E+05	1.24E+06	1.26E+06

**TOTAL DEFORMATION(MAX)**

No.	Time	<i>TRIANGLE</i>	<i>HONEYCOMB</i>	<i>TWEEL</i>	<i>DIAMOND</i>
1	5.00E-02	1.93E-06	1.13E-06	1.43E-06	1.51E-06
2	0.1	3.86E-06	2.26E-06	2.86E-06	3.03E-06
3	0.15	5.80E-06	3.39E-06	4.30E-06	4.54E-06
4	0.2	7.73E-06	4.53E-06	5.73E-06	6.06E-06
5	0.25	9.66E-06	5.66E-06	7.16E-06	7.57E-06
6	0.3	1.16E-05	6.79E-06	8.59E-06	9.08E-06
7	0.35	1.35E-05	7.92E-06	1.00E-05	1.06E-05

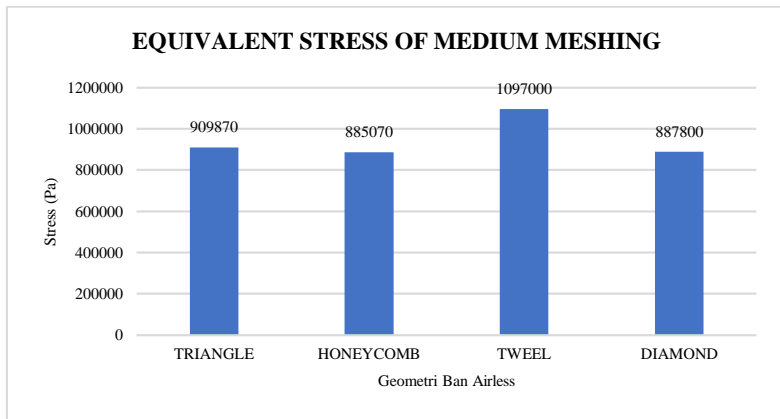
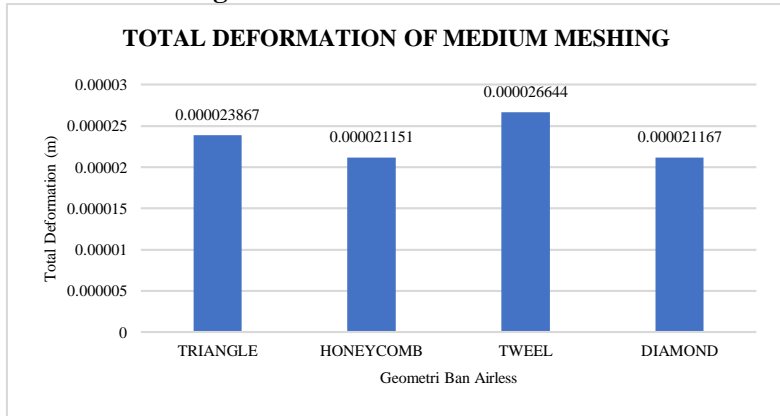
UCAPAN TERIMA KASIH

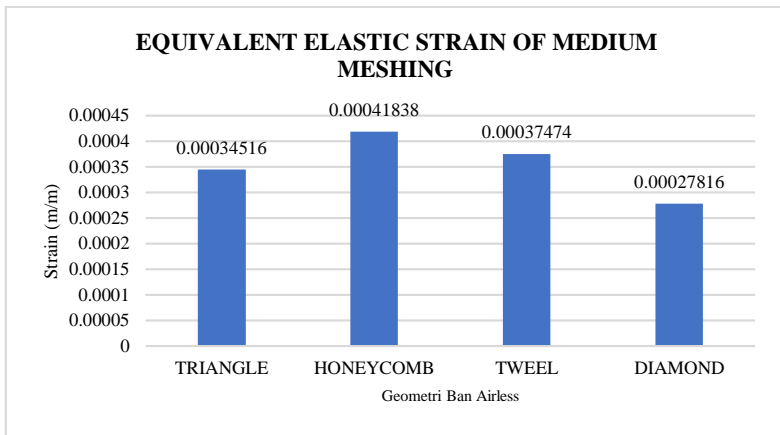
8	0.4	1.55E-05	9.05E-06	1.15E-05	1.21E-05
9	0.45	1.74E-05	1.02E-05	1.29E-05	1.36E-05
10	0.5	1.93E-05	1.13E-05	1.43E-05	1.51E-05
11	0.55	2.13E-05	1.24E-05	1.58E-05	1.67E-05
12	0.6	2.32E-05	1.36E-05	1.72E-05	1.82E-05
13	0.65	2.51E-05	1.47E-05	1.86E-05	1.97E-05
14	0.7	2.71E-05	1.58E-05	2.01E-05	2.12E-05
15	0.75	2.90E-05	1.70E-05	2.15E-05	2.27E-05
16	0.8	3.09E-05	1.81E-05	2.29E-05	2.42E-05
17	0.85	3.28E-05	1.92E-05	2.43E-05	2.57E-05
18	0.9	3.48E-05	2.04E-05	2.58E-05	2.73E-05
19	0.95	3.67E-05	2.15E-05	2.72E-05	2.88E-05
20	1	3.86E-05	2.26E-05	2.86E-05	3.03E-05

**Modulus Elasticity**

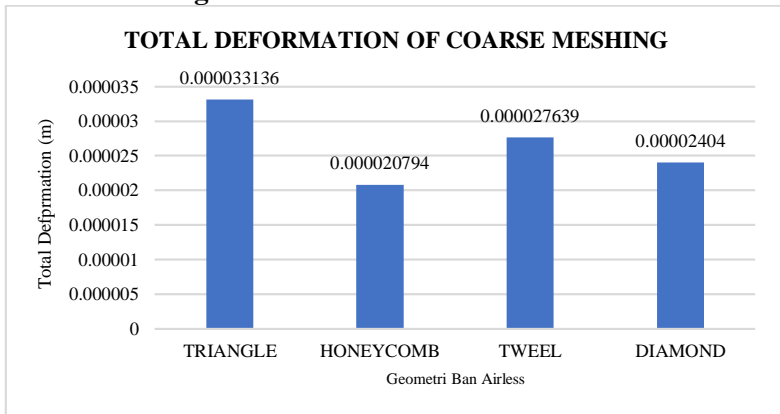
<i>TRIANGLE</i>	2.33	GPA
<i>HONEYCOMB</i>	2.23	GPA
<i>TWEEL</i>	2.59	GPA
<i>DIAMOND</i>	3.31	GPA

## Medium Meshing

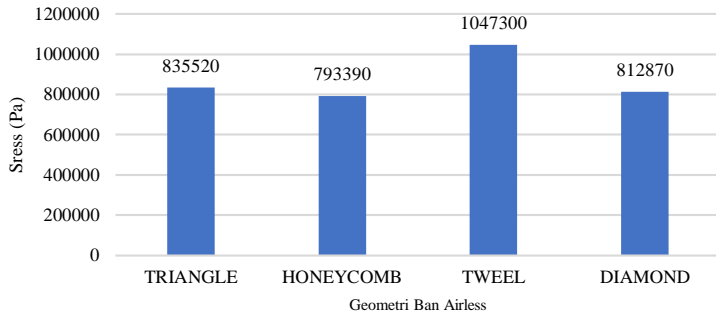




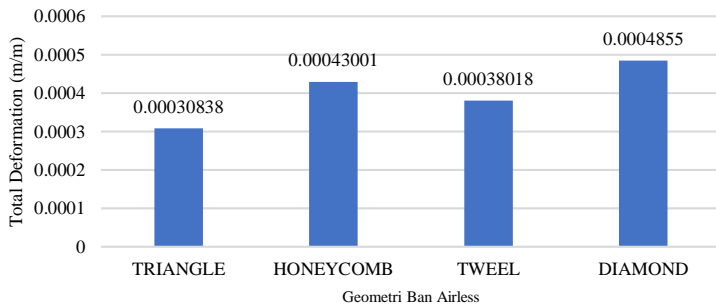
## Coarse Meshing



### EQUIVALENT STRESS OF COARSE MESHING



### EQUIVALENT ELASTIC STRAIN OF COARSE MESHING



### TOTAL DEFORMATION OF MEDIUM MESHING

No.	Time	TRIANGLE	HONEYCOMB	TWEEL	DIAMOND
1	0.05	1.1933E-06	0.000001064	1.3322E-06	1.0583E-06
2	0.1	2.3867E-06	2.1281E-06	2.6644E-06	2.1167E-06
3	0.15	0.00000358	3.1921E-06	3.9965E-06	0.000003175
4	0.2	4.7733E-06	4.2561E-06	5.3287E-06	4.2334E-06
5	0.25	5.9666E-06	5.3202E-06	6.6609E-06	5.2917E-06

