



TUGAS AKHIR – TL 184834

**ANALISIS VARIASI GEOMETRI *STEERING* TERHADAP
KEKUATAN DAN BOBOT *BALANCE BIKE* DIBUAT DENGAN
*3D PRINTING***

**AKHLISH ABDI ROBBI
NRP. 02511640000152**

**Dosen Pembimbing
Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.
Mas Irfan P. Hidayat, S.T., M.Sc., Ph.D.**

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



TUGAS AKHIR – TL 184834

**ANALISIS VARIASI GEOMETRI *STEERING* TERHADAP
KEKUATAN DAN BOBOT *BALANCE BIKE* DIBUAT
DENGAN *3D PRINTING***

AKHLISH ABDI ROBBI
NRP. 02511640000152

Dosen Pembimbing
Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.
Mas Irfan P. Hidayat, S.T., M.Sc., Ph.D.

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

**ANALYSIS OF THE VARIATION OF STEERING
GEOMETRY BY THE STRENGTH TO WEIGHT OF THE
BALANCE BIKE MADE BY 3D PRINTING**

AKHLISH ABDI ROBBI
NRP. 02511640000152

Supervisors

Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.
Mas Irfan P. Hidayat, S.T., M.Sc., Ph.D.

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(This page is intentionally left blank)

**ANALISIS VARIASI GEOMETRI *STEERING* TERHADAP
KEKUATAN DAN BOBOT *BALANCE BIKE* DIBUAT
DENGAN *3D PRINTING***

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:

AKHLISH ABDI ROBBI

NRP 02511640000152

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D..... (Pembimbing I)
2. Mas Irfan P. Hidayat, S.T., M.Sc., Ph.D..... (Pembimbing II)



SURABAYA
Agustus 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALISIS VARIASI GEOMETRI *STEERING* TERHADAP KEKUATAN DAN BOBOT *BALANCE BIKE* DIBUAT DENGAN *3D PRINTING*

Nama : Akhlish Abdi Robbi
NRP : 0251164000152
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing I : Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.
Pembimbing II : Mas Irfan P. Hidayat, S.T., M.Sc., Ph.D.

Abstrak

Saat ini penggunaan 3D printing sangat bervariasi bahkan dalam aplikasi di moda transportasi yaitu sepeda. Sepeda balance bike merupakan sepeda yang digunakan sebagai media belajar anak – anak untuk melatih keseimbangan bersepeda. Steering sepeda merupakan komponen penting dimana bagian tersebut berperan sebagai sistem kemudi dan kestabilan sepeda. Selain itu filamen carbon-fiber nylon sangat sesuai karena memiliki sifat kuat dan ringan. Bentuk geometri steering juga berpengaruh karena akan dilakukan simulasi untuk memperoleh hasil yang optimal. Geometri yang divariasikan ialah Geometri A, Geometri B, dan Geometri C. Hasil simulasi statis menunjukkan bahwa variasi geometri B secara umum memiliki hasil simulasi statis yang paling baik dengan total deformasi sebesar 0,00349 m, tegangan maksimal sebesar 4,88 Mpa, dan regangan elastis sebesar 0,00461 m/m. Selain itu dalam analisis bobot, variasi geometri B memiliki bobot yang paling ringan. Dalam analisis survei yang dilakukan menunjukkan bahwa geometri B memiliki minat terbanyak sehingga pada analisis penentuan desain ditentukan bahwa geometri B sebagai objek yang akan dicetak. Parameter cetak yang digunakan antara lain shell, infill, speed, travel, flow, dan print support. Setelah ditimbang menggunakan neraca massa, hasil cetak steering geometri B memiliki bobot sebesar 760 gram.

Kata Kunci: *Balance Bike, Filamen Carbon-Fiber Nylon, 3D printing*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALYSIS OF THE VARIATION OF STEERING GEOMETRY BY THE STRENGTH TO WEIGHT OF THE BALANCE BIKE MADE BY 3D PRINTING

Student Name : Akhlish Abdi Robbi
NRP : 02511640000152
Department : Material and Metallurgical Engineering
Supervisor : Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D.
Co-Supervisor : Mas Irfan P. Hidayat, S.T., M.Sc., Ph.D.

Abstract

Right now the usage of 3D printing are vary even in the application in transportation such as bicycle. Balance bike is a type of a bike which used to train the children to polish their balance while riding. The steering of a bike is an important part where this part act as a main control system of the bicycle. Beside that, the carbon-fiber nylon filament is very suitable because of its good strength and lightweighthness. To be able to become a good design, the geometry design will also take part because the geometry will undergo simulation to achieve optimal strength. The variation of the geometry which used are Geometry A, Geometry B, and Geometry C. The results of the static simulation shows that variation of the geometry B generally have the best static simulation results with total deformation of 0,00349 m, maksimum stress of 4,88 Mpa, and elastic strain of 0,00461 m/m. Then in the weight analysis the geometry B has the most lightweight. In the survey analysis which already done proves that geometry B has the biggest choice so that from the design analysis conclude that this research would use geometry B as the printed object. The printing parameters which would be use are shell, infill, speed, travel, flow, and print support. After being scaled by the mass scale, steering geometry B has the weight of 760 grams.

Keywords: *Balance Bike, Carbon-Fiber Nylon Filament, 3D printing*

(This page is intentionally left blank)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa berkat rahmat dan karunia-Nya penelitian Tugas Akhir dengan judul “**Analisis Variasi Geometri *Steering* Terhadap Kekuatan dan Bobot *Balance Bike* dibuat dengan *3D Printing*” dapat terlaksanakan dengan baik dan dapat selesai tepat pada waktunya. Tujuan dari penyusunan Laporan Tugas Akhir adalah untuk memenuhi salah satu syarat akademis yang wajib dipenuhi dalam kuliah program studi Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.**

Terselesaikannya Laporan Tugas Akhir tidak luput dari bantuan, motivasi serta partisipasi dari semua pihak, untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kasih kepada:

1. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D dan Bapak Mas Irfan P. Hidayat, S.T., M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, membantu, dan memberikan banyak ilmu kepada penulis.
2. Orang tua yang selalu mendukung serta memberikan doa selama penelitian tugas akhir dan penyusunan laporan.

Penulis menyadari penyusunan laporan ini masih jauh dari kesempurnaan. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga laporan ini dapat berguna bagi penulis dan semua pihak yang terkait.

Surabaya, 21 Juli 2020
Penulis

Akhlish Abdi Robbi

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
Abstrak	vii
Abstract	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	5
2.2 Rapid Prototyping.....	7
2.3 Fused Desposition Modeling.....	9
2.4 Material Komposit.....	11
2.5 Polymer Matrix Composite (PMC).....	14
2.6 Fiber Reinforce Polymer.....	15
2.7 Balance Bike.....	19
2.8 Dinamika Sepeda.....	32
2.9 Metode Elemen Hingga.....	39
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir.....	47
3.2 Bahan Penelitian.....	49
3.3 Peralatan dan Piranti Lunak Penelitian.....	51
3.4 Variabel.....	53
3.5 Tahapan Penelitian.....	53
BAB IV HASIL DAN ANALISIS DATA	
4.1 Hasil Modeling Geometri.....	69
4.2 Hasil Simulasi <i>Static Structural</i> dengan Menggunakan Ansys.....	75

4.3	Analisa Bentuk Geometri terhadap Kekuatan.....	89
4.4	Analisa Pengaruh Geometri terhadap Bobot.....	93
4.5	Analisa Survei untuk Penentuan Desain Geometri yang Dicitak	95
4.6	Analisa Aspek dalam Pemilihan Desain	96
4.7	Optimalisasi Pengaturan Pencetakan <i>Steering Balance Bike</i>	98
4.8	Hasil Analisis Data	107
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	117
5.2	Saran	118
DAFTAR PUSTAKA		119
LAMPIRAN		123
UCAPAN TERIMA KASIH		157
BIODATA PENULIS		159

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Model CAD dari <i>fork</i>	6
Gambar 2.2	Karakteristik dari Macam – Macam Metode <i>Prototyping</i>	7
Gambar 2.3	Skema Proses <i>Fused Desposition Modeling</i>	10
Gambar 2.4	Contoh dari Material Komposit.....	12
Gambar 2.5	Beberapa Klasifikasi Komposit Fiber Penguat Berdasarkan (a) Bentuk Tulangan dan (b) Bentuk Konstituennya.....	13
Gambar 2.6	(a) Gambar <i>3d Printing</i> dari Komposit <i>Honeycomb</i> , (b) Ilustrasi dari Penyelarasan Progresif dari <i>Filler</i> dengan Rasio Tinggi dalam <i>Nozzle</i> saat Proses Deposisi, (c) Kurva Tegangan vs. Regangan Tarik untuk Spesimen Uji Tarik.	17
Gambar 2.7	Seorang anak mencoba mengendarai <i>Balance bike</i>	20
Gambar 2.8	Metode lama menggunakan tambahan roda latihan.....	21
Gambar 2.9	Parameter untuk Menentukan Geometri Sepeda	23
Gambar 2.10	<i>Fork</i> dari sepeda balap.	24
Gambar 2.11	Geometri dan Gaya yang Bekerja pada <i>Fork</i> Depan.	26
Gambar 2.12	Sketsa Rangka Sepeda secara umum.	28
Gambar 2.13	Geometri rangka sepeda berdasar manekin dengan risiko cedera rendah dan <i>free body diagram</i> rangka sepeda.....	29
Gambar 2.14	Geometri <i>Balance Bike</i>	31
Gambar 2.15	Derajat kebebasan utama.....	35
Gambar 2.16	Tata acuan koordinat dinamika sepeda.	36
Gambar 2.17	Skema kinematika sepeda.	36
Gambar 2.18	Dinamika <i>leaning</i>	38
Gambar 2.19	Proses dari Analisis Elemen Hingga.	41
Gambar 2.20	Perangkat Lunak CAD (a) <i>Solidworks</i> , dan (b) <i>Autodesk Fusion</i>	43

Gambar 2.21	<i>Mesh</i> dari sebuah stopkontak yang kompleks (a) Tampilan penuh model saat di mesh (b) Potongan model tepat di bagian tengah.....	45
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	49
Gambar 3.2	(a) Filamen <i>ePA-CF</i> (b) Neraca Massa	50
Gambar 3.3	<i>Software</i> yang digunakan (a) Solidworks 2018, (b) Ansys 19.1, (c) Ultimaker Cura	52
Gambar 3.4	Mesin <i>3D printer</i> yang digunakan.....	53
Gambar 3.5	Diagram alir simulasi.	59
Gambar 3.6	Input sifat mekanik pada <i>Engineering Data Library</i>	60
Gambar 3.7	Dimensi dari geometri penelitian.	60
Gambar 3.8	Geometri setelah dilakukan <i>meshing</i>	61
Gambar 3.9	Pengaturan untuk melakukan <i>geometry meshing</i>	62
Gambar 3.10	Pengaturan <i>Boundary Conditions</i> untuk <i>Presimulations</i>	63
Gambar 3.11	Pengaturan untuk <i>Analysis Settings</i>	64
Gambar 3.12	<i>Free body</i> diagram sepeda.....	65
Gambar 3.13	Diagram alir proses <i>3D printing</i>	66
Gambar 3.14	<i>Print Setting</i> menggunakan <i>software</i> Cura.....	67
Gambar 4.1	Geometri A (a) Tampak Depan (b) Tampak Kanan (c) Tampak Atas.....	70
Gambar 4.2	Geometri B (a) Tampak Depan (b) Tampak Kanan (c) Tampak Atas.....	72
Gambar 4.3	Geometri C (a) Tampak Depan (b) Tampak Kanan (c) Tampak Atas.....	74
Gambar 4.4	Hasil <i>Meshing</i> Tampak <i>Isometric</i> (a) Geometri A, (b) Geometri B, dan (c) Geometri C.....	77
Gambar 4.5	Skema Gaya yang bekerja pada (a) Geometri A, (b) Geometri B, dan (c) Geometri C <i>steering</i> sepeda.	79
Gambar 4.6	Spektrum warna nilai tegangan.	79

Gambar 4.7	Hasil Simulasi Statis pada <i>Steering</i> Geometri A (a) <i>Total Deformation</i> , (b) <i>Equivalent Stress</i> , (c) <i>Equivalent Elastic Strain</i>	81
Gambar 4.8	Lokasi Maksimum dari (a) <i>Total Deformation</i> , (b) <i>Equivalent Stress</i> , (c) <i>Equivalent Elastic Strain</i> dari Geometri A.....	82
Gambar 4.9	Hasil Simulasi Statis pada <i>Steering</i> Geometri B (a) <i>Total Deformation</i> , (b) <i>Equivalent Stress</i> , (c) <i>Equivalent Elastic Strain</i>	84
Gambar 4.10	Lokasi Maksimum dari (a) <i>Total Deformation</i> , (b) <i>Equivalent Stress</i> , (c) <i>Equivalent Elastic Strain</i> dari Geometri B.....	85
Gambar 4.11	Hasil Simulasi Statis pada <i>Steering</i> Geometri C (a) <i>Total Deformation</i> , (b) <i>Equivalent Stress</i> , (c) <i>Equivalent Elastic Strain</i>	87
Gambar 4.12	Lokasi Maksimum dari (a) <i>Total Deformation</i> , (b) <i>Equivalent Stress</i> , (c) <i>Equivalent Elastic Strain</i> dari Geometri C.....	88
Gambar 4.13	Perbandingan nilai deformasi total pada varian geometri <i>steering balance bike</i>	90
Gambar 4.14	Perbandingan nilai <i>equivalent stress</i> maksimum pada geometri <i>steering balance bike</i>	91
Gambar 4.15	Perbandingan nilai <i>equivalent elastic strain</i> maksimum pada geometri <i>steering balance bike</i>	92
Gambar 4.16	Kurva <i>Stress-Strain</i> pada basis Geometri A, B, dan C.	93
Gambar 4.17	Hasil <i>survey</i> yang dilakukan kepada publik untuk mengetahui tingkat minat masyarakat.....	95
Gambar 4.18	Grafik Perbandingan Total Nilai Aspek Pemilihan Desain <i>Steering Balance Bike</i>	97
Gambar 4.19	Display <i>Steering Balance Bike</i> yang telah dibagi menjadi 3 bagian (a) <i>Handle</i> , (b) <i>Middle Steering</i> , dan (c) <i>Lower Steering</i> menggunakan <i>software Solidworks</i>	102

Gambar 4.20	<i>Preview</i> komponen (a) <i>Lower steering</i> , (b) <i>Middle steering</i> , (c) <i>Handle</i> setelah di <i>slice</i> dan sebelum dicetak pada <i>software</i> Cura 4.5.	103
Gambar 4.21	Hasil Pencetakan Objek <i>Middle Steering</i>	104
Gambar 4.22	Hasil Pencetakan Objek <i>Lower Steering</i>	105
Gambar 4.23	Proses Pencetakan <i>Handle Balance bike</i> (a) Proses Cetak Objek <i>Initial layer</i> (b) Proses Cetak Objek < 50 % (c) Proses Cetak Objek > 50 % (d) Pencetakan Objek Selesai.	107
Gambar 4.24	Perhitungan Bobot <i>Steering Balance bike</i> (a) Bagian <i>Middle Steering</i> , (b) Bagian <i>Lower Steering</i> , (c) Bagian <i>Handle</i>	109
Gambar 4.25	<i>Blobs</i> pada bagian sudut objek.	110
Gambar 4.26	<i>Stringing</i> pada layer objek.	111
Gambar 4.27	Permukaan Objek yang Ditumpu oleh <i>Print Support</i>	112
Gambar 4.28	Permukaan Objek yang Mengalami (a) <i>Over-extrusion</i> (b) Normal.	114
Gambar 4.29	Hasil <i>Assembly</i> Objek <i>Steering Balance Bike</i> . ..	114
Gambar 4.30	Posisi Pembebanan pada <i>Steering Balance Bike</i>	115
Gambar 4.31	Besar Nilai Pembebanan yang Tertera pada Panel Neraca Massa.	116

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Ringkasan dari Metode dan Material dari <i>Fiber Reinforced Polymer Composites</i> untuk <i>3D Printing</i> dan Peningkatan Sifat Mekanik.....	16
Tabel 2.2	<i>Balance bike</i> : Istilah, Fitur, Produsen, Harga dan Ukuran.....	21
Tabel 2.3	Spesifikasi Material <i>Steering</i> Sepeda.....	25
Tabel 2.4	Perbandingan tinggi tubuh orang dewasa dan anak – anak.....	28
Tabel 2.5	Dimensi rangka sepeda untuk menopang posisi tubuh dengan nilai risiko cedera yang rendah.....	29
Tabel 2.6	Paduan Ukuran <i>Balance Bike</i>	30
Tabel 2.7	Ukuran Geometri <i>Balance Bike</i>	32
Tabel 3.1	Spesifikasi Teknis Material Penelitian.....	49
Tabel 3.2	Komposisi Material <i>ePA-CF</i>	50
Tabel 3.3	Variabel Penelitian.....	53
Tabel 3.4	Variasi geometri <i>steering balance bike</i> dengan SPA.....	54
Tabel 3.5	Pengaturan Pencetakan dengan Menu <i>Basic</i> pada <i>software Cura 4.5</i>	67
Tabel 4.1	Hasil Analisis <i>Meshing</i> Variasi Geometri.....	75
Tabel 4.2	Estimasi Massa <i>Steering Balance Bike</i>	94
Tabel 4.3	Aspek Data Penilaian untuk Pemilihan Variasi Geometri <i>Steering</i>	96

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era yang semakin canggih saat ini pengembangan suatu alat dan komponen juga semakin mudah, tak terkecuali dalam proses manufaktur. Namun dengan adanya Revolusi Industri 4.0 akan makin mempermudah proses manufaktur material tersebut dan salah satunya ialah dengan ditemukannya sebuah teknologi baru yaitu *Additive Manufacturing* (Dilberoglu, 2017). Keunggulan dari teknologi ini ialah mampu untuk merealisasikan sebuah produk dengan hanya berbekal desain. *3D printing* merupakan sebuah teknik untuk menciptakan sebuah struktur secara luas dan geometri kompleks dari sebuah 3D Model. (Gebhart, A. 2018). Penggunaan *3D print* saat ini juga sangat bervariasi bahkan juga dapat digunakan untuk moda transportasi salah satunya sepeda. Sepeda digunakan dimana saja baik untuk transportasi, olahraga, maupun wahana rekreasi. Evolusi sepeda dari waktu ke waktu telah menjadi buah produk dari kebutuhan, kepintaran, bahan, dan industrialisasi. Selain efisien dan mudah digunakan, sepeda juga merupakan sebuah tantangan tersendiri (Astrom, 2005). Maka dari itu, untuk memudahkan orang – orang dalam mengendarai sepeda itu sendiri terutama pada anak – anak balita, diciptakan sebuah inovasi yaitu *Balance bike* yang bertujuan untuk membantu anak – anak balita dalam melatih keseimbangan saat belajar mengendarai sepeda untuk pertama kali. Salah satu penemuan terbaik terkait sepeda ialah penemuan yang dilakukan oleh Chris Edward dkk, dimana sebuah sepeda gunung dibuat menggunakan *3D printer* dengan material berupa *carbon fiber* yang merupakan material dengan bobot yang ringan dan kuat.

Berdasarkan hal tersebut, penulis memiliki inovasi untuk menciptakan *balance bike* dengan spesifikasi berdasarkan penemuan yang dilakukan oleh Chris Edward dkk, dimana sepeda

ini nantinya akan diproduksi dengan menggunakan *3D printer* dan menggunakan material *carbon fiber*. Fokus penulis ialah akan meneliti pada bagian *steering* baik dari segi desain *steering* sepeda tersebut dengan menggunakan *software CAD* yaitu Solidworks serta simulasi kualitas *steering* tersebut dengan menggunakan *software CAE* yaitu Workbench Ansys. *Steering* merupakan sebuah subsistem pengelola yang merupakan gabungan dari komponen mekanik untuk membantu pengendara dalam mengendalikan sepeda menuju arah yang diinginkan atau mengendalikan suatu belokan searah jalan melingkar. Sistem *steering* dari sebuah kendaraan roda dua melibatkan parameter penting yang menentukan stabilitas dan manuverabilitas dari kendaraan (Koleti, 2018). Secara umum dalam pembuatan *fork* sepeda menggunakan bahan material yang sama dengan yang digunakan pada rangka sepeda. *Fork* sepeda merupakan salah satu bagian penting dalam komponen sepeda karena komponen ini merupakan komponen yang mendapatkan tegangan paling tinggi. Desain *fork* sepeda yang baik ialah desain *fork* sepeda yang memiliki ketahanan paling baik dalam menahan beban. Secara keseluruhan, desain serta material yang digunakan dalam pembuatan *fork* sepeda akan mempengaruhi laju sepeda. Bentuk geometri sepeda yang besar akan membuat berat sepeda semakin besar dan tentunya jumlah material yang digunakan akan semakin banyak. Hal ini akan menyebabkan laju sepeda menjadi terhambat. Begitupun sebaliknya geometri serta material yang terlalu ringan akan membuat sepeda menjadi tidak tahan benturan dan mudah rusak (Rasyid, 2020). Setiap desain variasi geometri *steering* juga memperhatikan anatomi bentuk dari bagian sepeda tersebut.

Maka dari itu agar didapatkan hasil desain yang baik diperlukan metode numerik yang tepat dengan variabel dan parameter yang efektif yaitu memperhatikan ketahanan dari desain serta material dari komponen *steering* tersebut. Pada penelitian ini hasil desain yang baik akan mengacu pada nilai minimum yang

dihasilkan oleh nilai deformasi total, *equivalent stress*, serta *equivalent elastic strain* yang telah dilakukan pada simulasi variasi geometri *steering balance bike*.

Hasil desain tersebut juga akan dicetak dengan menggunakan *3D printer* dengan material filamen produksi eSUN dengan seri ePA-CF yang terbuat dari komposisi campuran bahan polyamide (PA) atau seringkali disebut sebagai nylon dengan *carbon fiber*. *Balance bike* sendiri di desain untuk digunakan oleh anak – anak sehingga dibutuhkan material yang ringan tapi kuat sehingga filamen tersebut sangat sesuai dengan kriteria *balance bike*.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh variasi desain *steering* sepeda terhadap kekuatan pada analisa simulasi *static structural* pada Workbench Ansys?
2. Bagaimana pengaruh variasi desain *steering* sepeda terhadap bobot pada analisa simulasi *static structural* pada Workbench Ansys?
3. Bagaimana hasil proses produksi *steering balance bike* menggunakan 3D printing?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi desain *steering* sepeda terhadap kekuatan pada analisa simulasi *static structural* pada Workbench Ansys?
2. Mengetahui pengaruh variasi desain *steering* sepeda terhadap bobot pada analisa simulasi *static structural* pada Workbench Ansys?

-
3. Mengetahui hasil proses produksi *steering balance bike* menggunakan 3D printing

1.4 Batasan Masalah

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

1. Material filamen *3D printer* dianggap sama tanpa cacat.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan variasi desain dan studi komparasi yang optimal sebagai data dalam merancang *balance bike* berbasis *3D printing*.

BAB II

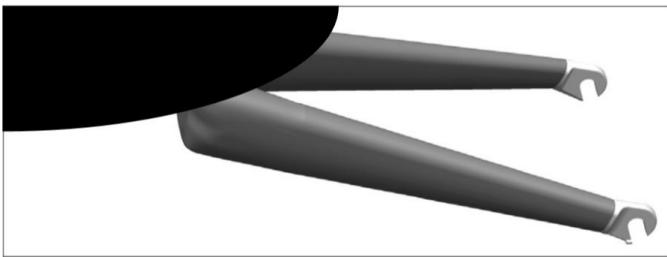
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Dalam beberapa dekade sebelumnya, penelitian mengenai penggunaan *carbon fiber reinforce polymer* pada komponen sepeda telah berkembang sangat pesat. Hal ini dipicu oleh adanya peningkatan permintaan konsumen untuk penggunaan komponen yang ringan dalam bidang transportasi dan industri olahraga. Dan dalam kurun waktu saat ini biaya fabrikasi komposit *carbon fiber* juga mengalami penurunan, namun terkadang penurunan kualitas dan keamanan. Untuk mencapai desain serta penurunan biaya produksi yang baik tentunya dapat dicapai dengan cara model matematika. Namun dengan luasnya literatur mengenai sifat mekanik komposit karbon/epoksi, ternyata masih jarang untuk menemukan pendekatan metodologi praktis dalam desain dan analisa elemen hingga (FEA) pada komponen komposit struktural. (Baldissera, 2014). Pada tahun 2020, M. K. Rasyid dkk, melakukan sebuah penelitian yang bertujuan untuk memilih material yang tepat untuk desain *fork* sepeda yang memiliki ketahanan paling baik dalam menahan beban. Penelitian tersebut menggunakan simulasi numerik terhadap desain *fork* sepeda yang dirancang menggunakan CAD. Konsep tersebut kemudian akan dipilih menggunakan metode pemilihan matriks keputusan *Pugh Concept*. Analisis tersebut berfokus pada jenis bahan yang biasa digunakan untuk *fork* sepeda, yaitu steel 440C, Al 6061i, dan Titanium. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan nilai analisis dari distribusi tegangan serta deformasi yang terjadi pada setiap jenis material pada desain *fork* sepeda.

Pada tahun 2018, Chris Edwards dkk. mencoba untuk membuat sepeda gunung menggunakan metode *3D printing* dengan bahan serat karbon. Mencetak komposit serta karbon memiliki banyak kesamaan dengan termoplastik pada umumnya.

Dimana filamen dilebur melalui elemen yang dipanaskan dan digunakan untuk membangun permukaan dengan jalur yang telah ditentukan oleh *file* perangkat lunak yang sudah di program. Agar dapat di ekstrusi oleh mesin, sifat kaku serat karbon memiliki batas untuk jari – jari terkecil pada jalur lengkung meskipun relatif lentur dalam kondisi panas. Karena itu, sebagian besar struktur bagian yang dicetak akan terdiri dari lapisan ekstrusi dimana setiap lapisan serat berjalan sejajar satu sama lain. Serat karbon memiliki kekakuan axial yang sangat baik, namun dalam menahan beban *orthogonal* masih memiliki kapabilitas yang rendah (Edwards, 2018). Paolo dkk. menyatakan bahwa kebutuhan dari sebuah ukuran *fork* depan yang non-standar telah memberikan kesempatan untuk membuat desain, memproduksi, dan menguji komponen yang terbuat dari material komposit. Meskipun terdapat pengalaman industri dalam proses produksi untuk komponen tersebut, namun tidak terdapat pendekatan metodologi yang disebarkan mengenai penelitian – penelitian mereka bahkan dalam literatur – literatur yang diterbitkan. Setidaknya, terdapat beberapa aspek yang dibahas soal desain komposit struktural maupun proses manufakturnya. Dari sudut pandang ini, FEA yang ditunjukkan disini dapat berguna dalam menciptakan sifat dari komponen yang ideal. Pada penelitian yang dilakukan Paolo mencamtumkan desain yang di desain menggunakan *software* FEA tertera pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Model CAD dari *fork* (Baldissera, 2014).

2.2 Rapid Prototyping

Penelitian *Rapid Prototyping* menjelaskan tentang produksi *additive manufacturing* secara langsung. Dari sampel dan *prototype* dengan menggunakan teknologi manufaktur lapisan. Model yang dihasilkan dinamakan model dan mesin yang digunakan dinamakan *prototypers*.

Dalam pengembangan produk, *prototyping* merupakan langkah yang penting dalam menciptakan model yang menyerupai konsep desain. Hal ini juga dapat disebut sebagai menciptakan versi 3D dari desain yang dibuat, contoh pertama dari sesuatu yang sudah atau akan dibuat dan dikembangkan. *Prototype* membantu dalam mengukur feasibilitas, sambil mengurangi sampah, menyempurnakan fungsi dari desain, mengevaluasi performa material, menciptakan ide, uji kegunaan, dan keutamaan dari pengaturan desain. *Prototyping* mampu membantu dengan memperkecil *error* pada komponen akhir dan mengurangi waktu penjualan. (Gebhardt, 2016).

	3D Printing	CNC Machining	Injection Molding (Rapid)	Injection Molding (Traditional)
Form and fit	Good	Good	Good to excellent	Excellent
Function	Good	Excellent	Excellent	Excellent
Nonrecurring costs	\$0	\$0	\$1000	\$10,000
Recurring costs	\$10	\$10	\$0.10–\$1	\$0.01–\$10
Ideal quantities	1–50	1–200	25–100,000 +	100,000- millions
Lead times	1–7 days	1–3 days	1-15 days	Weeks to months
Other considerations	Good for complex shapes, limited but growing material choice	Commercial- grade material selection	Can be used for bridge tooling or low-volume production	Most cost effective in long production runs

Gambar 2.2 Karakteristik dari Macam – Macam Metode *Prototyping* (Gebhardt, 2016).

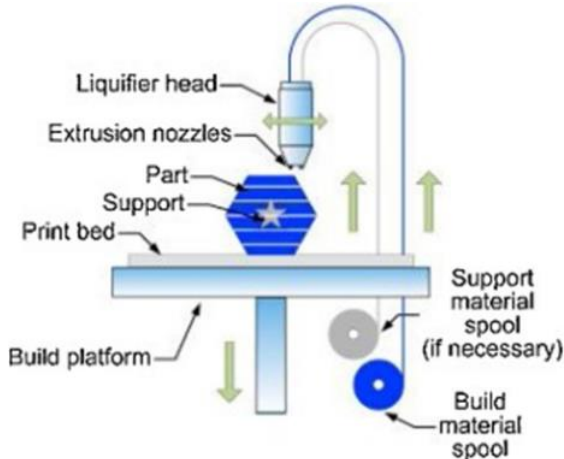
2.2.1 *Additive Manufacturing*

Additive Manufacturing adalah sebuah teknologi manufaktur terbaru dengan fitur yang unik. Mesin AM dan proses yang berhubungan mampu dalam membuat bermacam – macam varietas material (Gebhart, A. 2018). *Additive Manufacturing* juga di karakterisasikan sebagai sebuah proses otomatis untuk skala produksi dari objek fisik tiga dimensi secara langsung dari data CAD 3D. Prosesnya didasarkan pada prinsip manufaktur lapisan dan tidak membutuhkan peralatan khusus, contohnya seperti alat *milling* atau *drilling*. Komponennya diciptakan dengan cara membangun dan menghubungkan elemen dari volume. Pada awalnya proses ini dinamakan *Rapid Prototyping*, dan hingga saat ini masih sering disebut. Jika ditambah dengan proses produksi subtraktif seperti *milling* atau *turning*, dan proses produksi formatif seperti *casting* atau *forging*, proses *additive manufacturing* mewakili sebagai kolom ketiga dalam total produksi teknologi. Ketika pendekatan pertama terhadap proses *additive manufacturing* terjadi pada tahun 1987, teknologi ini masih dinamakan *rapid prototyping* atau manufaktur generatif. Kedua istilah masih digunakan dan pada tahun – tahun berikutnya banyak macam – macam nama yang akan digunakan dan sering lainnya juga ditambahkan. Walaupun masing – masing istilah ditetapkan sebagai ideal bagi beberapa sudut pandang penemu, banyak yang masih membuat kebingungan. Ini adalah alasan mengapa bagi pemula di bidang *3d printing* dan *additive manufacturing* sering merasa terkucilkan. *Additive manufacturing* di standarisasikan di U.S oleh standar umum yaitu ISO/ASTM (ISO/ASTM 52900:2015). *3D printing* sekarang lebih dikenal daripada istilah yang lain. Alasannya ialah karena istilah ini lebih mudah dipahami karena lebih *generic* dan lebih luas penggunaannya. Semua orang yang mampu dalam bekerja dengan sebuah program tulisan dan untuk mencetak dengan hasil berupa surat dengan istilah sebuah *2D printer* akan lebih memahami istilah tersebut, yaitu sebuah

program desain dan sebuah *3D printer*, sebuah komponen fisik tiga dimensi dapat di produksi. Istilah *3D printing* lebih diterima secara keseluruhan sebagai istilah *generic* untuk seluruh proses manufaktur lapisan otomatis (Gebhart, A. 2018).

2.3 Fused Deposition Modeling

Fused Deposition adalah sebuah proses *additive manufacturing* dimana sebuah objek fisik dibuat secara langsung dari model CAD menggunakan deposisi lapisan demi lapisan dari bahan baku filamen plastik yang di ekstrusi melalui sebuah *nozzle*. Ini merupakan salah satu dari tipe paling awal dari proses AM, pada mulanya dikembangkan dan di pasarkan oleh *Stratasys Company* di Amerika Serikat pada awal 1990. Karena sifatnya aman dan efisien, tahan lama, rendah biaya, dan kemampuannya untuk memproses termoplastik berskala produksi, juga telah menjadi salah satu dari proses AM yang paling banyak digunakan di industri untuk *prototype* dan proses material komprehensif. Karena *fused deposition modelling* dan FDM adalah nama dagang yang digunakan oleh *Stratasys*, para produsen dari sistem yang mirip menggunakan nama lain seperti *melted extrusion modeling*, *fused filament fabrication*, dan lain – lain. Terlepas dari desain dan aplikasi fungsi *prototipe*, proses FDM telah menerima banyak perhatian dalam sektor riset dan pengembangan dalam beberapa area, seperti peningkatan kualitas komponen, peningkatan proses, pengembangan material baru, dan aplikasi pada rekayasa biomedis, rekayasa tissue, dan peralatan (Masood, 2014).



Gambar 2.3 Skema Proses *Fused Deposition Modeling* (Masood, 2014).

