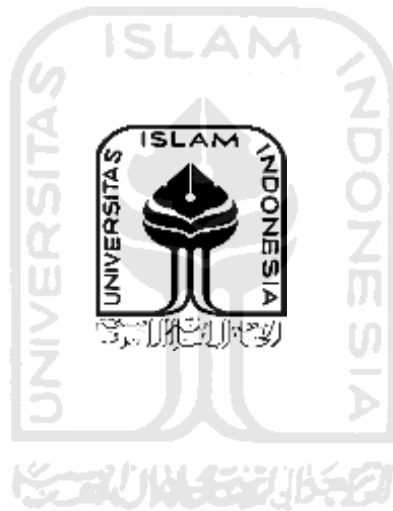


**Perancangan dan Pengembangan *Steering Wheel* Ergonomis
Berbahan Komposit pada Mobil Listrik Ulil Albab Student
Center (UASC)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



Disusun Oleh:

Nama : M. Syahrul R. Putra

No. Mahasiswa : 16525022

NIRM : 2016040535

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2020

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini, saya M. Syahrul R. Putra menyatakan bahwa tugas akhir yang berjudul “Perancangan dan Pengembangan *Steering Wheel* Ergonomis Berbahan Komposit pada Mobil Listrik Ulil Albab Student Center (UASC)” adalah karya yang saya tulis dan saya susun dengan tangan saya sendiri. Dengan ini menyatakan dengan sungguh – sungguh dan tanpa adanya paksaan bahwa di dalam tugas akhir saya tidak adanya karya orang lain yang saya salin atau tiru. Apabila dikemudian hari pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai hukum yang berlaku di Universitas Islam Indonesia.



Yogyakarta, 24 Oktober 2020



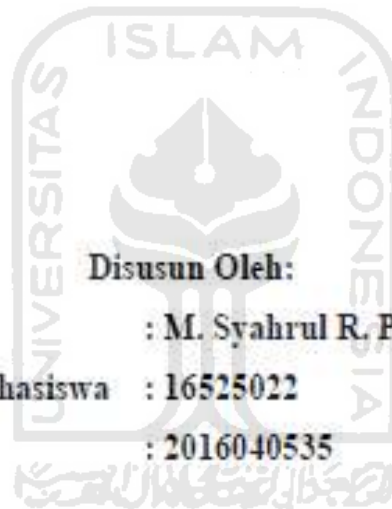
M. Syahrul R. Putra

NIM. 16525022

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

Perancangan dan Pengembangan *Steering Wheel* Ergonomis Berbahan Komposit pada Mobil Listrik Ulil Albab Student Center (UASC)

TUGAS AKHIR



Disusun Oleh:

Nama : M. Syahrul R. Putra
No. Mahasiswa : 16525022
NIRM : 2016040535

Yogyakarta, 20 September 2020

Pembimbing 1.



Santo Ajie Dhewanto, S.T., M.M.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

Perancangan dan Pengembangan *Steering Wheel Ergonomis* Berbahan Komposit pada Mobil Listrik Ulil Albab Student Center (UASC)

TUGAS AKHIR


Disusun Oleh:

Nama : M. Syahrul R. Putra
No. Mahasiswa : 16525022
NIRM : 2016040535

Tim Penguji

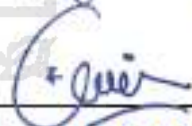
Santo Ajie Dhewanto, S.T., M.M.

Ketua


Tanggal : 16 Oktober 2020


Mohammad Faizun, S.T., M.Eng., Ph.D

Anggota I


Tanggal : 12 Oktober 2020

Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc.


Anggota II


Tanggal : 20 Oktober 2020

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin




Dr. Eng. Risdiyono, S.T., M.Eng.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk agama, bangsa dan perkembangan pengetahuan serta untuk diri saya sendiri karena telah bangga terhadap pencapaian saya sampai saat ini.

Teruntuk yang tersayang dan tercinta bapak, ibu, kakak-adik, serta sahabat saya yang telah menemani saya dalam berproses dan berkembang.

Teruntuk tim mobil listrik Ulil Albab Student Center (UASC) semoga penelitian ini dapat bermanfaat untuk tim, serta kepada siapapun yang datang dan pergi memberi manfaat untuk kehidupan saya semoga imbalan dan amalan kalian semua dibalaskan oleh Allah SWT.

Semoga kesuksesan menyertai langkah kita semua kapanpun itu dan dimanapun



HALAMAN MOTTO

“Barang siapa yang tidak mampu menahan lelahnya belajar, maka ia harus mampu menahan kebodohan”

Imam As-Syafi’i

“Sopo nandur bakale ngunduh”

“Di dalam rejeki yang kita terima, ada rejeki untuk makhluk Allah yang lainnya. Bersedekahlah!”

“Berbuat baiklah ke siapapun itu, tanpa harus mengharap imbalan. Niscaya, kebaikan itu akan berbalik entah ke diri kita ataupun ke keluarga kita”

M. Syahrul R. Putra

“Don’t Stop Until You’re Proud”

Anonymous

UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamualaikum warrahmatullah wabarakatuh.

Puji syukur kita panjatkan terhadap kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat kepada kita semua. Tak lupa kita bersyukur atas nikmat yang telah diberikan kepada kita semua, nikmat islam, nikmat iman serta nikmat sehat. Shalawat serta salam tak lupa kita haturkan kepada nabi serta junjungan kita semua Nabi Agung Muhammad SAW yang telah mengantarkan kita keluar dari jaman jahiliyyah sampai ke jaman yang penuh hidayah ini dan segenap keluarga, sahabat dan seluruh ummat-Nya.

Berkat pertolongan – Nya, *Alhamdulillah* pelaksanaan dan penyusunan tugas akhir ini telah selesai meskipun dalam penelitiannya mengalami sedikit hambatan dan rintangan. Tugas akhir yang dilaksanakan oleh penulis bertujuan untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S-1) di Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Tak lupa penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Allah SWT, tuhan semesta alam yang telah melimpahkan rahmat, nikmat serta hidayah – Nya.
2. Bapak dan ibu saya yang telah membimbing, menemani dan menyemangati dalam proses pelaksanaan dan penyusunan tugas akhir ini.
3. Kakak dan adik saya yang telah membantu dan menyemangati dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr.Eng. Risdiyono, S.T., M.Eng, selaku ketua program studi Teknik Mesin UII Yogyakarta.
5. Bapak Santo Ajie Dhewanto, S.T., M.M., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah dengan sabar membimbing, memberi saran dan nasihat serta memberi waktu luangnya dalam penyusunan tugas akhir ini.
6. Trah Bambang, Maulana Istar Mahindra, M. Bayu Prasetyo A, Liviani Noer Afifi, Riska Permana dan Isna Fadhila N.H yang telah menjadi tempat

berkeluh kesah, serta memberi semangat untuk menyelesaikan tugas akhir ini, semoga kesuksesan menyertai kita semua.

7. Tim mobil listrik Ulil Albab Student Center (UASC), yang telah memberikan banyak materi dalam pelaksanaan tugas akhir.
8. Hawa Abila Fada dan Sinta Nofita, teman progres seperjuangan dalam penyusunan tugas akhir, semoga kesuksesan menyertai kita semua.
9. Luthfi Ali Masykur, kawan yang telah membantu dalam proses desain untuk tugas akhir.
10. Kawan Lor Kidul Bersatu yang telah membantu dan bertukar ide, semoga kesuksesan menyertai kita semua.
11. Kepala Laboratorium Manufaktur Universitas Sanata Dharma yang telah mengizinkan untuk melakukan pengujian tarik material.
12. Seluruh mahasiswa dan karyawan Teknik Mesin UII Yogyakarta.

Akhir kata, semoga Allah SWT memberi imbalan dan meridhoi amal kita semua. Setiap manusia memiliki kelemahan dan kesempurnaan hanyalah milik Allah SWT, maka dari itu penulis mengharapkan kritik serta saran yang membangun agar tugas akhir ini mendekati kata sempurna. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk semua pihak. Terimakasih.

Wassalamualaikum warrahmatullah wabarakatuh.

Yogyakarta, 20 September 2020

Penyusun,

M. Syahrul R. Putra

16525022

ABSTRAK

Teknik *rapid prototyping* dalam perkembangannya telah banyak diaplikasikan ke berbagai bidang, salah satunya adalah bidang otomotif. Pengaplikasian Teknik *rapid prototyping* dengan mesin *3D Printing* digunakan untuk membuat *steering wheel* mobil listrik Ulil Albab Student Center (UASC). Dalam proses pembuatannya, *steering wheel* dibuat dengan menggabungkan dua metode, yaitu produk *steering wheel* dicetak menggunakan mesin *3D Printing* kemudian dilakukan laminasi dengan *fiberglass*. Berdasarkan perhitungan gaya, torsi pada *steering wheel* sebesar 30.62 Nm dengan diameter optimal yang telah disesuaikan dengan antropometri sebesar 311.5 mm. Pengujian tarik pada material laminasi dilakukan untuk mengetahui kekuatan material laminasi. Material laminasi yang diuji adalah 3DP, 3DP laminasi serat gelas acak, 3DP laminasi serat gelas anyam dan 3DP laminasi *tissue mat*. Dari pengujian tarik material tersebut didapatkan kekuatan tarik rata - rata terbesar ada pada material 3DP laminasi serat gelas anyam, yaitu 45.71 MPa dan mampu menahan beban rata - rata maksimal sebesar 950.26 N.

kata kunci: *Steering Wheel*, komposit, laminasi, *3D Printing*, pengujian tarik.