UCAPAN TERIMA KASIH



6	0.3	0.00000716	6.3842E-06	7.9931E-06	0.00000635
7	0.35	8.3533E-06	7.4482E-06	9.3253E-06	7.4084E-06
8	0.4	9.5466E-06	8.5122E-06	0.000010657	8.4667E-06
9	0.45	0.00001074	9.5763E-06	0.00001199	0.000009525
10	0.5	0.000011933	0.00001064	0.000013322	0.000010583
11	0.55	0.000013127	0.000011704	0.000014654	0.000011642
12	0.6	0.00001432	0.000012768	0.000015986	0.0000127
13	0.65	0.000015513	0.000013832	0.000017318	0.000013758
14	0.7	0.000016707	0.000014896	0.000018651	0.000014817
15	0.75	0.0000179	0.00001596	0.000019983	0.000015875
16	0.8	0.000019093	0.000017024	0.000021315	0.000016933
17	0.85	0.000020287	0.000018089	0.000022647	0.000017992
18	0.9	0.00002148	0.000019153	0.000023979	0.00001905
19	0.95	0.000022673	0.000020217	0.000025311	0.000020108
20	1	0.000023867	0.000021151	0.000026644	0.000021167

EQUIVALENT STRESS OF MEDIUM MESHING					
No.	Time	TRIANGLE	HONEYCOMB	TWEEL	DIAMOND
1	0.05	45493	44254	54851	44390
2	0.1	90987	88507	109700	88780
3	0.15	136480	132760	164550	133170
4	0.2	181970	177010	219400	177560
5	0.25	227470	221270	274250	221950
6	0.3	272960	265520	329100	266340
7	0.35	318450	309780	383950	310730
8	0.4	363950	354030	438800	355120
9	0.45	409440	398280	493660	399510
10	0.5	454930	442540	548510	443900

11	0.55	500430	486790	603360	488290
12	0.6	545920	531040	658210	532680
13	0.65	591410	575300	713060	577070
14	0.7	636910	619550	767910	621460
15	0.75	682400	663810	822760	665850
16	0.8	727890	708060	877610	710240
17	0.85	773390	752310	932460	754630
18	0.9	818880	796570	987310	799020
19	0.95	864380	840820	1042200	843410
20	1	909870	885070	1097000	887800

EQUIVALENT ELASTIC STRAIN OF MEDIUM MESHING					
No.	Time	TRIANGLE	HONEYCOMB	TWEEL	DIAMOND
1	0.05	0.000017258	0.000020919	0.000018737	0.000013908
2	0.1	0.000034516	0.000041838	0.000037474	0.000027816
3	0.15	0.000051774	0.000062757	0.000056211	0.000041723
4	0.2	0.000069031	0.000083676	0.000074948	0.000055631
5	0.25	0.000086289	0.0001046	0.000093685	0.000069539
6	0.3	0.00010355	0.00012551	0.00011242	0.000083447
7	0.35	0.00012081	0.00014643	0.00013116	0.000097355
8	0.4	0.00013806	0.00016735	0.0001499	0.00011126
9	0.45	0.00015532	0.00018827	0.00016863	0.00012517
10	0.5	0.00017258	0.00020919	0.00018737	0.00013908
11	0.55	0.00018984	0.00023011	0.00020611	0.00015299
12	0.6	0.00020709	0.00025103	0.00022484	0.00016689
13	0.65	0.00022435	0.00027195	0.00024358	0.0001808
14	0.7	0.00024161	0.00029287	0.00026232	0.00019471
15	0.75	0.00025887	0.00031379	0.00028106	0.00020862
16	0.8	0.00027613	0.0003347	0.00029979	0.00022253

UCAPAN TERIMA KASIH

17	0.85	0.00029338	0.00035562	0.00031853	0.00023643
18	0.9	0.00031064	0.00037654	0.00033727	0.00025034
19	0.95	0.0003279	0.00039746	0.000356	0.00026425
20	1	0.00034516	0.00041838	0.00037474	0.00027816

### Coarse Meshing

EQUIVALENT ELASTIC STRAIN OF MEDIUM MESHING					
No.	Time	TRIANGLE	HONEYCOMB	TWEEL	DIAMOND
1	0.05	0.000017258	0.000020919	0.000018737	0.000013908
2	0.1	0.000034516	0.000041838	0.000037474	0.000027816
3	0.15	0.000051774	0.000062757	0.000056211	0.000041723
4	0.2	0.000069031	0.000083676	0.000074948	0.000055631
5	0.25	0.000086289	0.0001046	0.000093685	0.000069539
6	0.3	0.00010355	0.00012551	0.00011242	0.000083447
7	0.35	0.00012081	0.00014643	0.00013116	0.000097355
8	0.4	0.00013806	0.00016735	0.0001499	0.00011126
9	0.45	0.00015532	0.00018827	0.00016863	0.00012517
10	0.5	0.00017258	0.00020919	0.00018737	0.00013908
11	0.55	0.00018984	0.00023011	0.00020611	0.00015299
12	0.6	0.00020709	0.00025103	0.00022484	0.00016689
13	0.65	0.00022435	0.00027195	0.00024358	0.0001808
14	0.7	0.00024161	0.00029287	0.00026232	0.00019471
15	0.75	0.00025887	0.00031379	0.00028106	0.00020862
16	0.8	0.00027613	0.0003347	0.00029979	0.00022253
17	0.85	0.00029338	0.00035562	0.00031853	0.00023643
18	0.9	0.00031064	0.00037654	0.00033727	0.00025034
19	0.95	0.0003279	0.00039746	0.000356	0.00026425
20	1	0.00034516	0.00041838	0.00037474	0.00027816