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3, hampir sama dengan ekstrusi, filamen di panaskan terlebih dahulu hingga mencapai fasa *semi-liquid* pada *nozzle* ekstrusi. *Nozzle* tersebut mengekstrusi material termoplastik secara lapisan demi lapisan pada *print bed* dimana lapisan bergabung dan menjadi *solid* (*quenched*) untuk memproduksi komponen akhir. Kepala *nozzle* yang dipanaskan bergerak sepanjang *print bed* (X-Y axis) untuk menciptakan *tool path* untuk *layer* pertama material tersebut. Setelah peletakan *layer* pertama, platform yang dibuat bergerak sepanjang Z-axis negatif untuk memfasilitasi peletakan pada *layer* selanjutnya. Tiap proses dilakukan secara berulang hingga komponen *3D print* selesai.

2.3.1 Termoplastik Filamen

Menurut Isaac M. Daniel (2006), Termoplastik material yang paling banyak digunakan untuk FDM ialah acrylonitrile butadiene styrene (ABS) and polylactic acid (PLA), polyvinyl

alcohol (PVA), polycaprolactone (PCL) dan polyamide (Nylon). Termoplastik dengan performa tinggi seperti polyether ether ketone (PEEK) dan Polyetherimide (PEI) juga tersedia secara komersial. Polimer dengan performa tinggi ini menawarkan ketahanan mekanik serta temperature yang baik namun harganya lebih mahal. Juga tidak semua *3D printer* yang dijual secara komersial mampu untuk menghadapi tingkat temperatur yang tinggi dari polimer – polimer tersebut (Isaac M. Daniel, 2006).

2.4 Material Komposit

Komposit didefinisikan sebagai suatu material yang terdiri dari dua komponen atau lebih yang memiliki sifat atau struktur yang berbeda yang dicampur secara fisik menjadi satu membentuk ikatan mekanik yang dengan struktur homogen secara makroskopik dan heterogen secara mikroskopik. Material campuran tersebut akan menghasilkan material yang baru yang memiliki sifat unggul dari material pembentuknya. Dengan penggabungan dua atau lebih material yang berbeda, maka dapat diperbaiki dan dikembangkan sifat-sifat mekanik dan fisik dari material-material tersebut diantaranya adalah: kekuatan, kekakuan, ketahanan korosi, ketahanan gesek, konduktivitas termal, insulasi listrik, insulasi panas, ketahanan leleh, dan lain-lain (Sulistijono, 2012).

Pada dasarnya, kita dapat mempertimbangkan komposit sebagai bahan apa saja yang merupakan kombinasi dari dua atau lebih konstituen yang berbeda. Definisi ini akan mencakup batu bata, beton, kayu, tulang, serta komposit sintetis modern seperti plastik yang diperkuat serat (CFRP). Perkembangan komposit dalam 50 tahun terakhir telah berhasil menurunkan kuantitas massa tanpa mengurangi performa dan abilitas dari komposit. Bahan-bahan seperti itu kadang-kadang disebut sebagai *high-performance composites*, dan sering kali terdiri dari serat karbon dan resin epoksi (Matthews, 2000). Gambar 2.4 menunjukkan beberapa jenis

high-performances composites yang banyak digunakan untuk kebutuhan otomotif, teknik, maupun manufaktur.

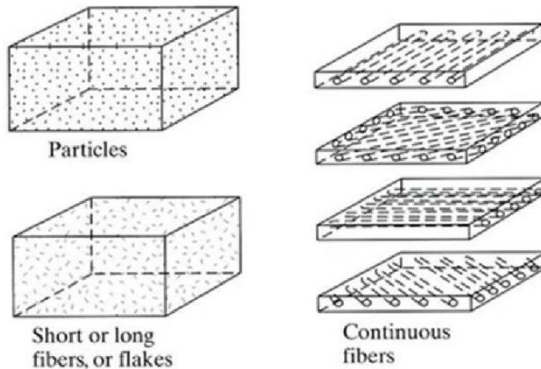


Gambar 2.4 Contoh dari Material Komposit (Medium, 2017).

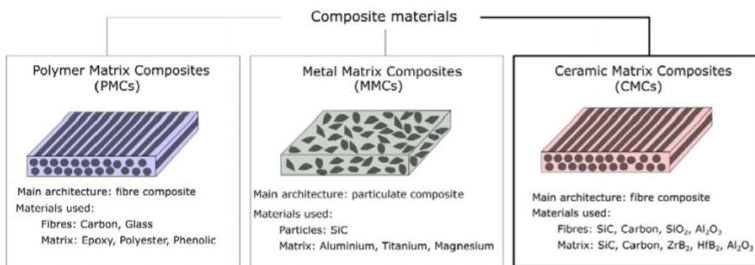
Namun, penggunaan secara umum, bahan komposit dibatasi untuk menekankan material yang mengandung konstituen matriks kontinu yang terikat (*binded*) bersama dan membentuk kesatuan konstituen yang lebih kuat dan *rigid*. Material komposit yang dihasilkan memiliki keseimbangan sifat struktural dan performa yang lebih baik daripada material penyusunnya. Sifat struktural yang ditingkatkan umumnya dihasilkan dari mekanisme pembagian beban.

Komposit umumnya dibedakan dengan dua klasifikasi berbeda. Klasifikasi pertama biasanya dibuat sehubungan dengan konstituen matriks. Material komposit yang terdapat dalam klasifikasi ini adalah komposit matriks-organik (*Organic-Matrix Composites*, OMC), komposit matriks-logam (*Metal-Matrix Composites*, MMC), dan komposit matriks-keramik (*Ceramic-Matrix Composites*, CMC). Istilah "komposit matriks-organik" umumnya diasumsikan mencakup dua kelas komposit: komposit matriks-polimer (*Polymer-Matrix Composites*, PMC) dan komposit matriks-karbon (*Carbon-Matrix Composites*, CMC).

Komposit karbon-matriks biasanya disintesis dari PMC dengan karbonasi dan peningkatan densitas dari matriks polimer penyusnnya. Dalam setiap sistem ini, matriks biasanya merupakan fase kontinu di seluruh komponen.



(a)



(b)

Gambar 2.5 Beberapa Klasifikasi Komposit Fiber Penguat Berdasarkan (a) Bentuk Tulangan (Cornel, 2015) dan (b) Bentuk Konstituennya (Diaz, 2019).

Klasifikasi tingkat kedua mengacu pada bentuk tulangan — particulate reinforcements, whisker reinforcements, continuous *fiber* laminated composites, and woven composites sebagaimana digambarkan dalam Gambar 2.5. Untuk memberikan peningkatan

sifat, umumnya harus ada fraksi volume substansial (~ 10% atau lebih) dari tulangan. Penguatan dianggap sebagai "partikel" jika semua dimensinya diperkirakan sama. Dengan demikian, komposit yang diperkuat partikulat (particulate-reinforced composites) termasuk yang diperkuat oleh bentuk-bentuk partikulat lain seperti bola, batang, serpih, dan masih banyak bentuk lain dari sumbu yang kira-kira sama. Penguat whisker (whisker reinforcements), dengan rasio aspek biasanya berkisar dalam rentang sekitar 20 hingga 100, sehingga sering dipertimbangkan bersama dengan partikulat dalam MMC. Bersama-sama, ini diklasifikasikan sebagai penguat "discontinuous", karena fase penguat terputus-putus untuk fraksi volume rendah yang biasanya digunakan dalam MMC. Ada juga bahan, biasanya polimer, yang mengandung partikel yang memanjang daripada memperkuat bahan. Ini umumnya disebut sebagai sistem "diisi". Karena partikel pengisi dimasukkan untuk tujuan pengurangan biaya daripada penguatan, komposit ini umumnya tidak dianggap sebagai komposit partikulat. Meskipun demikian, dalam beberapa kasus pengisi juga akan memperkuat bahan matriks. Hal yang sama mungkin berlaku untuk partikel yang ditambahkan untuk keperluan nonstruktural, seperti tahan api, kontrol susut, dan peningkatan konduktivitas termal atau listrik (Donaldson, 2001).

2.5 Polymer Matrix Composite (PMC)

Polimer secara umum merupakan senyawa organik berbasis hidrokarbon serta elemen non-logam lainnya. PMC termasuk kelompok material komposit yang paling banyak diaplikasikan karena mudah untuk dibuat menjadi bentuk yang sangat kompleks. Matriks pada PMC menggunakan jenis polimer termoplastik dan termoset. Perbedaan yang signifikan dari kedua jenis polimer tersebut yaitu termoplastik mudah melunak ketika dipanaskan mencapai temperatur transisi kaca (T_g). Sebaliknya, termoset tidak mudah melunak ketika dipanaskan karena struktur termoset

berikatan silang (*crosslinked*) dan memiliki ikatan kovalen (Akovali, 2001).

2.5.1 3D Printing Polymer Matrix Composite

Material polimer dengan titik leleh yang rendah atau fasa *liquid*nya sangat luas digunakan pada industri *3D printing* karena beratnya yang ringan, murah, dan fleksibilitas dalam pemrosesannya. Walaupun produk polimer dari *3D print* dapat memiliki geometri yang kompleks, kurangnya kekuatan mekanik dan fungsibilitas merupakan sebuah tantangan yang besar untuk penggunaannya yang luas. Menggabungkan aneka ragam material untuk memperoleh sifat mekanik dan fungsibilitas merupakan langkah yang tepat untuk menyelesaikan masalah ini. Maka dari itu, dalam beberapa tahun, pengembangan material komposit yang sesuai dengan printer yang ada telah menarik perhatian. Banyak hasil mengenai pengembangan material komposit yang dapat dicetak dengan diperkuat partikel, *fiber*, atau nanomaterial telah dipublikasikan.

2.6 Fiber Reinforce Polymer

Penguatan dengan *fiber* dapat meningkatkan sifat dari polimer matrix material. Teknologi *3D printing* yang digunakan untuk memproduksi *fiber-reinforced polymer composite* ialah FDM dan *direct write technique*. Untuk FDM, polimer *pellets* dan *fiber* dicampur ke dalam blender terlebih dahulu, dan kemudian di proses menggunakan *extruder* untuk difabrikasi menjadi filamen. Proses ekstrusi yang kedua dapat dilakukan untuk memastikan distribusi homogen dari *fiber*. Untuk *direct writing processing*, pasta polimer dan *fiber* dicampur terlebih dahulu dan di ekstruksi secara langsung. Teknologi berbasis serbuk tidak dianjurkan untuk membuat *fiber-reinforced* komposit karena membuat lapisan halus dari campuran serbuk-*fiber* sangatlah sulit. Tabel 2.1 menunjukkan jenis material yang digunakan untuk *3D printing* dari *fiber*

reinforced polymer composites dan peningkatan sifat mekanik dari komposit tersebut.

Tabel 2.1 Ringkasan dari Metode dan Material dari *Fiber Reinforced Polymer Composites* untuk *3D Printing* dan Peningkatan Sifat Mekanik (Wang, 2017).

Teknik	Material	Komposisi <i>Fiber</i>	Kekuatan Tarik Maksimum (MPa)	Peningkatan Kekuatan Tarik (%) dibandingkan dengan hanya polimer murni
FDM	<i>Fiber Glass</i>	18 wt%	58,6	140
	Pendek/ABS	40 wt%	70	115
	<i>Carbon Fiber</i>	5 wt%	42	24
	Pendek/ABS	13 wt%	70,69	194
<i>Direct Write</i>	<i>Carbon Fiber</i>			
	Pendek/Silicon Karbida	35 wt%	66,2	127
Ekstrusi berbasis FDM	<i>Karbon Fiber</i>			
	Kontinyu/ Nylon	34,5 vol%	464,4	446
FDM	<i>Karbon Fiber</i> Kontinyu/PLA	6,6 vol%	185,2	335

Fiber yang cenderung pendek termasuk *fiber glass* dan *carbon fiber* seringkali digunakan sebagai penguat untuk meningkatkan sifat mekanik dari komposit polimer dalam lingkup *3D printing*. Orientasi *fiber* dan fraksi kosong dari komposit berperan penting dalam menentukan sifat dari komponen komposit. Pada pengujian yang dilakukan oleh Tekinalp dkk. bahwa orientasi *fiber* dan efek porositas pada sifat komponen *FDM printed carbon fiber reinforced ABS* komposit. Komponen komposit juga dibuat dengan *compression molding (CM)* sebagai

perbandingan. Akibat adanya jarak antara garis deposisi dan ikatan yang jelek antara polimer dan *fiber*, sampel komposit *3D print* menunjukkan formasi kekosongan yang signifikan (-20 %) dimana sampel cetakan yang di kompresi hampir tidak menunjukkan porositas sama sekali. Namun, peningkatan kekuatan tarik untuk sampel yang dicetak mendekati dari sampel cetakan yang di kompresi tersebut. Hal ini dikarenakan banyak *fiber* yang selaras pada arah *load-bearing* pada saat mencetak, yang mengkompensasi efek negatif dari porositas. Compton dkk juga mendemonstrasikan bahwa *filler* dapat juga di orientasikan dengan arah cetak dan sebuah komposit *cellular* yang ringan didapat dari teknik *direct writing* seperti yang ditunjukkan di Gambar 2.6 memproduksi sebuah struktur kayu yang terinspirasi dari aslinya dengan arsitektur dan sifat mekanik menggunakan *silicon* karbida dan *carbon fiber reinforced epoxy*.



Gambar 2.6 (a) Gambar *3d Printing* dari Komposit *Honeycomb*, (b) Ilustrasi dari Penyelarasan Progresif dari *Filler* dengan Rasio Tinggi dalam *Nozzle* saat Proses Deposisi, (c) Kurva Tegangan vs. Regangan Tarik untuk Spesimen Uji Tarik (Wang, 2017).

Pengaruh dari *fiber content* pada sifat mekanik dari komponen yang dicetak adalah topik penelitian lain yang menarik. *ABS/Carbon fiber composite* yang disiapkan oleh *FDM* menunjukkan peningkatan dari kekuatan tarik dan modulus ketika *fiber content* meningkat, dan peningkatan sebesar 115% dan 700%

maksimum didapatkan pada muatan serat 40 wt%. Gambar 5 menunjukkan pengaruh jumlah serat dan proses preparasi pada kekuatan tarik dari ABS/komposit *carbon fiber*. Hasil terbaik dari komponen yang dicetak didapatkan pada jumlah serat 5 wt% dan jumlah serat yang lebih tinggi menyebabkan penurunan performa komponen yang dicetak akibat dari tingginya porositas. Sebenarnya, terdapat variasi yang signifikan pada jumlah *fiber* untuk mencapai peningkatan maksimal dari sifat mekanik pada kasus yang berbeda, sebagian besar dikarenakan kondisi distribusi serat dan kekuatan ikatan *interface* banyak bervariasi pada tiap kasus. Sebuah standarisasi terhadap desain dan pemrosesan mungkin perlu ditetapkan.

Hingga saat ini, penambahan konten dari serat telah mencapai 40 wt% dan komposit dengan serat yang banyak tidak dapat dicetak karena masalah penyumbatan pada *nozzle*. Dengan tambahan, komposit dengan jumlah serat yang tinggi sangat sulit untuk dibuat menjadi *continuous* filamen untuk FDM karena menurunkan ketangguhan. Maka dari itu, sifat dari komposit yang dihasilkan terbatas pada konten serat yang rendah. Tentunya sangat penting untuk memahami sifat *rheological* dari material yang dicetak dan meningkatkan kandungan serat. Menggunakan bahan plastik dan penyesuaian dapat menjadi cara untuk meningkatkan proses bahan baku.

Tantangan lain untuk pencetakan berbasis serat adalah sulitnya dalam penambahan serat kontinu. Kebanyakan penelitian hingga sekarang hanya menunjukkan penambahan serat pendek dalam matrix polimer. Baru – baru ini, beberapa peneliti melaporkan tentang pencetakan berbasis serta kontinu. Sebuah studi dilakukan untuk mengevaluasi sifat mekanik dari *continuous fiber reinforced thermoplastic composites* yang dicetak dengan printer Mark One yang tersedia secara komersial. Bagian yang dicetak memiliki konstruksi sandwich yang terdiri dari *Carbon Fiber Reinforce Thermoplastic (CFRP)* ditengahnya dan polimer

nylon pada bagian atas dan bawahnya. Dua kepala printer disediakan untuk mengekstrusi CFRP dan nylon secara masing – masing (Wang, 2017).

2.7 Balance Bike

Sepeda adalah sebuah produk global, tersedia hampir di setiap budaya di dunia. Benda ini sangat berguna untuk berkeliling, mempunyai proses manufaktur yang sederhana, tidak menghasilkan polusi, harga lebih murah dari pada mobil, dan dalam beberapa negara tertentu dengan jalur sepeda, merupakan transportasi yang efektif. Dalam komunitas saat ini, tren sepeda tidak hanya ditemukan di kota yang kecil, namun juga di kota – kota besar, juga beradaptasi dengan jenis transportasi ini. Banyak ilmuwan telah berjasa dalam mengembangkan produk ini dan berbagai macam prosedur juga diciptakan untuk mencapai tujuan dari produk ini. Ada beberapa studi mengenai karakteristik dan spesifikasi postur pada sepeda, contohnya, posisi pedal yang sesuai; studi mengenai statistika insiden yang mendorong kita untuk lebih memahami tingkat keamanan dalam menggunakan sepeda; studi berkaitan tentang perbedaan kapabilitas sepeda, seperti membandingkan sepeda elektrik dengan sepeda klasik, mengevaluasi kemungkinan dan alternatif yang lebih efektif dll. Keahlian manusia dalam menggunakan sepeda juga menjadi fokus dalam beberapa studi belakangan ini (Rebelo, 2015). Belajar untuk mengendarai sepeda juga membutuhkan keahlian, untuk mendapatkannya juga tidak mudah; namun ketika sudah menguasainya, keahlian tersebut telah menjadi kemampuan bawah sadar dan menjadi sebuah bakat alami tersendiri sehingga banyak yang mengatakan “semudah mengendarai sebuah sepeda”. (Astrom, 2005)

Balance bike adalah jenis sepeda yang tidak menggunakan pedal dimana sepeda bergerak dengan didorong menggunakan kaki sambil berlari atau berjalan. Sepeda ini dirancang untuk mengajari

anak – anak kecil cara mengendarai sepeda dalam waktu yang lebih singkat dengan memungkinkan anak – anak untuk berlatih keseimbangan dan menyetir dengan meminimalisir risiko jatuh. Saat ini *Balance bike* mengajarkan keseimbangan pada anak – anak dalam belajar untuk mengemudikan, namun bersepeda juga merupakan keterampilan dasar dalam kegiatan fisik. Pada Gambar 2.7 menunjukkan ilustrasi seorang anak yang sedang mengendarai *balance bike*.



Gambar 2.7 Seorang anak mencoba mengendarai *Balance bike*. (Becker, 2017).

Balance bike memiliki keunggulan khusus dibanding dengan metode lama yang masih menggunakan tambahan roda latihan ketika belajar untuk mengendarai sepeda. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 Mengendarai sepeda sendiri untuk pemula difokuskan pada tiga aspek yaitu keamanan, kepercayaan diri, dan keseimbangan. *Balance bike* dinilai lebih ringan daripada sepeda pedal dengan tambahan roda latihan dimana kaki anak – anak juga selalu menyentuh dengan tanah selama penggunaan sepeda sehingga memberikan stabilitas yang lebih besar, lebih mudah dikendalikan, dan membuat mereka lebih aman. Dengan meningkat rasa aman dan stabil, anak – anak akan merasa lebih

mengendalikan sepeda yang dapat meningkatkan kepercayaan diri dan kebebasan dalam mengeksplorasi yang dibutuhkan dalam mengendarai sepeda dengan sedikit rasa takut daripada mengendarai sepeda dengan tambahan roda latihan. Manfaat utama dari *balance bike* secara langsung menargetkan keterampilan yang paling sulit dalam belajar mengendarai sepeda keseimbangan. (Becker, 2017).



Gambar 2.8 Metode lama menggunakan tambahan roda latihan (Becker, 2017).

Pada Tabel 2.2 memberikan informasi umum yang dikumpulkan mengenai istilah penamaan *balance bike* di dunia, fitur utama pada sepeda, perkiraan harga dan ukuran sepeda yang dijual pada pasar serta produsen pembuat *balance bike* yang terkenal di dunia.

Tabel 2.2 *Balance bike* : Istilah, Fitur, Produsen, Harga dan Ukuran (Becker, 2017)

Istilah Lain dari “ <i>balance bike</i> ”	Draisine (dinamakan sesuai nama penemunya); Glide Bike; kick bike, Laufmaschine (bahasa jerman untuk “mesin
---	---

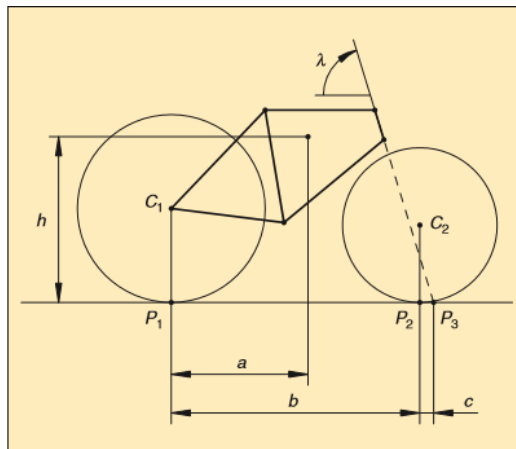
	berjalan”); learner bike; Like-a Bike; no-pedal bike; pedal-less bike; push bike; running bike; Strider Bike; walking bike
Fitur Utama	Kursi dan setang yang dapat disesuaikan; sandaran kaki; rem tangan atau tidak ada rem; rentang kemudi yang terbatas; <i>frame</i> yang sangat ringan terbuat dari kayu atau logam; tidak ada pedal
Produsen Terkenal	Early Rider Bikes; FirstBIKE; Glide Bikes; Kazam; Kinder Bikes; Like-A-Bike; MiiR; MUNA; Novara; Radio Flyer; Scoot; Skuut; Strider Bikes; Trikke; TykesBykes; YBIKE; Yvolution; Zum
Perkiraan Harga	\$ 40 sampai \$ 315, dengan rata-rata harga sekitar \$ 60 hingga \$ 100
Ukuran	Tinggi <i>frame</i> 12 inci untuk usia 2 - 5 tahun; Tinggi <i>frame</i> 16 inci untuk usia 4,5 – 9 tahun

Permodelan sepeda menjadi topik yang populer untuk disertasi pada beberapa tahun belakangan. Model pertama dari sepeda diciptakan dengan hanya berbekal perhitungan manual. Adanya *software* saat ini sangat memudahkan permodelan sepeda dan juga dapat menghitung permodelan yang lebih rinci. Sepeda saling berbagi spesifikasi dengan sepeda motor. Model sepeda motor juga menghitung tentang adanya *tire-slip* dan kelenturan

frame. Sebelumnya pengendara juga harus mempelajari karakter berkendara.

Sepeda merupakan sebuah benda ideal dalam mempelajari pemodelan, dinamika, keseimbangan, dan umpan balik. Faktanya, sepeda dengan spesifikasi spesial dapat di desain, agar sepeda tersebut dapat digunakan untuk aktivitas pembelajaran, bermain, dan demonstrasi. Bahkan sepeda dengan desain untuk anak dengan disabilitas juga telah diciptakan .

Aspek terpenting yang harus dipertimbangkan ketika memodelkan sepeda ialah pemilihan komponen utama, perlakuan elastisitas dari bagian sepeda, pemodelan interaksi dari roda terhadap permukaan tanah dan pemodelan dari pengendara. Kontrol dan manuver sempurna dari sepeda bergantung kepada gaya dari roda terhadap jalan. Akselerasi dan pengereman memerlukan gaya longitudinal, dimana keseimbangan dan belokan bergantung pada gaya lateral. Sepeda terbagi menjadi 4 komponen utama yaitu 2 roda, *frame*, dan *fork* depan dengan *handlebar* (Astrom, 2005).



Gambar 2.9 Parameter untuk Menentukan Geometri Sepeda (Astrom, 2005).

Pada gambar diatas, $P1$ dan $P2$ merupakan titik kontak antara roda dengan permukaan tanah, titik $P3$ merupakan titik irisan antara sumbu kemudi dengan garis horizontal, a merupakan jarak dari garis vertikal hingga ke pusat titik massa $P1$, b merupakan sumbu roda, c merupakan *trail*, h merupakan tinggi dari pusat titik massa, dan λ merupakan sudut *steering* (Astrom, 2005).

2.7.1 Steering Sepeda

Fork sepeda merupakan salah satu bagian penting dalam komponen sepeda karena komponen ini merupakan komponen yang mendapatkan tegangan paling tinggi. Desain *fork* sepeda yang baik ialah desain *fork* sepeda yang memiliki ketahanan paling baik dalam menahan beban. Secara keseluruhan, desain serta material yang digunakan dalam pembuatan *fork* sepeda akan mempengaruhi laju sepeda. Bentuk geometri sepeda yang besar akan membuat berat sepeda semakin besar dan tentunya jumlah material yang digunakan akan semakin banyak. Hal ini akan menyebabkan laju sepeda menjadi terhambat. Begitupun sebaliknya geometri serta material yang terlalu ringan akan membuat sepeda menjadi tidak tahan benturan dan mudah rusak (Rasyid, 2020).



Gambar 2.10 *Fork* dari sepeda balap (Rasyid, 2020).

Secara umum bahan – bahan yang sering dipakai pada *fork* sepeda ialah berbahan metal namun demi memenuhi kebutuhan bobot yang semakin ringan sering digunakan beberapa bahan komposit yaitu *carbon fiber*. Pada Tabel 2.3 menunjukkan karakteristik dari material yang sering digunakan pada *steering* sepeda.

Tabel 2.3 Spesifikasi Material *Steering* Sepeda (Rasyid, 2020).

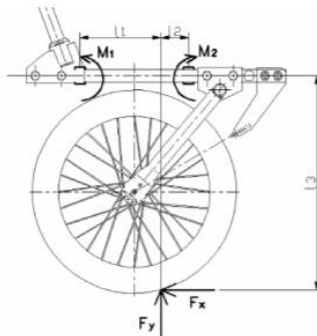
Karakteristik Mekanik	Jenis Material		
	Aluminium 6061	Stainless Steel, 440C	Titanium
Densitas (g/cm ³)	2,71	7,75	4,51
<i>Yield Strength</i> (MPa)	275	689	275,6
<i>Ultimate Tensile Strength</i> (MPa)	310	861,25	344,5
<i>Young's Modulus</i> (GPa)	68,9	206,7	102,81
<i>Poisson's Ratio</i>	0,33	0,27	0,361
<i>Shear Modulus</i> (GPa)	25,9023	81,378	37,77

Fork depan sangat penting bagi dinamika dari sepeda, lebih tepatnya sebagai bagian penyeimbang diri. Sebuah eksperimen sederhana ialah dengan menahan sepeda pada bagian tempat duduk dan memiringkan sepeda. Bagi sepeda dengan *trail* positif, *fork* depan akan berbelok mengikuti arah miring. Mengulangi percobaan ketika berjalan pada kecepatan yang berbeda – beda menunjukkan bahwa *fork* depan selaras dengan *frame* ketika kecepatannya sangat tinggi. Percobaan lain ialah dengan mengendarai sepeda pada jalan lurus dan dengan permukaan yang rata, dengan pelan – pelan memiringkannya ke satu sisi, dan memberikan torsi kemudi untuk mempertahankan agar tetap lurus.

Torsi yang dibutuhkan dapat dirasakan dengan cara memegang *handlebar* dengan jari. Desain dari *fork* depan sepeda mempunyai pengaruh yang besar terhadap dinamika sepeda. Kebanyakan model sepeda yang sederhana kebanyakan tidak terpengaruh oleh efek tersebut karena di asumsikan mempunyai trail ($c=0$) dan sudut utama ($\lambda = 90^\circ$) seperti yang dijelaskan pada gambar 2.9. Untuk menghitung *fork* depan, pada mulanya kita menentukan torsi yang bekerja pada *handlebar*, dari pada dari sudut belok, sebagai variabel control. Gaya kontak pada roda dan jalan menghasilkan torsi pada *fork* depan ketika terdapat kemiringan. (Astrom, 2005)

Gaya yang terdapat pada roda depan pada saat dikendarai tidak dapat dihitung secara langsung karena kontak antara roda dengan permukaan tanah tidak bisa di akses. Maka dari itu untuk mengatasi masalah tersebut akan lebih mudah apabila menghitung gaya dari sumbu roda dan *fork* depan. Adapun salah satu cara ialah dengan memasang alat pendeteksi beban di antara sumbu roda dan *fork* depan. (Pirnat, 2011)

Cara untuk memudahkan desain *fork* depan dapat memperhatikan adanya distribusi linier dari momen bending.



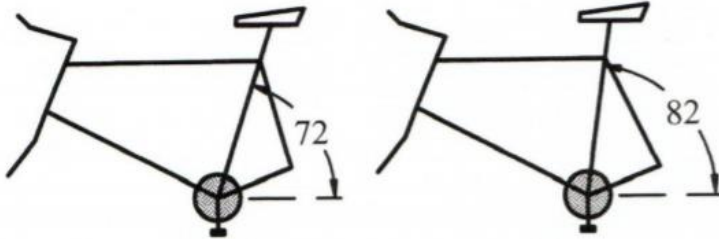
Gambar 2.11 Geometri dan Gaya yang Bekerja pada *Fork* Depan (Pirnat, 2011).

2.7.2 Standarisasi Sepeda

Sebuah sepeda dirancang dengan mengacu pada ukuran rangka secara standar, contohnya seperti jarak dari *head tube* ke *seat pin*, jarak dari *seat pin* ke *bottom bracket axle*, *wheel base*. Hal tersebut dimaksudkan untuk menjaga ukuran sepeda agar selalu sesuai. Dengan arti agar sepeda tetap nyaman dan aman untuk dikendarai berdasarkan ukuran tubuh yang ditentukan (normal). Namun apabila ukuran tubuh seseorang lebih kecil ataupun lebih besar, maka ketentuan rangka standar sepeda tidak sesuai lagi dengan ukuran tubuh pengendara.

Pada dasarnya ukuran geometri sepeda ditentukan berdasarkan bentuk dan ukuran rangka. Ukuran rangka sendiri ditentukan berdasarkan ukuran tubuh pengendara. Secara sepiintas ukuran sepeda secara global terlihat sama, akan tetapi setiap negara memiliki kebijakannya masing – masing dikarenakan beberapa negara memiliki penduduk dengan ukuran tubuh yang berbeda – beda. Sifat aman dapat diketahui dengan menguji kekuatan dari *frame* sepeda, sedangkan sifat nyaman dapat diketahui dari besar kecilnya tingkat risiko cedera pengendara saat mengayuh. Kemudian terdapat efisiensi berkendara yang dapat diketahui dari jumlah energi yang dikeluarkan pengendara khususnya dalam mengayuh. Berat sepeda sangat berpengaruh terhadap jumlah energi yang dikeluarkan. Apabila sepeda cukup ringan maka energi yang dikeluarkan akan sangat sedikit. Richard dkk, berpendapat bahwa jumlah energi yang dikeluarkan saat mengayuh juga bergantung dari desain geometri *frame*, terutama pada sudut antara garis sadel dengan garis horizontal. Sudut tersebut dinamakan *seat tube angle* (STA). Secara umum sudut tersebut ditetapkan sebesar 70° hingga 76° . Namun setelah beberapa penelitian yang dilakukan berkelanjutan, Garside dan Doran dkk. mengemukakan bahwa dengan STA diatas 76° , didapatkan kayuhan sepeda yang paling efisien dan nyaman. Kemudian Heiden dan Burnett pada tahun 2003 juga menyarankan untuk menggunakan STA sebesar 82° .

Dengan asumsi jalan yang rata dan tidak menanjak, maka beban tarikan otot paha pengendara dapat berkurang drastis khususnya pada kayuhan jarak jauh. (Batan, 2008)



Gambar 2.12 Sketsa Rangka Sepeda secara umum (Batan, 2008).

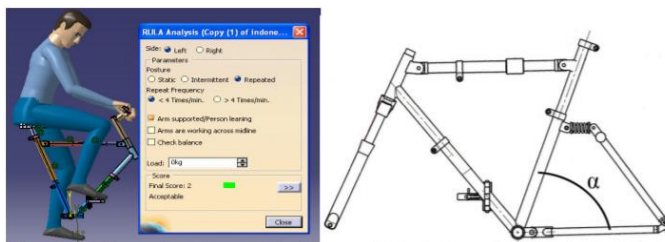
Antropometri manusia Indonesia berbeda berdasarkan usianya. Secara normal tubuh anak – anak, remaja, dan dewasa cukup berbeda. Namun pada usia remaja ukuran tubuh tidak berbeda jauh dengan usia dewasa. Pada Tabel 2.4 Menerangkan mengenai antropometri ukuran tubuh penduduk Indonesia.

Tabel 2.4 Perbandingan tinggi tubuh orang dewasa dan anak – anak (Batan, 2008).

Kategori	Jenis Kelamin	Rata			Rentang Tinggi (m)
		– Rata (m)	5% (percentile)	95% (percentile)	
Dewasa	Laki - Laki	1,632	1,532	1,732	1,55 – 1,75
	Wanita	1,563	1,464	1,662	
Anak – anak	Laki – Laki	1,458	1,346	1,570	1,35 – 1,55
	Wanita	1,474	1,354	1,590	

Untuk mengevaluasi posisi tubuh agar aman dan nyaman saat melakukan kegiatan bersepeda dapat digunakan metode RULA. Metode ini digagas oleh McAtemney pada tahun 1989 dan hingga saat ini sangat sering dijumpai dalam bidang ergonomi terapan (*applied ergonomic*). Dalam metode ini, evaluasi dibagi menjadi dua bagian tubuh yaitu bagian tubuh atas dan bagian tubuh bawah.

Dengan mengacu pada analisa geometri ideal rangka diatas akan ditetapkan geometri dan dimensi rangka sepeda. Maka posisi manikin yang sudah dievaluasi dengan metode RULA akan menetapkan titik perancangan rangka sepeda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Geometri rangka sepeda berdasar manikin dengan risiko cedera rendah dan *free body diagram* rangka sepeda (Batan, 2008).