ABSTRACT

Based on the upward progress, the rapid prototyping has been widely applied to various fields, one of them is the automotive sector. The application of rapid prototyping technique with a 3D Printing machine is used to make the Ulil Albab Student Center (UASC) electric car steering wheel. In the manufacturing process, the steering wheel is made by combining two methods, namely the steering wheel product is printed using a 3D Printing machine then laminated with fiberglass. Based on the calculation of the force, the torque on the steering wheel is 30.62 Nm with the optimal diameter which has been adjusted to the anthropometry of 311.5 mm. The tensile test on the laminate material is carried out to determine the strength of the laminated material. The laminated materials tested were 3DP, 3DP laminate random glass fiber, 3DP laminate woven glass fiber and 3DP laminate tissue mat. From the tensile test of the material, the highest average tensile strength is in the 3DP laminate woven glass fiber material, which is 45.71 MPa and is able to withstand a maximum average load of 950.26 N.

Keywords: Steering Wheel, Composite, Laminate, 3D Printing, Tensile test.

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	iii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iv
Halaman Persembahan	iv
Halaman Motto	vi
Ucapan Terima Kasih	vii
Abstrak	ix
<i>Abstract</i>	x
Daftar Isi	xi
Daftar Tabel	xiv
Daftar Gambar	xv
Daftar Notasi	xviii
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan	3
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
Bab 2 Tinjauan Pustaka	6
2.1 Kajian Pustaka	6
2.2 Sistem Kemudi	7
2.2.1 Macam - Macam Sistem Kemudi	7
2.2.2 Roda Kemudi (<i>Steering Wheel</i>)	9
2.2.3 <i>Steering Column</i>	9
2.2.4 <i>Steering Gear</i>	10
2.2.5 <i>Steering Linkage</i>	10
2.3 Perhitungan Gaya pada <i>Steering Wheel</i>	11
2.4 Ergonomi	12
2.4.1 Antropometri	13

2.5	Mesin <i>3D Printing</i>	15
2.5.1	Material Filamen <i>Polylactic Acid (PLA)</i>	15
2.6	Komposit	16
2.6.1	Matriks	16
2.6.2	<i>Reinforcement</i>	17
2.7	Laminasi	18
2.8	Pengujian Tarik.....	19
2.9	Grafik Tegangan - Regangan.....	19
2.9.1	Tegangan Tarik	20
2.9.2	Regangan	21
2.9.3	Modulus Elastisitas	22
2.9.4	Pengujian Tarik ASTM D-638	22
2.10	Hubungan Pengujian Tarik dengan Produk <i>Steerig Wheel</i>	23
Bab 3	Metode Penelitian	24
3.1	Alur Penelitian	24
3.2	Peralatan dan Bahan.....	25
3.3	Pembuatan Material Laminasi dan Pengambilan Data	27
3.4	Proses Pembuatan Spesimen.....	28
3.4.1	Proses Desain.....	28
3.4.2	Proses Mencetak Spesimen Menggunakan <i>3D Print</i>	29
3.4.3	Proses Laminasi Spesimen Uji	31
3.5	Proses Pembuatan Produk <i>Steering Wheel</i> Ergonomis	32
3.5.1	Proses Desain.....	32
3.5.2	Proses Mencetak dengan Mesin <i>3D Printing</i>	33
3.5.3	Proses Laminasi Pada Produk <i>Steering Wheel</i>	33
Bab 4	Hasil dan Pembahasan.....	35
4.1	Hasil Perhitungan Gaya pada <i>Steering Wheel</i>	35
4.2	Hasil Produk Uji Sampel	37
4.3	Hasil dan Pembahasan Uji Tarik 3D Print Laminasi	39
4.3.1	Hasil Uji Tarik 3D Print Laminasi.....	39
4.3.2	Pembahasan Hasil Pengujian.....	44
4.4	Hasil Perhitungan Ketebalan Material <i>Steering Wheel</i>	45

4.4.1	Mencari Ketebalan <i>Steering Wheel</i> dengan SF	46
4.5	Hasil dan Pembahasan Produk <i>Steering Wheel</i>	47
4.5.1	Proses <i>3D Printing</i>	47
4.5.2	Laminasi <i>Steering Wheel</i>	48
4.6	Hasil Pengujian Produk <i>Steering Wheel</i> Laminasi	50
4.6.1	Uji Ergonomis <i>Steering Wheel</i>	50
4.6.2	Pengujian Untuk Membelokkan Mobil	51
4.7	Kendala Proses Pembuatan	52
4.7.1	Proses Desain	52
4.7.2	Pengujian Tarik Material	53
4.7.3	Proses Cetak dengan Mesin <i>3D Printing</i>	54
4.7.4	Proses Laminasi <i>Steering Wheel</i>	55
4.8	Analisis Menggunakan Software	55
4.8.1	Tegangan <i>Von Mises</i>	57
4.8.2	<i>Displacement</i>	58
4.8.3	<i>Safety Factor</i>	59
Bab 5	Penutup	61
5.1	Kesimpulan	61
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya	62
Daftar Pustaka	63

DAFTAR TABEL

Tabel 2- 1 Data antropometri.....	14
Tabel 2- 2 Dimensi spesimen uji tarik ASTM D-638	22
Tabel 3- 1 Alat dan Bahan.....	25
Tabel 3- 2 Hasil percobaan mencari ketebalan laminasi	28
Tabel 3- 3 Komposisi resin dan katalis	28
Tabel 3- 4 Dimensi spesimen uji tarik ASTM D-638	28
Tabel 3- 5 Data antropometri jari tangan	32
Tabel 4- 1 Dimensi spesimen uji.....	38
Tabel 4- 2 Hasil pengujian tarik.....	40
Tabel 4- 3 Hasil perhitungan tegangan - regangan	42
Tabel 4- 4 Hasil perhitungan perbandingan F max pada spesimen uji	42
Tabel 4- 5 Hasil perhitungan perbandingan tegangan spesimen uji	43
Tabel 4- 6 Hasil perhitungan perbandingan modulus elastis.....	43
Tabel 4- 7 Data hasil uji ergonomis	50
Tabel 4- 8 Tabel pembebanan.....	56
Tabel 4- 9 Tabel pembebanan.....	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1- 1 <i>Steering wheel</i> mobil listrik UASC	2
Gambar 2- 1 Sistem kemudi	7
Gambar 2- 2 Konstruksi <i>recirculating ball</i>	8
Gambar 2- 3 Konstruksi <i>rack and pinion</i>	8
Gambar 2- 4 Jenis <i>steering column</i>	9
Gambar 2- 5 Konstruksi <i>steering gear</i>	10
Gambar 2- 6 Macam - macam <i>steering linkage</i>	11
Gambar 2- 7 Jarak <i>a</i> dan <i>d</i> pada roda	11
Gambar 2- 8 Antropometri Tebal Tangan Ibu Jari (<i>Ttij</i>)	13
Gambar 2- 9 Antropometri Lebar Tangan Metakarpal (<i>Ltmk</i>)	14
Gambar 2- 10 Antropometri Tebal Tangan Metakarpal (<i>Ttm</i>)	14
Gambar 2- 11 Antropometri Diameter Genggam Minimal (<i>Dgmin</i>)	14
Gambar 2- 12 Mesin <i>3D Printing</i>	15
Gambar 2- 13 Ilustrasi penggabungan dua material menjadi komposit	16
Gambar 2- 14 Penempatan posisi serat	18
Gambar 2- 15 Struktur mikroskopik material komposit laminasi	18
Gambar 2- 16 Komponen pada mesin uji tarik	19
Gambar 2- 17 Grafik tegangan – regangan	20
Gambar 2- 18 Gaya aksial yang menyebabkan tegangan tarik	21
Gambar 2- 19 Perubahan panjang material ketika dikenai gaya	21
Gambar 2- 20 Keterangan dimensi spesimen uji tarik ASTM D-638	23
Gambar 2- 21 Ilustrasi gaya yang pada momen gaya	23
Gambar 3- 1 Keterangan dimensi spesimen uji ASTM D-638	29
Gambar 3- 2 Desain spesimen uji tarik	29
Gambar 3- 3 Parameter yang digunakan pada mesin <i>3D Printing</i>	29
Gambar 3- 4 Opsi <i>prepare</i> untuk menyusun <i>G-code</i>	30
Gambar 3- 5 Mesin <i>3D Printing</i> Aned A8	30
Gambar 3- 6 Hasil mencetak spesimen dengan mesin <i>3D Printing</i>	30
Gambar 3- 7 Potongan serat gelas	31
Gambar 3- 8 Proses pelapisan dengan resin	31