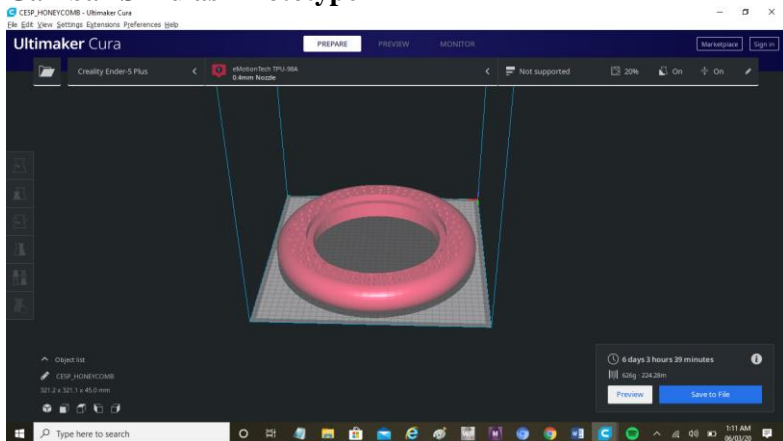
EQUIVALENT STRESS OF MEDIUM MESHING					
No.	Time	TRIANGLE	HONEYCOMB	TWEEL	DIAMOND
1	0.05	41776	39669	52367	40643
2	0.1	83552	79339	104730	81287
3	0.15	125330	119010	157100	121930
4	0.2	167100	158680	209470	162570
5	0.25	208880	198350	261840	203220
6	0.3	250660	238020	314200	243860
7	0.35	292430	277690	366570	284500
8	0.4	334210	317360	418940	325150
9	0.45	375980	357020	471310	365790
10	0.5	417760	396690	523670	406430
11	0.55	459540	436360	576040	447080
12	0.6	501310	476030	628410	487720
13	0.65	543090	515700	680780	528360
14	0.7	584860	555370	733140	569010
15	0.75	626640	595040	785510	609650
16	0.8	668420	634710	837880	650290
17	0.85	710190	674380	890240	690940
18	0.9	751970	714050	942610	731580
19	0.95	793750	753720	994980	772220
20	1	835520	793390	1047300	812870

EQUIVALENT ELASTIC STRAIN OF COARSE MESHING					
No.	Time	TRIANGLE	HONEYCOMB	TWEEL	DIAMOND
1	0.05	0.000015419	0.000021501	0.000019009	0.000024275
2	0.1	0.000030838	0.000043001	0.000038018	0.00004855
3	0.15	0.000046257	0.000064502	0.000057028	0.000072825
4	0.2	0.000061677	0.000086003	0.000076037	0.0000971

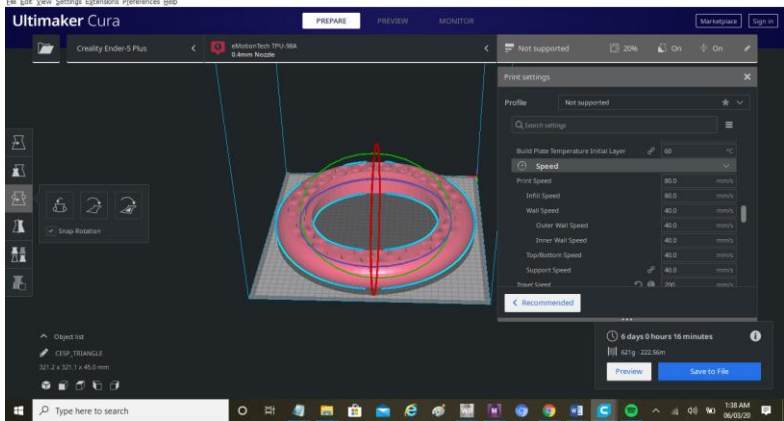
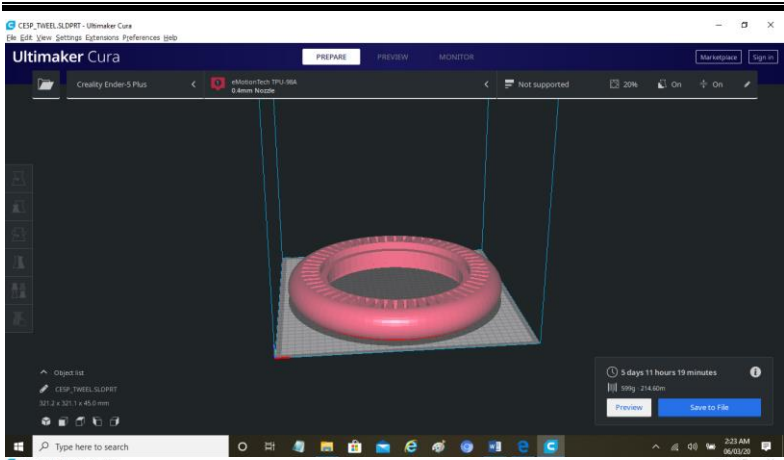
UCAPAN TERIMA KASIH

5	0.25	0.000077096	0.0001075	0.000095046	0.00012137
6	0.3	0.000092515	0.000129	0.00011406	0.00014565
7	0.35	0.00010793	0.0001505	0.00013306	0.00016992
8	0.4	0.00012335	0.00017201	0.00015207	0.0001942
9	0.45	0.00013877	0.00019351	0.00017108	0.00021847
10	0.5	0.00015419	0.00021501	0.00019009	0.00024275
11	0.55	0.00016961	0.00023651	0.0002091	0.00026702
12	0.6	0.00018503	0.00025801	0.00022811	0.0002913
13	0.65	0.00020045	0.00027951	0.00024712	0.00031557
14	0.7	0.00021587	0.00030101	0.00026613	0.00033985
15	0.75	0.00023129	0.00032251	0.00028514	0.00036412
16	0.8	0.00024671	0.00034401	0.00030415	0.0003884
17	0.85	0.00026213	0.00036551	0.00032316	0.00041267
18	0.9	0.00027754	0.00038701	0.00034217	0.00043695
19	0.95	0.00029296	0.00040851	0.00036117	0.00046122
20	1	0.00030838	0.00043001	0.00038018	0.0004855

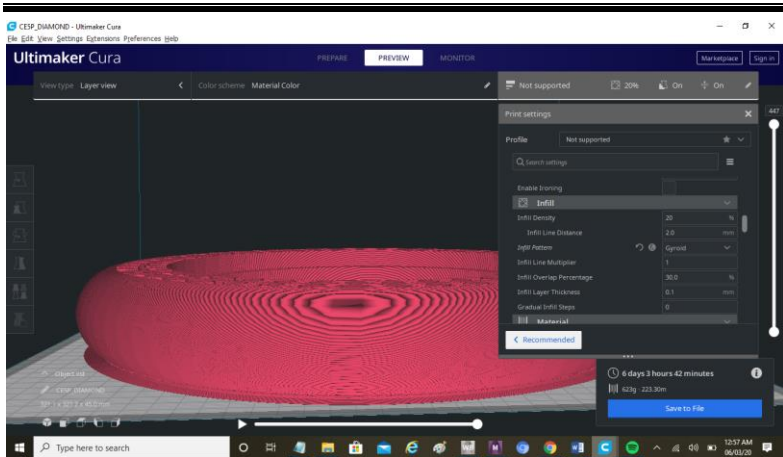
## Gambar Simulasi Prototype



UCAPAN TERIMA KASIH

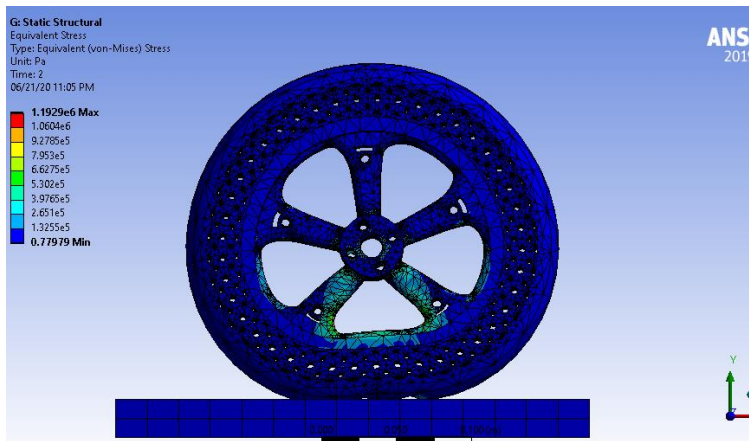
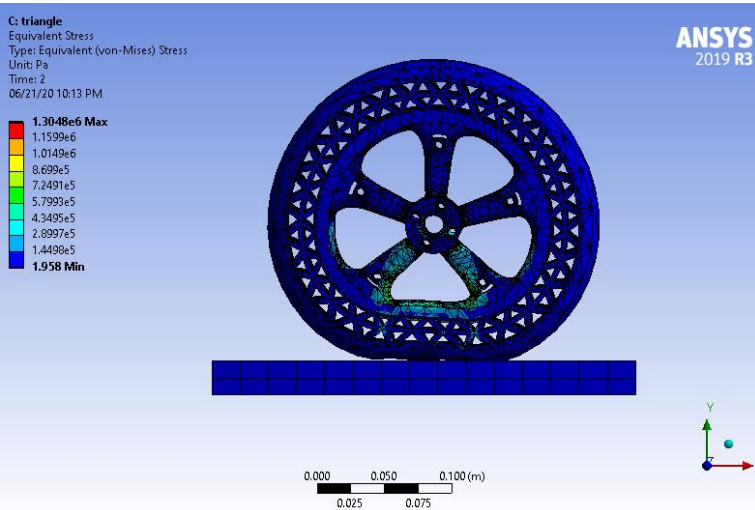