Kemudian dari hasil tersebut dapat ditetapkan ukuran *frame* sepeda dengan nilai risiko cedera tubuh rendah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Dimensi rangka sepeda untuk menopang posisi tubuh dengan nilai risiko cedera yang rendah (Batan, 2008).

Kategori	Jarak Poros bawah sadel ke poros	Tinggi setang dari rangka	Tinggi sadel ke rangka depan	Sudut miring poros sadel ke sumbu

	setang (mm)	depan atas (mm)	atas (mm)	horizontal (mm)
Dewasa	555	218	153	65° – 75°
Anak - anak	457	122	153	65° – 75°

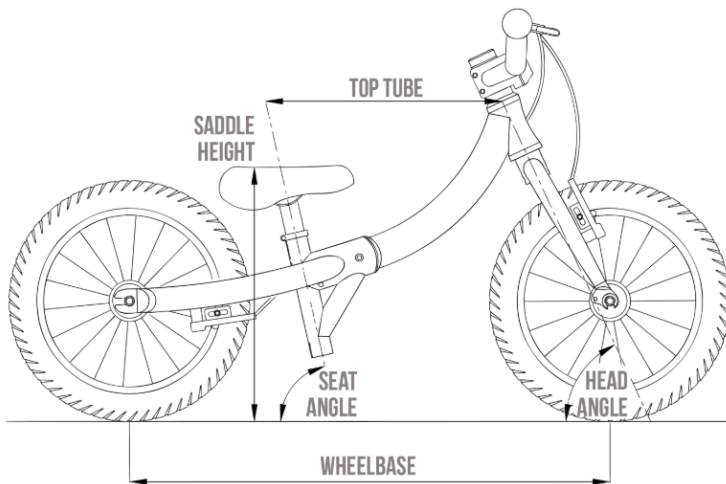
Balance bike sendiri memiliki beberapa standarisasi yang sedikit berbeda dengan sepeda pada umumnya. Pada *balance bike* itu sendiri juga memiliki ukuran yang berbeda – beda berdasarkan ukuran rodanya. Pada Tabel 2.6 menunjukkan perbandingan ukuran *balance bike* berdasarkan ukuran roda serta tinggi anak.

Tabel 2.6 Paduan Ukuran Balance Bike
(Twowheelingtots.com).

Ukuran Celana	Inseam	Ukuran Roda	Brand	Tinggi Anak
18 mo	10,5” – 12”	10” atau 12”	Strider, WOOM 1	30,5” – 32,5”
24 mo	11,5” – 13”	12”	Swagtron K3, Strider Sport	32,5” – 34”
2T	13” – 14,5”	12”	Yedoo Too Too, GOMO	34,5” – 36,5”
3T	14,5” – 16”	12” atau 14”	Radio Flyer, Banana Bike GT	36,5” – 38,5”
4T	16” – 18”	12” atau 14”	Ridgeback Scoot, WOOM 1 PLUS	38,5” – 41,5”
5/5T	18” – 19,5”	14” atau 16”	Strider 14X, Ridgeback Scoot XL	41,5” – 45”

Sejauh ini ukuran merupakan faktor penting dalam memilih *balance bike*. Karena *balance bike* lebih sering dianggap hanya memiliki ukuran *universal* namun ukuran sepeda yang sama tidak akan muat bila digunakan oleh anak berumur kurang dari 18 bulan dan 6 tahun keatas.

Geometri *balance bike* membuat perbedaan yang signifikan dalam bagaimana sepeda tersebut bekerja. Sebuah sepeda dengan geometri yang baik akan lebih efektif saat digunakan oleh anak – anak sehingga dapat membantu dalam belajar keseimbangan dan manuver, namun akan terjadi sebaliknya dengan geometri sepeda yang kurang baik. Dalam menentukan apakah sebuah sepeda memiliki geometri yang baik sifatnya subjektif, namun dengan berfokus pada elemen penting dari sepeda, dapat menemukan bentuk geometri yang baik.



Gambar 2.14 Geometri Balance Bike (Littlebigbikes.com)

Tabel 2.7 Ukuran Geometri *Balance Bike* (Littlebigbikes.com)

Geometri	<i>Balance Bike</i> Kecil	<i>Balance Bike</i> Besar	Sepeda Besar
Tinggi <i>Seat Min.</i> (cm)	37	47	51
Tinggi <i>Seat Max.</i> (cm)	45	55	55
Panjang <i>Tube Atas</i> (cm)	34	39	39
<i>Head Angle</i> (derajat)	66	70	70
<i>Seat Angle</i> (derajat)	78	70	70
<i>Wheelbase</i> (cm)	69	67	67

2.8 Dinamika Sepeda

Kita menggunakan referensi inersia karena hanya untuk pengamat inersia saja yang membuat hukum newton memiliki bentuk yang sederhana. Relativitas special dinamakan ‘spesial’ karena teori tersebut terbatas terhadap referensi inersia. Pengamat inersia memiliki gaya total sebesar 0 (*zero net force*). Sebuah pembalap yang sedang bergerak cepat bukanlah seorang pengamat inersia karena terdapat gaya total (*net force*) yang bekerja padanya. Pada referensi inersia menimbulkan sebuah pertanyaan yang dijawab oleh hukum newton yang pertama.

Sebuah benda memiliki kondisi yang tetap dan tidak bergerak kecuali jika benda tersebut dikenai gaya yang berasal dari lingkungan.

Hukum pertama Newton memberikan kita mengenai definisi operasional dari gaya kosong (*zero force*). Sebuah partikel yang tidak mengalami percepatan akan mengalami gaya nol (*zero force*).

Hukum Newton pertama, hukum inersia, menerangkan tentang sifat partikel dalam lingkungan tanpa gaya (*zero-force environment*). Sekarang mari pertimbangkan apabila terdapat

respon pada partikel jika dikenakan gaya padanya. Ketika sebuah gaya mengenai sebuah partikel, partikel tersebut mengalami akselerasi. Akselerasi tersebut dinamakan hukum kedua Newton.

Akselerasi dari sebuah partikel sama dengan jumlah gaya yang mengenai partikel terhadap massa inersia dari partikel tersebut.

Hukum kedua Newton juga dapat ditulis sebagai berikut sebagai rumus :

$$a = \frac{F}{m} \quad \text{atau} \quad F = ma \quad (2.1)$$

Dimana m adalah massa inersia dari partikel, a merupakan akselerasi dari partikel, dan F adalah jumlah gaya yang bekerja pada partikel. Dalam bentuk komponen persamaan diatas dapat diubah menjadi :

$$F_x = ma_x \quad F_y = ma_y \quad F_z = ma_z \quad (2.2)$$

Persamaan 2.2 merupakan persamaan vektor, vektor a berkaitan dengan vektor F oleh m , bentuk skalar lebih konstan.

Satuan SI pada gaya (newton) ditentukan oleh persamaan fundamental dengan menggantikan $m = 1 \text{ kg}$ dan $a = 1 \text{ m/s}^2$ kedalam persamaan 2.1

$$1 \text{ newton} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$

Dalam mekanika, gaya mempresentasikan interaksi antara partikel dan lingkungannya. Hukum Newton sebelumnya berkonsentrasi kepada efek yang ditimbulkan pada partikel oleh lingkungan. Hukum ketiga Newton melengkapi konsep dari gaya dengan memasukkan adanya pengaruh yang ditimbulkan pada lingkungan oleh partikel. Reaksi partikel terhadap lingkungan disebut dengan Hukum Ketiga Newton.

Terhadap setiap aksi akan selalu ada reaksi yang berlawanan.

Kata aksi dan reaksi merujuk pada gaya. Hukum ini menolak adanya kemungkinan dari sebuah gaya tunggal. Gaya yang terjadi di alam selalu terjadi dalam pasangan. Sebuah pasangan aksi-reaksi disebabkan oleh kedua gaya yang memiliki besaran sama dan berlawanan arah. Contoh, gaya kebawah yang dikeluarkan oleh kaki terhadap tanah sama dengan gaya keatas yang dikeluarkan oleh tanah terhadap kaki. Dua gaya berupa aksi-reaksi bekerja pada objek yang berbeda.

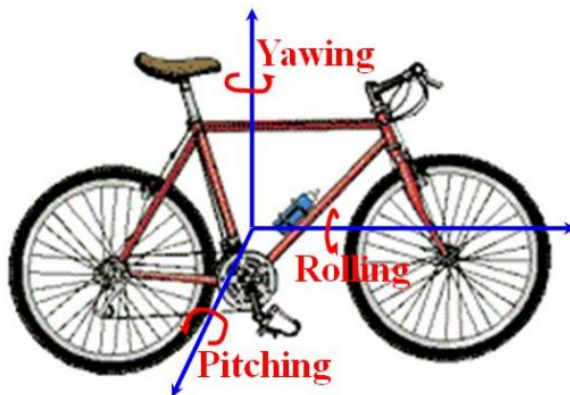
$$F_{AB} = -F_{BA} \quad (2.3)$$

Sebuah objek tidak dapat mengalami gaya dari lingkungannya tanpa mengeluarkan gaya yang sama dan berlawanan arah terhadap lingkungannya. (Arfken, 1984)

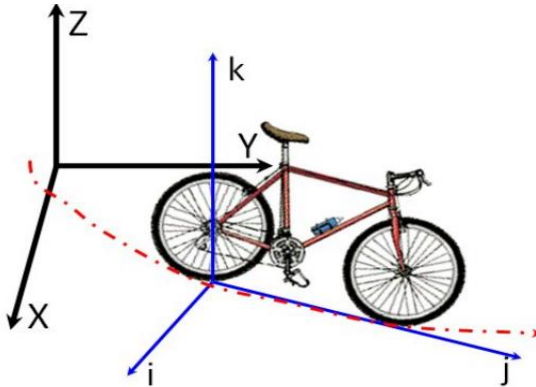
Sepeda dan/atau sepeda motor memiliki dinamika yang unik terutama mengenai konfigurasinya. Dinamika sepeda/sepeda motor dipengaruhi oleh beberapa hal, yang pertama ialah konfigurasi *frame* atau kerangka utama dan konfigurasi *fork* atau batang pemegang dan penggerak roda kendali, dan yang lainnya adalah kecepatan kendaraan. Saat ini dinamika sepeda telah menjadi sebuah kajian yang intensif dipelajari selama beberapa dekade. Hal ini dikemukakan oleh Freeman Dyson, seorang fisika teoritik dan matematikawan, bahwa setelah sepeda/sepeda motor diproduksi secara massal, masih terdapat beberapa karakteristik dinamik sepeda yang belum dapat dipahami dan diformulasikan secara lengkap, ungkap Freeman Dyson pada tahun 1998 melalui media *Wired News*. Kajian mengenai dinamika sepeda/sepeda motor mencakup tentang masalah dinamika dan pengendalian sistem mekanik. Beberapa hal yang perlu dikaji lebih lanjut antara lain adalah masalah kestabilan dan pengendalian (*handling*).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Rianto Adhy Sasongko, dkk. Aspek utama yang mempengaruhi dinamika sepeda motor ialah konfigurasi kerangka utama (*frame*) dan dinamika batang kemudi (*fork*). Namun pada penelitian tersebut

pemodelan kinematika dan dinamika sepeda motor masih dilakukan dengan mengabaikan faktor mesin, suspensi, ban, dan pengemudi. Pada penelitian tersebut juga menyatakan bahwa proses pemodelan yang dilakukan juga meninjau tentang derajat kebebasan utama yang nantinya juga akan direkonstruksi oleh *simulator*. Derajat kebebasan utama adalah gerakan rotasi pada ketiga sumbu benda sepeda, yaitu gerak *pitching*, *rolling*, dan *yawing* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9. gerak sepeda relatif didefinisikan pada titik beratnya dan juga gerak sepeda pada ruang inersia. Maka dua Tata Acuan Koordinat (TAK) digunakan pada proses pemodelan ini, yaitu TAK inersia (XYZ) dan TAK benda (IJK) seperti yang tertera pada Gambar 2.15.

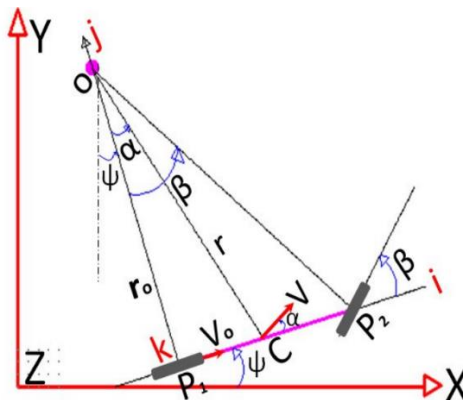


Gambar 2.15 Derajat kebebasan utama (Sasongko, 2010).



Gambar 2.16 Tata acuan koordinat dinamis sepeda (Sasongko, 2010).

Setelah derajat kebebasan utama ditentukan, dilakukan langkah awal yaitu pemodelan kinematik gerak sepeda pada ruang inersia. Hubungan antara variabel gerak sepeda pada bidang horizontal (baik bidang X-Y ataupun bidang i-j) dapat diturunkan dengan memperhatikan skema pada Gambar 2.16.



Gambar 2.17 Skema kinematika sepeda (Sasongko, 2010).

Dimana seperti yang tertera pada gambar 2.17 menerangkan

tentang hubungan antara variabel defleksi roda depan (sudut kemudi) β , dengan sudut orientasi kerangka utama ψ , arah *vector* kecepatan a , radius putar r , dan r_0 . Variasi harga dari variabel tersebut akan menentukan perhitungan respon dinamika baik pada bidang lateral benda (bidang i-k) ataupun longitudinal benda (bidang k-j).

Dengan memperhatikan Gambar 2.17 Dapat diperoleh beberapa persamaan kinematika yaitu persamaan (2.4), (2.5), (2.6) dimana persamaan – persamaan tersebut secara berturut – turut menyatakan (pada bidang inersia) kecepatan gerak sepeda dalam arah X, arah Y, dan perubahan sudut orientasi ψ . Posisi titik berat sepeda pada ruang inersia juga dapat berubah dengan mengintegrasikan Persamaan 2.5 dan 2.6, kemudian percepatan pada sumbu inersia dapat diperoleh juga dengan menurunkan waktu persamaan tersebut. Variabel dari persamaan kinematik tersebut digunakan dalam pembentukan dinamika sepeda.

$$V_x(t) = V_o \left[\cos(\psi) - \frac{a}{b} \sin(\psi) \tan(\beta) \right] \quad (2.4)$$

$$V_y(t) = V_o \left[\sin(\psi) + \frac{a}{b} \cos(\psi) \tan(\beta) \right] \quad (2.5)$$

$$\psi = \frac{V}{r} = \frac{\tan(\beta)}{b} V_o \quad (2.6)$$

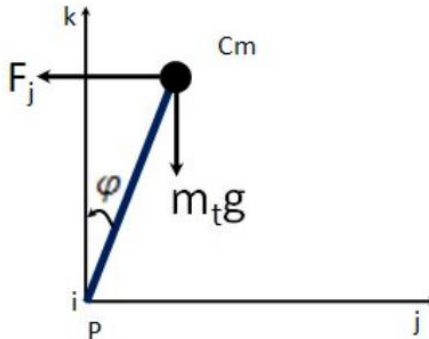
Aspek lain yang terkait dengan persamaan dinamika sepeda adalah gerak *leaning (rolling)* yang biasa muncul pada sepeda motor. Gerak ini dimodelkan secara matematik dengan memperhatikan kesetimbangan momen pada bidang lateral sepeda (bidang i-k), dengan asumsi tidak terjadi slip pada roda. Hubungan antara dinamika *leaning* ini dengan sudut kemudi β dan kecepatan dinyatakan dalam persamaan diferensial non-linier seperti yang tertera di persamaan 2.7 berikut ini

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} = \frac{m_t g l \sin(\varphi)}{J} + \frac{m_t l V_o \cos(\varphi) \sqrt{\left(\frac{a}{b} \tan^2(\beta) V_o\right)^2 + \left\{ \frac{(\alpha + a \tan^2(\beta)) d\beta}{dt} + V_o \tan(\beta) \right\}^2}}{J \sqrt{b^2 + \alpha^2 \tan^2(\beta)}} \quad (2.7)$$

Persamaan diatas masih dapat diubah bentuknya menjadi linier sehingga menjadi persamaan 2.8 berikut.

$$\varphi = \frac{m_t g l}{J} \varphi + \frac{l m_t V_o}{J \left(\frac{V_o}{b} \beta + \frac{a}{b} \beta \right)} \quad (2.8)$$

Dengan adanya persamaan 2.8 diatas, fungsi *transfer* sudut *leaning* terhadap input sudut kemudi dapat dibentuk seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.18 Dan selanjutnya dapat digunakan untuk melakukan analisis kestabilan pada bidang lateral.



Gambar 2.18 Dinamika *leaning* (Rianto Adhy S., 2010).

Garpu depan sepeda atau istilahnya *front-fork* memiliki kontribusi yang signifikan terhadap dinamika sepeda secara keseluruhan. Dinamika *leaning* sepeda yang sebelumnya dibahas bekerja ketika komponen *front-fork* ini memberikan input sudut kemudi sehingga akan mengintroduksi momen tambahan, dan sebaliknya gerak *leaning* sepeda akan memberikan beban torsi

tambahan yang akan dirasakan secara langsung oleh batang kemudi akibat dari adanya bentuk spesifik struktur *fork* ini. Gaya dan momen yang bekerja pada *front-fork* akibat dari adanya gerak *leaning* dinyatakan oleh persamaan 2.9 berikut. Dimana λ adalah *rake angle* atau sudut kemiringan garpu. Dan pada sudut kemudi β akan memunculkan momen pada *fork* yang juga memberikan sebuah persamaan yang ditunjukkan pada persamaan 2.10 dibawah ini.

$$M_L = F_L d = m_t g t \sin(\varphi) t \cos(\lambda) \quad (2.9)$$

$$M_S = m g t \sin(\delta) \sin(\beta) \cos(\lambda) \quad (2.10)$$

Dimana δ adalah sudut antara poros putar kemudi dengan garis yang menghubungkan suatu titik pada poros putar dengan titik sentuh roda dengan tanah. Momen – momen pada persamaan 2.9 dan 2.10 akan memberikan beban torsi pada poros kemudi. Selain itu, karena konfigurasi *fork*, maka aplikasi suatu kemudian tertentu akan membuat titik kerja gaya normal (pada titik sentuh roda depan dengan tanah) bergeser keluar dari bidang simetri (bidang longitudinal kerangka utama) sepeda. Hal ini akan menyebabkan munculnya momen *lean* tambahan yang akan mengubah persamaan dinamika *leaning* menjadi persamaan 2.11 berikut.

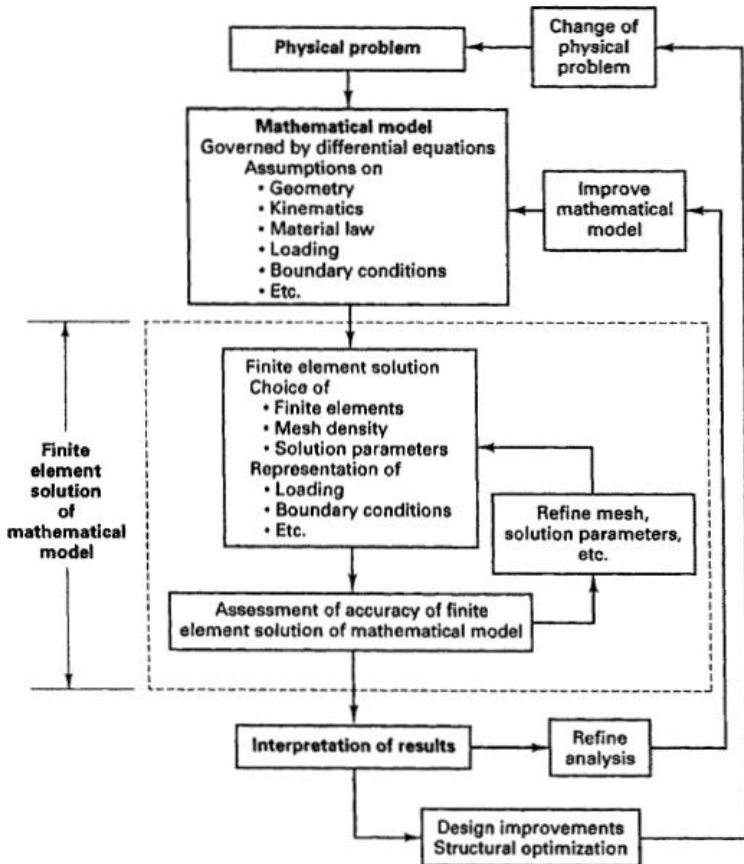
$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} = \frac{a t m_t g \sin(\beta)}{J(b + t \cos(\beta))} + \frac{m_t g t \sin(\varphi)}{J} + \frac{m_t l V_o \cos(\varphi) \sqrt{\left(\frac{a}{b} t \tan^2(\beta) V_o\right)^2 + \left\{ \frac{(\alpha + a \tan^2(\beta)) d\beta}{dt} + V_o \tan(\beta) \right\}^2}}{J \sqrt{b^2 + \alpha^2 \tan^2(\beta)}} \quad (2.11)$$

2.9 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga saat ini sudah menjadi bagian yang penting dan sering digunakan pada desain dan analisis. *Software*

elemen hingga saat ini sangat luas digunakan pada cabang – cabang keteknikan untuk analisa struktur, *solid*, dan fluida. Aspek terpenting dari metode elemen hingga adalah bias diandalkan, jadi metodenya dapat digunakan dalam desain berbasis komputer. Metode elemen hingga diharapkan akan semakin berkembang kedepannya karena metode elemen hingga saat ini digunakan baik secara virtual dalam semua aspek analisa teknik. Tentunya pengembangan metode elemen hingga sebagai solusi dari masalah praktek teknik bermula dengan berkembangannya komputerisasi digital. Esensi dari solusi elemen hingga dari sebuah masalah teknik adalah sebuah perhitungan aljabar yang di tetapkan dan selesaikan, dan hanya melalui komputerisasi digital proses ini dapat dikatakan efektif dan bisa diaplikasikan. Dua komponen ini yaitu efektif dan aplikasi umum pada analisis teknik, sesuai dengan teori yang digunakan dan telah dikembangkan menuju komputasi praktik tingkat tinggi, jadi metode elemen hingga itu sendiri telah menemukan ketertarikan yang luas dalam praktik teknik. (Bathe, 2014).

Metode elemen hingga digunakan untuk menyelesaikan masalah fisik dalam analisis teknik dan desain. Masalah fisik itu sendiri umumnya berkaitan dengan struktur yang sebenarnya atau komponen structural yang memiliki beban tertentu. Penyetaraan masalah fisik menjadi model matematika memerlukan asumsi tertentu yang bersama – sama menuju perhitungan diferensial yang mencakup model matematika. Analisa elemen hingga menyelesaikan model matematika ini. Karena teknik solusi elemen hingga adalah sebuah metode numerik, sangat diperlukan untuk memperhatikan akurasi solusinya. Jika kriteria akurasi tidak ditemukan, solusi numerik harus diulang dengan parameter solusi yang matang hingga akurasi yang tepat dicapai.



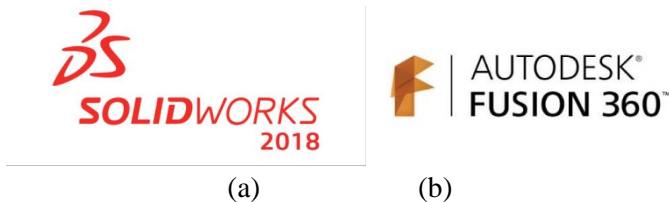
Gambar 2.19 Proses dari Analisis Elemen Hingga (Bathe, 2014).

Ketika model matematika telah di selesaikan secara akurat dan hasilnya telah di interpretasi, kita dapat menentukan keputusan untuk model matematika yang baik untuk meningkatkan wawasan kita sebagai respon dari masalah fisik tersebut. Terlebih lagi, sebuah perubahan pada masalah fisik mungkin diperlukan, dan hal ini juga akan bertujuan pada penambahan model matematika dan

solusi elemen hingga. Kunci dari analisis teknik ialah memilih model matematika yang tepat. Model ini akan dipilih bergantung dari fenomena apa yang akan di prediksi, dan sangat penting untuk memilih model matematika yang dapat diandalkan dan efektif dalam memprediksi kuantitas yang dicari. Untuk menentukan reliabilitas dan efektifitas dari model yang dipilih kita memikirkan sebuah model matematika komprehensif dari masalah fisik dan mengukur tanggapan dari model yang dipilih terhadap tanggapan dari model komprehensif. Secara umum, model matematika komprehensif adalah sebuah deskripsi tiga dimensi yang juga termasuk dalam efek nonlinear (Bathe, 2014).

Meskipun menjadi aspek aktivitas yang menarik, analisis teknik hanyalah sebuah pendukung aktivitas dalam aspek desain teknik yang lebih besar. Proses analisis membantu untuk mengidentifikasi desain baru yang baik dan dapat digunakan untuk meningkatkan sebuah desain dengan berdasar pada performa dan biaya. Pada penggunaan awal metode elemen hingga, hanya struktur tertentu yang di analisis, kebanyakan pada industri penerbangan dan teknik sipil. Namun, ketika potensi penuh dari metode elemen hingga disadari dan penggunaan computer meningkat pada lingkungan desain teknik, tekanan pada penelitian dan pengembangan dibebankan dalam menggunakan metode elemen hingga sebagai bagian integral dari desain proses pada teknik mesin, sipil, dan dirgantara. Dalam menggunakan analisis elemen hingga kita membuat representasi geometris dari komponen desain. Banyak *software* komputer yang dapat digunakan. Gambar 2.20 menunjukkan beberapa *software* yang biasa digunakan. Dalam langkah ini, sifat material, beban yang diaplikasikan dan kondisi batasan dari geometri juga harus ditentukan. Jika informasi ini terpenuhi, analisis elemen hingga dapat berjalan. Karena geometri dan data lain dari komponen fisik yang sebenarnya dapat sangat kompleks, biasanya dibutuhkan untuk menyederhanakan geometri dan beban dalam mencapai

model matematika yang mudah dikerjakan. Tentunya, model matematika haruslah dapat diandalkan dan efektif untuk pertanyaan analisis, seperti dibahas pada tulisan sebelumnya. Analisis elemen hingga menyelesaikan model matematika yang dipilih, yang tentunya dapat diubah dan dimodifikasi bergantung pada tujuan analisisnya. (Bathe, 2014)



Gambar 2.20 Perangkat Lunak CAD (a) Solidworks, dan (b) Autodesk Fusion (Google *Images*, 2019).

Mengingat untuk proses ini, yang umumnya harus dikerjakan oleh seorang desainer teknik dan tidak hanya ahli di bidang spesialis, kita menyadari bahwa metode elemen hingga harus sangat dapat diandalkan dan kuat. Dengan kehandalan dari metode elemen hingga seperti pada solusi dari suatu model matematika, metode elemen hingga selalu menjadi *mesh* elemen hingga yang memberikan solusi terbaik. Dan jika *mesh* yang digunakan sangatlah halus, sebuah penyelesaian yang akurat haruslah dicapai. Dengan kekokohan dari metode elemen hingga performa dari metode elemen hingga haruslah tidak terlalu sensitif terhadap data material, Batasan – Batasan kondisi, dan kondisi yang digunakan. Maka dari itu, metode elemen hingga yang tidak kokoh juga tidak bisa diandalkan (Bathe, 2014).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Liu (2014), secara penggunaannya hampir seluruh masalah diselesaikan dengan menggunakan metode numerik. Adapun prosedur yang

dijelaskan oleh Liu (2014) merupakan pemodelan komputasi yang menggunakan FEM, secara umum FEM dibagi menjadi empat langkah yaitu:

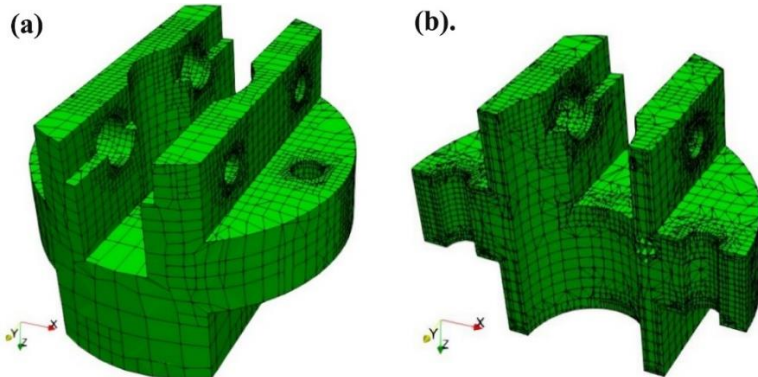
1. *Modelling of Geometry*

Geometri sebenarnya dipresentasikan oleh kumpulan – kumpulan elemen, dan garis – garis berliku serta elemen – elemen tersebut diasumsikan sebagai bagian atau segmen yang datar/lurus (linear). Elemen yang lebih banyak merupakan representasi dari bagian berliku oleh tepian lurus akan semakin halus dan akurat. Akan tetapi, jika elemen yang digunakan lebih banyak, waktu komputasional yang dibutuhkan juga akan semakin lama. Untuk membuat geometri yang baik dengan *finite element* dapat menggunakan berbagai *software* yang tersedia pada komputer. Poin – poin dapat dibuat dengan menggunakan *keying* pada koordinat. Garis dan kurva juga bisa dibuat dengan menyambungkan poin – poin atau *nodes*. Sebuah permukaan bisa dibuat dengan menyambungkan, merotasi, atau mentranslasi garis atau kurva yang ada. Bentuk *solid* bisa dibuat dengan berbagai cara penyambungan, merotasi, mentranslasi permukaan – permukaan yang ada. Bentuk – bentuk ini nantinya juga dapat direfleksikan untuk membuat bentuk baru.

2. *Meshing*

Meshing adalah proses dimana geometri atau domain direpresentasikan menjadi bagian – bagian kecil, yang disebut elemen atau sel. Alasan mengapa *meshing* dilakukan ialah karena jika permasalahan domain bisa dibagi menjadi elemen – elemen kecil dengan menggunakan *grid* atau *nodes*, variasi dari solusi permasalahan diantara elemen bisa diperkirakan dengan mudah menggunakan fungsi sederhana seperti polynomial. Variasi kolektif dari solusi untuk elemen – elemen ini kemudian

membentuk variasi solusi baru untuk seluruh permasalahan *domain*.



Gambar 2.21 Mesh dari sebuah stopkontak yang kompleks (a) Tampilan penuh model saat di mesh (b) Potongan model tepat di bagian tengah (S.H. Huo, 2020).

3. Sifat Benda atau Material

Banyak sistem rekayasa terdiri dari banyak komponen dan tiap komponen merupakan material yang berbeda. Nyatanya, bahkan dalam satu komponen, dapat terbuat dari banyak material, kasusnya seperti pada material komposit. Sifat dari material dapat ditentukan untuk kelompok unsur atau bahkan untuk unsur tunggal jika dibutuhkan. FEM dapat bekerja sangat baik untuk system dengan banyak material, yang memberikan keuntungan signifikan terhadap FEM. Untuk berbagai fenomena atau fisika yang akan disimulasikan, sifat material yang berbeda juga diperlukan. Contohnya, modulus young dan modulus shear dibutuhkan untuk analisis tegangan dari benda padat dan strukturnya, dimana koefisien konduktivitas panas akan dibutuhkan untuk analisa temperatur. Input dari sifat material menjadi sebuah *pre-processor* biasanya dilakukan secara langsung; yang harus dilakukan semua orang yang menganalisa adalah memilih input yang relevan untuk

sifat material yang dibutuhkan dan memilah bagian mana dari geometri atau unsur yang digunakan oleh data. Memperoleh sifat – sifat ini tidaklah mudah. Terdapat *database* material yang tersedia secara komersil untuk material yang berstandarisasi, namun pengujian biasanya diperlukan untuk menentukan secara pasti sifat dari material yang hendak digunakan pada system. Dalam beberapa kasus, mungkin pada simulasi lain pertama – tama diperlukan untuk memperoleh spesifikasi dari material, yang kemudian digunakan sebagai input untuk model FEM. Hal ini, namun, akan melebihi jangkauan dari buku ini, dan kita akan berasumsi bahwa sifat material yang dipakai telah diketahui.