Gambar 3- 9 Serat gelas yang telah dilapisi dengan resin.....	31
Gambar 3- 10 Spesimen siap diuji	31
Gambar 3- 11 Desain akhir <i>steering wheel</i>	32
Gambar 3- 12 Desain <i>handgrip</i>	33
Gambar 3- 13 Parameter pada Cura	33
Gambar 4- 1 Jarak a dan d	35
Gambar 4- 2 Jarak setengah ban ke sumbu <i>kingpin</i>	35
Gambar 4- 3 Spesimen A1 dan A2	37
Gambar 4- 4 Spesimen B1 dan B2.....	38
Gambar 4- 5 Spesimen C1 dan C2.....	38
Gambar 4- 6 Keterangan dimensi spesimen uji tarik ASTM D-638.....	38
Gambar 4- 7 Grafik tegangan-regangan hasil pengujian.....	39
Gambar 4- 8 Grafik tegangan-regangan hasil pengujian.....	40
Gambar 4- 9 Grafik perbandingan beban yang diterima	44
Gambar 4- 10 Grafik perbandingan tegangan tarik maksimal.....	45
Gambar 4- 11 Produk <i>steering wheel</i> mengalami kegagalan	47
Gambar 4- 12 Proses pencetakan yang kedua	48
Gambar 4- 13 Hasil pencetakan kedua.....	48
Gambar 4- 14 Proses penempelan serat gelas.....	49
Gambar 4- 15 Serat gelas yang sudah mengering	49
Gambar 4- 16 <i>Steering wheel</i> setelah proses <i>finishing</i>	49
Gambar 4- 17 Proses pengujian membelokkan roda mobil.....	52
Gambar 4- 18 Desain awal <i>steering wheel</i>	52
Gambar 4- 19 <i>Rules</i> FSAE Japan 2019	53
Gambar 4- 20 Desain akhir <i>steering wheel</i>	53
Gambar 4- 21 Proses pengujian tarik material.....	54
Gambar 4- 22 Hasil cetakan percobaan pertama	54
Gambar 4- 23 Hasil cetakan percobaan kedua.....	54
Gambar 4- 24 Serat gelas yang telah mengering	55
Gambar 4- 25 Bagian <i>fixed</i> dan <i>load</i> pada <i>steering wheel</i>	56
Gambar 4- 26 Tegangan <i>Von Mises</i> pada desain awal <i>steering wheel</i>	57
Gambar 4- 27 Tegangan <i>Von Mises</i> pada desain akhir <i>steering wheel</i>	58

Gambar 4- 28 *Displacement* yang terjadi pada desain awal *steering wheel*58
Gambar 4- 29 *Displacement* yang terjadi pada desain akhir *steering wheel*.....59
Gambar 4- 30 *Safety factor* pada desain awal *steering wheel*60
Gambar 4- 31 *Safety factor* pada desain akhir *steering wheel*.....60



DAFTAR NOTASI

a = Lebar telapak ban (m)

d = Jarak setengah lebar telapak ban ke sumbu kingpin (m)

τ = Torsi (Nm)

μ_s = Koefisien gesek statis

W_f = Berat mobil bagian depan (N)

W_{total} = Berat total mobil (Kg)

σ = Tegangan (N/mm²)

F = Gaya (N)

A = Luas penampang (mm²)

ε = Regangan

Δl ($l - l_0$) = Pertambahan panjang material (mm)

l = Panjang material mula – mula (mm)

l_0 = Panjang akhir material (mm)

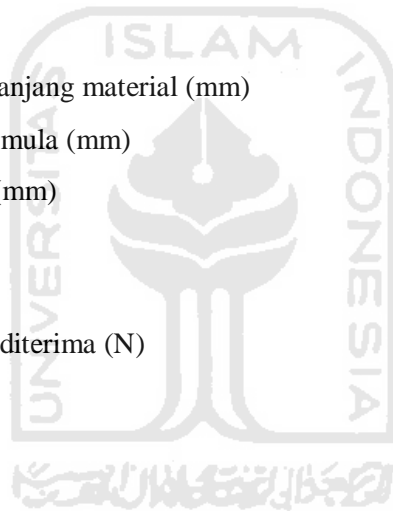
E = Modulus Elastis (MPa)

D = Diameter (mm)

F_{max} = Gaya maksimal yang diterima (N)

\bar{X} = Rata – rata

SF = *Safety Factor*



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mobil bertenaga listrik pertama kali dipublikasikan ke masyarakat oleh Robert Anderson pada tahun 1832-1839. Pada saat itu, Robert Anderson membuat mobil beroda tiga bertenaga listrik telah menggunakan baterai listrik sebagai penggerakannya. Thomas Alfa Edison, salah satu ilmuwan besar dunia mulai mengembangkan mobil bertenaga listrik setelah beberapa tahun konsep tersebut diperkenalkan oleh Robert Anderson. Tetapi pada saat pengembangannya, mobil listrik tidak diminati oleh masyarakat dikarenakan bahan bakar minyak yang tersedia masih sangat banyak dan memiliki harga yang relatif murah. Sehingga masyarakat lebih memilih mobil berbahan bakar minyak pada saat itu (Suyono & Arsana, 2013).

Memasuki abad ke-20, mobil listrik mulai banyak diminati oleh pasar dunia termasuk Indonesia. Peningkatan minat pada mobil bertenaga listrik dikarenakan faktor bahan bakar minyak mulai menipis persediaannya di muka bumi. Selain itu, terdapat isu yang menyebutkan perlunya pengembangan penggunaan energi alternatif yang berupa energi listrik untuk menyeimbangkan kehidupan di bumi yang tertuang dalam *Education for Sustainable Development (EfSD)*. Adanya isu tersebut, maka Indonesia merupakan salah satu negara yang ikut mengambil peran untuk mengembangkan penggunaan energi alternatif yang berupa energi listrik. Maka dari itu, perlu dibutuhkan inovasi yang dapat digunakan untuk pengembangan penggunaan energi listrik.

Kompetisi Mobil Listrik Indonesia (KMLI) adalah kompetisi di bawah naungan Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi (Kemristekdikti) yang mendorong mahasiswa perguruan tinggi Indonesia untuk menemukan inovasi yang dapat mengembangkan penggunaan energi listrik di Indonesia. Kompetisi tersebut melombakan karya mahasiswa Indonesia yang berupa mobil listrik.

Kompetisi Mobil Listrik Indonesia adalah sebuah perlombaan yang memperlombakan rancang bangun mobil listrik karya mahasiswa Indonesia. Mobil

listrik yang dirancang memiliki beberapa sistem penyusun suatu mobil. Salah satunya adalah sistem kemudi. Sistem kemudi memiliki peran penting sebagai sistem yang digunakan untuk mengendalikan arah mobil. Sistem kemudi tersebut dianalisis sedemikian rupa, salah satunya adalah gaya yang bekerja pada roda kemudi atau *steering wheel*.

Gaya yang bekerja pada roda kemudi akan mempengaruhi suatu kendaraan ketika dibelokkan. Gaya yang diberikan oleh tangan akan mengakibatkan gaya torsi pada *steering wheel* kemudian diteruskan ke *steering column*. Gaya torsi tersebut akan menggerakkan *steering gear*. Kemudian *steering gear* akan menggerakkan *steering linkage*. Setelah itu roda akan bergerak ke kanan atau ke kiri (Kurnia Dwi, Syahyuniar, & Priono, 2017). Pada gambar 1-1 adalah produk *steering wheel* yang dibuat oleh tim mobil listrik UASC terbuat dari plat besi.



Gambar 1- 1 *Steering wheel* mobil listrik UASC

Teknik *rapid prototyping* dipublikasikan pertama kali oleh Hideo Kodama pada tahun 1981. Ia adalah ilmuwan asal Jepang yang menyatakan bahwa teknik *rapid prototyping* adalah teknik yang membentuk suatu produk 3 dimensi yang materialnya berupa plastik yang dipanaskan dengan sinar ultraviolet (Rinanto & Sutopo, 2017).

Teknik *rapid prototyping* ini dibuat dengan cara membuat layer yang bertingkat sehingga hasil akhir dari pencetakannya memiliki ukuran dimensi yang diinginkan. Penelitian ini akan membuat *steering wheel* tim mobil listrik UASC dari material filamen PLA yang dicetak mesin *3D Printing* dengan laminasi komposit.

Proses pertama untuk membuat *steering wheel* mobil listrik UASC adalah mendesain ulang produk untuk mencapai tingkat ergonomis sehingga pengendara

merasa nyaman ketika mengendarainya. Material yang akan digunakan adalah *Polylactic Acid* (PLA). Material PLA memiliki kekuatan yang tinggi. Hal ini dikarenakan material PLA memiliki titik leleh yang tinggi, hal ini akan menyebabkan jika antar layer tidak melekat secara merata dan akan memiliki kekuatan yang rendah (Lubis & Sutanto, 2016).

Oleh karena itu, diperlukannya penelitian terkait pembuatan *steering wheel* dan akan dilakukan pengujian untuk mengetahui kekuatan dari *steering wheel* tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka dapat dirumuskan berbagai rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan mengembangkan *steering wheel* ergonomis dengan material komposit laminasi?
2. Bagaimana cara membuat prototype *steering wheel* komposit laminasi?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian atau perancangan ini memiliki batasan agar penyusunannya tidak menyimpang dari topik yang dibahas. Maka batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hanya membahas gaya yang ada pada *steering wheel*.
2. Material komposit laminasi terdiri dari filamen 3D Print.
3. Menggunakan serat gelas anyam, acak dan *tissue matt*.
4. Melakukan pengujian tarik material.
5. Menggunakan antropometri orang Indonesia.

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Tujuan dari penelitian atau perancangan ini adalah

1. Untuk mengetahui apakah material dari *steering wheel* mobil listrik Ulii Albab Student Centre (UASC) dapat diganti dengan material komposit laminasi.