UCAPAN TERIMA KASIH

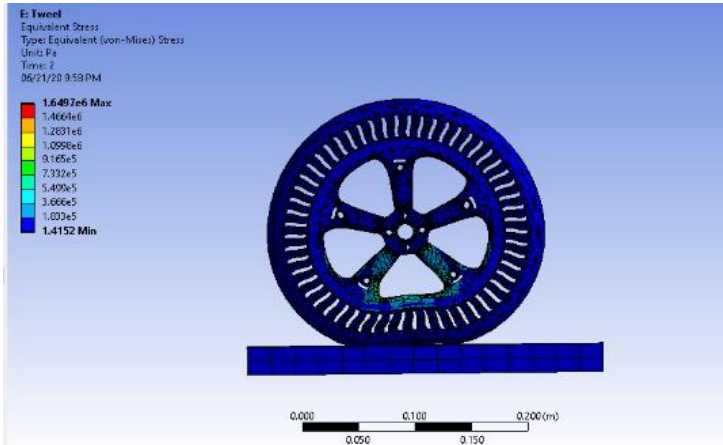


UCAPAN TERIMA KASIH

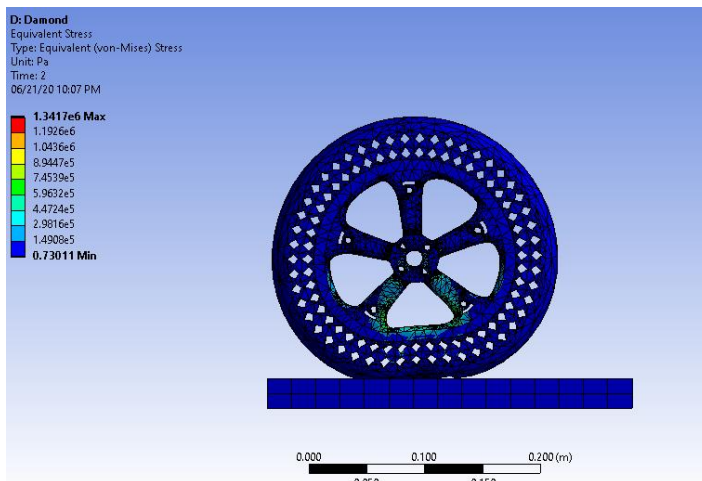
## Equivalent Stress





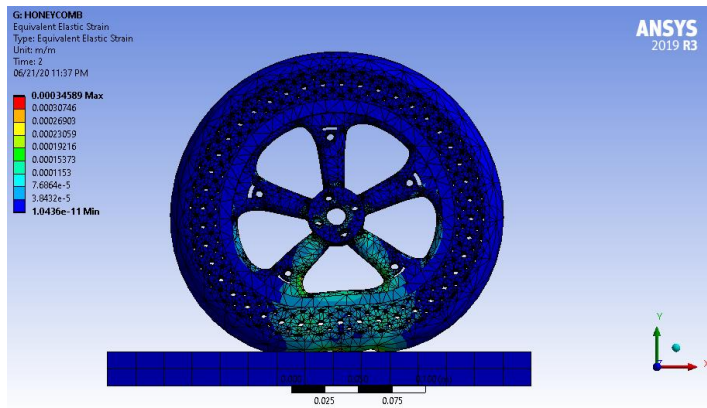
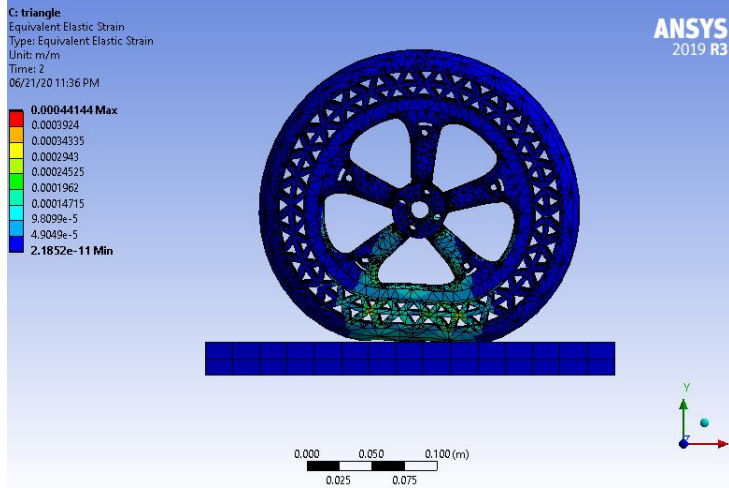


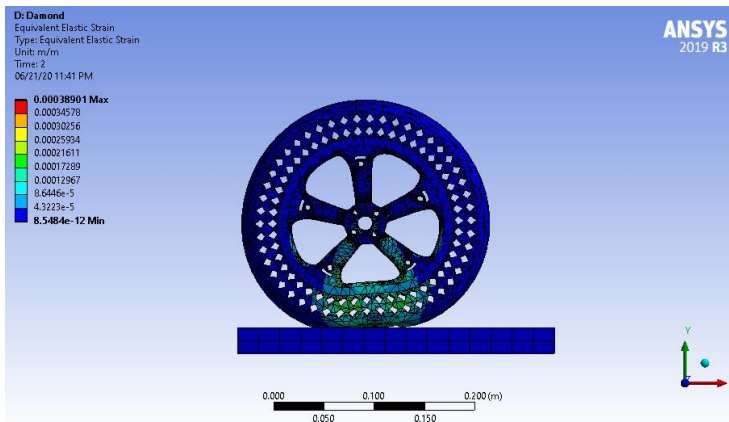
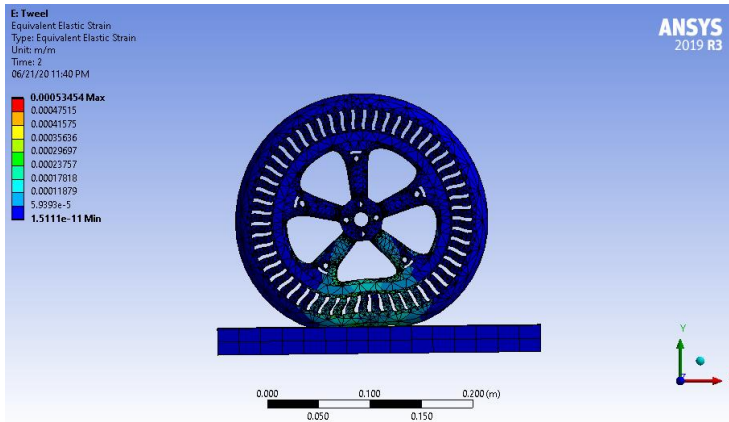
(c)