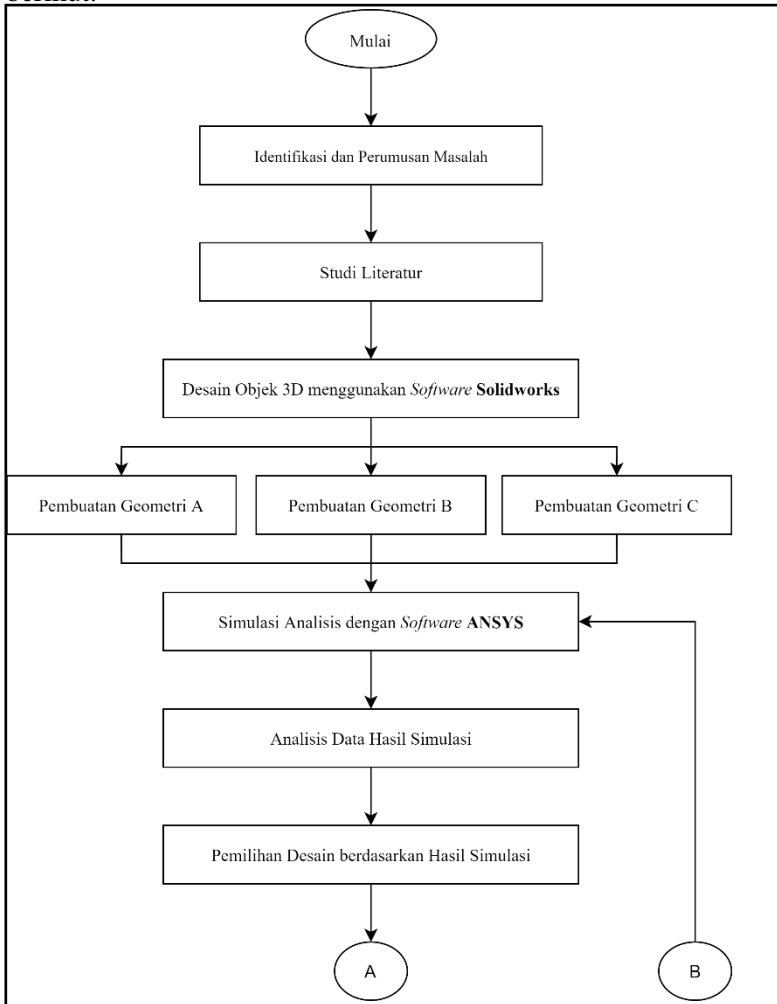
4. Kondisi Batasan, Kondisi Awal, dan Muatan

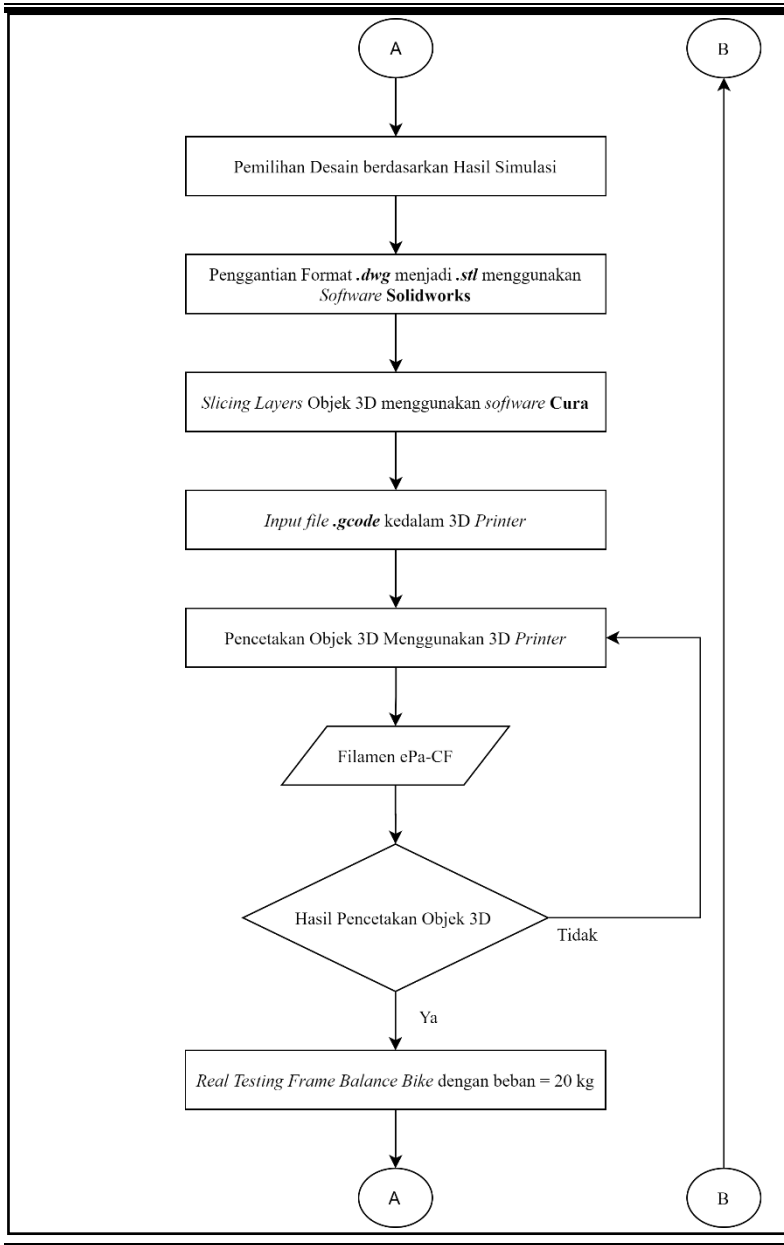
Batasan, kondisi awal, dan muatan berperan penting pada simulasi. Mempersiapkan kondisi ini biasanya dilakukan dengan mudah menggunakan *pre-processors* komersil, dan hal ini sering diterangkan dengan grafik. Pengguna dapat menentukan kondisi ini baik keterangan geometris atau keterangan *mesh*. Sekali lagi, untuk mensimulasikan kondisi ini untuk system rekaya aktual membutuhkan pengalaman, pengetahuan, dan keputusan rekayasa yang baik. Batasan, kondisi awal, dan kondisi muatan berbeda pada tiap kasusnya, dan akan dijelaskan secara rinci di bab berikutnya. (G.R. Liu, 2014)

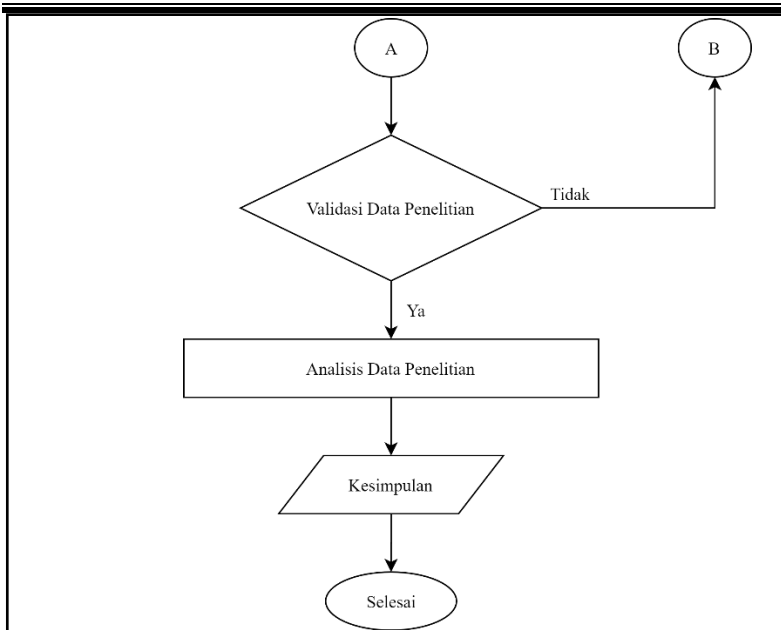
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Adapun diagram alir dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:







Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Bahan Penelitian

Dalam penelitian tugas akhir ini, material yang digunakan adalah filamen *ePA-CF* produksi *eSUN filament* yang kemudian dicetak dengan printer 3D. Untuk Data dan spesifikasi teknis dari material yang digunakan pada penelitian ini terurai dalam Tabel 3.1 Metode Penelitian.

Tabel 3.1 Spesifikasi Teknis Material Penelitian (eSUN *Datasheet*).

Spesifikasi	Keterangan
Material	ePA-CF
Temperatur <i>print</i>	240-260 °C
Temperatur <i>Bed</i>	80 °C
Densitas	1,24 g/cm ³

<i>Heat Distortion Temp</i>	120 °C, 0,45 Mpa
<i>Melt Flow Index</i>	10 (g/10min)
<i>Tensile Strength</i>	75 MPa
<i>Elongation at Break</i>	26 %
<i>Flexural Strength</i>	122 MPa
<i>Flexural Modulus</i>	5160 MPa
<i>IZOD Impact Strength</i>	12 kJ/m ²

Tabel 3.2 Komposisi Material *ePA-CF*.

Nama Bahan	Nomor CAS	Nomor EC	Kandungan (%)
PA (Nylon)	32131-17-2	-	74
CF (Carbon Fiber)	7782-42-5	231-955-3	25
Additives	-	-	1



(a)



(b)

Gambar 3.2 (a) Filamen *ePA-CF* (b) Neraca Massa

3.3 Peralatan dan Piranti Lunak Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini peralatan yang digunakan ialah perangkat komputer, piranti lunak Solidworks 2018 serta Workbench Ansys 19.1 untuk melakukan simulasi numerik dan modul yang digunakan ialah *Static Structural Test*. Kemudian, untuk mencetak desain menggunakan mesin *3D printer* buatan Creality3D. Untuk spesifikasi lengkap dari piranti yang digunakan akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Perangkat Komputer

Terdapat perangkat *computer* yang digunakan yakni Laptop MSI GL63-8RC dengan spesifikasi RAM 8GB, CPU Intel ® Core i5 8th generation Octa-core @ ~2.3 GHz, dan Windows 10 Home x64 yang digunakan untuk menggambar desain dan juga digunakan untuk melakukan simulasi analisa statis dari *steering balance bike*.

2. Piranti Lunak

Adapun piranti lunak yang hendak digunakan dalam penelitian ini antara lain:



(a)



(b)

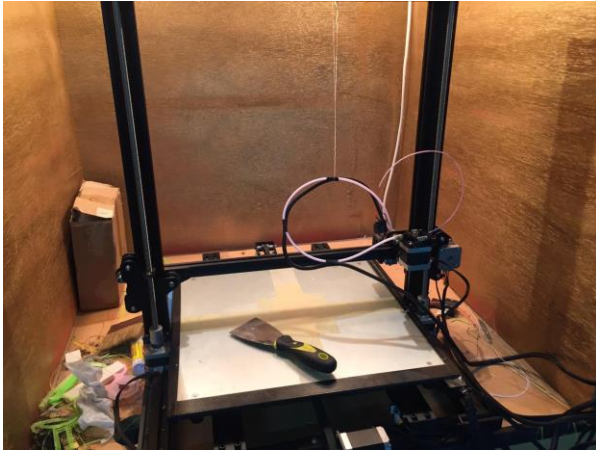


(c)

Gambar 3.3 *Software* yang digunakan (a) Solidworks 2018, (b) Ansys 19.1, (c) Ultimaker Cura.

3. Mesin 3D printer

3D printer yang digunakan mencetak objek tiga dimensi yakni Creality3D CR-10 S4 dengan spesifikasi ukuran cetak objek sebesar 400x400x400 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.



Gambar 3.4 Mesin 3D printer yang digunakan (Dokumentasi pribadi).

3.4 Variabel

Dalam penelitian simulasi dan rancang bangun sepeda ini, agar didapatkan hasil penelitian yang komprehensif, akan digunakan 2 jenis variabel (*Independent*, *Dependent*) yang diulas dan dibahas secara rinci pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 Variabel Penelitian.

<i>Independent</i>	<i>Dependent</i>	
	A	
Geometri	B	Kekuatan, Bobot (Massa)
	C	

3.5 Tahapan Penelitian

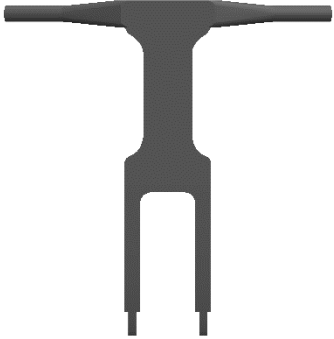
Berdasarkan diagram alir penelitian pada Gambar 3.1, tahapan – tahapan dalam penelitian akan dijelaskan sebagai berikut.

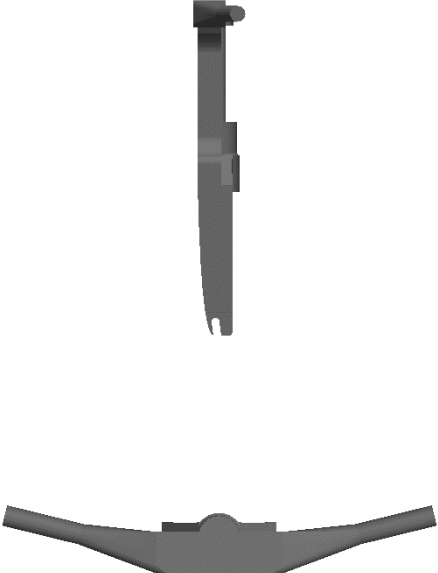
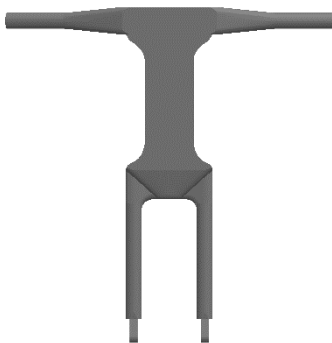
1. Pembuatan Geometri



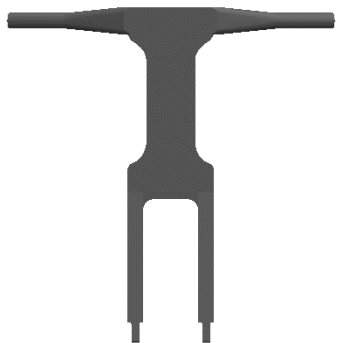
Dalam penelitian ini, objek terlebih dahulu digambar desain tiga dimensinya dengan memperhatikan anatomi *steering*

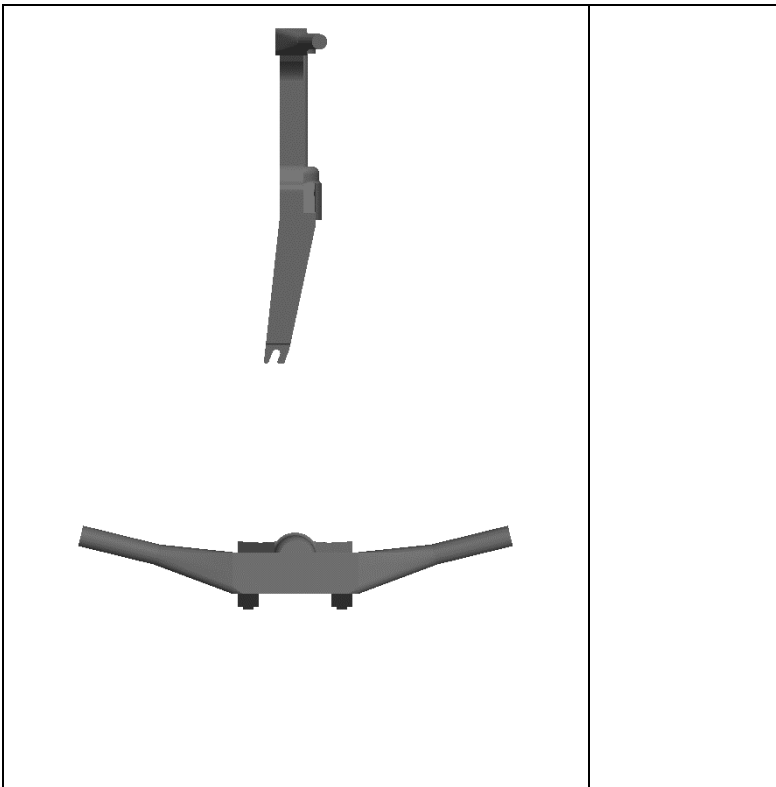
terlebih dahulu dengan menggunakan *software* Solidwork. Hasil desain dengan jenis variasi geometri yang berbeda kemudian disimpan dengan format .dwg atau *drawing*. Dalam penelitian ini, terdapat tiga jenis variasi geometri yaitu Geometri A, Geometri B, dan Geometri C seperti yang ditunjukkan dengan Sistem Proyeksi Amerika (SPA) pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Variasi geometri *steering balance bike* dengan SPA.

Gambar	Geometri
	A

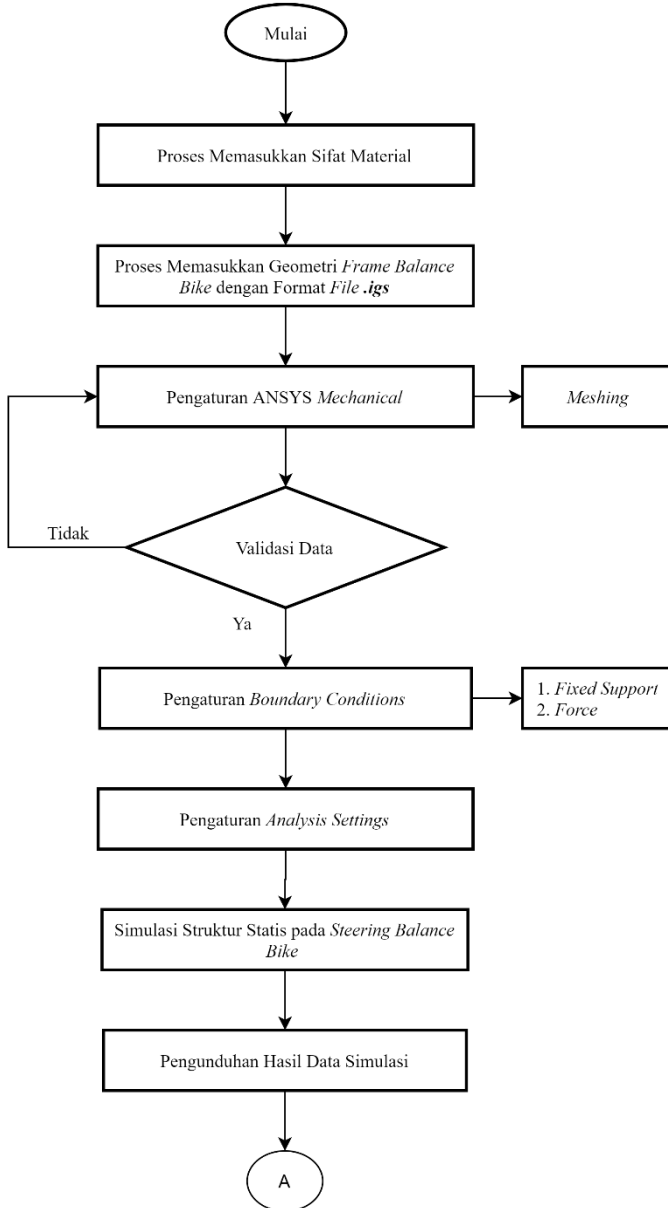
	
	<p>B</p>

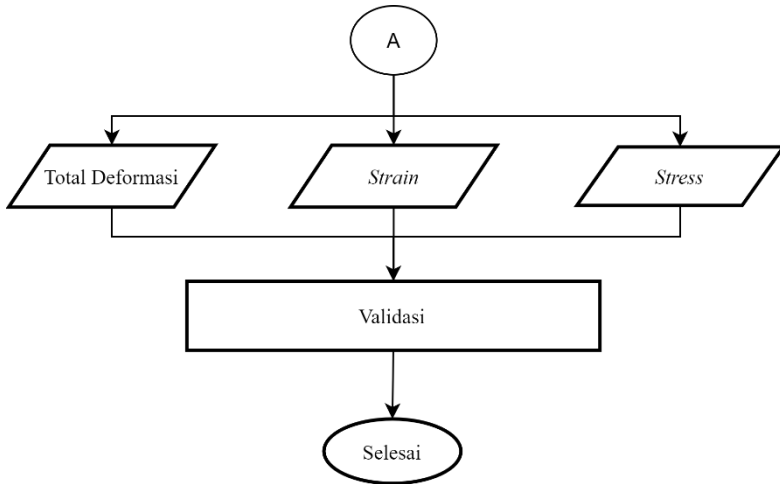
 	
	C



3. Pelaksanaan Analisa Numerik

Ketiga desain dengan variasi geometri yang berbeda tersebut kemudian disimulasikan dengan menggunakan *software* Workbench Ansys 19.1 dengan metode *static structural* yang memiliki bagan proses seperti pada Gambar 3.5 dibawah ini. Desain tiga dimensi yang terbaik akan dipilih dengan kriteria *stress* dan *strain* yang tinggi serta massa objek yang ringan untuk kemudian akan dicetak dengan menggunakan *3D printer*.



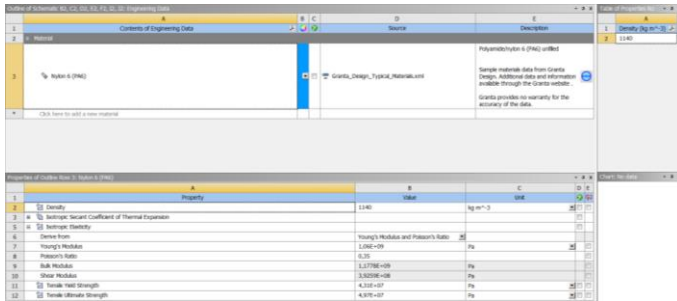


Gambar 3.5 Diagram alir simulasi.

Mengenai diagram alir simulasi di atas, dapat dijelaskan lagi secara rinci tentang alur simulasi sebagai berikut:

1. *Input material properties*

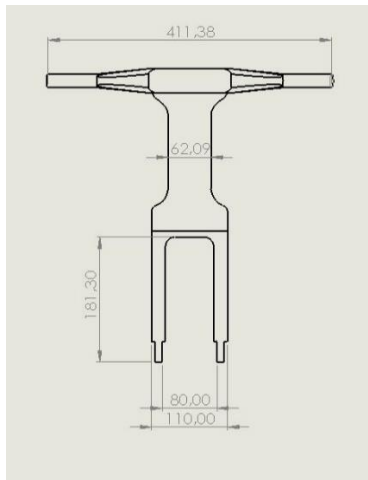
Seperi yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya, pada penelitian ini digunakan *material Carbon Fiber-Nylon (Nylon 6)* yang memiliki nilai sifat mekanik tertentu. Dalam *database ANSYS* terdapat data sifat mekanik untuk material ini, sehingga cukup dilakukan input data pada bagian *Engineering Data* pada kelompok *Granta Materials*.



Gambar 3.6 Input sifat mekanik pada *Engineering Data Library*.

2. Input Geometri

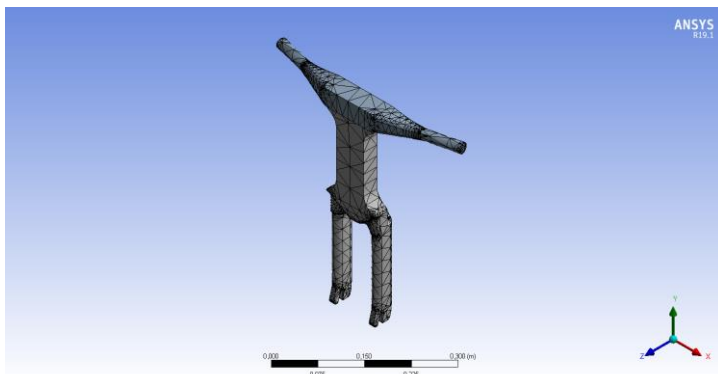
Input geometri untuk penelitian kali ini hanya dengan memasukkan desain geometri yang sebelumnya telah dibuat di perangkat solidworks. Sebelumnya desain geometri telah di simpan dalam bentuk format *.igs* sehingga dapat di buka oleh Ansys. Desain geometri dan teknis dimensi dari geometri terdapat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Dimensi dari geometri penelitian.

3. Menentukan Tipe dan Ukuran Elemen

Pada bagian ini sebelumnya harus menggunakan fitur *editing model* dengan menggunakan *Ansys Mechanical*, pada proses ini dapat ditentukan jenis dan ukuran elemen sesuai dengan metode yang digunakan. Untuk tipe mesh yang akan digunakan adalah pengaturan *default*, sedangkan untuk ukuran elemen juga menggunakan pengaturan *default*. Namun dengan catatan pengaturan *Span Angle Center* yang digunakan adalah *Fine*. Lebih mudahnya pada penelitian ini *meshing* menggunakan fitur *auto generate*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8 dan Gambar 3.9 dimana masing – masing menunjukkan tampilan setelah dilakukan *meshing* dan pengaturan *geometry meshing*.



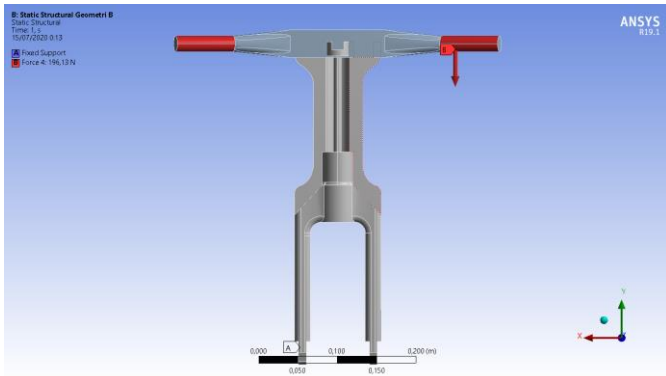
Gambar 3.8 Geometri setelah dilakukan *meshing*.

Details of "Mesh"	
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Program Controlled
<input type="checkbox"/> Element Size	Default
Sizing	
Use Adaptive Sizing	Yes
Resolution	Default (2)
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Initial Size Seed	Assembly
Bounding Box Diagonal	0,60798 m
Average Surface Area	7,777e-004 m ²
Minimum Edge Length	2,5625e-006 m
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
<input type="checkbox"/> Transition Ratio	0,272
<input type="checkbox"/> Maximum Layers	5
<input type="checkbox"/> Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Advanced	
Number of CPUs for Paralle...	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	Yes
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	28150
<input type="checkbox"/> Elements	15939

Gambar 3.9 Pengaturan untuk melakukan *geometry meshing*.

4. Pengaturan *Boundary Conditions*

Boundary conditions berperan agar simulasi dapat terkontrol seluruhnya dimana pada penelitian kali ini *boundary conditions* mengacu pada *Fixed Support* dan *Force* yang bekerja pada geometri. Pada Gambar 3.10 menerangkan mengenai *Boundary Conditions* yang bekerja.



Gambar 3.10 Pengaturan *Boundary Conditions* untuk *Presimulations*..

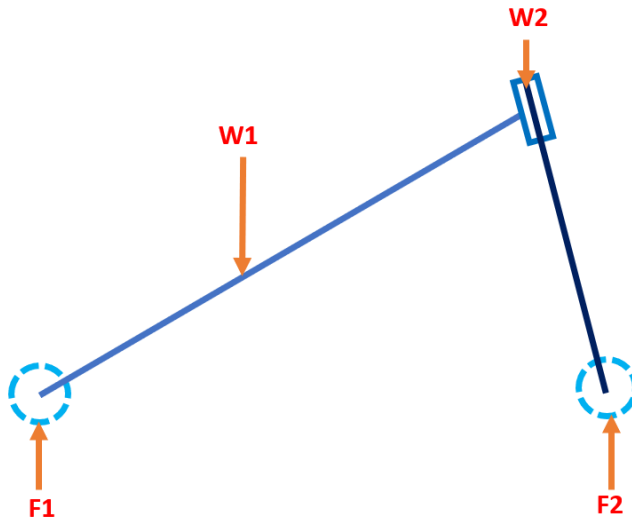
5. Pengaturan *Analysis Settings*

Pada tahap ini, *Analysis Settings* memiliki pengaruh untuk memonitoring dan menjaga simulasi sesuai dengan kondisi aslinya. Untuk pengaturan ini, semua metode harus disamakan untuk mencapai tujuan penelitian.

Details of "Analysis Settings" ↕	
[-] Step Controls	
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,
[-] Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
[-] Rotordynamics Controls	
Coriolis Effect	Off
[-] Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Combine Restart Files	Program Controlled
[-] Nonlinear Controls	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
[-] Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
[-] Analysis Data Management	
[-] Visibility	

Gambar 3.11 Pengaturan untuk *Analysis Settings*.

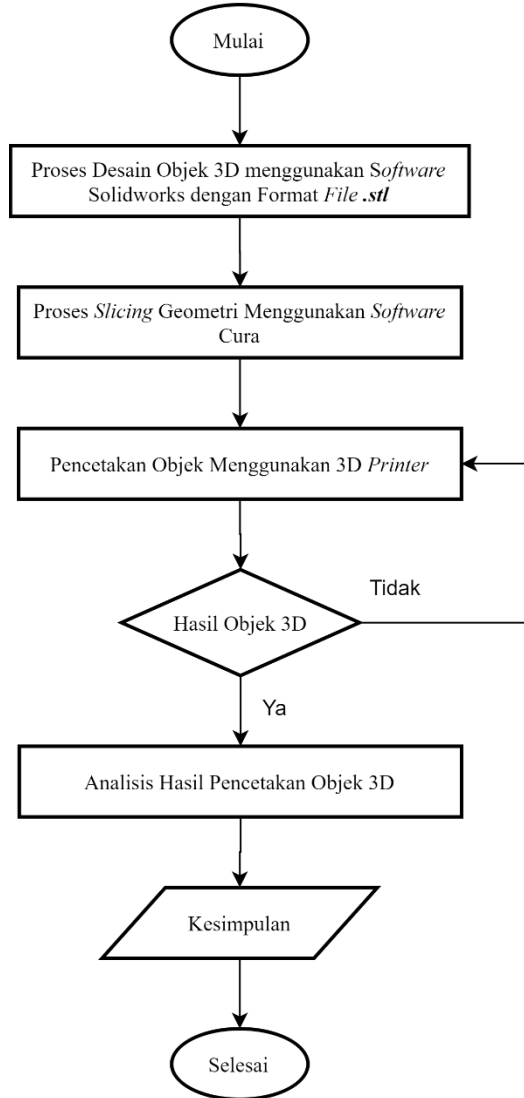
Agar ketiga desain memberikan hasil simulasi yang maksimal, penentuan titik pembebanan statis diletakkan sesuai dengan *free body* diagram seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.12



Gambar 3.12 *Free body diagram* sepeda

4. *Printing Preparation*

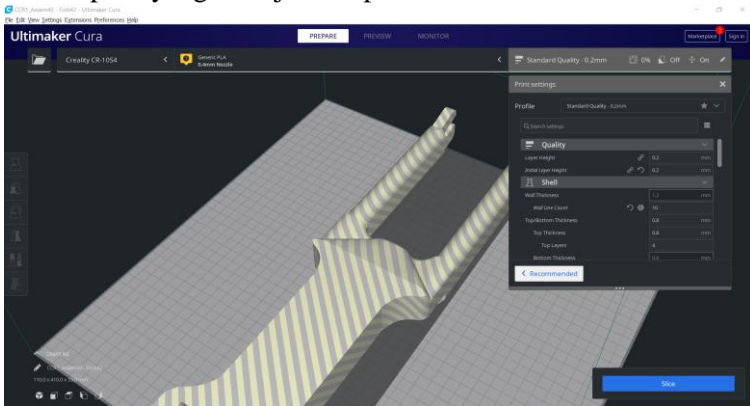
Objek tiga dimensi yang telah dipilih sebelumnya kemudian disimpan dan diubah formatnya menjadi *.stl* atau *stereolithography* dengan *software* Solidworks. Selanjutnya *file* tersebut dibuka dengan *software* Cura yang juga digunakan untuk proses *slicing layers* dimana *software* ini secara otomatis akan mengubah struktur objek tiga dimensi menjadi lapisan – lapisan penyusun. Lapisan – lapisan tersebut dapat diketahui jumlahnya dan dapat ditentukan jumlahnya dengan mengatur ketebalan dari setiap lapisannya.



Gambar 3.13 Diagram alir proses 3D printing.

5. Pencetakan 3D

Setelan dari objek yang telah valid 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 3.14



Gambar 3.14 *Print Setting* menggunakan *software* Cura.

Kemudian melakukan pengaturan parameter pencetakan yang dapat diatur dengan menggunakan *software* Cura 4.5.

Tabel 3.5 Pengaturan Pencetakan dengan Menu *Basic* pada *software* Cura 4.5.

Submenu	Parameter	Nilai	Satuan
<i>Quality</i>	<i>Layer Height</i>	0.6	mm
	<i>Retraction length</i>	0.2	mm
<i>Shell</i>	<i>Wall Thickness</i>	1.2	mm
	<i>Wall Line Count</i>	10	
<i>Infill</i>	<i>Infill Density</i>	100	%
	<i>Infill Pattern</i>	<i>Lines</i>	
<i>Material</i>	<i>Printing Temperature</i>	250	°C

	<i>Build Plate Temperature</i>	80	°C
	<i>Flow</i>	70	%
<i>Speed</i>	<i>Print Speed</i>	60	mm/s
	<i>Enable Retraction</i>	Yes	
<i>Travel</i>	<i>Z Hop When Retracted</i>	Yes	
	<i>Enable Print Cooling</i>	No	
<i>Cooling</i>	<i>Fan Speed</i>	0	%
	<i>Generate Support</i>	Yes	
<i>Print Support</i>	<i>Support Placement</i>	Everywhere	
	<i>Support Overhang Angle</i>	33	°
<i>Build Plate Adhesion</i>	<i>Build Plate Adhesion Type</i>	Brim	

6. Perhitungan Massa Objek

Steering Balance bike yang telah dicetak selanjutnya akan di timbang massanya menggunakan neraca massa yang memiliki ukuran sesuai dengan ukuran *steering*.

7. Real Testing

Hasil cetak objek tiga dimensi digabungkin dengan part – part lainnya, kemudian diuji coba untuk dikendarai oleh anak – anak dibawah umur 5 tahun yang memiliki bobot kurang dari 20 kg.

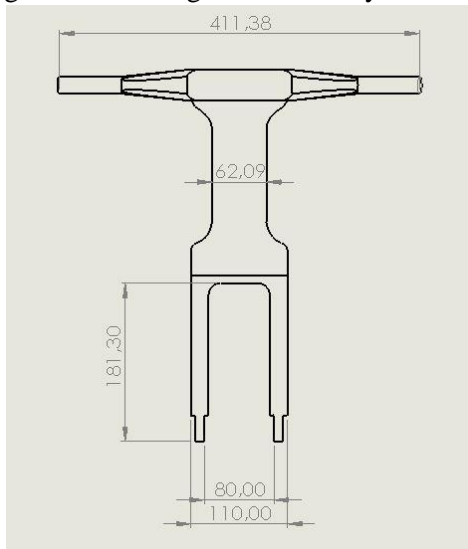
BAB IV HASIL DAN ANALISIS DATA

4.1 Hasil Modeling Geometri

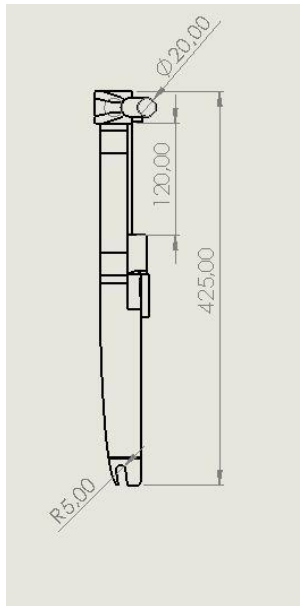
Dalam penelitian yang dilakukan kali ini tahap pertama yang dilakukan ialah proses pembuatan *modelling* geometri. Dalam proses *modelling* dibantu dengan *software* Solidworks yang kemudian dibagi menjadi tiga buah jenis variabel geometri yaitu geometri A, geometri B, dan geometri C. Dimensi dari desain penelitian kali ini telah disesuaikan dengan dimensi *balance bike* pada umumnya. Berikut merupakan hasil dari proses pembuatan *modelling* geometri yang telah dibuat.