2. Untuk mengetahui berapa kekuatan material komposit laminasi sebagai material pengganti.
3. Untuk mengetahui tingkat kenyamanan pada *steering wheel* komposit laminasi.
4. Untuk mengetahui kendala saat proses pembuatan.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

1. Mengetahui cara membuat *steering wheel* ergonomis dengan antropometri menggunakan material komposit laminasi.
2. Mengetahui cara pengujian tarik.
3. Mengetahui gaya yang bekerja pada *steering wheel*.
4. Mengetahui kekuatan material komposit laminasi dengan variasi material *fiberglass* yang berbeda.

1.6 Sistematika Penulisan

Penyusunan laporan penelitian tugas akhir ini disusun dari beberapa bab dan subbab. Penulisan laporan akhir ini disusun menjadi lima bab, yaitu

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang dilakukan oleh peneliti. Selain itu, pada bab ini juga menjelaskan rumusan masalah, tujuan, dan manfaat dari penelitian ini

BAB 2 KAJIAN PUSTAKA

Bagian ini adalah bagian yang menjadi dasar teori dilakukannya penelitian. Seluruh teori atau materi penelitian dituliskan dan dijelaskan pada bab ini.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Alur urutan penelitian dibahas di dalam bagian ini. Bagaimana proses perancangan, pembuatan dan observasi mengenai topik penelitian dijelaskan di dalam bab 3.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dijelaskan tentang hasil dan pembahasan penelitian dan perancangan yang telah dilakukan oleh peneliti.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian ini berisi kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk penelitian selanjutnya.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Mobil adalah kendaraan beroda empat yang di dalamnya terdapat beberapa komponen dan sistem penyusunnya. Salah satu sistem penyusun yang ada pada mobil adalah sistem kemudi. Sistem kemudi memiliki peran penting dalam kendaraan, yaitu sebagai sistem yang mengendalikan suatu kendaraan untuk berbelok atau bermanuver sesuai keinginan pengemudi (Hery S, 2006).

Roda depan mobil dapat dibelokkan karena adanya gaya dari tangan pengemudi yang menyebabkan gaya torsi pada roda kemudi. Gaya torsi tersebut dapat dianalisis dengan mempertimbangkan berat mobil bagian depan, lebar telapak ban, jarak setengah lebar telapak ban ke sumbu *kingpin* dan koefisien gesek statis (Fenton, Sc, Eng, & Mech, n.d.).

Dewasa ini, pemanfaatan teknologi *rapid prototyping* yang menggunakan mesin *3D printing* telah tersebar ke berbagai bidang, salah satunya bidang otomotif. Penelitian Andry Saputra, Sudiro, & Ramelan (2019) yang membahas tentang implementasi mesin *3D printing* untuk pembuatan produk di bidang otomotif. Selain itu, penelitian yang dilakukan Ferdinand & Rozi (2020) membahas tentang eksplorasi mesin *3D Printing* untuk membuat produk di bidang otomotif, yaitu produk *cover body* motor.

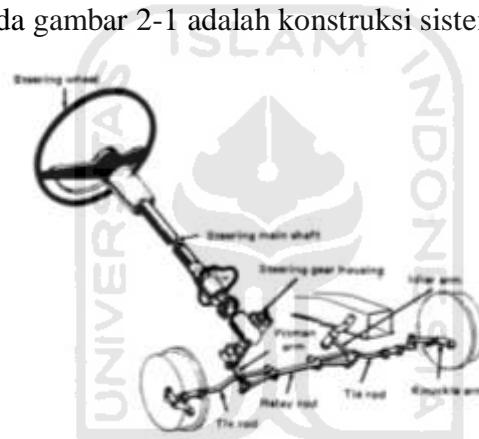
Material yang digunakan adalah *Polylactic Acid* (PLA) karena memiliki kekuatan tarik yang lebih besar daripada ABS. Pemilihan *Polylactic Acid* sebagai material yang akan digunakan karena kekuatan tarik dari material *Polylactid Acid* sebesar 14.97 N/mm^2 (Lubis & Sutanto, 2016).

Produk dengan material penggabungan dua material yang berbeda disebut dengan metode laminasi komposit. Metode tersebut adalah melakukan laminasi terhadap material filamen *Polylactic Acid* (PLA) dengan serat gelas. Contoh produk yang menggunakan metode laminasi komposit adalah produk velg roda mobil berskala mikro. Penentuan komposisi resin, katalis dan serat gelas juga akan mempengaruhi kekuatan tarik dari material tersebut (Sandi, 2019).

2.2 Sistem Kemudi

Sistem kemudi adalah salah satu sistem penyusun sebuah kendaraan dimana sistem tersebut berperan penting untuk mengendalikan kendaraan. Kendaraan membutuhkan mekanisme sistem kemudi agar pengemudi dapat mengontrol roda depan kendaraan agar arah kendaraan melaju sesuai yang diinginkan oleh pengemudi.

Cara kerja mekanisme sistem kemudi adalah gaya yang diberikan oleh tangan akan mengakibatkan gaya torsi pada roda kemudi atau *steering wheel*. Kemudian gaya torsi tersebut diteruskan oleh *steering column* yang terhubung ke *steering gear*. Kemudian *steering gear* tersebut meneruskan gaya torsi dari *steering column* ke roda untuk membelokkan roda ke kanan atau ke kiri (Kurnia Dwi et al., 2017). Pada gambar 2-1 adalah konstruksi sistem kemudi mobil.



Gambar 2- 1 Sistem kemudi

Sumber: (Training Section, n.d.)

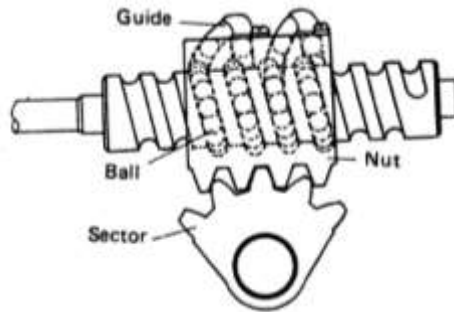
2.2.1 Macam - Macam Sistem Kemudi

Dalam pengaplikasiannya, sistem kemudi yang digunakan pada mobil yang beredar di masyarakat ada dua macam sistem kemudi. Kedua macam sistem kemudi tersebut digolongkan untuk mempermudah penggunaannya dan mengoptimalkan mekanisme sistem kemudi suatu kendaraan.

1. *Recirculating Ball*

Sistem kemudi *recirculating ball* ini biasanya diterapkan untuk kendaraan berskala besar karena untuk membelokkan roda depan dari kendaraan besar ini membutuhkan tenaga yang besar. Selain itu, putaran yang dibutuhkan untuk

memutar roda kemudi memiliki rasio yang besar. Contoh penerapannya ada pada truk pengangkut barang dan bus penumpang.(Kurnia Dwi et al., 2017). Gambar 2-2 adalah konstruksi sistem kemudi *recirculating ball*.

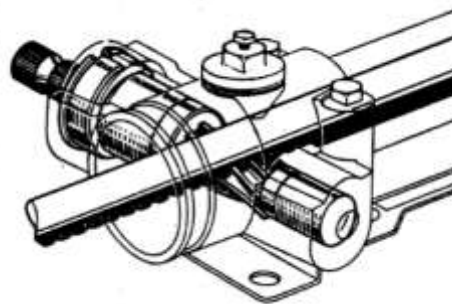


Gambar 2- 2 Konstruksi *recirculating ball*

Sumber: (Training Section, n.d.)

2. *Rack and Pinion*

Rack and Pinion adalah jenis sistem kemudi yang diaplikasikan pada kendaraan berskala kecil. Contohnya adalah mobil penumpang. Penggunaan sistem *rack and pinion* untuk kendaraan berskala kecil karena sistem kemudi ini tidak mampu menahan beban yang besar. Namun, respon dari sistem ini dalam membelokkan roda sangatlah tinggi. Sehingga rasio yang dimiliki oleh sistem kemudi *rack and pinion* sangat kecil atau terbatas (Kurnia Dwi et al., 2017). Konstruksi sistem kemudi *rack and pinion* ditunjukkan pada gambar 2-3.



Gambar 2- 3 Konstruksi *rack and pinion*

Sumber: (Training Section, n.d.)

Sistem kemudi pada kendaraan memiliki empat komponen penting. Keempat komponen tersebut memiliki fungsi untuk meneruskan gaya yang

diberikan oleh tangan pengemudi untuk membelokkan roda depan kendaraan. Keempat komponen tersebut adalah sebagai berikut.

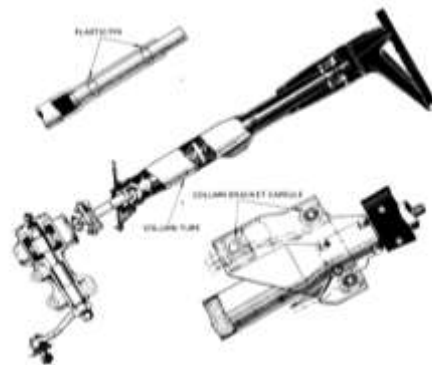
2.2.2 Roda Kemudi (*Steering Wheel*)

Steering wheel atau roda kemudi adalah salah satu bagian yang terdapat pada sistem kemudi pada suatu kendaraan yang berhubungan langsung dengan pengemudi. *Steering wheel* secara umum berbentuk lingkaran yang memiliki ergonomis sesuai dengan pengemudi. Hal ini mempermudah pengemudi untuk memutar *steering wheel* dan meningkatkan kenyamanan ketika mengendarai kendaraan (Fajar, 2015).