(d)

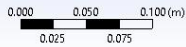
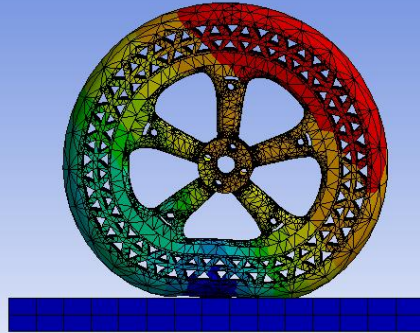
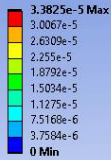
## Equivalent Elastic Strain





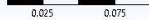
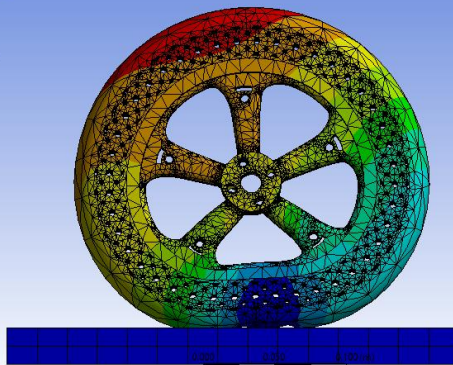
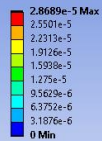
## Total Deformation

C: triangle  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: m  
Time: 2  
06/21/20 11:45 PM

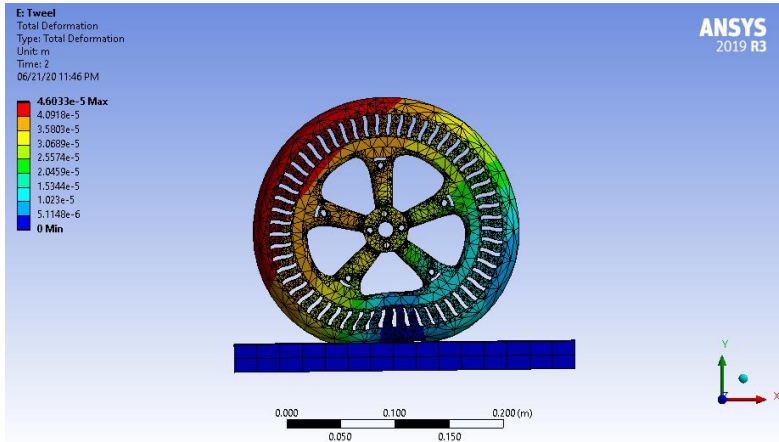


(a)

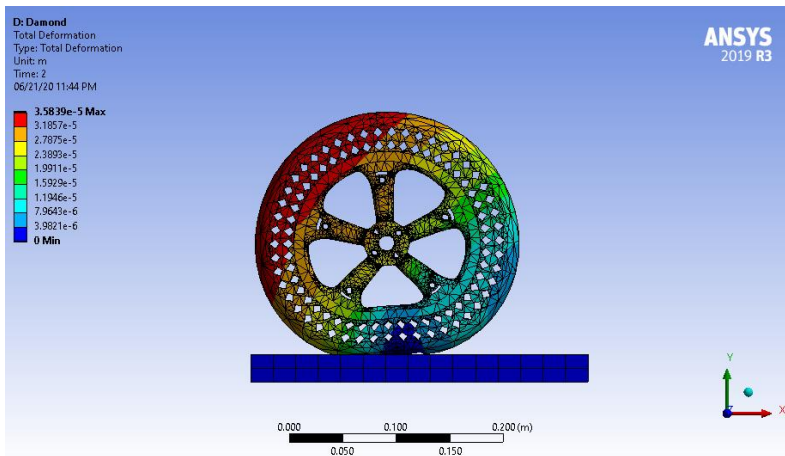
G: HONEYCOMB  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: m  
Time: 2  
06/21/20 11:46 PM



(b)



(c)



(d)

---



---

**STRESS Scale 75%**

<b>NO</b>	<b>Time</b>	<b>TRIANGLE</b>	<b>HONEYCOMB</b>	<b>TWEEL</b>	<b>DIAMOND</b>
1	0.05	65242	59647	82485	67085
2	0.1	1.30E+05	1.19E+05	1.65E+05	1.34E+05
3	0.15	1.96E+05	1.79E+05	2.47E+05	2.01E+05
4	0.2	2.61E+05	2.39E+05	3.30E+05	2.68E+05
5	0.25	3.26E+05	2.98E+05	4.12E+05	3.35E+05
6	0.3	3.91E+05	3.58E+05	4.95E+05	4.03E+05
7	0.35	4.57E+05	4.18E+05	5.77E+05	4.70E+05
8	0.4	5.22E+05	4.77E+05	6.60E+05	5.37E+05
9	0.45	5.87E+05	5.37E+05	7.42E+05	6.04E+05
10	0.5	6.52E+05	5.96E+05	8.25E+05	6.71E+05
11	0.55	7.18E+05	6.56E+05	9.07E+05	7.38E+05
12	0.6	7.83E+05	7.16E+05	9.90E+05	8.05E+05
13	0.65	8.48E+05	7.75E+05	1.07E+06	8.72E+05
14	0.7	9.13E+05	8.35E+05	1.15E+06	9.39E+05
15	0.75	9.79E+05	8.95E+05	1.24E+06	1.01E+06
16	0.8	1.04E+06	9.54E+05	1.32E+06	1.07E+06
17	0.85	1.11E+06	1.01E+06	1.40E+06	1.14E+06
18	0.9	1.17E+06	1.07E+06	1.48E+06	1.21E+06
19	0.95	1.24E+06	1.13E+06	1.57E+06	1.27E+06
20	1	1.30E+06	1.19E+06	1.65E+06	1.34E+06

---



---

**STRAIN Scale 75%**

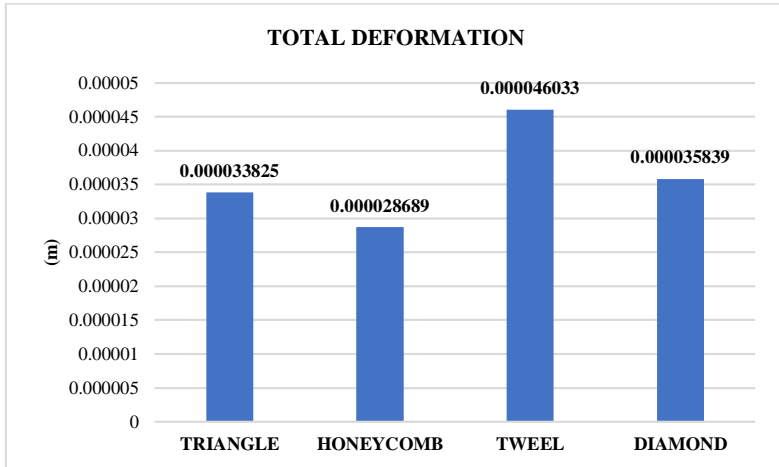
<b>NO</b>	<b>Time</b>	<b>TRIANGLE</b>	<b>HONEYCOMB</b>	<b>TWEEL</b>	<b>DIAMOND</b>
1	0.05	2.21E-05	1.73E-05	2.67E-05	1.95E-05
2	0.1	4.41E-05	3.46E-05	5.35E-05	3.89E-05
3	0.15	6.62E-05	5.19E-05	8.02E-05	5.84E-05
4	0.2	8.83E-05	6.92E-05	1.07E-04	7.78E-05
5	0.25	1.10E-04	8.65E-05	1.34E-04	9.73E-05
6	0.3	1.32E-04	1.04E-04	1.60E-04	1.17E-04
7	0.35	1.55E-04	1.21E-04	1.87E-04	1.36E-04
8	0.4	1.77E-04	1.38E-04	2.14E-04	1.56E-04
9	0.45	1.99E-04	1.56E-04	2.41E-04	1.75E-04
10	0.5	2.21E-04	1.73E-04	2.67E-04	1.95E-04
11	0.55	2.43E-04	1.90E-04	2.94E-04	2.14E-04
12	0.6	2.65E-04	2.08E-04	3.21E-04	2.33E-04
13	0.65	2.87E-04	2.25E-04	3.47E-04	2.53E-04
14	0.7	3.09E-04	2.42E-04	3.74E-04	2.72E-04
15	0.75	3.31E-04	2.59E-04	4.01E-04	2.92E-04
16	0.8	3.53E-04	2.77E-04	4.28E-04	3.11E-04
17	0.85	3.75E-04	2.94E-04	4.54E-04	3.31E-04
18	0.9	3.97E-04	3.11E-04	4.81E-04	3.50E-04
19	0.95	4.19E-04	3.29E-04	5.08E-04	3.70E-04
20	1	4.41E-04	3.46E-04	5.35E-04	3.89E-04