4.1.1 Geometri A

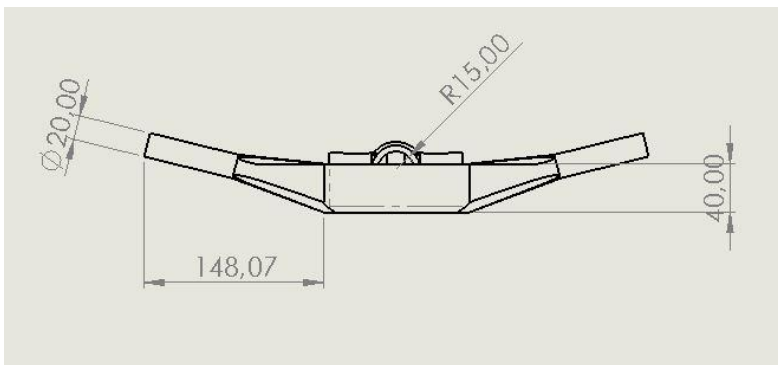
Desain geometri pertama yang dibuat dengan memperhatikan struktur *balance bike* ialah Geometri A. Pada gambar berikut ditunjukkan mengenai gambar serta keterangan dimensi dari geometri A dengan Sistem Proyeksi Amerika.



(a)



(b)

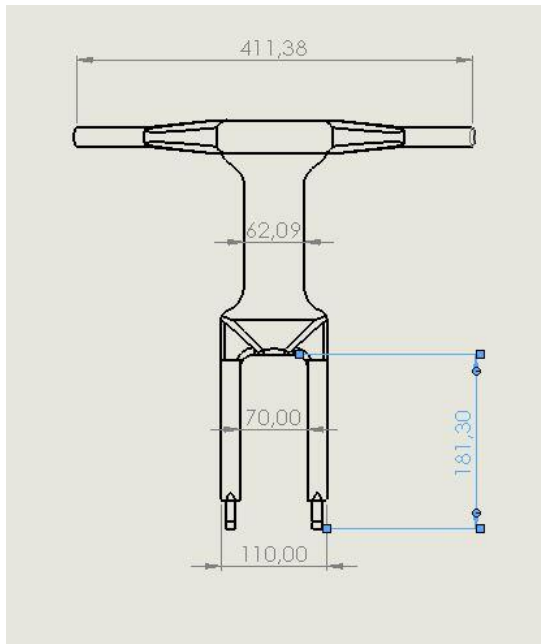


(c)

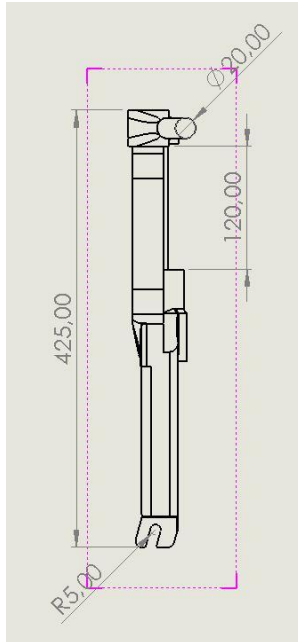
Gambar 4.1 Geometri A (a) Tampak Depan (b) Tampak Kanan (c) Tampak Atas.

4.1.2 Geometri B

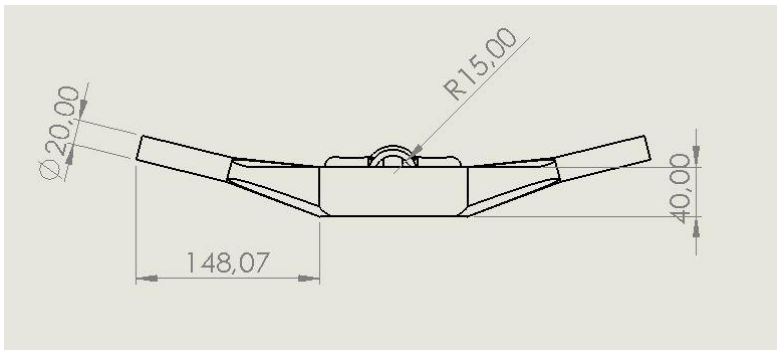
Desain geometri kedua yang dibuat dengan memperhatikan struktur *balance bike* ialah Geometri B. Pada gambar berikut ditunjukkan mengenai gambar serta keterangan dimensi dari Geometri B dengan Sistem Proyeksi Amerika.



(a)



(b)

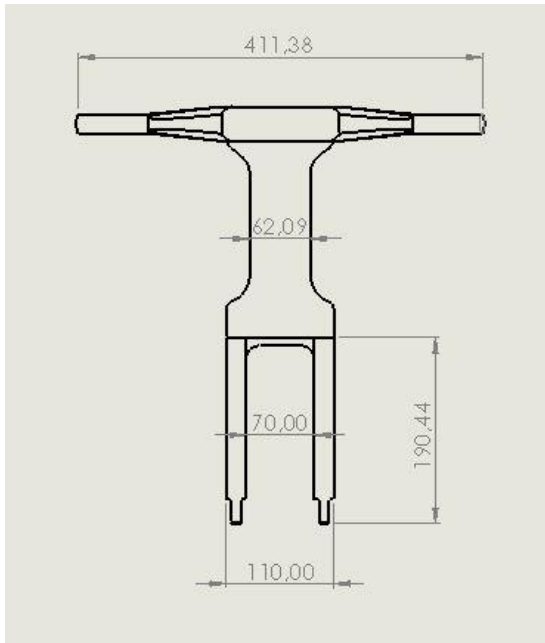


(c)

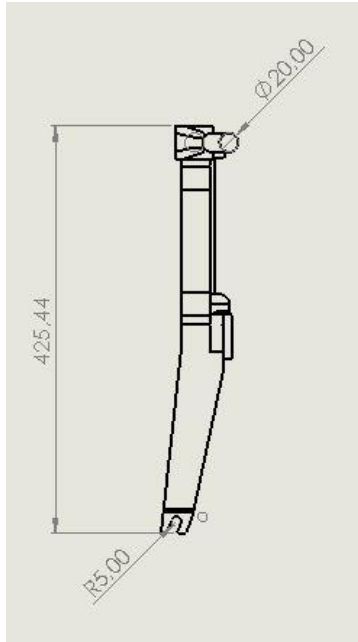
Gambar 4.2 Geometri B (a) Tampak Depan (b) Tampak Kanan (c) Tampak Atas.

4.1.3 Geometri C

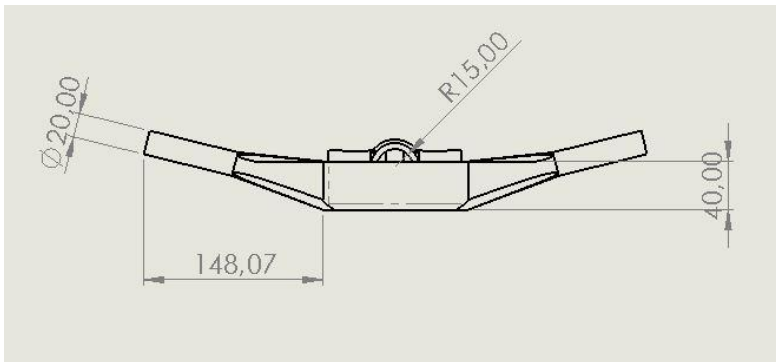
Desain geometri kedua yang dibuat dengan memperhatikan struktur *balance bike* ialah Geometri C. Pada gambar berikut ditunjukkan mengenai gambar serta keterangan dimensi dari Geometri C dengan Sistem Proyeksi Amerika.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.3 Geometri C (a) Tampak Depan (b) Tampak Kanan (c) Tampak Atas.

4.2 Hasil Simulasi *Static Structural* dengan Menggunakan Ansys

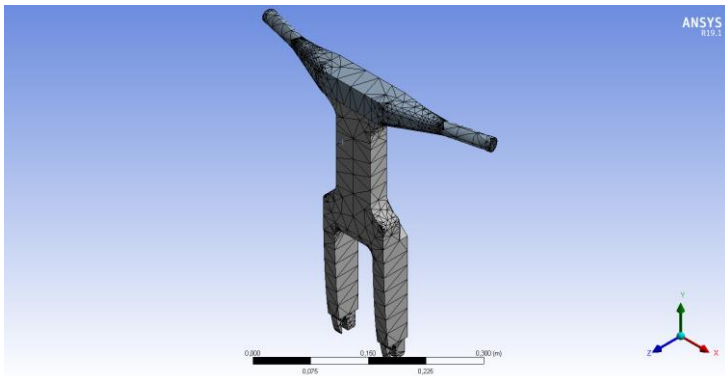
Penelitian perancangan *steering* sepeda kali ini dibantu dengan pendekatan analisa numerik yang dilakukan dengan metode elemen hingga berbasis *software*, yaitu ANSYS Workbench Mechanical R19.1 dimana pendekatan ini digunakan untuk mengamati pengaruh bentuk geometri dan bahan material filamen ePA-CF terhadap kekuatan dan berat dari *steering* sepeda. Namun karena adanya ketidaklengkapan data dari manufaktur filamen ePA-CF begitupun dengan *directory software* simulasi, maka material *properties* yang diinput merupakan Nylon 6 (PA type 6) dikarenakan material ini memiliki beberapa spesifikasi yang mendekati besaran nilai *properties* dari filamen ePA-CF seperti massa jenis dan kekuatan tarik. Kemudian sebelum dapat melakukan simulasi komponen juga harus melewati proses *meshing* bagi variasi geometri yang hendak 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*. Secara teori, semakin kecil ukuran mesh, maka nilai error yang dihasilkan semakin kecil pula, atau bisa dikatakan linear (Waas, 2019).

Tabel 4.1 Hasil Analisis *Meshing* Variasi Geometri

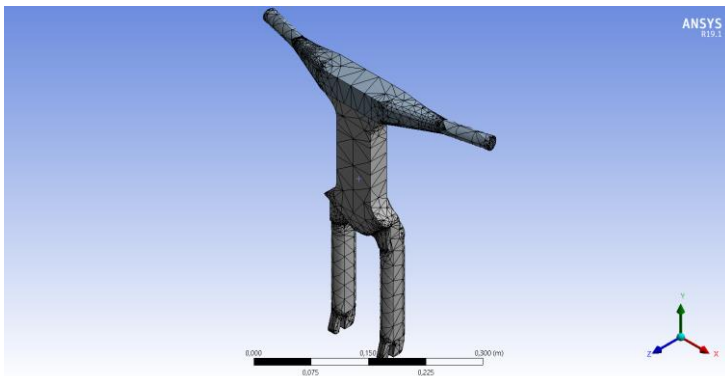
Geometri	<i>Span Angle Center</i>	Node	Elemen
A	Coarse	18165	10054
	Medium	18834	10415
	Fine	23994	13591
B	Coarse	28150	15939
	Medium	29308	16684
	Fine	46875	27711
C	Coarse	20469	11282

Medium	21192	11667
Fine	26921	15126

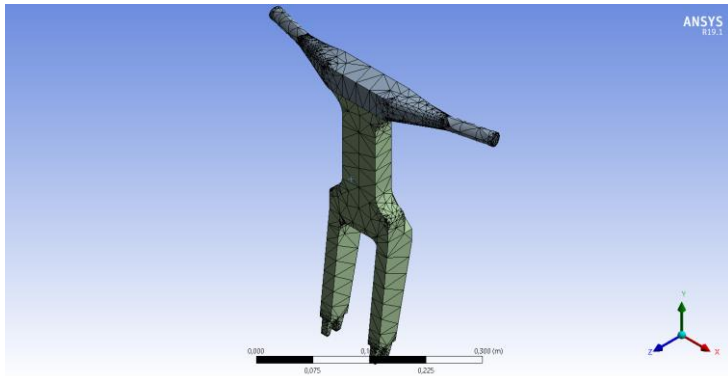
Agar lebih memudahkan pengambilan data, proses *meshing* akan ditinjau melalui gambar proyeksi dari tampak *isometric* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 sebagai berikut.



(a)



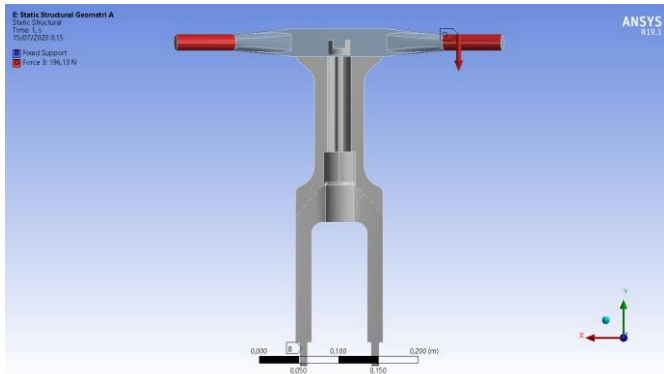
(b)



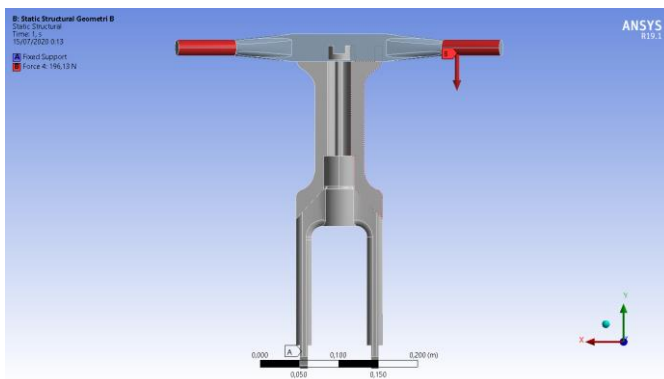
(c)

Gambar 4.4 Hasil *Meshing* Tampak *Isometric* (a) Geometri A, (b) Geometri B, dan (c) Geometri C.

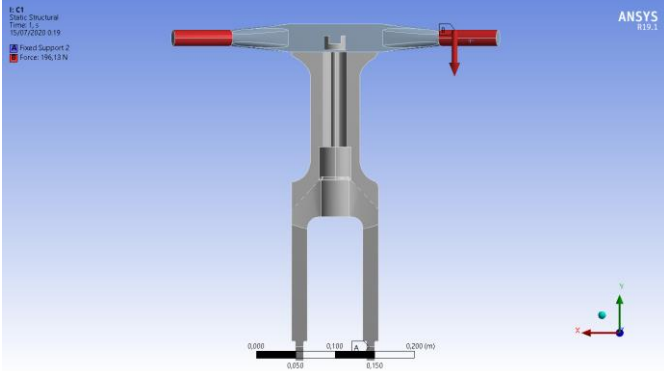
Dari analisa *meshing* yang telah dilakukan didapat kesimpulan bahwa analisis *meshing* dengan ukuran *fine* lebih diutamakan karena memiliki jumlah node dan elemen yang paling tinggi sehingga hasil simulasi yang dilakukan akan menjadi lebih akurat seperti yang dikemukakan oleh Waas, 2019. Selanjutnya analisa yang dilakukan juga memperhatikan titik – titik beban yang bekerja pada analisa struktur *steering* sepeda yang dibagi menjadi dua jenis variabel analisa yaitu *force* (gaya) dan *fixed support* (*constraint*). Kedua jenis pengaturan ini mengacu pada *free body diagram* sepeda seperti yang di tunjukkan pada Gambar 3.12. Namun agar hasil simulasi lebih akurat pada penelitian kali ini menerapkan dua skenario simulasi berdasarkan lokasi *boundary conditions*. Gambar 4.5 menunjukkan skema gaya yang bekerja pada *steering* sepeda.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.5 Skema Gaya yang bekerja pada (a) Geometri A, (b) Geometri B, dan (c) Geometri C *steering* sepeda.

Selain meng-input titik – titik terjadinya beban juga harus menentukan *analysis settings*, dimana dengan pengaturan ini kita bisa melihat serta memperoleh data simulasi sesuai dengan keterangan yang kita inginkan. Untuk *analysis settings* yang digunakan pada penelitian kali ini telah dijelaskan pada Gambar 3.11 sebelumnya.

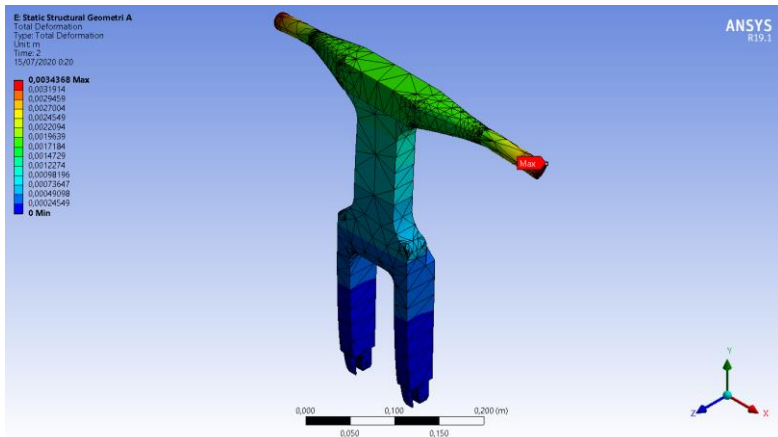
Kemudian untuk melihat perbedaan – perbedaan konsentrasi tegangan yang terjadi pada hasil simulasi geometri dapat dilihat melalui spektrum warna yang tersebar pada geometri. Perbedaan warna menunjukkan indikasi nilai tegangan yang bervariasi pada area yang dikenai beban. Konsentrasi tegangan dapat dilihat pada spektrum warna yang ditunjukkan oleh Gambar 4.6 nilai tegangan paling rendah diindikasikan oleh warna biru kemudian semakin meningkat nilainya ke arah kanan dan nilai maksimum diindikasikan oleh warna merah.



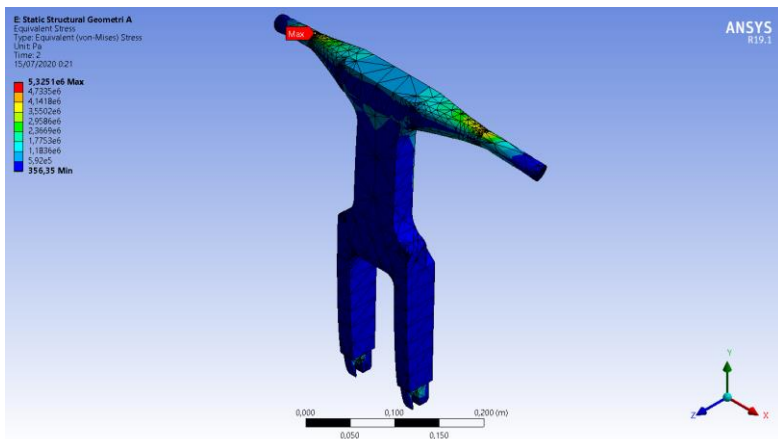
Gambar 4.6 Spektrum warna nilai tegangan.

4.2.1 Hasil Simulasi Statis pada Geometri A

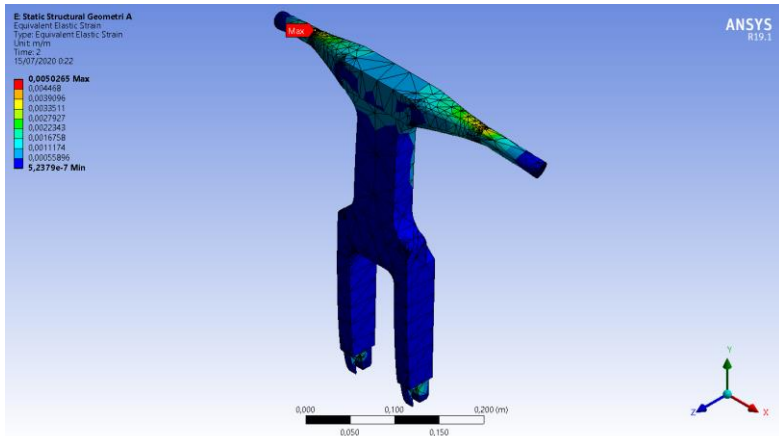
Berikut merupakan hasil simulasi statis pada variasi geometri *steering* dengan kondisi – kondisi yang telah ditetapkan sebelumnya.



(a)

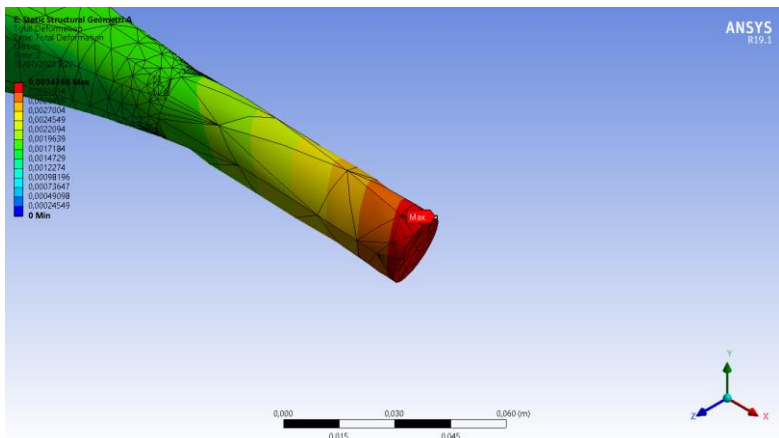


(b)

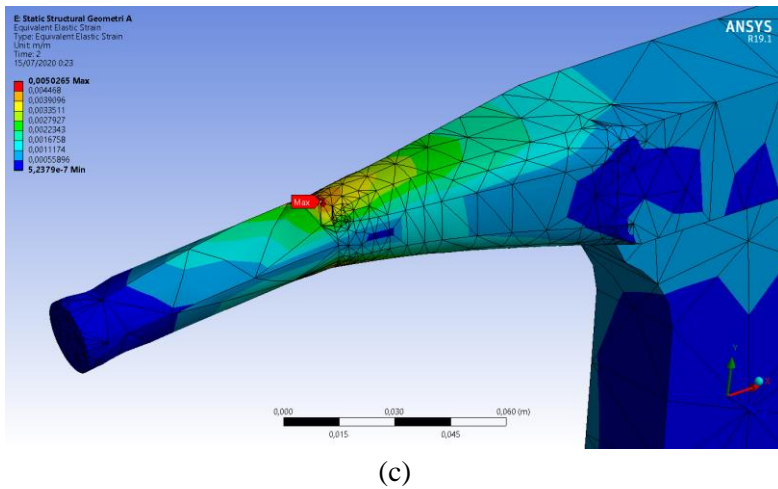
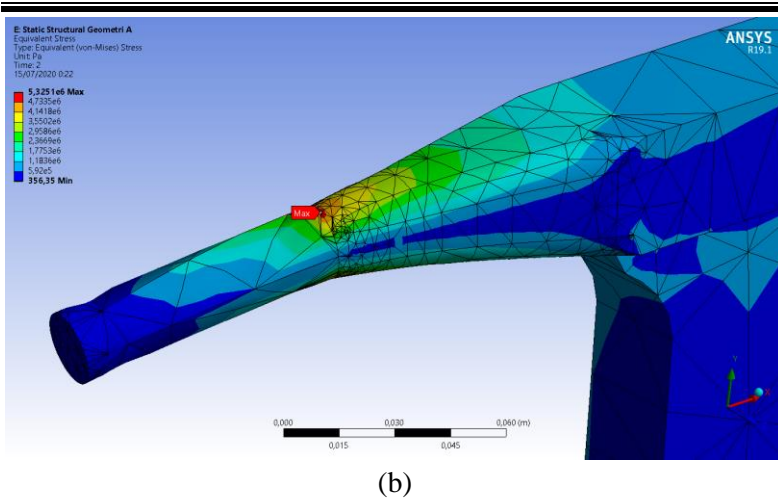


(c)

Gambar 4.7 Hasil Simulasi Statis pada *Steering Geometri A*
(a) *Total Deformation*, (b) *Equivalent Stress*, (c) *Equivalent Elastic Strain*.

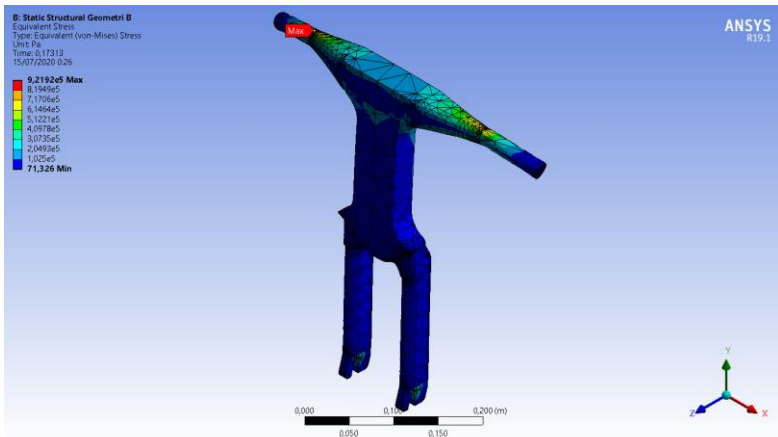
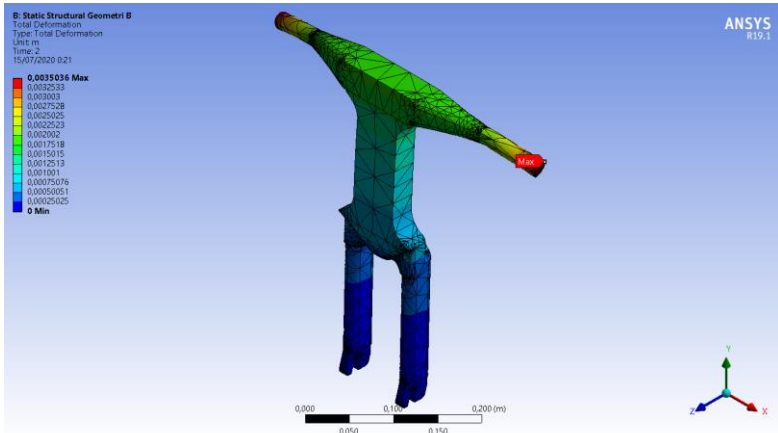


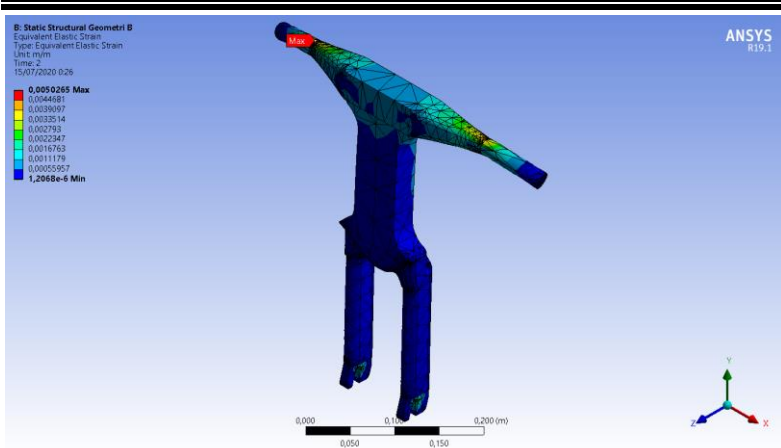
(a)



Gambar 4.8 Lokasi Maksimum dari (a) *Total Deformation*, (b) *Equivalent Stress*, (c) *Equivalent Elastic Strain* dari Geometri A.

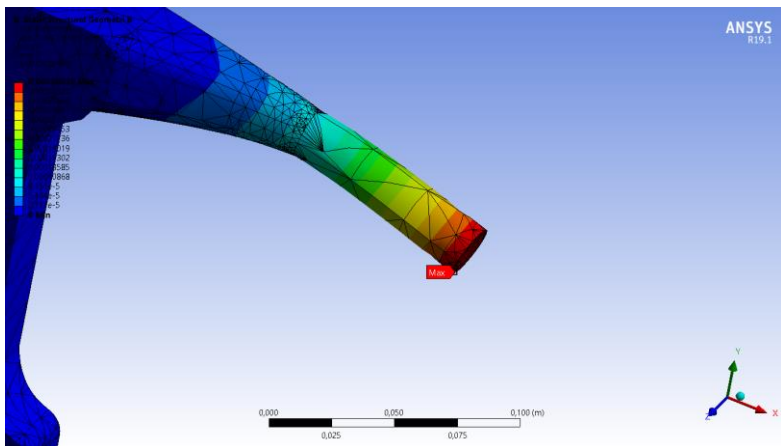
4.2.2 Hasil Simulasi Statis pada Geometri B



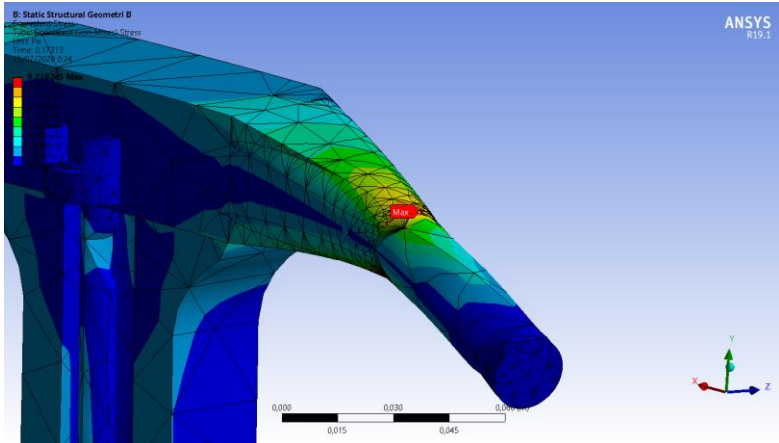


(c)

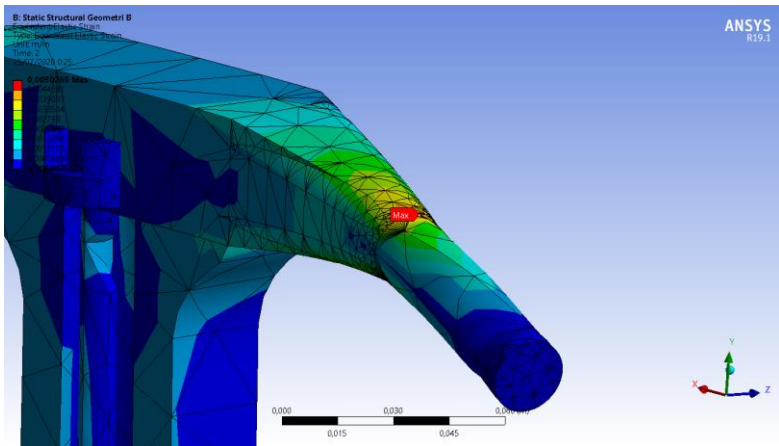
Gambar 4.9 Hasil Simulasi Statis pada *Steering Geometri B*
 (a) *Total Deformation*, (b) *Equivalent Stress*, (c) *Equivalent Elastic Strain*.



(a)



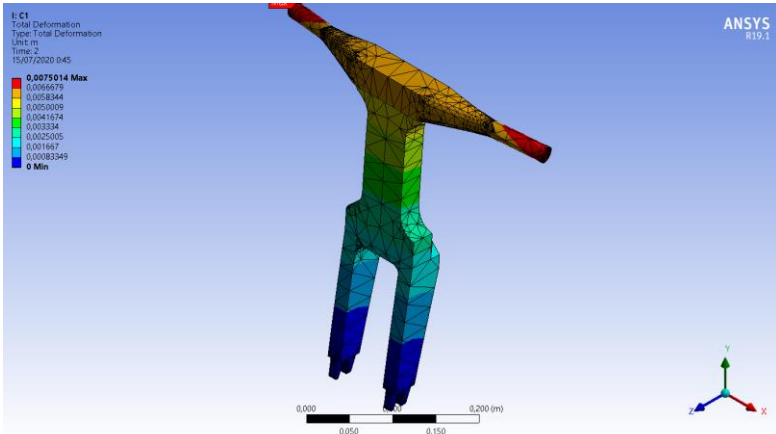
(b)



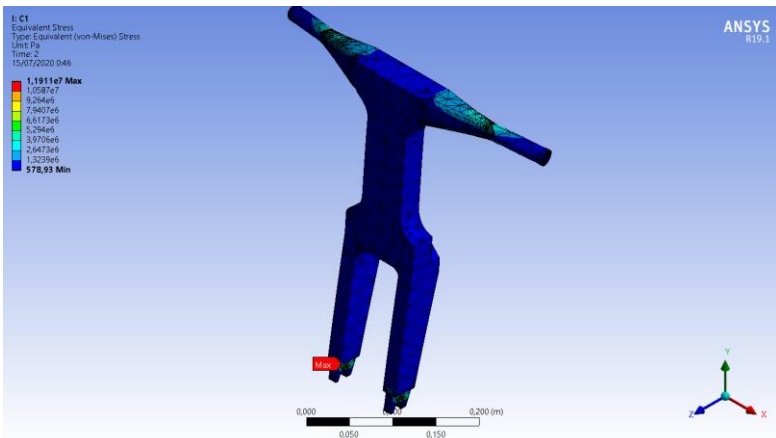
(c)

Gambar 4.10 Lokasi Maksimum dari (a) *Total Deformation*, (b) *Equivalent Stress*, (c) *Equivalent Elastic Strain* dari Geometri B.