Gaya tangan yang diberikan oleh pengemudi akan memutar *steering wheel*. Sehingga mengakibatkan gaya torsi pada *steering wheel*. Gaya torsi tersebut ditransmisikan ke komponen lain sehingga roda dapat berbelok ke kanan atau ke kiri untuk bermanuver (Kurnia Dwi et al., 2017).

2.2.3 *Steering Column*

Steering column merupakan bagian dari sistem kemudi yang memiliki peran untuk meneruskan gaya torsi dari *steering wheel* ke *steering gear*. *Steering column* terbagi menjadi dua bagian, yaitu *main shaft* dan *intermediate shaft*. Komponen *main shaft* terhubung langsung ke *steering wheel*. Kemudian *intermediate shaft* berfungsi untuk menghubungkan *steering column* ke *steering gear*. Sehingga *steering gear* akan bergerak secara linier (Fajar, 2015). Gambar 2-4 adalah gambar konstruksi *steering column*.

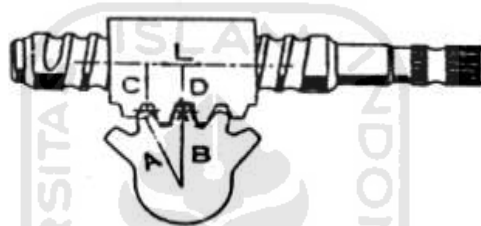


Gambar 2- 4 Jenis *steering column*

Sumber: (Training Section, n.d.)

2.2.4 *Steering Gear*

Bagian ini memiliki fungsi sebagai penerima gaya yang diberikan oleh *steering column* untuk mengubah gerak melingkar karena gaya torsi menjadi gerak linier. Gerak linier tersebut kemudian menggerakkan *steering linkage* untuk membelokkan roda depan kendaraan. Dalam waktu yang bersamaan, *steering gear* memiliki fungsi untuk memperbesar momen agar *steering wheel* menjadi ringan ketika diputar oleh pengemudi. Rasio untuk memperbesar momen atau putaran pada *steering gear* memiliki variasi yang bermacam – macam. Semakin besar rasionya maka usaha untuk memutar *steering wheel* semakin ringan, tetapi membutuhkan banyak putaran agar roda depan kendaraan dapat berbelok (Fajar, 2015). Gambar 2-5 adalah gambar *steering gear*.



Gambar 2- 5 Konstruksi *steering gear*

Sumber: (Training Section, n.d.)

2.2.5 *Steering Linkage*

Bagian terakhir yang berfungsi untuk meneruskan gaya dari sistem kemudi ke roda depan untuk membelokkan kendaraan adalah *steering linkage*. Komponen penyusun dari *steering linkage* berupa *rod* dan *arm*. Fungsi dari *arm* adalah sebagai lengan yang terhubung langsung ke *steering column* untuk meneruskan gaya ke roda. Penghubung *steering column* dengan *steering gear* dihubungkan oleh *ball joint* agar ketika kendaraan bermanuver di medan yang tidak rata atau naik turun tetap dapat digerakkan. Sedangkan *rod* berfungsi sebagai penghubung roda kanan dan kiri bagian depan agar dapat bergerak secara bersamaan ketika dibelokkan (Fajar, 2015).

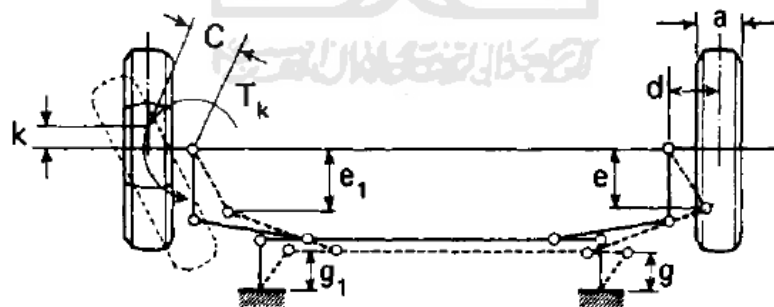


Gambar 2- 6 Macam - macam *steering linkage*

Sumber: (Fajar, 2015)

2.3 Perhitungan Gaya pada *Steering Wheel*

Gaya yang digunakan untuk memutar *steering wheel* berupa gaya yang diberikan tangan yang menyebabkan gaya torsi pada *steering wheel*, sehingga *steering wheel* dapat berputar. Untuk menghitung torsi dari *steering wheel* membutuhkan berat kendaraan bagian depan, lebar telapak ban, jarak dari setengah lebar telapak ban ke sumbu *kingpin*, dan koefisien gesek ketika kendaraan dalam keadaan statis atau diam sebesar 0.75 (Fenton et al., n.d.). Jarak dari setengah lebar telapak ban ke sumbu *kingpin* ditunjukkan pada gambar 2-7.



Gambar 2- 7 Jarak a dan d pada roda

Sumber: (Fenton et al., n.d.)

Berikut adalah rumus perhitungan yang digunakan untuk mencari torsi *steering wheel*.

$$\tau = \mu_s \cdot w_f \cdot \sqrt{\frac{a^2}{8} + d^2}$$

Keterangan:

τ = Momen *steering wheel* (Nm)

μ_s = Konstanta gesek statis

w_f = Berat mobil bagian depan (N)

d^2 = Lebar telapak ban (m)

a^2 = Jarak sumbu *kingpin* terhadap setengah lebar telapak roda (m)

$$w_f = \left(\frac{w_{total} \times \text{Weight Distribution}}{2} \right) \times 9.81 \text{ m/s}^2$$

Keterangan:

w_f = Berat mobil bagian depan (Kg)

w_{total} = Berat total mobil (N)

Weight Distribution = Pendistribusian berat mobil bagian depan dan belakang. Secara umum, biasanya pendistribusian berat mobil bagian depan dan belakang adalah 40% dan 60%

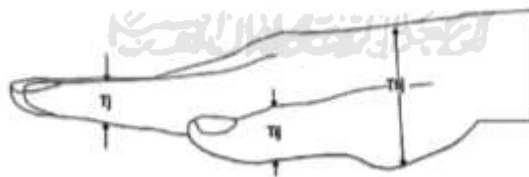
2.4 Ergonomi

Asal kata ergonomi berasal dari Bahasa Yunani, yang terdiri dari kata *Ergo* yang memiliki arti Kerja dan *Nomos* yang berarti aturan, tata cara, atau hukum. Dalam Bahasa Inggris, ergonomi disebut dengan *ergonomic*. Pada pengaplikasiannya, ergonomi memiliki bermacam – macam batasan arti. Di Indonesia, ergonomi telah ada sejak tahun enam puluhan. Namun, penerapan ergonomi di Indonesia masih jauh dari harapan. Secara sederhana, definisi dari ergonomi adalah suatu ilmu yang diterapkan dalam kehidupan sehari – hari yang berguna untuk menyelaraskan antara semua fasilitas yang digunakan untuk beraktivitas maupun istirahat dengan batasan kemampuan fisik dan mental manusia agar mencapai produktivitas yang efektif dan efisien seoptimal mungkin (Tarwaka, HA. Bakri, & Sudiajeng, 2004).

2.4.1 Antropometri

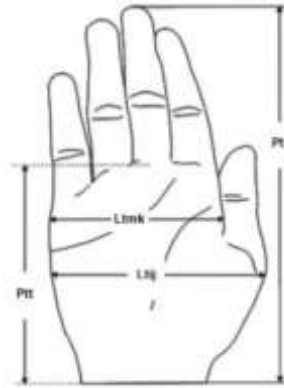
Istilah antropometri berasal dari Bahasa Yunani yang terdiri dari *Antro* yang memiliki arti manusia dan *Metri* yang berarti ukuran. Definisi dari antropometri adalah suatu ilmu tentang pengukuran tubuh manusia yang secara spesifik menghitung ukuran dimensi tubuh manusia. Dalam pembuatan desain produk yang berkaitan dengan tubuh manusia, data dari antropometri sangat dibutuhkan sebagai bahan pertimbangan dalam proses desain produk agar menghasilkan produktivitas yang efektif dan efisien dalam penggunaannya (Suhardi, 2008).

Desain produk *steering wheel* menggunakan antropometri ukuran tubuh orang Indonesia pada penelitian yang dilakukan oleh Purnomo (2014). Dalam perancangan dengan antropometri menggunakan persentil 5, 50 dan 95. Penggunaan persentil 50 pada perancangan *steering wheel* karena agar pengemudi yang mempunyai ukuran tubuh kecil dan ukuran tubuh besar dapat dengan nyaman menggunakan dan menggenggam *steering wheel*. Biasanya persentil 50 ini digunakan untuk perancangan yang rata – rata digunakan untuk khalayak umum, contohnya *steering wheel* (Bagus, Yogasara, & Wulansatya, 2004). Pada tabel 2-1 adalah data antropometri yang akan digunakan untuk mendesain handgrip pada *steering wheel*.