**TOTAL DEFORMATION(MAX) Scale 75%**

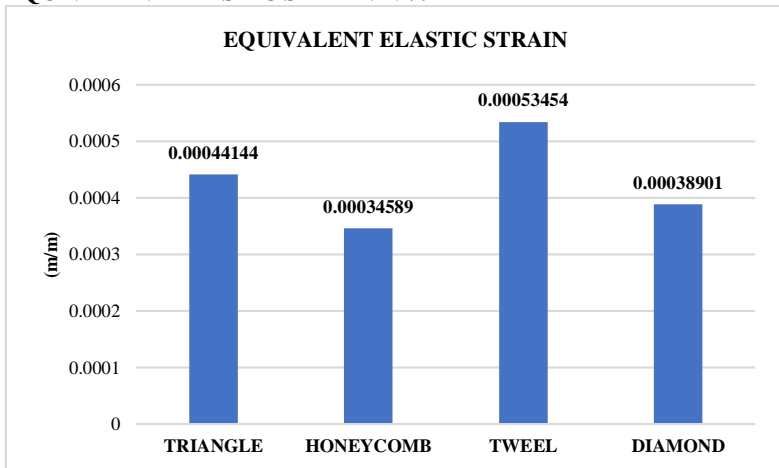
No.	Time	<i>TRIANGLE</i>	<i>HONEYCOMB</i>	<i>TWEEL</i>	<i>DIAMOND</i>
1	0.05	1.69E-06	1.43E-06	2.30E-06	1.79E-06
2	0.1	3.38E-06	2.87E-06	4.60E-06	3.58E-06
3	0.15	5.07E-06	4.30E-06	6.90E-06	5.38E-06
4	0.2	6.77E-06	5.74E-06	9.21E-06	7.17E-06
5	0.25	8.46E-06	7.17E-06	1.15E-05	8.96E-06
6	0.3	1.01E-05	8.61E-06	1.38E-05	1.08E-05
7	0.35	1.18E-05	1.00E-05	1.61E-05	1.25E-05
8	0.4	1.35E-05	1.15E-05	1.84E-05	1.43E-05
9	0.45	1.52E-05	1.29E-05	2.07E-05	1.61E-05
10	0.5	1.69E-05	1.43E-05	2.30E-05	1.79E-05
11	0.55	1.86E-05	1.58E-05	2.53E-05	1.97E-05
12	0.6	2.03E-05	1.72E-05	2.76E-05	2.15E-05
13	0.65	2.20E-05	1.86E-05	2.99E-05	2.33E-05
14	0.7	2.37E-05	2.01E-05	3.22E-05	2.51E-05
15	0.75	2.54E-05	2.15E-05	3.45E-05	2.69E-05
16	0.8	2.71E-05	2.30E-05	3.68E-05	2.87E-05
17	0.85	2.88E-05	2.44E-05	3.91E-05	3.05E-05
18	0.9	3.04E-05	2.58E-05	4.14E-05	3.23E-05
19	0.95	3.21E-05	2.73E-05	4.37E-05	3.40E-05
20	1	3.38E-05	2.87E-05	4.60E-05	3.58E-05

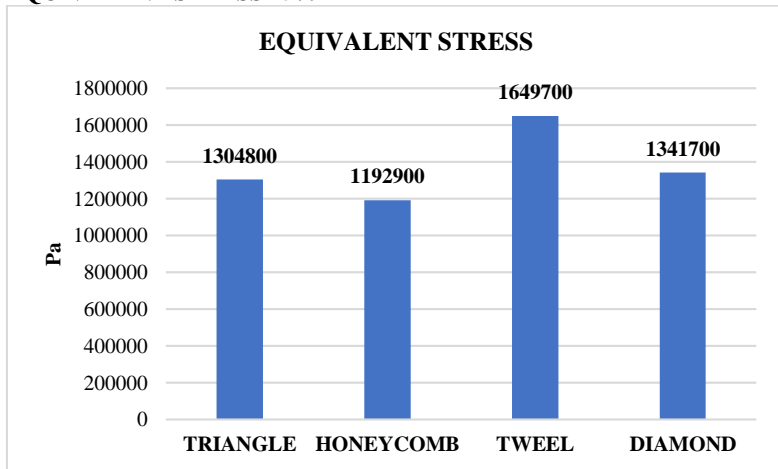


**Total Deformation Scale 75%**







**EQUIVALENT ELASTIC STRAIN 75%**



**EQUIVALENT STRESS 75%**






### Data Print TPU Ban *Airless*

Quality			
Layer Height		0.2	mm
Initial Layer Height		0.2	mm
Line Width		0.4	mm
Wall Line Width		0.4	mm
Outer Wall Line Width		0.4	mm
Inner Wall(s) Line Width		0.4	mm
Top/Bottom Line Width		0.4	mm
Infill Line Width		0.4	mm
Skirt/Brim Line Width		0.4	mm
Support Line Width		0.4	mm
Support Interface Line Width		0.4	mm
Support Roof Line Width		0.4	mm
Support Floor Line Width		0.4	mm
Initial Layer Line Width		100.0	%

Shell	
Wall Thickness	<input type="text" value="0.8"/> mm
Wall Line Count	<input type="text" value="2"/>
Outer Wall Wipe Distance	<input type="text" value="0.0"/> mm
Top Surface Skin Layers	<input type="text" value="0"/>
Top/Bottom Thickness	<input type="text" value="0.8"/> mm
Top Thickness	<input type="text" value="0.8"/> mm
Top Layers	<input type="text" value="4"/>
Bottom Thickness	<input type="text" value="0.8"/> mm
Bottom Layers	<input type="text" value="4"/>
Top/Bottom Pattern	<input type="text" value="Lines"/>
Bottom Pattern Initial Layer	<input type="text" value="Lines"/>
Top/Bottom Line Directions	<input type="text" value="[]"/>
Outer Wall Inset	<input type="text" value="0"/> mm
Optimize Wall Printing Order	<input checked="" type="checkbox"/>
Outer Before Inner Walls	<input type="checkbox"/>
Alternate Extra Wall	<input type="checkbox"/>
Compensate Wall Overlaps	<input checked="" type="checkbox"/>
Compensate Outer Wall Overlaps	<input type="checkbox"/>
Compensate Inner Wall Overlaps	<input checked="" type="checkbox"/>
Fill Gaps Between Walls	<input type="text" value="Everywhere"/>
Filter Out Tiny Gaps	<input type="checkbox"/>