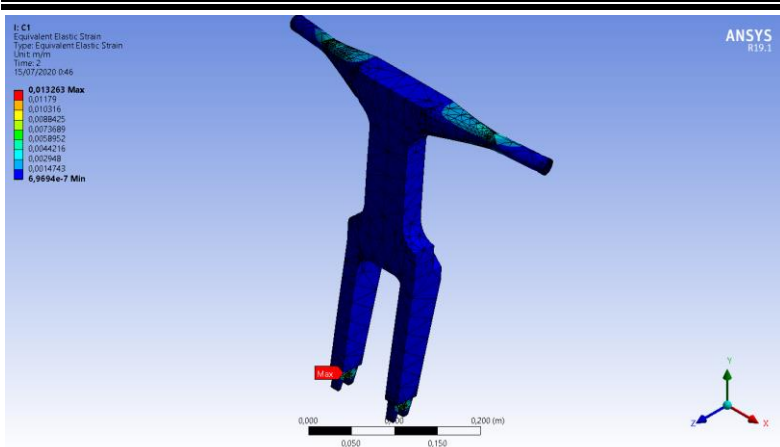
4.2.3 Hasil Simulasi Statis pada Geometri C



(a)

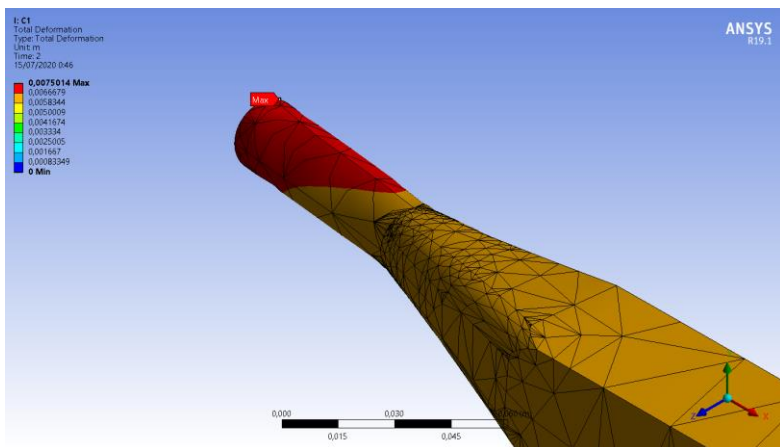


(b)

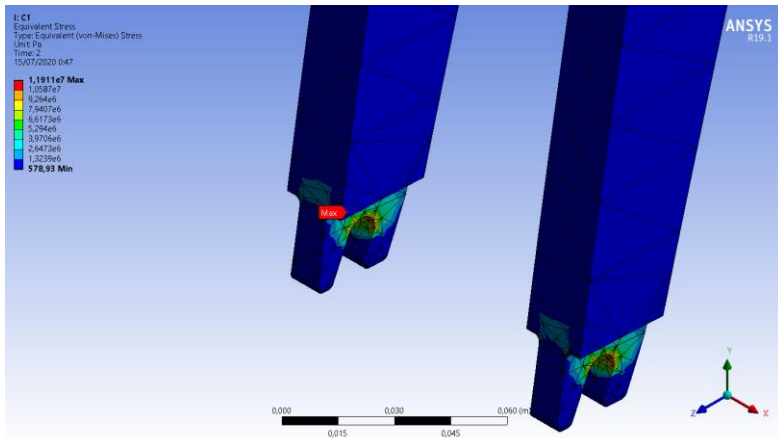


(c)

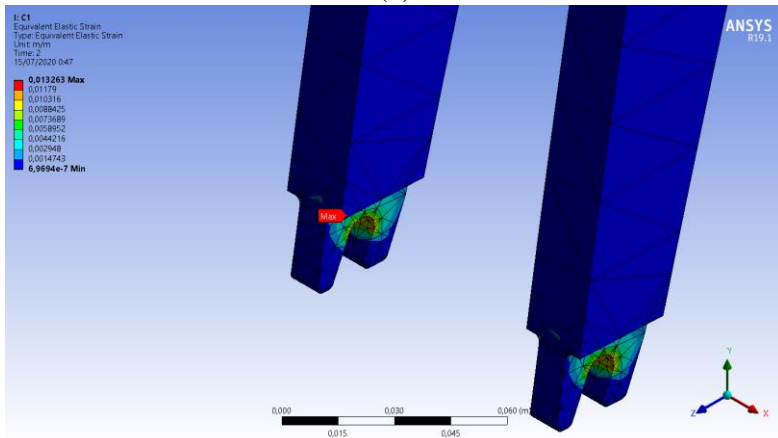
Gambar 4.11 Hasil Simulasi Statis pada *Steering Geometri C*
(a) *Total Deformation*, (b) *Equivalent Stress*, (c) *Equivalent Elastic Strain*.



(a)



(b)

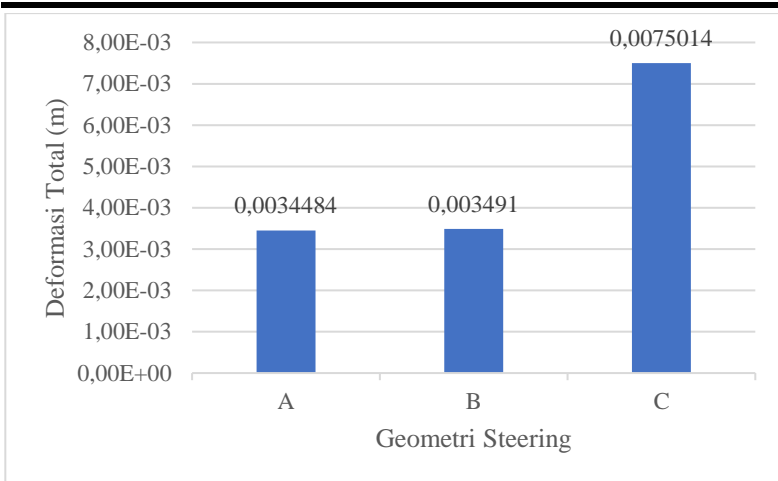


(c)

Gambar 4.12 Lokasi Maksimum dari (a) *Total Deformation*, (b) *Equivalent Stress*, (c) *Equivalent Elastic Strain* dari Geometri C.

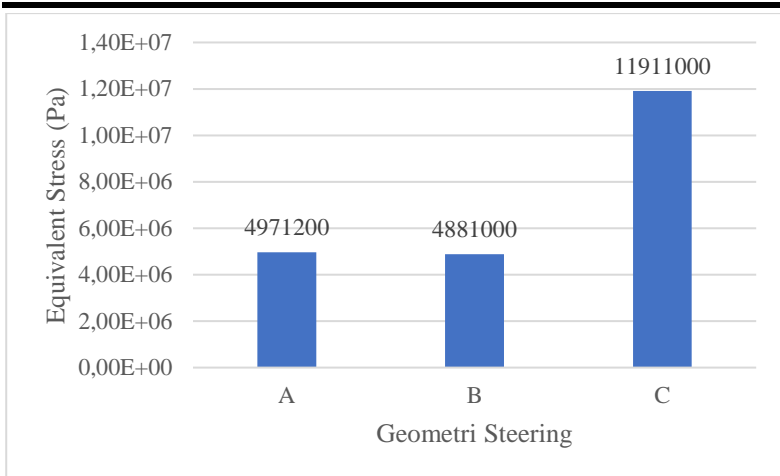
4.3 Analisa Bentuk Geometri terhadap Kekuatan

Hasil simulasi statis yang dilakukan menerangkan gambaran penyebaran konsentrasi tegangan pada masing – masing bentuk geometri. Sebelumnya penentuan nilai beban pada simulasi *balance bike* berpacu pada rata – rata berat badan anak yang berumur 4-5 tahun dengan berat rata – rata sebesar 18 kg. Sedangkan pada rancangan desain sepeda di rancang agar mampu menahan beban maksimal sebesar 20 kg. Apabila di konversikan akan menjadi 196,133 N akibat adanya nilai gaya gravitasi sebesar $9,8 \text{ m/s}^2$. Pada Geometri A, B, dan C masing – masing terbagi dalam 3 jenis hasil simulasi antara lain *Total Deformation*, *Equivalent Stress*, dan *Equivalent Elastic Strain*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.13, deformasi total yang nilainya paling tinggi terdapat pada geometri C yang memiliki nilai deformasi sebesar 0,00750 m, kemudian diikuti dengan geometri B dan geometri A yang besarnya tidak jauh berbeda sebesar 0,00349 m dan 0,00345 m. Berdasarkan penelitian sebelumnya ditentukan bahwa pemilihan rancangan desain terbaik mengacu pada nilai minimum yang dihasilkan oleh nilai deformasi total yang telah dilakukan pada simulasi geometri *steering balance bike*. Geometri A merupakan desain *steering* terbaik karena memiliki nilai deformasi total paling rendah diantara ketiga variasi desain geometri lainnya.



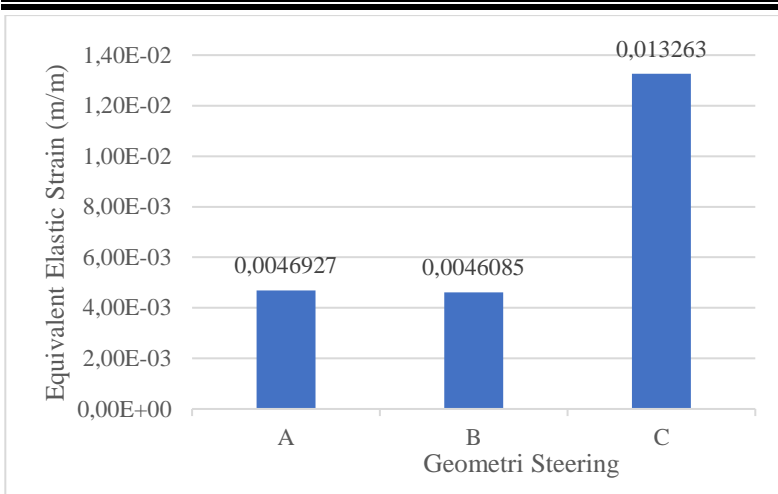
Gambar 4.13 Perbandingan nilai deformasi total pada varian geometri *steering balance bike*.

Kemudian dari simulasi statis juga dapat menunjukkan perbandingan besaran tegangan setara pada tiap variasi geometri *steering* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.14 dimana pada grafik tersebut menunjukkan nilai minimum dan nilai maksimum dari masing – masing geometri *steering*. Nilai tegangan setara minimum dan maksimum paling tinggi dimiliki oleh geometri C dengan nilai besaran yaitu 579 Pa dan 11,90 Mpa. Nilai besaran selanjutnya diikuti oleh geometri A dengan nilai minimum dan maksimum sebesar 481 Pa dan 4,97 Mpa. Dan nilai paling kecil didapatkan pada geometri B dengan nilai minimum dan maksimum sebesar 384 Pa dan 4,88 Mpa.



Gambar 4.14 Perbandingan nilai *equivalent stress* maksimum pada geometri *steering balance bike*.

Kemudian pada Gambar 4.15 menerangkan mengenai perbandingan nilai *equivalent elastic strain* pada masing – masing geometri *steering*, dimana nilai regangan elastis tertinggi dimiliki oleh geometri C dengan nilai minimum dan maksimum sebesar 0,000000697 mm/m dan 0,0133 m/m. Sedangkan pada geometri A sebesar 0,000000527 m/m dan 0,00469 m/m. Terakhir merupakan geometri B dengan nilai regangan sebesar 0,000000873 m/m dan 0,00461 m/m.

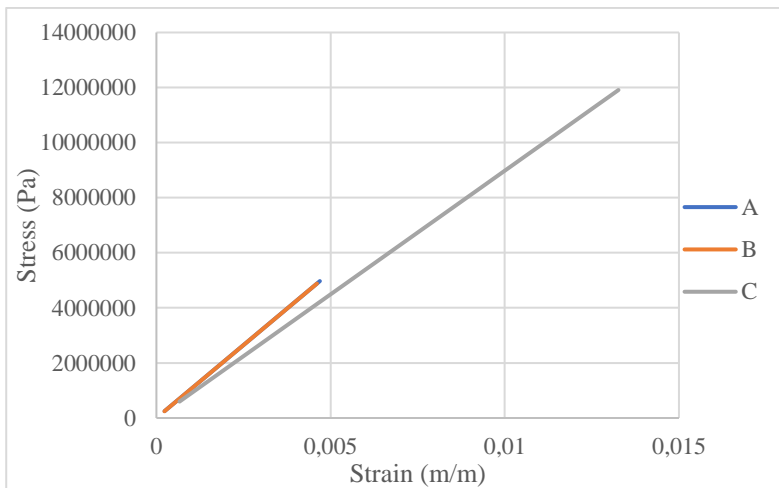


Gambar 4.15 Perbandingan nilai *equivalent elastic strain* maksimum pada geometri *steering balance bike*.

4.3.1 Pengaruh Bentuk Geometri terhadap kurva *Stress-Strain*

Kurva *Stress-Strain* merupakan kurva perbandingan antara nilai tegangan dengan nilai regangan dari sebuah material. Kurva ini merupakan langkah utama dalam membandingkan hasil simulasi geometri dari *steering* sepeda agar dapat memudahkan inspeksi dan evaluasi dari variasi bentuk geometri. Adapun data yang digunakan dalam kurva *stress-strain* berasal dari hasil simulasi statis sebelumnya yaitu *Equivalent Stress (von-Mises stress)* dan *Equivalent Elastic Strain (von-Mises strain)* dari ketiga variasi geometri. Hasil dari kurva perbandingan antara geometri A, B, dan C dapat dilihat pada Gambar 4.16 dimana pada gambar tersebut terlihat ketiga variasi geometri memiliki nilai kurva yang saling berhimpit. Terlihat pada mulanya ketiga garis tersebut pada mulanya saling berhimpitan dan kemudian semakin ke kanan kurva mulai bercabang dan terlihat geometri C memiliki nilai signifikan yang sangat tinggi baik dari segi tegangan maupun peregangan.

Kemudian pada geometri A dan B memiliki posisi nilai yang berada dibawah geometri C, dimana geometri A memiliki nilai peregangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan geometri B. Penyebab hal ini adalah adanya sifat mekanika yang berbeda pada kedua variasi desain tersebut sehingga respon yang didapat oleh kedua material akan berbeda. Dari kurva *stress-strain* tersebut dapat disimpulkan bahwa geometri B merupakan desain yang paling tepat untuk digunakan karena mewakili kurva yang nilainya paling baik di antara ketiga variasi geometri lainnya. Meskipun pada perbandingan nilai deformasi total geometri A memiliki nilai yang sedikit lebih rendah dibanding geometri B, geometri B merupakan desain yang lebih baik karena nilai kurva *stress-strain* yang lebih baik dibanding geometri A.



Gambar 4.16 Kurva *Stress-Strain* pada basis Geometri A, B, dan C.

4.4 Analisa Pengaruh Geometri terhadap Bobot

Pada analisa kali ini memfokuskan pada peninjauan bobot *steering* yang nantinya akan dicetak. Tiap variasi geometri

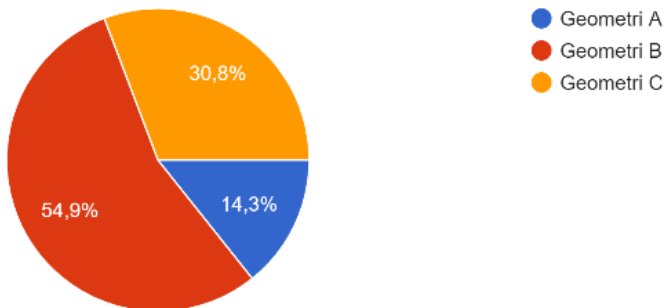
memiliki berat massa yang berbeda – beda, hal ini dapat dibuktikan juga dalam desain 3D yang telah dibuat. Menggunakan *software* Solidworks, Cura, dan Ansys massa objek akan dapat terlihat secara langsung. Perhitungan menggunakan Solidworks dapat dilakukan saat desain *modelling* selesai dan dengan menggunakan *tools mass properties* kita bisa melihat data bobot pada desain. Kemudian pada *software* Ansys juga dapat dilihat ketika telah melakukan input *geometry* pada *software*. Sedangkan pada *software* Cura perhitungan massa dapat dilihat ketika sudah melakukan tahap *slicing*. Pada Tabel 4.2 menunjukkan perbandingan hasil perhitungan massa antara *software* Solidworks, Cura, dan Ansys. Pada *software* Solidworks variasi geometri terberat didapatkan oleh geometri A kemudian diikuti geometri C dan geometri B. Pada *software* Ansys variasi geometri terberat didapatkan oleh geometri A, kemudian geometri C, dan paling ringan ialah geometri B. Sedangkan pada *software* Cura juga didapatkan bahwa geometri A memiliki massa paling berat. Namun, pada *software* Cura dapat digunakan untuk mengetahui secara langsung jumlah filamen yang dibutuhkan untuk mencetak objek. Hasil analisa simulasi yang telah dilakukan sebelumnya juga digunakan untuk menentukan desain yang layak untuk dicetak. Dari survei yang telah dilakukan juga memiliki penilaian tersendiri berdasar dari desain bentuk yang futuristik. Maka dari itu, pada penelitian kali ini menetapkan geometri B sebagai objek yang paling layak dicetak berdasarkan dari hasil analisa serta kriteria penilaian yang telah dilakukan.

Tabel 4.2 Estimasi Massa *Steering Balance Bike*

Geometri	Estimasi Massa <i>Steering</i> (gram)		
	Solidworks	Cura	Ansys
A	1292,01	985	1315,1
B	1209,21	902	1228,8
C	1290,90	980	1313,8

4.5 Analisa Survei untuk Penentuan Desain Geometri yang Dicitak

Semakin berkembangnya zaman tentu nilai estetika juga berperan penting dalam proses desain yang futuristik. Pada komponen *steering* sendiri telah terdapat banyak perkembangan yang sangat pesat terutama dalam segi estetika dan fungsionalitas. Maka dari itu dalam menentukan pencetakan geometri *steering*, dalam penelitian ini juga mengikutsertakan proses survei sebagai pertimbangan pemilihan geometri. Proses survei yang dilakukan berfokus kepada nilai estetika yang menjadi salah satu tolok ukur minat masyarakat terhadap suatu produk. Pada Gambar 4.17 menunjukkan hasil dari survei publik yang menjadi responden.



Gambar 4.17 Hasil *survey* yang dilakukan kepada publik untuk mengetahui tingkat minat masyarakat.

Berdasarkan hasil dari pertanyaan yang dicantumkan dalam survei tersebut menunjukkan bahwa nilai estetika publik terhadap desain *steering* yang di analisis pada penelitian kali ini sangat bervariasi. Dari survei tersebut didapatkan bahwa dari total responden yang berjumlah 91 orang didapatkan hasil untuk variasi Geometri A memiliki tingkat minat sebanyak 14,3 %, kemudian untuk Geometri B memiliki tingkat minat sebanyak 54,9 %, dan

disusul oleh Geometri C sebanyak 30,8 %. Dari hasil tersebut membuktikan bahwa Geometri B merupakan desain *steering* yang paling diminati oleh responden dari survei.

Dalam aspek kali ini pemilihan desain *steering* dapat ditentukan berdasarkan minat terbanyak yaitu Geometri B, diikuti dengan Geometri C dan kemudian Geometri A.

4.6 Analisa Aspek dalam Pemilihan Desain

Pemilihan desain *steering* pada penelitian kali ini telah ditetapkan berdasarkan 5 aspek utama antara lain *Total Deformation*, *Equivalent Stress*, *Elastic Strain*, Bobot, serta survei estetika. Sistem nilai yang digunakan ialah dalam bentuk angka 1-3 dimana angka terbesar mempresentasikan nilai terbaik dan angka terkecil mempresentasikan nilai terendah.

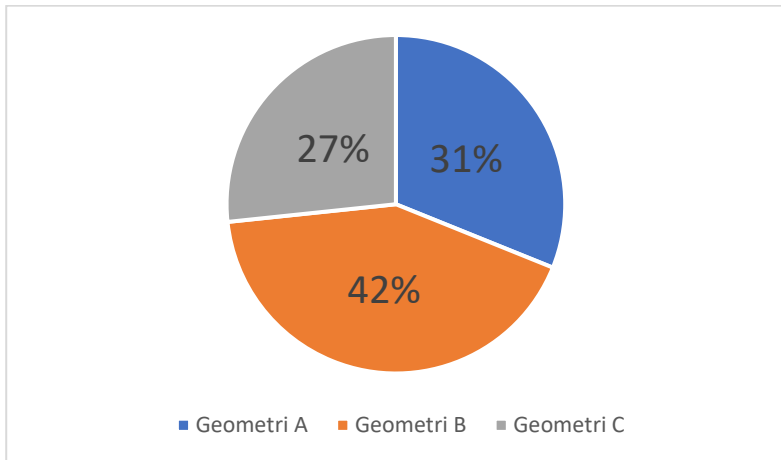
Kemudian hasil data yang telah diperoleh tersebut diurutkan sedemikian rupa berdasarkan 5 aspek utama seperti yang dijelaskan sebelumnya dan variasi geometrinya. Pada Tabel 4.3 menerangkan mengenai akumulasi data yang telah diperoleh sebelumnya.

Tabel 4.3 Aspek Data Penilaian untuk Pemilihan Variasi Geometri *Steering*.

Aspek	Bobot (%)	Nilai Peringkat Berdasarkan Aspek Pada Variasi Geometri <i>Steering</i>		
		Geometri A	Geometri B	Geometri C
		<i>Total Deformation</i>	20	3
<i>Equivalent Stress</i>	20	2	3	1
<i>Equivalent Elastic Strain</i>	20	2	3	1
Bobot	25	1	3	2

Survei Estetika	10	1	3	2
Total nilai		9	14	7

Dalam menentukan variasi geometri *steering* yang hendak dicetak akan lebih mudah bila di presentasikan dengan menggunakan grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Total Nilai Aspek Pemilihan Desain *Steering Balance Bike*.

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan Geometri B merupakan variasi geometri *steering* yang memiliki nilai tertinggi ditinjau dari kelima aspek tersebut dan geometri ini juga memiliki keunggulan dibanding desain geometri lain. Maka dari itu Geometri B merupakan desain terpilih yang akan dicetak menggunakan *3D printing*.

4.7 Optimalisasi Pengaturan Pencetakan *Steering Balance Bike*

Desain *Steering* yang telah dipilih kemudian di simpan dalam bentuk *file .stl* atau stereolithography dengan bantuan *software* solidworks supaya desain dapat diinput pada *software* Cura yang merupakan *software slicer 3D printing*. Setelah diinput, pada *software* Cura kita dapat mengatur beberapa parameter pada objek yang akan dicetak antara lain jenis material, ukuran *nozzle*, temperature *nozzle*, dan temperatur *bed*. Setelah menyelesaikan pengaturan , program akan melanjutkan dengan proses *slicing* sehingga pada objek akan tertera jumlah berat material yang akan terpakai, Panjang filamen yang akan terpakai, serta estimasi waktu pencetakan. Kemudian, *file* akan disimpan dalam bentuk *.gcode* dimana *file* dengan ekstensi ini akan dapat dibaca oleh mesin *3D printer* dalam bentuk perintah nantinya. Agar hasil cetak lebih maksimal, terlebih dulu melakukan pengecekan pada *3D printer* untuk mengetahui apakah mesin tersebut dalam kondisi prima. Pada pencetakan dengan menggunakan filamen ePa-CF hal yang harus diperhatikan adalah proses ekstrusi karena sifat ePa-CF yang sangat abrasif pada *nozzle*. Preparasi yang dapat dilakukan ialah dengan melakukan uji coba ekstrusi filamen yang dapat dilakukan melalui panel *3D printer*.

4.7.1 Analisa Parameter Pencetakan

Pada *software slicer 3D printing* yaitu Cura terdapat opsi yang dapat digunakan sebagai menu pencetakan diantaranya *Basic*, *Advance*, dan *Expert*. Diantara ketiga opsi menu tersebut memiliki perbedaan pada beberapa opsi parameter yaitu *layer height*, *shell thickness*, dan *retraction*. *Layer height* adalah ketinggian dari lapisan penyusun setiap objek. Artinya apabila tebal *steering* sepeda sebesar 5 cm, maka terdapat 500 layer penyusun pada objek tersebut. Kemudian ada sub menu *infill* yang terdiri dari *infill density* dan *infill pattern*. Sub menu ini memiliki pengaruh besar

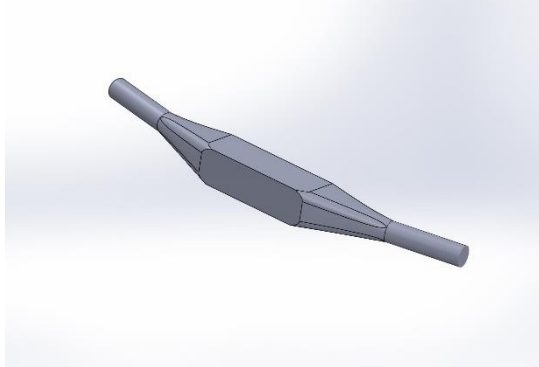
terhadap distribusi berat objek yang akan dicetak nantinya. *Infill density* berbentuk presentase material yang tersusun pada tiap *layer* objek. Dengan input sebesar 100% artinya tidak terdapat rongga yang tersusun pada *layer* objek dengan kata lain objek akan tersusun oleh 100% *molten carbon fiber-nylon* yang terekstrusi. Selanjutnya *infill pattern* merupakan bentuk pola yang tersusun pada tiap *layer* objek namun pada pengaturan input *infill density* sebesar 100%, tidak akan terbentuk *pattern* karena seluruhnya terisi oleh 100% *molten filament*.

Parameter selanjutnya berkaitan dengan jenis material dan geometri objek yang akan dicetak. Pada penelitian ini telah ditetapkan bahwa akan menggunakan material dengan jenis carbon fiber-nylon yang memiliki kriteria khusus. Kriteria khusus tersebut antara lain mengacu pada parameter temperatur cetak serta part *3D printing* yang digunakan. Filamen carbon fiber memiliki kriteria titik leleh diatas 250°C maka dari itu temperatur *nozzle* harus diatas 250°C dan temperatur *bed* juga harus diatas 60°C sesuai yang tertera pada *material data sheet filament*. Kemudian kriteria lain dari filament ini yaitu merupakan filament dengan tingkat abrasif yang tinggi. Maka dari itu part *3D printing* yang digunakan terutama pada bagian *nozzle* harus merupakan material dengan tingkat ketahanan abrasif yang tinggi. Pada penelitian ini part *3D printing* yang digunakan ialah *all metal hot-end kit* produksi *micro-swiss* yang terdiri dari 3 komponen yaitu, *nozzle*, *heat block*, serta *hot-end*. Komponen *heat block* dan *hot-end (cooling block)* terbuat dari material aluminium cnc yang memiliki konduktivitas termal yang baik. Sedangkan pada komponen *heat break*, material yang digunakan terbuat dari Titanium Alloy Grade 5 yang memberikan tingkat isolasi termal yang baik antara *heat block* dan *hot-end*. Penggunaan titanium dapat memberikan konduktivitas termal hampir tiga kali lebih rendah dari *stainless steel* sehingga pada area *heat break* dapat mencegah panas dari *heat block* menuju *hot-end* dan menciptakan *meltzone* yang lebih akurat. Spesifikasi tersebut

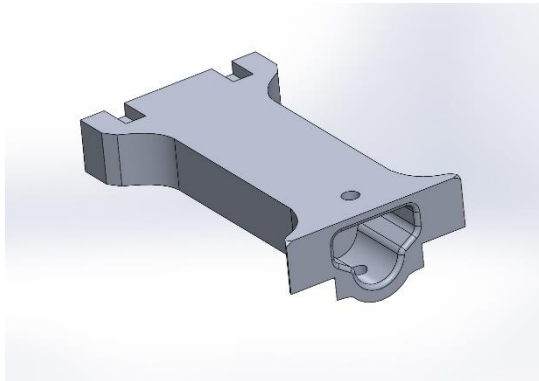
sangat sesuai untuk pencetakan material carbon fiber-nylon (Micro-Swiss Online Store, 2020).

Kemudian, parameter selanjutnya ialah kecepatan cetak dimana hal ini sangat berkaitan dengan ukuran *nozzle printer* yang digunakan serta kecepatan perpindahan dari *print head*. Ukuran *nozzle* sangat berguna apabila kita akan mencetak objek dengan ukuran yang bervariasi. Semakin besar objek yang hendak di cetak maka lebih baik semakin besar pula ukuran *nozzle* yang digunakan dan sebaliknya. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan tingkat keberhasilan dalam mencetak objek karena dapat mengurangi jumlah *layer* penyusun yang akan dicetak apabila objek yang digunakan memiliki ukuran lebih besar. Selain itu, pada *software Cura* terdapat parameter pengaturan kecepatan *printing* yang bertujuan untuk mengatur kecepatan perpindahan dari *print head*. Akan tetapi kecepatan perpindahan tersebut berbanding terbalik dengan ukuran *nozzle* yang digunakan. Apabila ukuran *nozzle* semakin besar maka akan lebih efektif jika kecepatan perpindahan oleh *print head* juga semakin rendah dan sebaliknya. Dengan terpangkasnya waktu *printing* juga dapat menghindari *over load work* pada mesin *3D printer* namun dengan *nozzle* yang lebih besar juga berakibat menghasilkan objek cetak dengan permukaan yang kurang baik karena terdapat banyak *layer* penyusun yang kurang menyatu.

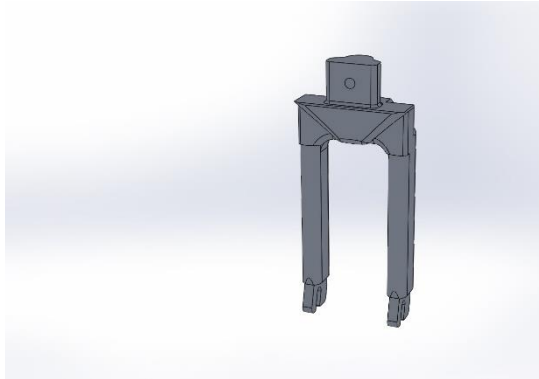
Dari parameter – parameter tersebut akan digunakan opsi menu *basic* dalam proses pencetakan *steering balance bike*. Namun akibat keterbatasan dimensi dari *bed 3D printer* serta meminimalisir intensitas waktu *printing* maka objek tersebut dibagi menjadi 3 bagian yaitu *lower steering*, *middle steering*, dan *handle*. Hal lain yang juga menjadi pertimbangan ialah untuk memudahkan pengaturan support pada bagian objek yang melayang yang juga berpengaruh pada intensitas waktu *printing*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.19.



(a)



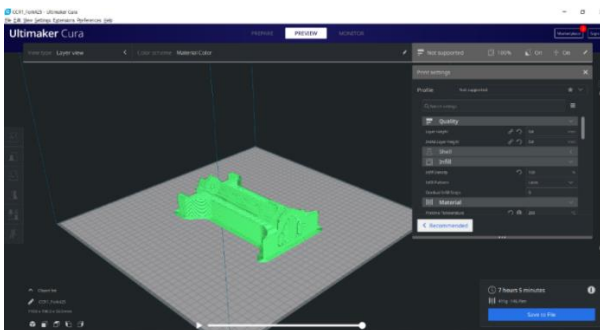
(b)



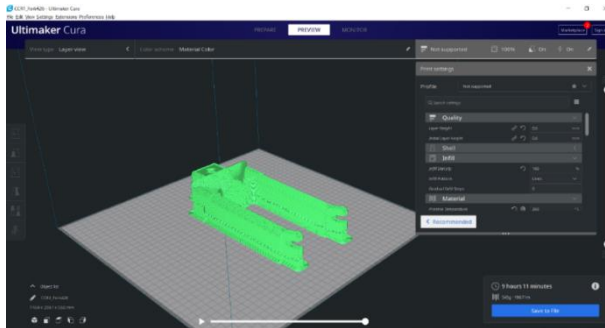
(c)

Gambar 4.19 Display *Steering Balance Bike* yang telah dibagi menjadi 3 bagian (a) *Handle*, (b) *Middle Steering*, dan (c) *Lower Steering* menggunakan *software Solidworks*.

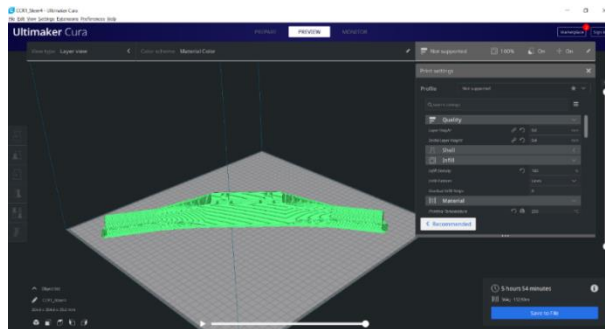
Kemudian ketiga part tersebut masing – masing di cetak bergantian dengan meng-*export file* ke dalam format Cura. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.20 menunjukkan *preview* komponen pada *Software Cura 4.5*. Dari *preview* tersebut kita dapat langsung mengontrol pengaturan – pengaturan yang dapat mempengaruhi parameter pencetakan masing – masing objek tersebut.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.20 Preview komponen (a) *Lower steering*, (b) *Middle steering*, (c) *Handle* setelah di *slice* dan sebelum dicetak pada software Cura 4.5.