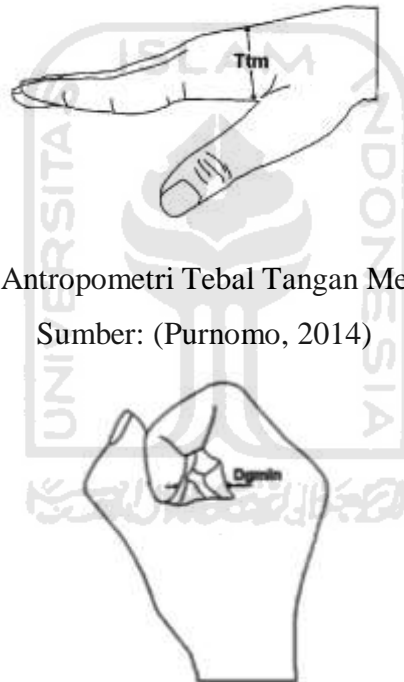
Gambar 2- 8 Antropometri Tebal Tangan Ibu Jari (Ttj)

Sumber: (Purnomo, 2014)



Gambar 2- 9 Antropometri Lebar Tangan Metakarpal (Ltmk)

Sumber: (Purnomo, 2014)



Gambar 2- 10 Antropometri Tebal Tangan Metakarpal (Ttm)

Sumber: (Purnomo, 2014)

Gambar 2- 11 Antropometri Diameter Genggam Minimal (Dgmin)

Sumber: (Purnomo, 2014)

Tabel 2- 1 Data antropometri

Sumber: (Purnomo, 2014)

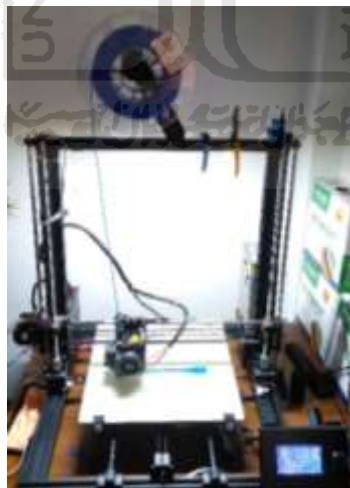
	Persentil 50 (mm)
Lebar Tangan Metakarpal (Ltmk)	81.4
Tebal Tangan Metakarpal (Ttm)	33.6
Tebat Tangan Ibu Jari (Ttij)	47.1

Diameter Genggam Minimal (Dgmin)	24.9
----------------------------------	------

2.5 Mesin 3D Printing

Teknologi mesin *3D Printing* merupakan salah satu teknologi *rapid prototyping*. Menurut Bourell dalam (Rinanto & Sutopo, 2017), teknologi *rapid prototyping* adalah suatu proses dalam membentuk produk dengan teknik pencetakannya tersusun dari *layer by layer*. Maksud dari *layer by layer* adalah pembentukan produknya berawal dari layer pertama dengan ketinggian atau ketebalan tertentu yang tersusun secara vertikal hingga layer terakhir dari ketinggian atau ketebalan produk. Dari tersusunnya layer per layer tersebut kemudian akan membentuk suatu produk yang akan dicetak. Proses pencetakannya tersebut terintegrasi dengan bantuan komputer. Gambar 2-12 adalah mesin *3D Printing*.

Dalam pengaplikasiannya, mesin *3D Printing* telah banyak digunakan oleh berbagai perusahaan. Tersedianya material yang awet dan tahan lama serta dalam proses pencetakannya sangat mudah dibentuk. Maka saat ini mesin *3D Printing* telah banyak digunakan di berbagai bidang, tidak hanya di bidang teknik saja (Arthaya, 2015).



Gambar 2- 12 Mesin *3D Printing*

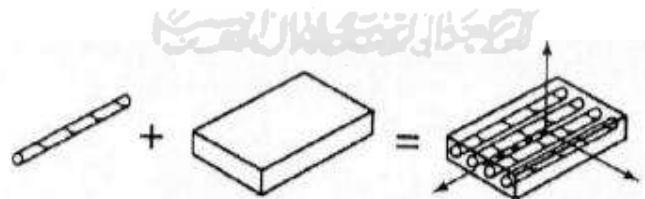
2.5.1 Material Filamen *Polylactic Acid* (PLA)

Polylactic Acid adalah material *polyester* yang berasal dari sumber daya alam berupa jagung, tapioka, kentang, tepung kanji dan tebu. Material *Polylactic*

Acid (PLA) adalah material *thermoplastic* yang ramah lingkungan. Karena material ini dapat dengan mudah terurai oleh tanah, mikroorganisme maupun oleh cuaca. Material *Polylactic Acid* (PLA) memiliki keunggulan seperti sifat mekanik dengan kekuatan material yang cukup tinggi, strukturnya padat, material mudah dibentuk dengan mesin *3D Printing*, bahan penyusunnya merupakan bahan yang ramah lingkungan dan dapat dibentuk dengan suhu yang tinggi. Namun, material *Polylactic Acid* juga memiliki kekurangan, yaitu memiliki elongation dibawah 10%, tidak dapat dijadikan sebagai bungkus makanan (FN Hutajulu, 2017).

2.6 Komposit

Komposit merupakan perkembangan dalam ilmu pengetahuan material. Definisi teknologi komposit adalah rekayasa perkembangan bahan material baru yang penyusunnya adalah penggabungan dua material berbeda yang memiliki sifat mekanik, dua material yang digabungkan yaitu matriks dan *reinforcement*. Tujuan penggabungan dua material menjadi satu adalah agar menghasilkan bahan material baru yang memiliki sifat mekanik maupun sifat kimia lebih baik dari material penyusunnya. Penambahan *wetting agent* dilakukan agar mengikat dua material menjadi kuat (Nayiroh, 2013). Pada gambar 2-13 adalah ilustrasi penggabungan dua material menjadi material komposit.



Gambar 2- 13 Ilustrasi penggabungan dua material menjadi komposit

Sumber: (Wibowo & dkk, 2014)

2.6.1 Matriks

Menurut Triyono dan Diharjo dalam (Adi Ermawan, 2018), matriks adalah material dominan dalam penyusunan komposit. Sifat mekanik matrik pada dasarnya memiliki keelastisan yang lebih tinggi tetapi memiliki kekuatan yang lebih rendah dari *reinforcement*. Matriks dalam komposit memiliki peran agar

material komposit dapat mempertahankan bentuknya ketika diberikan gaya. Selain itu, matriks harus mampu meneruskan gaya ke *reinforcement*.

Matriks memiliki berbagai macam jenisnya, salah satunya adalah matriks polimer. Matriks ini biasa disebut dengan resin, jenis matriks polimer terbagi menjadi dua sifat, yaitu *thermoplastic* dan *thermoset* (Nayiroh, 2013).

1. *Thermoplastic*

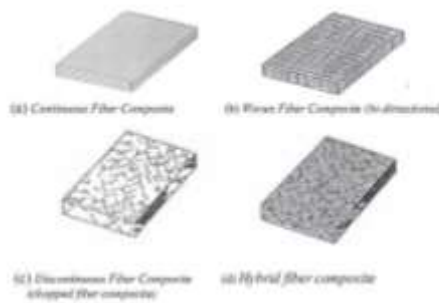
Polimer jenis *thermoplastic* adalah polimer yang dapat mengikuti perubahan suhu. Jika *thermoplastic* didinginkan maka polimer tersebut akan membeku dan jika polimer setelah membeku kemudian dipanaskan kembali maka polimer akan menjadi bentuk cair mengikuti perubahan suhunya. Secara sederhana, perubahan bentuk yang mengikuti suhu dan dapat kembali ke bentuk semula disebut *reversible* (Nayiroh, 2013).

2. *Thermoset*

Polimer jenis ini memiliki sifat kebalikannya dari *thermoplastic*, yaitu ketika polimer sudah didinginkan menjadi membeku tidak dapat kembali ke bentuk semula (cair). Namun, ketika dipanaskan dengan perubahan suhu yang drastis, polimer ini akan hangus dan menjadi arang (Nayiroh, 2013).

2.6.2 Reinforcement

Material penyusun komposit selain matriks adalah *reinforcement*. Material ini biasa disebut dengan *filler* atau *fiber*. Material ini memiliki peranan penting dalam komposit yaitu menentukan sifat pada material komposit, seperti kaku, kuat, getas dan sifat yang lainnya. Selain itu, peran penting *reinforcement* dalam komposit adalah *reinforcement* harus mampu mendistribusikan beban ke seluruh permukaan material komposit. Oleh karena itu, *reinforcement* harus memiliki bentuk seperti serat – serat yang disusun seperti susunan tegak lurus, anyaman, maupun acak. Perbandingan komposisi matriks dan *reinforcement* yang optimal juga dapat mempengaruhi material komposit untuk menahan beban yang diterima. Pada gambar di bawah ini adalah jenis – jenis *reinforcement* berdasarkan penempatan penyusunan seratnya. (Adi Ermawan, 2018). Gambar 2-14 adalah ilustrasi penempatan posisi serat.