<i>Print Thin Walls</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
Horizontal Expansion	0 mm
Initial Layer Horizontal Expansion	0 mm
Hole Horizontal Expansion	0 mm
<i>Z Seam Alignment</i>	Sharpest Corner ▾
Seam Corner Preference	Smart Hiding ▾
No Skin in Z Gaps	<input type="checkbox"/>
Extra Skin Wall Count	1
Enable Ironing	<input type="checkbox"/>
Skin Overlap Percentage	10.0 %
Skin Overlap	0.04 mm
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Infill</b>	▾
Infill Density	20 %
Infill Line Distance	6.0 mm
Infill Pattern	Cubic ▾
Connect Infill Lines	<input type="checkbox"/>
Infill Line Directions	[ ]
Infill X Offset	0 mm
Infill Y Offset	0 mm
Randomize Infill Start	<input type="checkbox"/>
Infill Line Multiplier	1
Infill Overlap Percentage	30.0 %



Infill	
Infill Density	20 %
Infill Line Distance	6.0 mm
Infill Pattern	Cubic
Connect Infill Lines	<input type="checkbox"/>
Infill Line Directions	[ ]
Infill X Offset	0 mm
Infill Y Offset	0 mm
Randomize Infill Start	<input type="checkbox"/>
Infill Line Multiplier	1
Infill Overlap Percentage	30.0 %
Infill Overlap	0.12 mm
Infill Wipe Distance	0.0 mm
Infill Layer Thickness	0.2 mm
Gradual Infill Steps	0
Infill Before Walls	<input type="checkbox"/>
Minimum Infill Area	0 mm <sup>2</sup>
Infill Support	<input type="checkbox"/>
Skin Removal Width	0.8 mm
Top Skin Removal Width	0.8 mm
Bottom Skin Removal Width	0.8 mm
Skin Expand Distance	0.8 mm

Skin Expand Distance		0.8	mm
Top Skin Expand Distance		0.8	mm
Bottom Skin Expand Distance		0.8	mm
Maximum Skin Angle for Expansion		90	°
Minimum Skin Width for Expansion		0.0	mm
Skin Edge Support Thickness		0	mm
Skin Edge Support Layers		0	
<b>Material</b> ▾			
<i>Printing Temperature</i>	↻ 	215	°C
<i>Printing Temperature Initial Layer</i>	↻ 	220	°C
Initial Printing Temperature		215	°C
Final Printing Temperature		215	°C
<i>Build Plate Temperature</i>		50	°C
<i>Build Plate Temperature Initial Layer</i>		50	°C
Flow		100	%
Wall Flow		100	%
Outer Wall Flow		100	%
Inner Wall(s) Flow		100	%
Top/Bottom Flow		100	%
Infill Flow		100	%
Skirt/Brim Flow		100	%
Support Flow		100	%














Support Flow		100	%
Support Interface Flow		100	%
Support Roof Flow		100	%
Support Floor Flow		100	%
Prime Tower Flow		100	%
Initial Layer Flow		100	%
<b>Speed</b>			∨
<i>Print Speed</i>		50	mm/s
<i>Infill Speed</i>		25	mm/s
Wall Speed		25.0	mm/s
Outer Wall Speed		25.0	mm/s
Inner Wall Speed		25.0	mm/s
Top/Bottom Speed		25.0	mm/s
Support Speed		25.0	mm/s
Support Infill Speed		25.0	mm/s
Support Interface Speed		25.0	mm/s
Travel Speed		150.0	mm/s
<i>Initial Layer Speed</i>		25	mm/s
Initial Layer Print Speed		25	mm/s
Initial Layer Travel Speed		125	mm/s
Skirt/Brim Speed		25	mm/s
Number of Slower Layers		2	




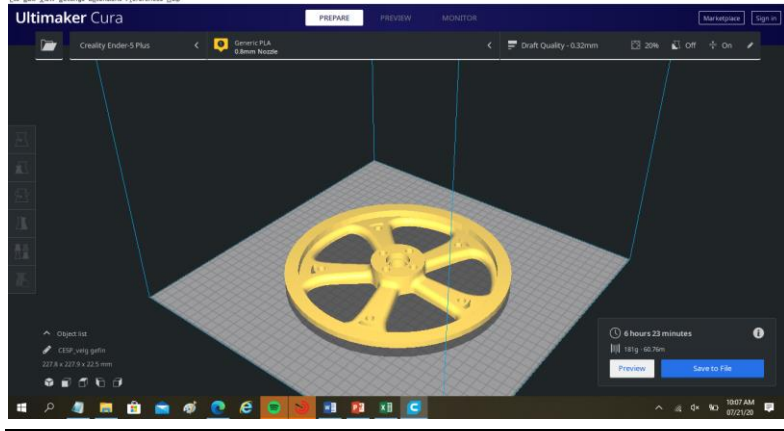
Number of Slower Layers		<input type="text" value="2"/>
Equalize Filament Flow	<input checked="" type="checkbox"/>	
Maximum Speed for Flow Equalization		<input type="text" value="50"/> mm/s
Enable Acceleration Control		<input type="checkbox"/>
Enable Jerk Control		<input type="checkbox"/>
<b>Travel</b> 		
Enable Retraction	<input checked="" type="checkbox"/>	
Retract at Layer Change	<input type="checkbox"/>	
Retraction Distance		<input type="text" value="7"/> mm
Retraction Speed		<input type="text" value="25"/> mm/s
Retraction Retract Speed		<input type="text" value="25"/> mm/s
Retraction Prime Speed		<input type="text" value="25"/> mm/s
Retraction Extra Prime Amount		<input type="text" value="0"/> mm <sup>3</sup>
Retraction Minimum Travel		<input type="text" value="1"/> mm
Maximum Retraction Count		<input type="text" value="100"/>
Minimum Extrusion Distance Window		<input type="text" value="10"/> mm
Combing Mode		<input type="text" value="Within Infill"/> 
Retract Before Outer Wall		<input checked="" type="checkbox"/>
Avoid Printed Parts When Traveling		<input checked="" type="checkbox"/>
Avoid Supports When Traveling		<input checked="" type="checkbox"/>
Travel Avoid Distance		<input type="text" value="0.625"/> mm
Layer Start X		<input type="text" value="0.0"/> mm

Layer Start X	0.0	mm
Layer Start Y	0.0	mm
Z Hop When Retracted		
 <b>Cooling</b>		▼
Enable Print Cooling	<input checked="" type="checkbox"/>	
Fan Speed	100.0	%
Regular Fan Speed	100.0	%
Maximum Fan Speed	100.0	%
Regular/Maximum Fan Speed Threshold	10	s
Initial Fan Speed	0	%
Regular Fan Speed at Height	0.6	mm
Regular Fan Speed at Layer	4	
Minimum Layer Time	10	s
Minimum Speed	10	mm/s
Lift Head		
 <b>Support</b>		▼
Generate Support	<input checked="" type="checkbox"/>	
Support Placement	<input checked="" type="checkbox"/> Everywhere	▼
Support Overhang Angle	<input checked="" type="checkbox"/> 45	°
Support Pattern	<input checked="" type="checkbox"/> Zig Zag	▼
Support Wall Line Count	<input checked="" type="checkbox"/> 1	
Connect Support ZigZags	<input checked="" type="checkbox"/>	