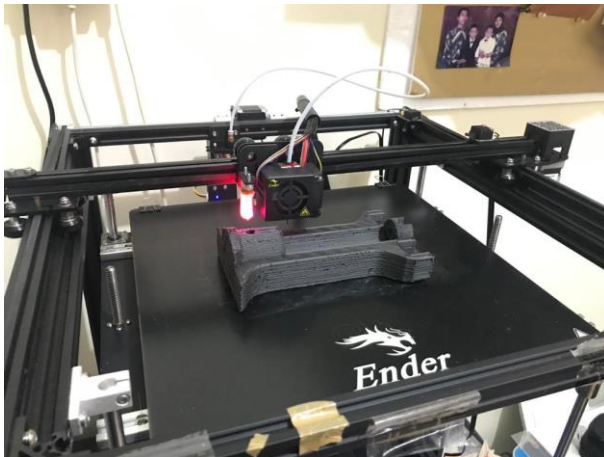
4.7.2 Hasil Pencetakan *Steering Balance Bike*

Hasil *preview* komponen – komponen tersebut kemudian di simpan dalam bentuk *file .gcode* untuk kemudian di simpan dalam media penyimpanan. Media penyimpanan digunakan untuk mengakses *file* pada *printer* untuk kemudian dicetak.

4.7.2.1 *Middle Steering Balance Bike*

Hasil proses pencetakan *middle steering balance bike* menghabiskan waktu selama 7 jam 5 menit dengan estimasi

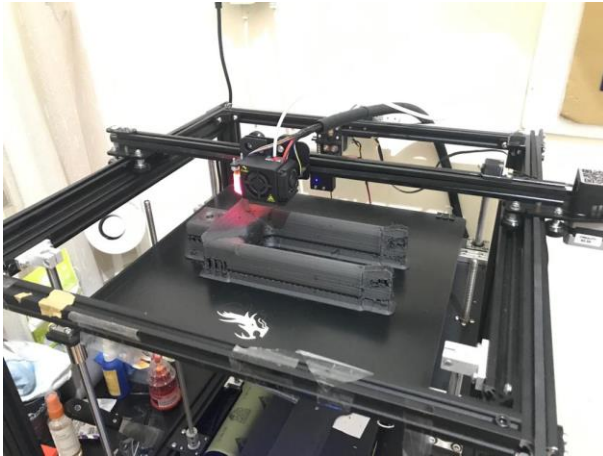
penggunaan sebanyak 411 gram filamen. Proses pencetakan menggunakan *part nozzle* dengan ukuran 0.8 membuat durasi waktu cetak lebih singkat. Kemudian dengan pengaturan kecepatan cetak sebesar 60 mm/s, *printing temperature* sebesar 250 °C, dan *bed temperature* sebesar 80 °C membuat pencetakan objek semakin optimal.



Gambar 4.21 Hasil Pencetakan Objek *Middle Steering*.

4.7.2.1 Lower Steering Balance Bike

Hasil proses pencetakan *lower steering balance bike* menghabiskan waktu selama 9 Jam 11 menit dengan estimasi penggunaan sebanyak 545 gram filamen.



Gambar 4.22 Hasil Pencetakan Objek *Lower Steering*.

4.7.2.1 Handle *Balance Bike*

Hasil proses pencetakan *handle balance bike* menghabiskan waktu selama 5 jam 54 menit dengan estimasi penggunaan sebanyak 364 gram filamen.



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.23 Proses Pencetakan *Handle Balance bike* (a) Proses Cetak Objek *Initial layer* (b) Proses Cetak Objek < 50 % (c) Proses Cetak Objek > 50 % (d) Pencetakan Objek Selesai.

4.8 Hasil Analisis Data

Setelah proses printing selesai, ketiga objek dilepas dari *bed printer*, sebelumnya penggunaan adhesi berupa lem untuk meningkatkan perekatan objek dengan *bed* agar tidak terjadi *failure* pada saat print. Setelah berhasil dilepas, objek tersebut dibersihkan seluruh permukaannya terutama dari sisa filamen dan *print support* yang menempel menggunakan *cutter* dan kertas amplas. Selanjutnya dilakukan inspeksi menyeluruh secara visual dari objek – objek tersebut untuk memastikan permukaan telah bersih sebelum dilakukan penimbangan bobot dari ketiga objek. Berdasarkan analisis pada subbab 4.4 menunjukkan bahwa berat total *steering* apabila digabungkan memiliki berat sebesar 902 gram. Pada Gambar 4.24 menunjukkan berat masing – masing objek hasil *printing* dengan menggunakan neraca massa.



(a)



(b)



(c)

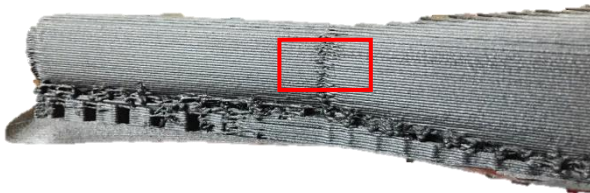
Gambar 4.24 Perhitungan Bobot *Steering Balance bike* (a) Bagian *Middle Steering*, (b) Bagian *Lower Steering*, (c) Bagian *Handle*.

Pada bagian *middle steering* didapatkan hasil perhitungan bobot sebesar 250 gram, Kemudian pada bagian *lower steering* sebesar 310 gram, dan terakhir pada bagian *handle* sebesar 200 gram. Jika dilakukan *assembly* maka total bobot yang didapat pada pencetakan objek Geometri B ini adalah sebesar 760 gram. Pada gambar diatas terdapat perbedaan hasil analisis pada bobot sebelumnya dengan hasil *printing* secara real. Perbedaan tersebut dapat disebabkan karena dalam proses pencetakan terdapat fenomena *thermal diffusivity* pada filamen ePA-CF sehingga terdapat perbedaan hasil perhitungan melalui *software* dengan hasil perhitungan objek jadi. Selain itu juga dapat disebabkan oleh adanya porositas maupun cacat pada *printing* (Stepashkin, 2018).

Dari proses *printing* antar part dikerjakan di *3D printer* yang berbeda dimana pada *middle steering* dan *lower steering* dicetak di *printer* Creality Ender 5 Plus sedangkan pada bagian *handle* dicetak pada *printer* Creality CR-10S4. Kemudian pada proses

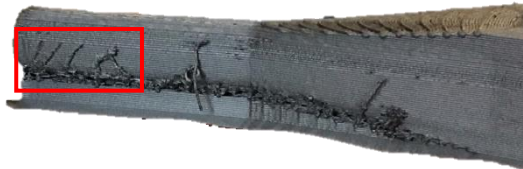
pencetakan *steering balance bike* tidak selalu berada di dalam ekspektasi namun juga terdapat beberapa kendala terutama berupa cacat. Pada proses *printing* terdapat beberapa cacat yang ditimbulkan antara lain *gaps between infill and outline wall*, *gaps layer to layer*, *stringing*, and *blobs*.

Material ePA-CF yang memiliki *flexural strength* yang tinggi serta elastisitas yang tinggi membuat proses ekstrusi menjadi semakin kompleks. Dengan *printing temperature* serta *bed temperature* yang tinggi dengan masing – masing yaitu 250 °C dan 80 °C menyebabkan kebutuhan daya listrik yang semakin besar. Pengaturan seperti ini tentu menyebabkan beban yang tinggi terhadap instrumen *3D printing*. Sehingga instrumen menjadi rawan mengalami kerusakan. Selain itu, cacat yang muncul juga memiliki korelasi dengan pengaturan cetak yang telah ditetapkan sebelumnya. Cacat berupa *blobs* sangat berkaitan dengan pengaturan opsi *retraction* dimana *blobs* atau gumpalan sering muncul ketika ekstruder mencetak pada bagian *outer shells* tepatnya pada tempat penyatuan antar *layer*.



Gambar 4.25 *Blobs* pada bagian sudut objek.

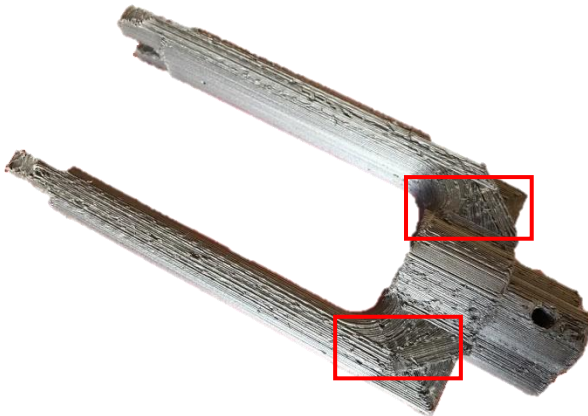
Masalah selanjutnya disebabkan oleh tingginya temperatur cetak sehingga memunculkan cacat berupa *stringing* pada objek *printing*. *Stringing* merupakan salah satu cacat yang paling umum ditemukan dalam proses *3D printing*. *Stringing* merupakan cacat yang muncul ketika ekstrusi plastik pada *nozzle* tidak terputus ketika *print head* bergerak ke lokasi baru untuk melanjutkan proses *layering* atau pencetakan. Tidak terputusnya filamen plastik tersebut dikarenakan temperatur yang tinggi dan muncul ketika *print head* dalam kondisi *travel*. Opsi *retraction* merupakan fitur yang berguna untuk mencegah terjadinya *stringing* karena *retraction* pada *extruder* berfungsi untuk menarik mundur filamen Kembali ke dalam *nozzle* agar *melt* yang mengalir pada *nozzle* dapat berkurang. Kemudian ketika akan hendak mencetak kembali, filamen akan di dorong kembali menuju *nozzle*. Contoh dari adanya *stringing* ditunjukkan pada Gambar 4.26.



Gambar 4.26 *Stringing* pada layer objek.

Selanjutnya pertimbangan pemilihan orientasi cetak objek pada *3D print* mempertimbangkan durasi waktu cetak, kebutuhan filamen, serta kuantitas *print support*. Ketiga faktor tersebut

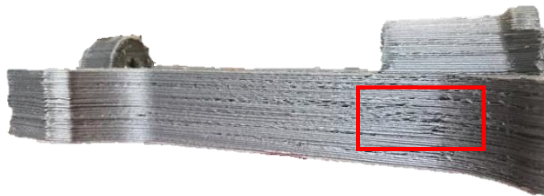
tertentunya sangat berkaitan dimana apabila kuantitas *print support* semakin banyak juga menyebabkan peningkatan kebutuhan filamen serta memperpanjang durasi waktu cetak, begitupun sebaliknya. Karena *print support* merupakan *disposable object* maka opsi terbaik yaitu meminimalisir penggunaan *print support* dengan mempertimbangkan orientasi posisi cetak objek. Adapun pertimbangan lain yaitu dari segi bahan yaitu filamen ePA-CF memiliki harga yang sangat tinggi dan juga sangat sulit untuk ditemukan akibat dari kondisi pandemi yang tengah melanda. Kemudian pertimbangan lainnya ialah pada bagian sisi objek *printing* yang ditumpu oleh *print support* tidak memiliki *surface finish* yang baik sehingga menyebabkan cacat berupa *gaps between infill and outline*. Sisi objek yang ditumpu oleh *print support* dapat dilihat pada Gambar 4.27.



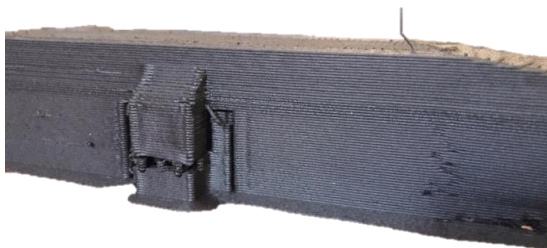
Gambar 4.27 Permukaan Objek yang Ditumpu oleh *Print Support*.

Selanjutnya komparasi antara hasil cetak tiap objek terdapat perbedaan yang cukup signifikan. Penyebabnya ialah fenomena *overflow* atau *over-extrusion* pada objek yang dicetak. Fenomena

ini merupakan suatu hal yang diluar ekspektasi dikarenakan terjadi pada objek *middle steering* serta *lower steering*. Dan kemudian sebelum mencetak objek ketiga yaitu *handle*, melakukan beberapa *trial and error printing* ditemukan fakta bahwa penggunaan opsi pengaturan *flow* yang optimal dapat menghasilkan *surface layer* objek yang semakin baik. Gambar 4.28 menunjukkan perbandingan *surface layer* masing – masing objek.



(a)



(b)

Gambar 4.28 Permukaan Objek yang Mengalami (a) *Over-extrusion* (b) Normal.

Dari gambar tersebut menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan pada permukaan objek. Kemudian pada Gambar 4.27 menunjukkan hasil objek yang telah di *assembly*.



Gambar 4.29 Hasil *Assembly* Objek *Steering Balance Bike*.

Setelah dilakukan *assembly*, dilakukan pengujian *real testing* dengan arah gaya seperti pada *free body diagram*. *Real testing* pada geometri *steering* dilakukan dengan cara mengaplikasikan gaya pada kedua *handle* dan kemudian objek tersebut ditumpu oleh sebuah neraca massa. Tujuan dari penggunaan neraca massa tersebut ialah agar ketika melakukan proses pembebanan dapat mengetahui secara langsung besaran gaya yang dikeluarkan oleh kedua tangan terhadap *steering*.

Gambar 4.30 menunjukkan posisi uji pembebanan pada *steering balance bike*.



Gambar 4.30 Posisi Pembebanan pada *Steering Balance Bike*.

Gaya yang di aplikasikan dilakukan dengan menekan *steering* kearah gaya normal terhadap neraca massa dengan posisi seperti pada gambar. Objek *steering* tersebut dipegang oleh orang yang melakukan pengujian sehingga terdapat pengaruh beban dari orang yang bersangkutan. Untuk mengukur besaran gaya dapat dilihat melalui panel neraca massa yang tertera pada Gambar 4.31. Kondisi *steering* saat dikenai pembebanan mampu menahan beban tanpa mengalami kegagalan pada material tersebut. Maka dari itu hasil pencetakan desain *steering balance bike* terbukti mampu untuk menahan pembebanan sebesar 20 kg dengan arah gaya seperti yang tertera pada *free body diagram* sepeda.



Gambar 4.31 Besar Nilai Pembebanan yang Tertera pada Panel Neraca Massa.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh simulasi statis pada variasi geometri *steering* terhadap kekuatan menunjukkan bahwa:
 - a. Variasi *steering* tiap geometri memiliki pengaruh terhadap hasil simulasi statis yang ditinjau dari besaran total deformasi, tegangan, dan regangan.
 - b. Berdasarkan hasil simulasi statis, Geometri B merupakan variasi yang paling baik dikarenakan memiliki sifat mekanik terbaik yaitu deformasi total maksimal sebesar 0,00349 m, tegangan maksimal sebesar 4,88 Mpa, dan regangan elastis sebesar 0,00461 m/m.
2. Pengaruh simulasi statis pada variasi geometri *steering* terhadap bobot menunjukkan bahwa:
 - a. Variasi *steering* tiap geometri memiliki pengaruh terhadap analisis bobot yang ditinjau pada menggunakan *software* Solidworks, Cura, dan ANSYS.
 - b. Berdasarkan hasil analisis, Geometri B merupakan variasi yang memiliki massa paling rendah dikarenakan pada perhitungan beberapa *software* yaitu Solidworks sebesar 1209,21 gram, Cura sebesar 902 gram, dan Ansys sebesar 1228,8 gram.
3. Hasil proses produksi *steering balance bike* dengan menggunakan 3D *printing* dengan material filamen *carbon fiber-nylon based* yang ditentukan berdasarkan analisis dari berbagai macam aspek didapatkan bahwa:
 - a. Berdasarkan hasil analisis penentuan desain, didapatkan bahwa Geometri B memiliki nilai tertinggi dari beberapa aspek.

-
- b. Parameter utama dalam pengaturan pencetakan objek 3D yaitu *shell*, *infill*, *speed*, *travel*, *flow*, dan *print support*.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat menjadi pertimbangan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Melakukan penelitian lebih mendalam terlebih dahulu dalam proses produksi *balance bike* terutama dalam pencarian data yang lebih spesifik.
2. Melakukan penelitian lebih lanjut mengenai parameter cetak sebelum mencetak objek 3D yang sebenarnya.
3. Melakukan dokumentasi setiap saat agar data yang dihasilkan lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Akovali, Güneri. 2001. **Handbook of Composite Fabrication**, UK: Rapra Technology Ltd.
- Arfken, G. B. 1984. **NEWTON'S LAWS**. University Physics.
- Astrom, Karl J. 2005. "Bicycle dynamics and control: Adapted bicycles for education and research." In **IEEE Control Systems**, by Karl J. Astrom, 25-47.
- Baldissera, Paolo. 2014. "Structural Design of a Composite Bicycle Fork." **Materials and Design**, 102-107.
- Batan, I Made Londen. 2008. "Geometri Rangka Sepeda Yang Ergonomis Dan Efisien." **Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin VII**, 1-9.
- Bathe, Klaus-Jürgen. 2014. **Finite Element Analysis of Composite**, Massachusetts: Pearson Education, Inc.
- Becker, Andrew, and S. E. Jenny. 2017. "No Need for Training Wheels: Ideas for Including Balance Bikes in Elementary Physical Education." **Journal of Physical Education, Recreation, and Dance**, 14-21.
- Cornel, B. 2015. "Survey of The State Of The Art Composites and Sandwich Structures." *ACTA Universitatis Cibiniensis* 67: 174-178.
- Diaz, O. G. 2019. "The New Challenges of Machining Ceramic matrix Composites (CMC): review of surface integrity." **International Journal of Machine Tools and Manufacture**.
- Dilberoglu, Ugur M. 2017. "The role of additive manufacturing in the era of Industry 4.0." **Procedia Manufacturing**, 545-554.
- Donaldson, Steven L. 2001. "ASM HandBook Volume 21 Composites." **ASM International**.
- Edwards, Chris. 2018. **3D Printed Carbon Fiber Electric Mountain Bike Frame**. Santa Clara: Santa Clara University.

-
- G.R. Liu, S.S Quek. 2014. **The Finite Element Method, Second Edition**, Oxford, England: Elsevier Science Ltd.
- Gebhardt, Andreas. 2016. **Additive Manufacturing: 3D Printing for Prototyping and Manufacturing**, Munich: Hanser.
- Isaac M. Daniel, Ori Ishai. 2006. **Engineering Mechanics of Composite Materials**, Oxford: Oxford University Press.
- Koleti, Sai K. 2018. "Design and Analysis of Steering System for E-Bike." **International Journal of Engineering Research and Development**, 14, 33-37.
- Masood, S. H. 2014. "Advances in Fused Deposition Modeling." 69-91. Melbourne, Australia: Elsevier ltd.
- Matthews, F. L. 2000. **Finite Element Modelling of Composite Materials and Structures**, Cambridge: CRC Press, Woodhead Publishing.
- Pirnat, Miha. 2011. "Measuring Dynamic Loads on a Foldable City Bicycle." University of Ljubljana, 57, 21-26.
- Rasyid, Mohammad K. 2020. "Perancangan Bicycle Fork Menggunakan Pugh's Concept dan Software Elemen Hingga." **Jurnal Teknik Mesin - ITI**, Vol. 4, No. 1, 32-36.
- Rebelo, Fransisco. 2015. "A Methodological Approach to Evaluate a New Bicycle Concept With Elliptical Wheels." **6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015) and the Affiliated Conferences**, AHFE 2015 , 6362.
- S.H. Huo, G.R. Liu, J.Q. Zhang. 2020. "A smoothed finite element method for octree-based polyhedral meshes with large number of hanging nodes and irregular elements." **Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering**, 20.
- Sasongko, Rianto Adhy. 2010. "Pemodelan dan Simulasi Dinamik untuk Pengembangan Simulator Sepeda Motor." **Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin ke-9**, 171-178.
-

-
- Stepashkin, A. A. 2018. "3D-Printed PEEK-Carbon Fiber (CF) composites: Structure and Thermal Properties." **Composites Science and Technology**, 319-326.
- Sulistijono. 2012. **Mekanika Material Komposit**. Surabaya: ITS Press.
- Waas, Victor D. 2019. "Finite Element Simulation of Delamination in Carbon Fiber/Epoxy Laminate Using Cohesive Zone Model: Effect of Meshing Variation." **Material Science Forum**, 964, 257-262.
- Wang, Xin. 2017. "3D Printing of Polymer Matrix Composites: A review and Prospective." **Composites Part B**, 446-449.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Simulasi Statis Pengujian Variasi Geometri *Steering*.

Data Hasil Simulasi Statis pada Geometri A.

<i>Time-Step</i>	<i>Total Deformation</i>	<i>Min Stress</i>	<i>Max Stress</i>	<i>Min Strain</i>	<i>Max Strain</i>
5,00E-02	1,72E-04	2,41E+01	2,49E+05	2,63E-08	2,35E-04
0,1	3,45E-04	4,81E+01	4,97E+05	5,27E-08	4,69E-04
0,15	5,17E-04	7,22E+01	7,46E+05	7,90E-08	7,04E-04
0,2	6,90E-04	9,63E+01	9,94E+05	1,05E-07	9,39E-04
0,25	8,62E-04	1,20E+02	1,24E+06	1,32E-07	1,17E-03
0,3	1,03E-03	1,44E+02	1,49E+06	1,58E-07	1,41E-03
0,35	1,21E-03	1,69E+02	1,74E+06	1,84E-07	1,64E-03
0,4	1,38E-03	1,93E+02	1,99E+06	2,11E-07	1,88E-03
0,45	1,55E-03	2,17E+02	2,24E+06	2,37E-07	2,11E-03
0,5	1,72E-03	2,41E+02	2,49E+06	2,63E-07	2,35E-03
0,55	1,90E-03	2,65E+02	2,73E+06	2,90E-07	2,58E-03
0,6	2,07E-03	2,89E+02	2,98E+06	3,16E-07	2,82E-03
0,65	2,24E-03	3,13E+02	3,23E+06	3,43E-07	3,05E-03

0,7	2,41E-03	3,37E+02	3,48E+06	3,69E-07	3,28E-03
0,75	2,59E-03	3,61E+02	3,73E+06	3,95E-07	3,52E-03
0,8	2,76E-03	3,85E+02	3,98E+06	4,22E-07	3,75E-03
0,85	2,93E-03	4,09E+02	4,23E+06	4,48E-07	3,99E-03
0,9	3,10E-03	4,33E+02	4,47E+06	4,74E-07	4,22E-03
0,95	3,28E-03	4,57E+02	4,72E+06	5,01E-07	4,46E-03
1	3,45E-03	4,81E+02	4,97E+06	5,27E-07	4,69E-03
2	3,45E-03	4,81E+02	4,97E+06	5,27E-07	4,69E-03

Data Hasil Simulasi Statis pada Geometri B

<i>Time-Step</i>	<i>Total Deformation</i>	<i>Min Stress</i>	<i>Max Stress</i>	<i>Min Strain</i>	<i>Max Strain</i>
5,00E-02	1,75E-04	1,92E+01	2,44E+05	4,36E-08	2,30E-04
0,1	3,49E-04	3,84E+01	4,88E+05	8,73E-08	4,61E-04
0,15	5,24E-04	5,76E+01	7,32E+05	1,31E-07	6,91E-04
0,2	6,98E-04	7,68E+01	9,76E+05	1,75E-07	9,22E-04
0,25	8,73E-04	9,59E+01	1,22E+06	2,18E-07	1,15E-03
0,3	1,05E-03	1,15E+02	1,46E+06	2,62E-07	1,38E-03
0,35	1,22E-03	1,34E+02	1,71E+06	3,05E-07	1,61E-03

0,4	1,40E-03	1,54E+02	1,95E+06	3,49E-07	1,84E-03
0,45	1,57E-03	1,73E+02	2,20E+06	3,93E-07	2,07E-03
0,5	1,75E-03	1,92E+02	2,44E+06	4,36E-07	2,30E-03
0,55	1,92E-03	2,11E+02	2,68E+06	4,80E-07	2,53E-03
0,6	2,09E-03	2,30E+02	2,93E+06	5,24E-07	2,77E-03
0,65	2,27E-03	2,49E+02	3,17E+06	5,67E-07	3,00E-03
0,7	2,44E-03	2,69E+02	3,42E+06	6,11E-07	3,23E-03
0,75	2,62E-03	2,88E+02	3,66E+06	6,54E-07	3,46E-03
0,8	2,79E-03	3,07E+02	3,90E+06	6,98E-07	3,69E-03
0,85	2,97E-03	3,26E+02	4,15E+06	7,42E-07	3,92E-03
0,9	3,14E-03	3,45E+02	4,39E+06	7,85E-07	4,15E-03
0,95	3,32E-03	3,65E+02	4,64E+06	8,29E-07	4,38E-03
1	3,49E-03	3,84E+02	4,88E+06	8,73E-07	4,61E-03
2	3,49E-03	3,84E+02	4,88E+06	8,73E-07	4,61E-03

Data Hasil Simulasi Statis pada Geometri C

<i>Time-Step</i>	<i>Total Deformation</i>	<i>Min Stress</i>	<i>Max Stress</i>	<i>Min Strain</i>	<i>Max Strain</i>
5,00E-02	3,75E-04	2,89E+01	5,96E+05	3,48E-08	6,63E-04

0,1	7,50E-04	5,79E+01	1,19E+06	6,97E-08	1,33E-03
0,15	1,13E-03	8,68E+01	1,79E+06	1,05E-07	1,99E-03
0,2	1,50E-03	1,16E+02	2,38E+06	1,39E-07	2,65E-03
0,25	1,88E-03	1,45E+02	2,98E+06	1,74E-07	3,32E-03
0,3	2,25E-03	1,74E+02	3,57E+06	2,09E-07	3,98E-03
0,35	2,63E-03	2,03E+02	4,17E+06	2,44E-07	4,64E-03
0,4	3,00E-03	2,32E+02	4,76E+06	2,79E-07	5,31E-03
0,45	3,38E-03	2,60E+02	5,36E+06	3,14E-07	5,97E-03
0,5	3,75E-03	2,89E+02	5,96E+06	3,48E-07	6,63E-03
0,55	4,13E-03	3,18E+02	6,55E+06	3,83E-07	7,29E-03
0,6	4,50E-03	3,47E+02	7,15E+06	4,18E-07	7,96E-03
0,65	4,88E-03	3,76E+02	7,74E+06	4,53E-07	8,62E-03
0,7	5,25E-03	4,05E+02	8,34E+06	4,88E-07	9,28E-03
0,75	5,63E-03	4,34E+02	8,93E+06	5,23E-07	9,95E-03
0,8	6,00E-03	4,63E+02	9,53E+06	5,58E-07	1,06E-02
0,85	6,38E-03	4,92E+02	1,01E+07	5,92E-07	1,13E-02
0,9	6,75E-03	5,21E+02	1,07E+07	6,27E-07	1,19E-02

0,95	7,13E-03	5,50E+ 02	1,13E+ 07	6,62E- 07	1,26E- 02
1	7,50E-03	5,79E+ 02	1,19E+ 07	6,97E- 07	1,33E- 02
2	7,50E-03	5,79E+ 02	1,19E+ 07	6,97E- 07	1,33E- 02

Lampiran 2. Data Hasil Analisis *Mass Properties*

Mass Properties pada Software Solidworks

Mass properties of Geometri A

Configuration: Default

Coordinate system: -- default --

Mass = 1292.01 grams

Volume = 1153580.74 cubic millimeters

Surface area = 159738.12 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

X = 141.25

Y = 252.05

Z = 346.19

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (grams
* square millimeters)

Taken at the center of mass.

$I_x = (0.00, 1.00, 0.02)$

$P_x = 4001314.62$

$I_y = (-1.00, 0.00, 0.00)$

$P_y = 18947225.81$

$I_z = (0.00, -0.02, 1.00)$

$P_z = 22536697.46$

Moments of inertia: (grams * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output
coordinate system.

$L_{xx} = 18947200.62$

$L_{xy} = 19437.90$

$L_{xz} = -184.32$

$L_{yx} = 19437.90$

$L_{yy} = 4006171.83$

$L_{yz} =$

299229.99

$L_{zx} = -184.32$

$L_{zy} = 299229.99$

$L_{zz} =$

22531865.44

Moments of inertia: (grams * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$$I_{xx} = 255877902.55 \quad I_{xy} = 46018184.96 \quad I_{xz} = 63178774.62$$

$$I_{yx} = 46018184.96 \quad I_{yy} = 184631478.78 \quad I_{yz} = 113039424.64$$

$$I_{zx} = 63178774.62 \quad I_{zy} = 113039424.64 \quad I_{zz} = 130392128.86$$

Mass properties of Geometri B

Configuration: Default

Coordinate system: -- default --

Mass = 1209.21 grams

Volume = 1079654.95 cubic millimeters

Surface area = 151696.84 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

$$X = 217.29$$

$$Y = 353.62$$

$$Z = 472.80$$

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (grams * square millimeters)

Taken at the center of mass.

$$I_x = (0.00, 1.00, 0.02) \quad P_x = 3831407.24$$

$$I_y = (-1.00, 0.00, 0.00) \quad P_y = 17481693.68$$

$$I_z = (0.00, -0.02, 1.00) \quad P_z = 20948347.32$$

Moments of inertia: (grams * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$$L_{xx} = 17481669.39 \quad L_{xy} = 18248.03 \quad L_{xz} = -183.87$$

$$L_{yx} = 18248.03 \quad L_{yy} = 3838503.68 \quad L_{yz} = 347853.29$$

$$L_{zx} = -183.87 \quad L_{zy} = 347853.29 \quad L_{zz} = 20941275.16$$

Moments of inertia: (grams * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$$I_{xx} = 438999148.88 \quad I_{xy} = 92929850.62 \quad I_{xz} = 124227534.21$$

$$I_{yx} = 92929850.62 \quad I_{yy} = 331241914.50 \quad I_{yz} = 202517766.30$$

$$I_{zx} = 124227534.21 \quad I_{zy} = 202517766.30 \quad I_{zz} = 229238470.31$$

Mass properties of Geometri C

Configuration: Default

Coordinate system: -- default --

Mass = 1290.90 grams

Volume = 1152592.67 cubic millimeters

Surface area = 159405.32 square millimeters

Center of mass: (millimeters)

$$X = -50.35$$

$$Y = 77.70$$

$$Z = 18.10$$

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (grams * square millimeters)

Taken at the center of mass.

$$I_x = (0.00, 1.00, -0.03)$$

$$P_x = 4019617.89$$

$$I_y = (-1.00, 0.00, 0.00)$$

$$P_y = 18866404.58$$

$$I_z = (0.00, 0.03, 1.00)$$

$$P_z = 22432093.90$$

Moments of inertia: (grams * square millimeters)

Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.

$$L_{xx} = 18866382.80 \quad L_{xy} = -17976.42 \quad L_{xz} = 828.88$$

$$\begin{aligned} L_{yx} &= -17976.42 & L_{yy} &= 4035120.83 & L_{yz} &= - \\ & 533672.23 & & & & \\ L_{zx} &= 828.88 & L_{zy} &= -533672.23 & L_{zz} &= \\ & 22416612.74 & & & & \end{aligned}$$

Moments of inertia: (grams * square millimeters)

Taken at the output coordinate system.

$$\begin{aligned} I_{xx} &= 27082627.84 & I_{xy} &= -5068444.10 & I_{xz} &= - \\ & 1175448.85 & & & & \\ I_{yx} &= -5068444.10 & I_{yy} &= 7730764.04 & I_{yz} &= \\ & 1281468.37 & & & & \\ I_{zx} &= -1175448.85 & I_{zy} &= 1281468.37 & I_{zz} &= \\ & 33482991.39 & & & & \end{aligned}$$

Mass Properties pada Software Ansys

Data *Mass Properties* Geometri A

Details of "Geometry"	
Definition	
Source	C:\Users\Akhlish Abdi R\Documents\Fan SL\Assem41.I...
Type	Iges
Length Unit	Millimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Properties	
<input type="checkbox"/> Volume	1,1536e-003 m ³
<input type="checkbox"/> Mass	1,3151 kg
Scale Factor Value	1,
Statistics	
Update Options	
Basic Geometry Options	
Advanced Geometry Options	

Data *Mass Properties* Geometri B

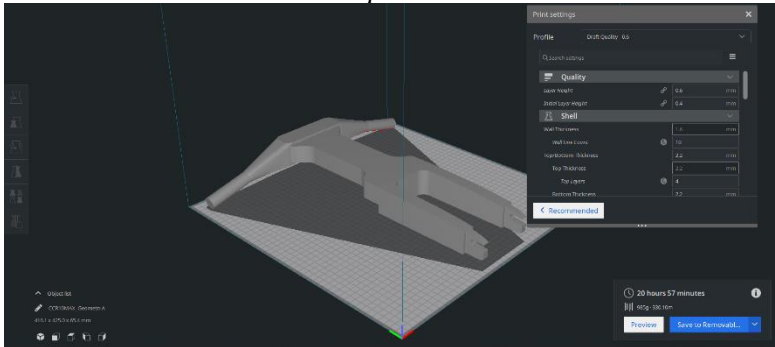
Details of "Geometry"	
Definition	
Source	C:\Users\Akhlish Abdi R\Documents\Fa...
Type	Iges
Length Unit	Millimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Properties	
<input type="checkbox"/> Volume	1,0779e-003 m ³
<input type="checkbox"/> Mass	1,2288 kg
Scale Factor Value	1,
Statistics	
Update Options	
Basic Geometry Options	
Advanced Geometry Options	
CAD Attributes	
Model Assembly Output Version	1