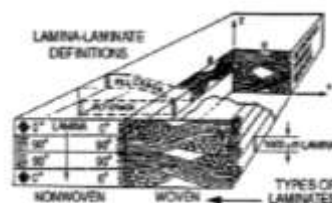


Gambar 2- 14 Penempatan posisi serat

Sumber: (Nayiroh, 2013)

2.7 Laminasi

Proses pembentukan dua material atau lebih dengan sifat yang berbeda dan arah serat tertentu menjadi satu bentuk kesatuan material baru disebut dengan proses laminasi. Dalam penyusunan laminasi, susunan struktur dengan arah serat yang sama (*unidirectional lamina*) tidak menghasilkan kekuatan material atau sifat mekanik maupun sifat kimia komposit yang optimal. Oleh karena itu, agar membentuk material komposit laminasi yang memiliki sifat mekanik atau sifat kimia yang optimal penyusunan seratnya harus berbeda. Sebagai contoh, jika akan melakukan laminasi dengan dua material serat gelas, maka lapisan yang pertama dengan arah 0° dan lapisan yang kedua dengan arah serat 90° . Sehingga akan menghasilkan material lamina yang memiliki sifat mekanik dan sifat kimia yang optimal. Contoh material komposit lamina adalah *plywood* atau biasa disebut dengan triplek. Pada gambar 2-15 adalah ilustrasi struktur laminasi dalam material komposit lamina (Nayiroh, 2013).



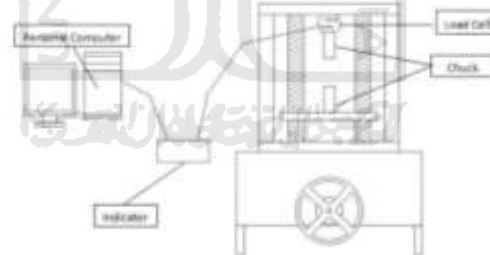
Gambar 2- 15 Struktur mikroskopik material komposit laminasi

Sumber: (Nayiroh, 2013)

2.8 Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah pengujian yang dilakukan ke material yang berupa gaya dengan arah vertikal. Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik material yang berupa tegangan maksimal, regangan dan modulus young. Cara kerja dari pengujian tarik adalah memberikan gaya vertikal dari kedua pencekam secara terus menerus sehingga material mengalami perubahan panjang sampai material tersebut putus (Salindeho et al., n.d.).

Pada gambar 2-16 adalah komponen utama pada mesin uji tarik. Komponen yang terdapat pada mesin uji tarik adalah komputer, *load cell*, *chuck*, *indicator*. Ketika melakukan pengujian tarik, spesimen uji diletakkan pada *chuck* dengan cara menghimpit spesimen uji ke bagian *chuck*. Setelah itu *moving crosshead* akan bergerak ke atas dan ke bawah untuk menarik *chuck* hingga spesimen uji mengalami deformasi atau patah. Besarnya gaya yang diberikan ke spesimen uji seluruhnya akan dicatat oleh *load cell* dan perubahan panjang pada spesimen dicatat oleh *extensometer*. Setelah itu, fenomena ketika spesimen uji yang ditarik oleh *moving crosshead* akan digambar oleh komputer berupa grafik tegangan – regangan yang diteruskan dari *indicator* (Budiman, 2016).

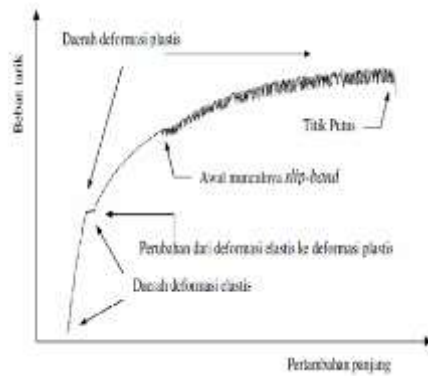


Gambar 2- 16 Komponen pada mesin uji tarik

Sumber: (Budiman, 2016)

2.9 Grafik Tegangan - Regangan

Sifat mekanik suatu material dapat dilihat dari grafik tegangan – regangan. Grafik tegangan – regangan diperoleh dari pengujian material, yaitu pengujian tarik. Pada gambar di bawah ini adalah karakteristik material yang dapat dibaca dari grafik tegangan – regangan (Sastranegara, 2009). Grafik tegangan-regangan ditunjukkan pada gambar 2-17.



Gambar 2- 17 Grafik tegangan – regangan

Sumber: (Mahmud, 2016)

1. Daerah deformasi elastis

Suatu material dapat diketahui seberapa besar gaya yang diterima ketika kondisi elastis. Yang artinya, ketika material tersebut diberikan gaya atau beban kemudian beban tersebut dihilangkan, maka material tersebut akan kembali ke bentuk semula meskipun mengalami perubahan panjang ketika dikenakan beban.

2. Daerah deformasi plastis

Deformasi plastis pada suatu bahan dapat dilihat ketika grafik mulai menaik hingga grafik yang menunjukkan bahwa material tersebut patah.

3. Titik luluh

Titik luluh pada grafik tegangan – regangan biasanya disebut dengan tegangan luluh. Maksud dari tegangan luluh yaitu titik batas dimana material tersebut akan mengalami peralihan dari daerah elastis menjadi daerah plastis. Tegangan luluh dalam grafik tegangan – regangan biasanya dihitung dari 0.2% dari garis koordinat regangan atau garis pertambahan panjang.

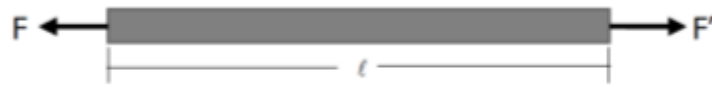
4. Tegangan Maksimal

Suatu material dapat menahan beban tertinggi atau maksimum dapat diketahui dengan grafik tegangan – regangan, yaitu pada grafik puncak. Dimana ketika material melewati grafik tersebut kemudian material akan patah saat grafik mengalami tren menurun.

2.9.1 Tegangan Tarik

Tegangan tarik adalah tegangan yang disebabkan oleh gaya aksial. Gaya aksial adalah gaya yang tegak lurus dengan bidang kontakannya. Tegangan tarik

merupakan besarnya gaya atau beban yang dapat ditahan atau diterima oleh material per satuan luas. Pada gambar 2-18 menjelaskan bagaimana gaya aksial bekerja pada material yang mengakibatkan tegangan tarik.



Gambar 2- 18 Gaya aksial yang menyebabkan tegangan tarik

Sumber: (Souisa, 2011)

Penjelasan dari gambar diatas dapat disederhanakan menjadi suatu rumus persamaan. Rumus persamaan tegangan adalah sebagai berikut.

$$\text{Tegangan } (\sigma) = \frac{F}{A}$$

Keterangan:

σ = Tegangan suatu material. (N/mm²)

F = Gaya aksial yang diberikan ke suatu material yang arahnya tegak lurus. (N)

A = Luas permukaan yang menerima gaya atau beban. (mm²)

2.9.2 Regangan

Regangan adalah perbandingan antara panjang material mula – mula dengan pertambahan panjang material ketika dikenai gaya. Menurut Kane dan Sternheim dalam (Souisa, 2011), regangan dibedakan menjadi tiga, yaitu regangan tarik, regangan kompresi atau tekan, dan regangan geser. Pada gambar 2-19 adalah regangan yang terjadi pada material akibat gaya aksial.



Gambar 2- 19 Perubahan panjang material ketika dikenai gaya

Sumber: (Souisa, 2011)

Dalam persamaan matematika, hubungan dari perubahan panjang suatu material akibat diberikan gaya aksial dapat ditulis sebagai berikut.

$$\text{Regangan } (\varepsilon) = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Keterangan:

ε = Regangan Material

Δl = Pertambahan panjang material ketika diberikan gaya atau beban. (mm)

l_0 = Panjang material mula – mula sebelum diberikan gaya atau beban. (mm)

2.9.3 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas memiliki hubungan tegangan dan regangan. Jika suatu material memiliki deformasi elastis, maka dapat dipastikan material tersebut memiliki modulus elastisitas. Secara sederhana, modulus elastis adalah kemampuan material untuk menahan perubahan bentuknya agar kembali ke bentuk semula. Hubungan tegangan – regangan mengikuti hukum hooke untuk elastis. Berikut adalah persamaan rumus modulus elastis.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Keterangan:

E = Modulus Elastisitas (MPa)

σ = Tegangan (MPa)

ε = Regangan

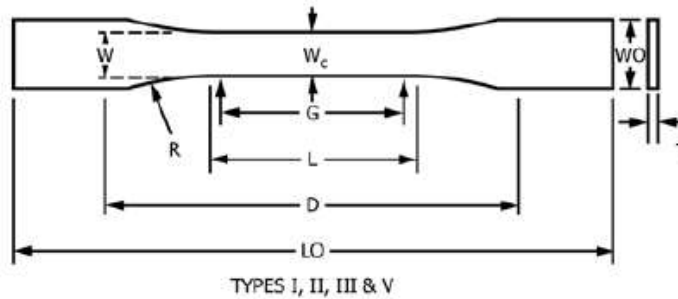
2.9.4 Pengujian Tarik ASTM D-638

Pengujian tarik standar ASTM D-638 adalah metode pengujian tarik material plastik yang diperkuat oleh serat maupun tidak diperkuat. Pengujian ASTM D-638 ini dapat diaplikasikan pada material plastik yang memiliki ketebalan hingga 14 mm atau 0.55 inchi. Pembuatan spesimen uji pengujian tarik ASTM D-638 memiliki dimensi seperti pada gambar.