Connect Support ZigZags		<input checked="" type="checkbox"/>	
<b>Support Density</b>		15	%
Support Line Distance		2.6667	mm
Initial Layer Support Line Distance		2.6667	mm
<b>Support Z Distance</b>		0.24	mm
Support Top Distance		0.24	mm
Support Bottom Distance		0.24	mm
Support X/Y Distance		0.8	mm
Support Distance Priority		X/Y overrides Z	▼
Support Stair Step Height		0.3	mm
Support Stair Step Maximum Width		5.0	mm
Support Join Distance		2.0	mm
Support Horizontal Expansion		0	mm
Support Infill Layer Thickness		0.2	mm
Gradual Support Infill Steps		0	
Minimum Support Area		2	mm <sup>2</sup>
Enable Support Interface		<input checked="" type="checkbox"/>	
Enable Support Roof		<input checked="" type="checkbox"/>	
Enable Support Floor		<input checked="" type="checkbox"/>	
Support Interface Thickness		0.8	mm
Support Roof Thickness		0.8	mm
Support Floor Thickness		0.8	mm

Support Interface Resolution		0.2	mm
Support Interface Density		33.333	%
Support Roof Density		33.333	%
Support Floor Density		33.333	%
Support Interface Pattern		Grid	▼
Minimum Support Interface Area		10	mm <sup>2</sup>
Use Towers		<input type="checkbox"/>	
<b>Build Plate Adhesion</b> ▼			
Build Plate Adhesion Type		Brim	▼
Skirt/Brim Minimum Length		250	mm
Brim Width		8.0	mm
Brim Line Count		20	
Brim Distance		0	mm
Brim Only on Outside		<input checked="" type="checkbox"/>	
<b>Dual Extrusion</b> ▼			
<b>Mesh Fixes</b> ▼			
Union Overlapping Volumes		<input checked="" type="checkbox"/>	
Remove All Holes		<input type="checkbox"/>	
Extensive Stitching		<input type="checkbox"/>	
Keep Disconnected Faces		<input type="checkbox"/>	
Merged Meshes Overlap		0.15	mm
Remove Mesh Intersection		<input type="checkbox"/>	

Remove Mesh Intersection	<input type="checkbox"/>
Maximum Resolution	0.05 mm
Maximum Travel Resolution	0.05 mm
Maximum Deviation	0.025 mm
<b>Special Modes</b>	 <input type="checkbox"/>
Print Sequence	All at Once <input type="checkbox"/>
Mold	<input type="checkbox"/>
Surface Mode	Normal <input type="checkbox"/>
Spiralize Outer Contour	<input type="checkbox"/>
Relative Extrusion	<input type="checkbox"/>
<b>Experimental</b>	<input type="checkbox"/>
Tree Support	<input type="checkbox"/>
Slicing Tolerance	Middle <input type="checkbox"/>
Infill Travel Optimization	<input type="checkbox"/>
Break Up Support in Chunks	<input checked="" type="checkbox"/>
Support Chunk Size	20 mm
Support Chunk Line Count	8
Enable Draft Shield	<input type="checkbox"/>
Make Overhang Printable	<input type="checkbox"/>
Enable Coasting	<input checked="" type="checkbox"/>
Coasting Volume	0.064 mm <sup>3</sup>
Minimum Volume Before Coasting	0.8 mm <sup>3</sup>

UCAPAN TERIMA KASIH

Infill Travel Optimization	<input type="checkbox"/>		
Break Up Support In Chunks	<input checked="" type="checkbox"/>		
Support Chunk Size	<input type="checkbox"/>	20	mm
Support Chunk Line Count	<input type="checkbox"/>	8	
Enable Draft Shield	<input type="checkbox"/>		
Make Overhang Printable	<input type="checkbox"/>		
Enable Coasting	<input checked="" type="checkbox"/>		
Coasting Volume	<input type="checkbox"/>	0.064	mm <sup>3</sup>
Minimum Volume Before Coasting	<input type="checkbox"/>	0.8	mm <sup>3</sup>
Coasting Speed	<input type="checkbox"/>	90	%
Spaghetti Infill	<input type="checkbox"/>		
Enable Conical Support	<input checked="" type="checkbox"/>		
Conical Support Angle	<input type="checkbox"/>	30	°
Conical Support Minimum Width	<input type="checkbox"/>	5.0	mm
Fuzzy Skin	<input type="checkbox"/>		
Flow Rate Compensati...Max Extrusion Offset	<input type="checkbox"/>	0	mm
Flow Rate Compensation Factor	<input type="checkbox"/>	100	%
Use Adaptive Layers	<input type="checkbox"/>		
Wipe Nozzle Between Layers	<input type="checkbox"/>		
Small Hole Max Size	<input type="checkbox"/>	0	mm
Small Feature Max Length	<input type="checkbox"/>	0.0	mm
Small Feature Speed	<input type="checkbox"/>	50	%
Small Feature Initial Layer Speed	<input type="checkbox"/>	50	%

---

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dukungan dari berbagai pihak. Peneliti secara khusus mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu. Peneliti banyak menerima bimbingan, petunjuk dan bantuan serta dorongan dari berbagai pihak baik yang bersifat moral maupun material. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT dengan segala rahmat serta karunia-Nya yang memberikan kekuatan bagi peneliti dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Kepada kedua orang tua tercinta yang selama ini telah membantu peneliti dalam bentuk perhatian, kasih sayang, semangat, serta doa yang tidak henti-hentinya mengalir demi kelancaran dan kesuksesan peneliti dalam menyelesaikan skripsi ini. Kemudian terima kasih banyak untuk kakak tercinta Chelsi Andingi Putri dan adik tersayang Farhan Shaquille yang telah memberikan dukungan serta perhatian kepada peneliti.
3. Kepada Bapak Mas Irfan P. Hidayat, S.T., M.Sc., Ph. D. selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan bimbingan, arahan, dorongan, dan semangat kepada peneliti, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
4. Kepada Bapak Mavindra Ramadhani, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan dukungan, perhatian, semangat dari awal menjadi mahasiswa hingga saat ini.
5. Kepada Bapak Wawan Aries Widodo selaku dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
6. Kepada Mas Rido selaku penasihat dan penanggung jawab atas Laboratorium Komputasi yang telah memberikan semangat dan motivasi dalam menunjang inovasi teknologi.

---

7. Segenap dosen dan seluruh staf akademik yang selalu membantu dalam memberikan fasilitas, ilmu, serta pendidikan pada peneliti hingga dapat menunjang dalam penyelesaian skripsi ini.



## BIODATA PENULIS



**Muhammad Gefin**, anak kedua dari 3 bersaudara ini adalah putra kandung dari pasangan bapak Suhardi Sara, S.H. dan ibu Ir. Rulyati, lahir di Medan pada tanggal 09 November 1998. Penulis menempuh pendidikan dimulai dari SD Al - Azhar Medan (*lulus tahun 2010*) dan SMP Al - Azhar Medan (*lulus tahun 2013*) dan SMA Negeri 1 Medan (*lulus tahun 2016*) dan akhirnya menempuh masa kuliah di Fakultas

Teknologi Industri Departemen Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh November.

Penulis juga aktif didunia pergerakan dan organisasi. Dalam dunia pergerakan, penulis terlibat secara aktif dalam membantu menggerakkan ekonomi kampung mitra FTI yang berada di Nambangan dan penyediaan *face shield* untuk tenaga medis dalam menangani virus Covid-19. Pengalaman organisasi penulis dapatkan dari Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknologi Industri (BEM FTI), Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Tenis dan Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) ITS Penalaran.

Dengan ketekunan dan motivasi tinggi untuk terus belajar dan berusaha, penulis telah berhasil menyelesaikan pengerjaan tugas akhir skripsi ini. Semoga dengan penulisan tugas akhir skripsi ini mampu memberikan kontribusi teknologi secara positif bagi dunia pendidikan. (Email: [muhammadgefin6@gmail.com](mailto:muhammadgefin6@gmail.com); No. HP: 082277241035)