Data Mass Properties Geometri C

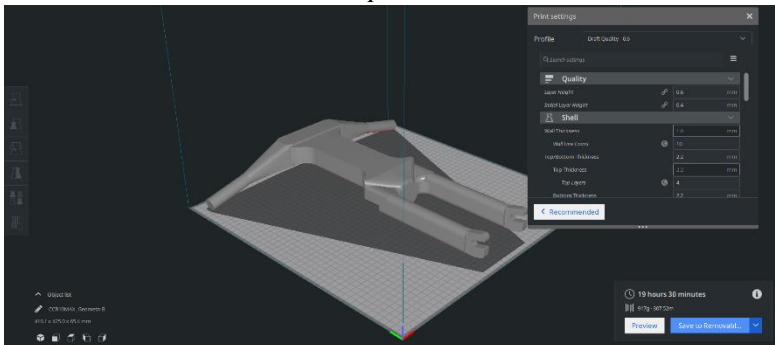
Details of "Geometry" +	
Definition	
Source	C:\Users\Akhlish Abdi R\Documents\Fan SL\Geometri ...
Type	Iges
Length Unit	Millimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Properties	
<input type="checkbox"/> Volume	1,1524e-003 m ³
<input type="checkbox"/> Mass	1,3138 kg
Scale Factor Value	1,
Statistics	
Update Options	
Basic Geometry Options	
Advanced Geometry Options	

Mass Properties pada Software Cura

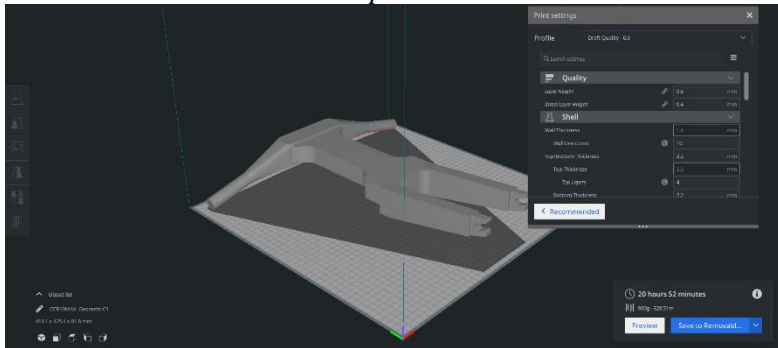
Data Mass Properties Geometri A

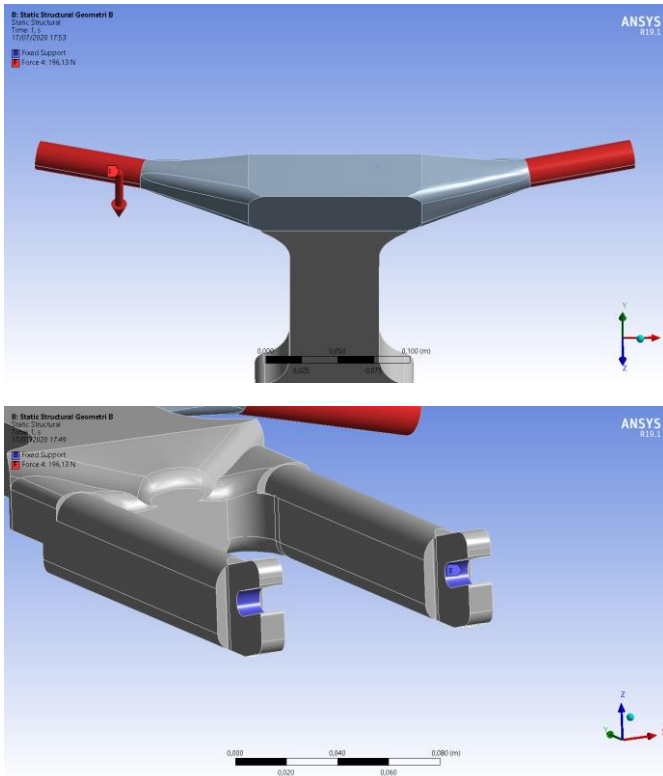


Data Mass Properties Geometri B



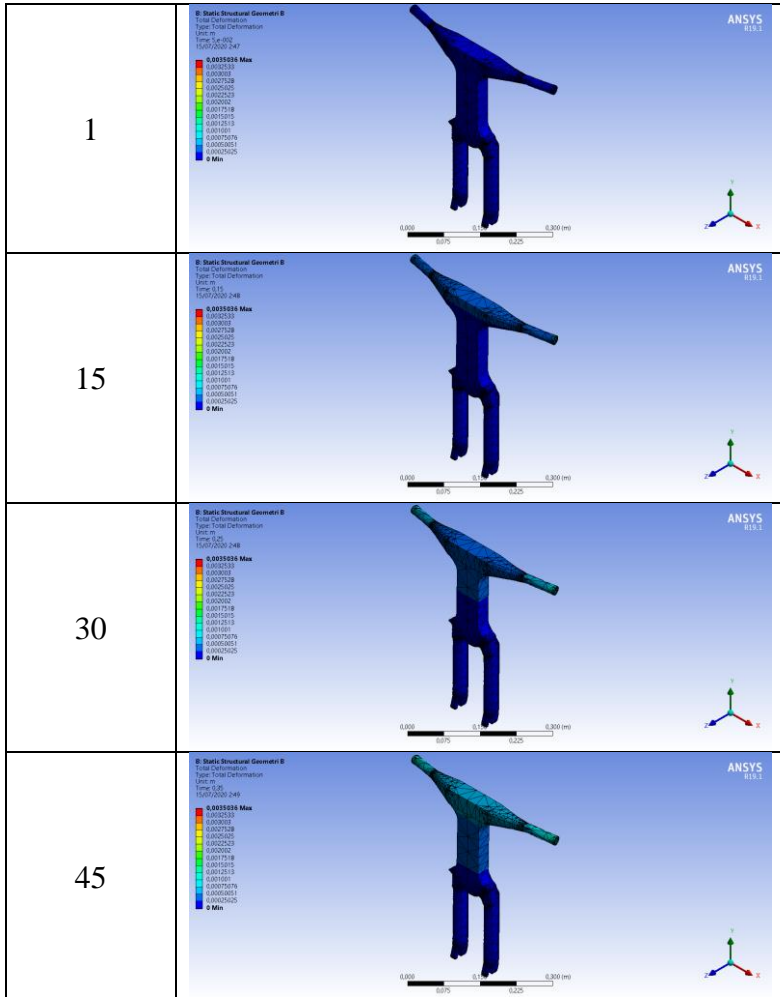
Data *Mass Properties* Geometri C

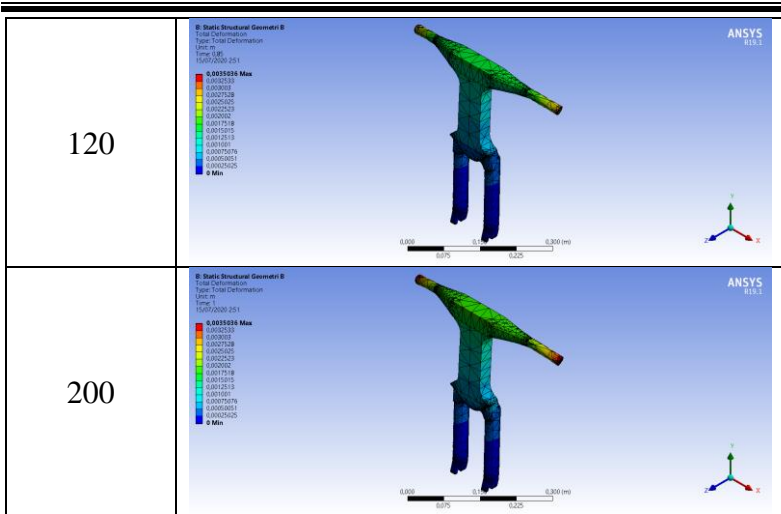


Lampiran 3. *Boundary Conditions Close-up*

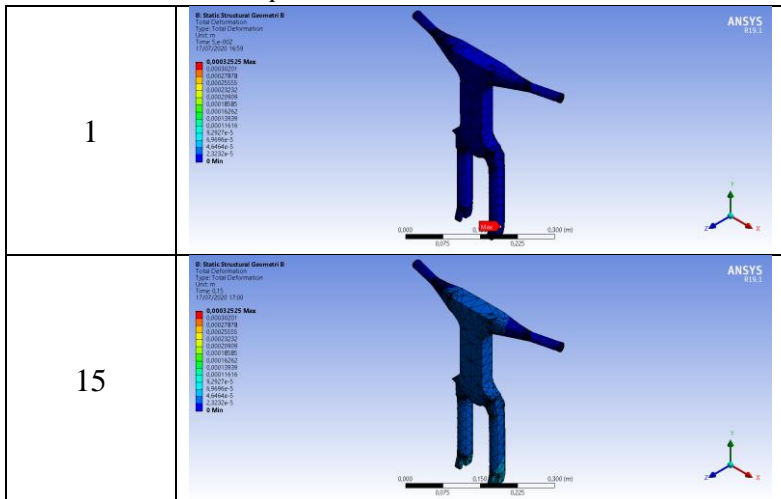
Lampiran 4. Data Perambatan Total Deformasi per Time-Step pada Geometri yang Dipilih.

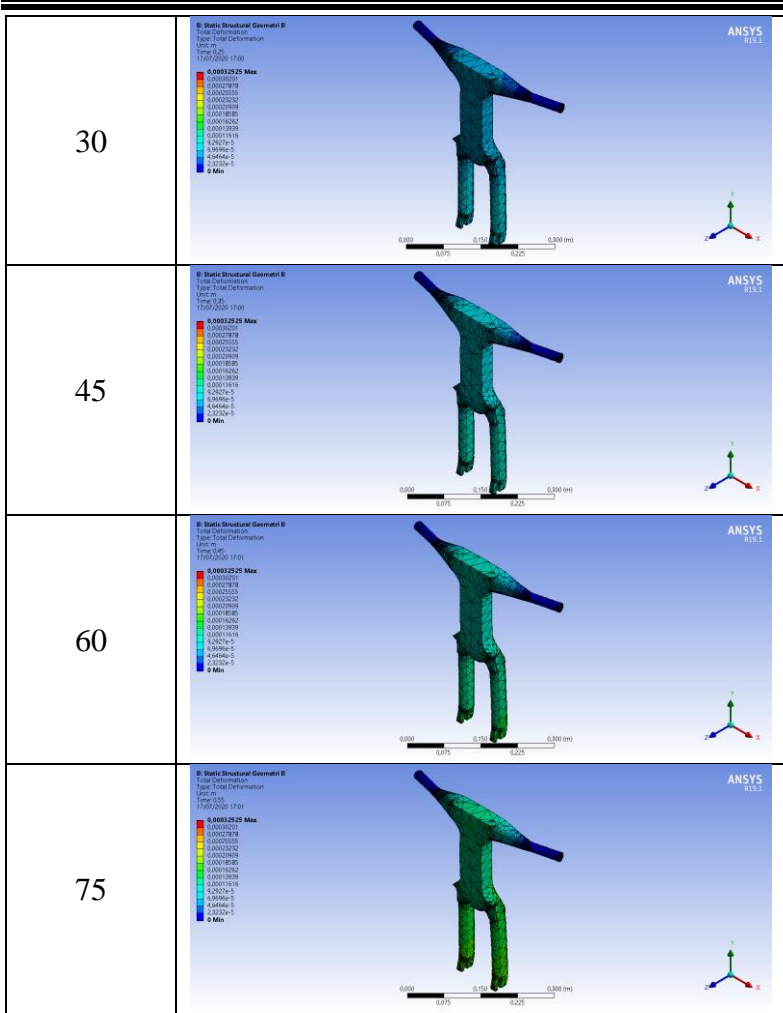
Skenario *Constraint Down*

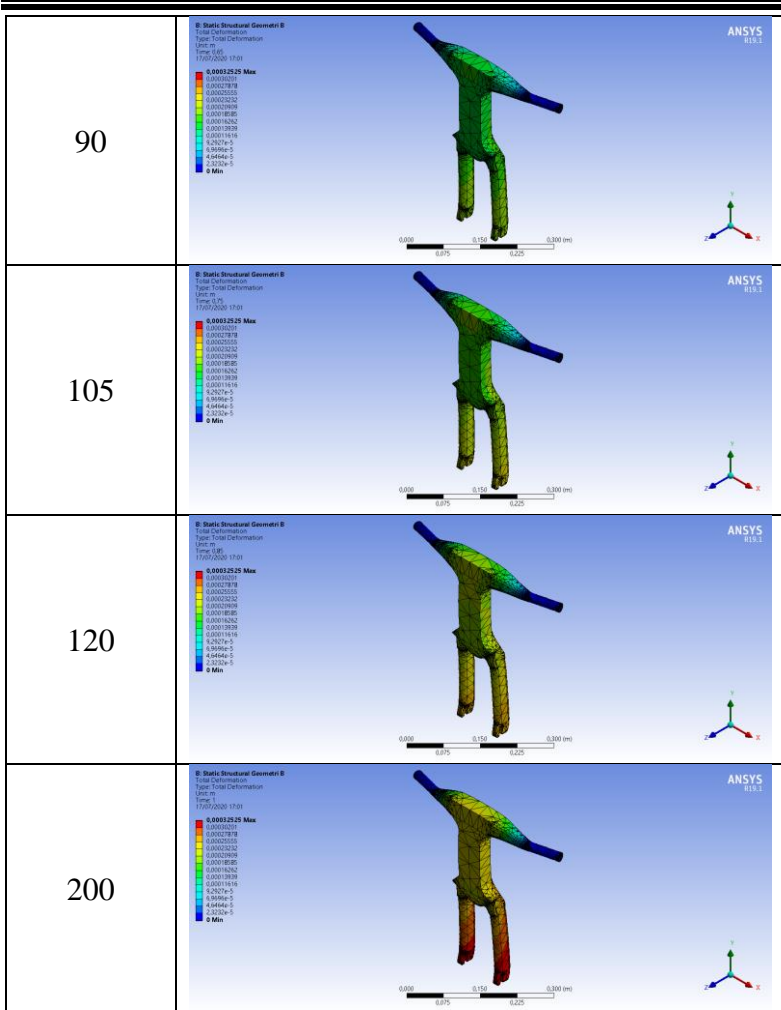




Skenario *Constraint Up*





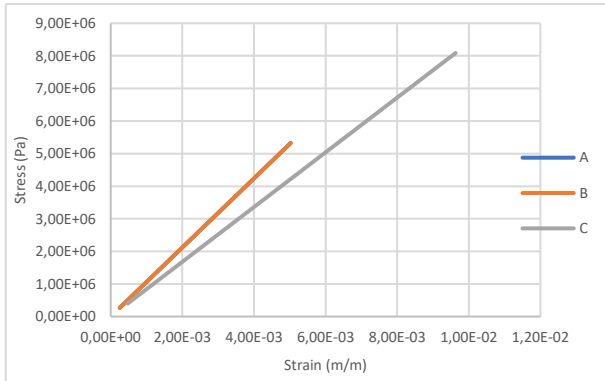


Lampiran 5. Properties dari Nylon 6.

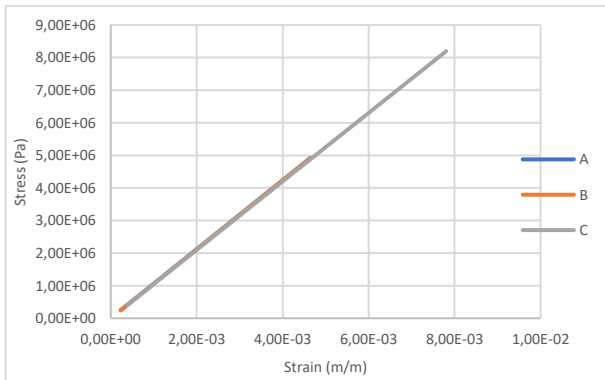
Nama	Keterangan
Density (kg/m ³)	1140
Coefficient of Thermal Expansion (0C)-1	0,000147
Young's Modulus (Pa)	1060000000
Poisson's Ratio	0,35
Bulk Modulus (Pa)	1,778 x 10 ⁹
Shear Modulus (Pa)	3,9259 x 10 ⁸
Tensile Yield Strength (Pa)	4,31 x 10 ⁷
Tensile Ultimate Strength (Pa)	4,97 x 10 ⁷
Isotropic Thermal Conductivity (J/ms0C)	0,243
Spesific Heat (J/Kg0C)	1500
Isotropic Resistivity (ohmm)	1,83 x 10 ¹²

Lampiran 6. Biaya Produksi.

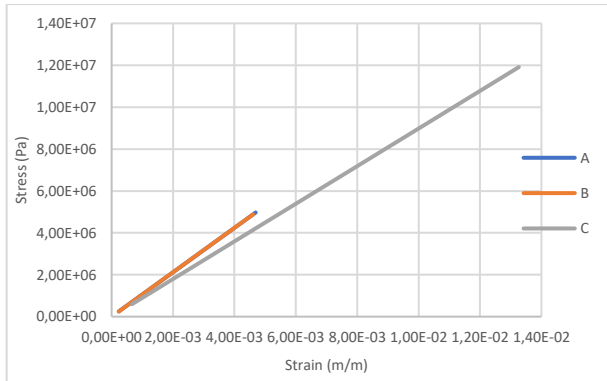
Biaya Produksi				
Komponen	Volume	Unit	Harga per Satuan	Jumlah
Bahan				
Filamen Esun ePA-CF (Carbon Fiber-Nylon)	2	Kg	Rp802.000	Rp1.604.000
Alkohol 96%	1	Liter	Rp50.000	Rp50.000
Dempul Alfiaglos	3	Kg	Rp30.000	Rp90.000
Cat Epoxy	1	Liter	Rp30.000	Rp30.000
Resin	1	Liter	Rp50.000	Rp50.000
Fiberglass	1x1	Meter	Rp35.000	Rp35.000
Peralatan				
Micro Swiss MK8 Plated A2 Tool Steel Wear Resistant Nozzle	1	Pcs	Rp450.000	Rp450.000
Micro Swiss All Metal Hotend Kit	1	Pcs	Rp1.450.000	Rp1.450.000
Amplas Grade 80-400	5	Pcs	Rp5.000	Rp25.000
Biaya Langsung Non Personnel				
Listrik	20	Kwh	Rp1.500	Rp30.000
Jasa Cat	1	Kali	Rp300.000	Rp300.000
Total Biaya				Rp4.114.000

Lampiran 7. Kurva *Stress-Strain* berdasarkan Ukuran *Span Angle Center Meshing*.Skenario *Constraint Down*

Coarse

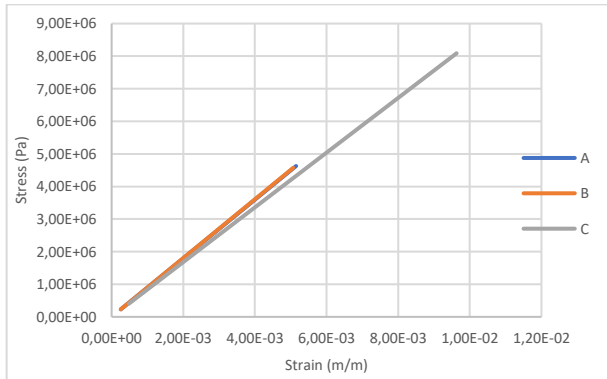


Medium

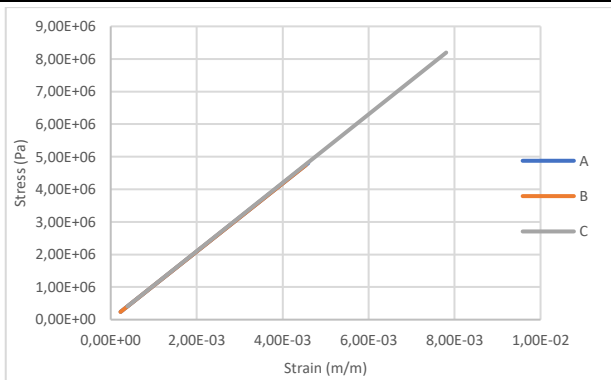


Fine

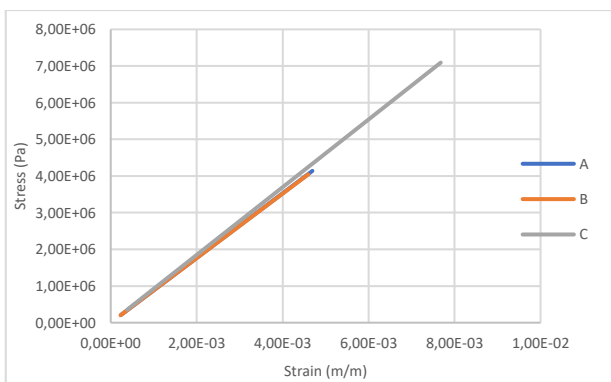
Skenario *Constraint Up*



Coarse



Medium



Fine

Lampiran 8. Tampilan *Assembly Steering*.





Product name: ePA-CF filament
Revision Date: 2018.3.1

SDS Number:YS3D416001

Section 3 –Composition/Information on Ingredients

Ingredient Name	CAS No.	E.C No.	Content (%)
PA	32131-17-2	--	74
CF	7782-42-5	231-955-3	25
Additives	--	--	1

Section 4 - First Aid Measures

INGESTION

- Immediately give a glass of water.
- First aid is not generally required. If in doubt, contact a Poisons Information Centre or a doctor.

EYE

If this product comes in contact with eyes:

- Wash out immediately with water.
- If irritation continues, seek medical attention.
- Removal of contact lenses after an eye injury should only be undertaken by skilled personnel.

SKIN

If skin or hair contact occurs:

- Flush skin and hair with running water (and soap if available).
- Seek medical attention in event of irritation.

Inhalation

- If dust is inhaled, remove from contaminated area.
- Encourage patient to blow nose to ensure clear passage of breathing.
- If irritation or discomfort persists seek medical attention.

Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

- Treat symptomatically.

Section 5 - Firefighting Measures

EXTINGUISHING MEDIA

- Do NOT direct a solid stream of water or foam into burning molten material; this may cause spattering and spread the fire.
- Foam.
- Dry chemical powder.
- BCF (where regulations permit).

FIRE FIGHTING

Product name: ePA-CF filament

SDS Number:YS3D416001

Revision Date: 2018.3.1

- Alert Fire Brigade and tell them location and nature of hazard.
- Wear breathing apparatus plus protective gloves.
- Prevent, by any means available, spillage from entering drains or water courses.
- Use water delivered as a fine spray to control fire and cool adjacent area.

FIRE/EXPLOSION HAZARD

- Combustible solid which burns but propagates flame with difficulty.
- Organic powders when finely divided over a range of concentrations regardless of particulate size or shape and suspended in air or some other oxidizing medium may form explosive dust-air mixtures and result in a fire or dust explosion (including secondary explosions).

FIRE INCOMPATIBILITY

- Avoid contamination with oxidising agents i.e. nitrates, oxidising acids, chlorine bleaches, pool chlorine etc.as ignition may result

Section 6 –Accidental Release Measures

MINOR SPILLS

- Generally not applicable

MAJOR SPILLS

- Generally not applicable

Personal Protective Equipment advice is contained in Section 8 of the SDS.

Section 7 - Handling and Storage

PROCEDURE FOR HANDLING

- Limit all unnecessary personal contact.
- Wear protective clothing when risk of exposure occurs.
- Use in a well-ventilated area.
- Avoid contact with incompatible materials.
- Store in original containers.
- Keep containers securely sealed.
- Store in a cool, dry, well-ventilated area.
- Store away from incompatible materials and foodstuff containers.

SUITABLE CONTAINER

- Multi-ply paper bag with sealed plastic liner or heavy gauge plastic bag.
- NOTE: Bags should be stacked, blocked, interlocked, and limited in height so that they are stable and secure against sliding or collapse. Check that all containers are clearly labelled and free from leaks.

Product name: ePA-CF filament**SDS Number:**YS3D416001**Revision Date:** 2018.3.1

Packing as recommended by manufacturer.

STORAGE INCOMPATIBILITY

- Avoid reaction with oxidising agents

Section 8 - Exposure Controls, Personal Protection**EXPOSURE CONTROLS****Appropriate engineering controls**

For molten materials:

Provide mechanical ventilation; in general such ventilation should be provided at compounding/ converting areas and at fabricating/ filling work stations where the material is heated. Local exhaust ventilation should be used over and in the vicinity of machinery involved in handling the molten material. Keep dry!!

Processing temperatures may be well above boiling point of water, so wet or damp material may cause a serious steam explosion if used in unvented equipment.

Engineering controls are used to remove a hazard or place a barrier between the worker and the hazard.

Personal protection**Eye and face protection**

- Safety glasses with side shields.
- Chemical goggles.
- Contact lenses may pose a special hazard; soft contact lenses may absorb and concentrate irritants. A written policy document, describing the wearing of lenses or restrictions on use, should be created for each workplace or task.

Skin protection

See Hand protection below

Hands/feet protection

The selection of suitable gloves does not only depend on the material, but also on further marks of quality which vary from manufacturer to manufacturer. Where the chemical is a preparation of several substances, the resistance of the glove material can not be calculated in advance and has therefore to be checked prior to the application.

The exact break through time for substances has to be obtained from the manufacturer of the protective gloves and has to be observed when making a final choice.

Product name: ePA-CF filament

SDS Number:YS3D416001

Revision Date: 2018.3.1

Suitability and durability of glove type is dependent on usage.

Body protection

See Other protection below

Other protection

- Overalls.
- P.V.C. apron.
- Barrier cream.

Section 9 - Physical and Chemical Properties

Information on basic physical and chemical properties

Odour	Odorlessness
Form	Solid
Melting Range (°C)	No data
Boiling Range (°C)	No data
Flash Point (°C)	No data
Decomposition Temp (°C)	No data
Autoignition Temp (°C)	No data
Upper Explosive Limit (%)	No data
Lower Explosive Limit (%)	No data
Volatile Component (%vol)	No data
Solubility in water (g/L)	Insoluble in water
p H (1% solution)	No data
p H (as supplied)	No data
Print Temp (°C)	230-260
Bed Temp(°C)	80-90
Density(g/cm³)	1.24
Heat Distortion Temp (°C,0.45MPa)	120
Melt Flow Index (g/10min)	6 (250°C/5kg)
Tensile Strength (MPa)	85
Elongation at Break (%)	26
Flexural Strength (MPa)	98
Flexural Modulus (MPa)	2300
IZOD Impact Strength (kJ/m²)	15.5

Product name: ePA-CF filament

SDS Number:YS3D416001

Revision Date: 2018.3.1

Section 10 - Stability and Reactivity

Reactivity

See section 7

Chemical stability

- Unstable in the presence of incompatible materials.
- Product is considered stable.
- Hazardous polymerisation will not occur.

Section 11 - Toxicological Information

Information on toxicological affects

Acute Toxicity

LD/LC50 values relevant for classification

No data.

Primary irritant effect

On the skin

No data.

On the eyes

No data.

Inhaled

No data.

Sensitization: No data.

Section 12 - Ecological Information

Ingredient	Persistence:Water/Soil	Persistence: Air	Bioaccumulation	Mobility
PA	LOW	LOW	LOW	LOW
CF	LOW	LOW	LOW	LOW
Additives	LOW	LOW	LOW	LOW

Section 13 - Disposal Considerations

Legislation addressing waste disposal requirements may differ by country, state and/or territory. Each user must refer to laws operating in their area. In some areas, certain wastes must be tracked.

A Hierarchy of Controls seems to be common - the user should investigate:

- Reduction
- Reuse
- Recycling

Product name: ePA-CF filament

SDS Number:YS3D416001

Revision Date: 2018.3.1

- Disposal (if all else fails)

This material may be recycled if unused, or if it has not been contaminated so as to make it unsuitable for its intended use.

Section 14 - Transport Information

Labels Required

Marine Pollutant: NO

NOT REGULATED FOR TRANSPORT OF DANGEROUS GOODS: ADR, IATA, IMDG,ADN

Section 15 - Regulatory Information

REGULATIONS

The product needs to follow local regulations.

Section 16 - Other Information

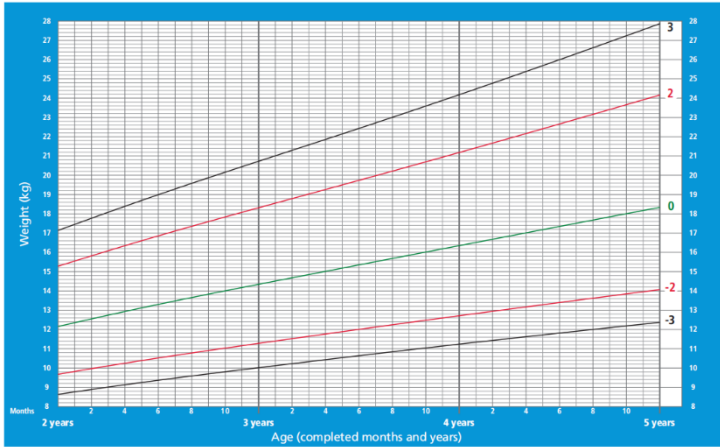
This information is based on our present knowledge. However, this shall not constitute a guarantee for any specific product features and shall not establish a legally valid contractual relationship.

End

Lampiran 10. Standar Berat Badan Anak Usia 1-5 Tahun

Weight-for-age BOYS

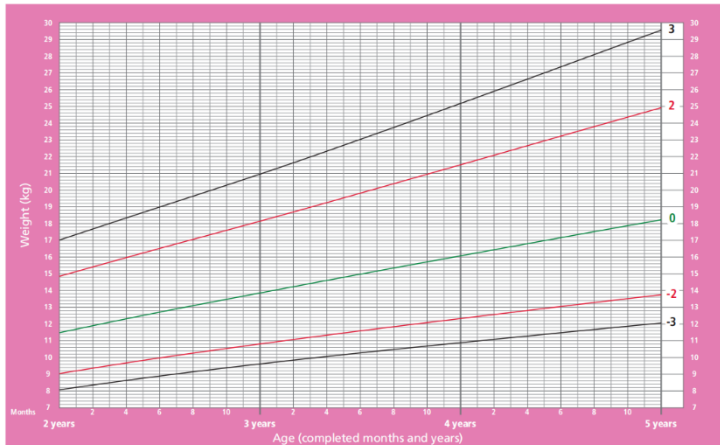
2 to 5 years (z-scores)



WHO Child Growth Standards

Weight-for-age GIRLS

2 to 5 years (z-scores)



WHO Child Growth Standards

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan ini penulis berkesempatan untuk menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada pihak – pihak terkait yang senantiasa menemani penulis dalam menyusun buku ini maupun menemani masa kuliah penulis. Alangkah baiknya penulis ucapkan kembali rasa terima kasih kepada :

1. Allah SWT Tuhan Semesta Alam yang selalu memberikan Nikmat dan Kesehatan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian serta buku ini dengan sebaik mungkin.
2. Kedua orang tua saya yang senantiasa mendukung setiap keputusan saya serta memberikan motivasi untuk selalu tetap berusaha menyelesaikan penelitian ini.
3. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D. sebagai dosen pembimbing I dan Bapak Mas Irfan Purbawanto Hidayat, S.T., M.Sc., Ph.D., sebagai dosen pembimbing II yang senantiasa membimbing, berbagi ilmu serta memotivasi saya untuk selalu kompeten dalam menyelesaikan penelitian hingga terbentuk buku ini serta menyelesaikan kehidupan kampus ini.
4. Bapak Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc. sebagai dosen wali saya yang juga senantiasa memotivasi dan memberikan pandangan dalam menjalani perkuliahan serta Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Material FTIRS-ITS.
5. Teman dan sahabat kelompok tugas akhir (Ghalib Abyan serta M. Gefin) yang selalu menemani saya dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.
6. Teman Antasena ITS Team yang sekaligus menjadi wadah berkembang saya selama menempuh perkuliahan (Ade, Cut, Sugi, Iyando, Alfa, Afrizal, Alvebry, Satrio, Arfan) dan

-
- teman – teman LDJ Ash-haabul kahfi yang selalu mengingatkan saya untuk selalu melakukan kebaikan.
7. Teman – teman Angkatan 2016 (HMMT-MT18) yang senantiasa berjuang bersama untuk menyelesaikan pendidikan sarjana.
 8. Mas Ridha, Pak Anto, Pak Moko, Pak Sumarsono, serta segenap karyawan DTMM FTIRS-ITS yang telah memberikan banyak ilmu kepada penulis.
 9. Pihak – pihak yang membantu secara langsung maupun tidak langsung memberikan dukungan serta bantuan sehingga saya dapat lancar dalam menyelesaikan penelitian ini.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Akhlish Abdi Robbi. Penulis dilahirkan di Lumajang, 19 Oktober 1997, dan merupakan anak tunggal. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Al-Ikhlash, SD Islam Tompokersan, SMP Negeri 1 Lumajang, dan SMA Negeri 2 Lumajang. Penulis kemudian melanjutkan studinya di Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2016.

Selama menjalankan pendidikan di kampus ITS Surabaya, penulis berpartisipasi aktif dalam organisasi di LDJ Ash-Haabul Kahfi sebagai Staff Departemen Mentoring 2017/2018, kemudian penulis juga berpartisipasi sebagai Staff Divisi Otomotif Antasena ITS Team kepengurusan 2017/2018. Penulis juga sempat aktif di BSO MTC HMMT FTIRS-ITS sebagai Staf Divisi Antasena kepengurusan 2017/2018. Di tahun selanjutnya penulis lebih berfokus untuk mengembangkan diri sebagai Kepala Departemen Keilmuan LDJ Ash-Haabul Kahfi serta sebagai Staff Ahli Divisi Otomotif Antasena ITS Team pada kepengurusan 2018/2019. Penulis juga mendedikasikan dirinya dalam mengembangkan potensi di bidang teknologi, salah satunya penulis pernah mengikuti beberapa kompetisi diantaranya *The 4th International Young Inventors Awards* dan memperoleh penghargaan berupa medali emas, kemudian penulis juga pernah mengikuti kompetisi 3D Printing yang diselenggarakan oleh Dekranasda Jawa Timur dan memperoleh penghargaan juara 2. Selain itu penulis juga berpartisipasi dalam kegiatan kerja praktik dengan PT. GMF Aero Asia Tbk. demi memperdalam keilmuan di bidang Teknik Material dan Metalurgi. Penulis juga turut aktif dalam membantu pengadaan *faceshield* untuk tenaga medis pada *outbreak* COVID-19.