Tabel 2- 2 Dimensi spesimen uji tarik ASTM D-638

Sumber: (Testing, 2015)

Dimensions (see drawings)	Specimen Dimensions for Thickness, T , mm (in.) ^a					Tolerances
	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl		4 (0.16) or under	
	Type I	Type II	Type III	Type IV ^b	Type V ^{c,d}	
W —Width of narrow section ^{e,f}	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	± 0.5 (± 0.02) ^{g,h}
L —Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	± 0.5 (± 0.02) ^g
WO —Width overall, min ^h	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.15)	19 (0.75)	—	+ 6.4 (+ 0.25)
WO —Width overall, min ^h	—	—	—	—	9.53 (0.375)	+ 3.18 (+ 0.125)
LO —Length overall, min ^h	185 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	no max (no max)
G —Gage length ⁱ	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	—	7.62 (0.300)	± 0.25 (± 0.010) ^g
G —Gage length ⁱ	—	—	—	25 (1.00)	—	± 0.13 (± 0.005)
D —Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5) ^j	25.4 (1.0)	± 5 (± 0.2)
R —Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	± 1 (± 0.04) ^g
RO —Outer radius (Type IV)	—	—	—	25 (1.00)	—	± 1 (± 0.04)

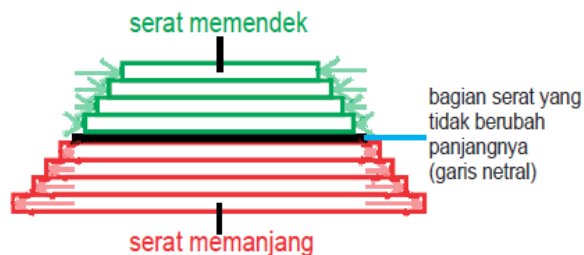


Gambar 2- 20 Keterangan dimensi spesimen uji tarik ASTM D-638

Sumber: (Testing, 2015)

2.10 Hubungan Pengujian Tarik dengan Produk *Steerig Wheel*

Dalam penggunaan *steering wheel* untuk membelokkan roda mobil mendapat momen gaya dari tangan. Momen gaya yang terjadi pada *steering wheel* memiliki beberapa gaya yang terjadi, yaitu gaya tarik dan gaya tekan. Jika *steering wheel* diputar ke arah kanan, maka bagian atas dari garis netral akan memendek atau dikenai gaya tekan, sedangkan bagian bawah dari garis netral akan memanjang atau dikenai gaya tarik. Garis netral merupakan bagian yang relatif sama dan tidak mengalami perubahan ketika mendapat momen gaya (Suparman, 2000). Pada gambar 2-21 adalah ilustrasi bagian *steering wheel* ketika diputar yang memiliki momen gaya.



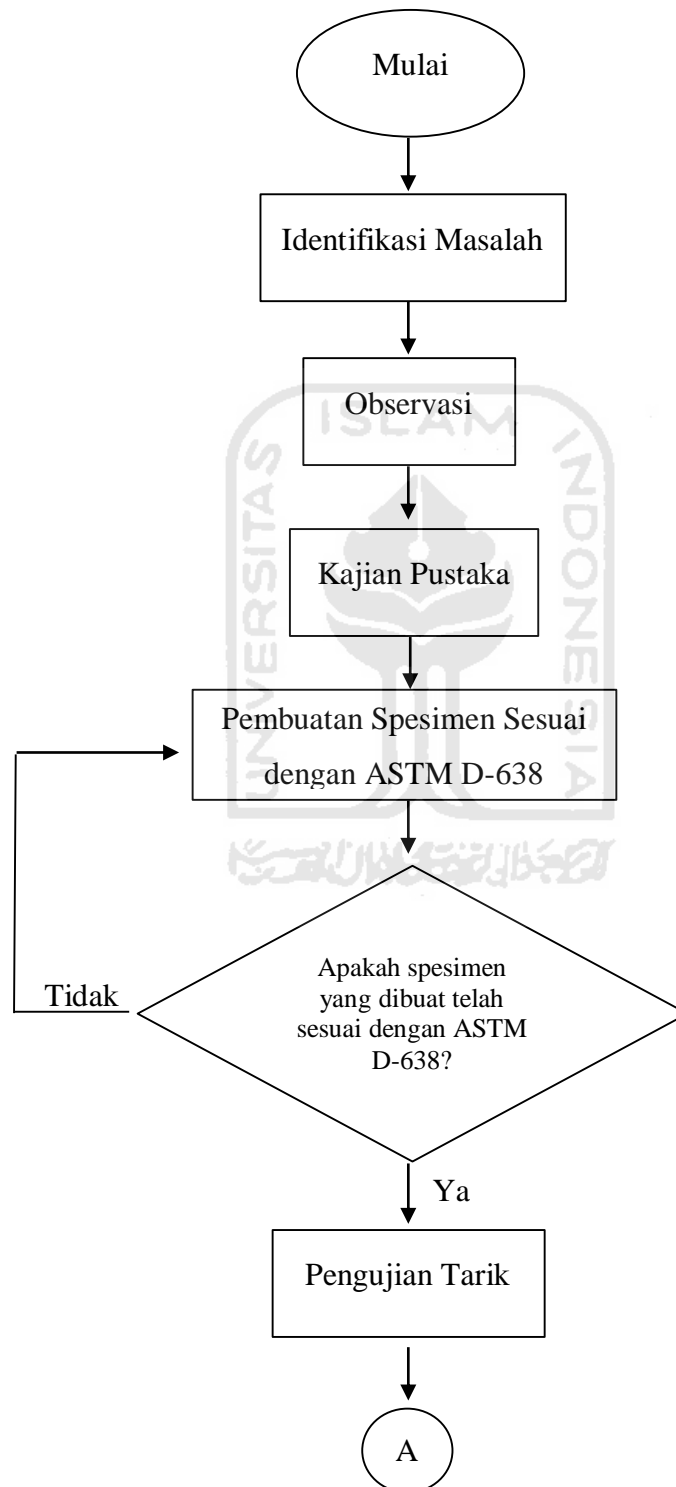
Gambar 2- 21 Ilustrasi gaya yang pada momen gaya

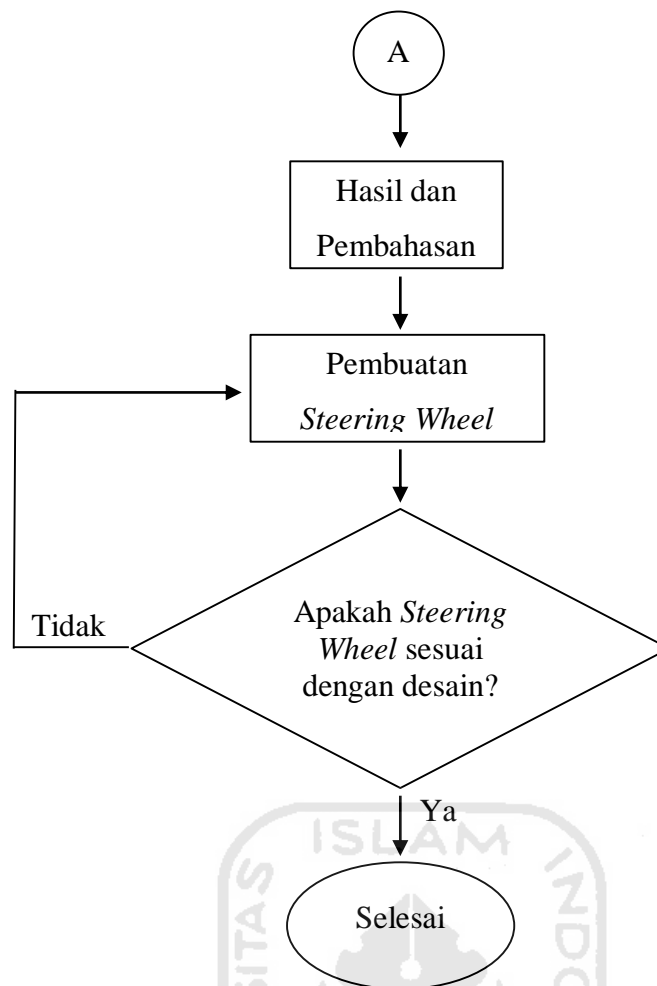
Sumber: (Suparman, 2000)

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian




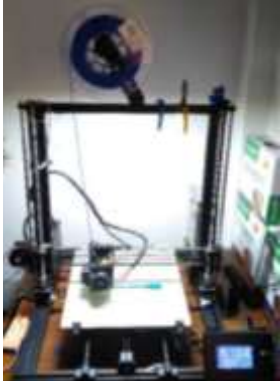


3.2 Peralatan dan Bahan

Tabel 3- 1 Alat dan Bahan

No	Alat dan Bahan	Foto Alat dan Bahan	Kegunaan
1	Filamen PLA		Sebagai material penyusun core produk <i>steering wheel</i>
2	<i>Fiberglass</i>	<ul style="list-style-type: none"> <i>Fiberglass</i> Acak (CRM) 	Sebagai material laminasi 3D Print

		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Fiberglass Anyam (WRM)</i>  <ul style="list-style-type: none"> • <i>Tissue Matt</i> 	
3	Resin		Sebagai matriks / pengikat <i>fiberglass</i> agar menjadi kaku.
4	Katalis		Sebagai campuran resin agar menjadi cepat kering / mempercepat proses reaksi.
5	<i>Wax Release</i>		Sebagai <i>release agent</i> untuk mencegah produk menempel pada permukaan lain dan mempermudah pelepasan produk dari cetakan.
6	Kuas		Sebagai media untuk meratakan resin ke <i>fiberglass</i>

			
7	Mesin 3D Printing		Digunakan untuk membuat produk dan spesimen dengan material filamen PLA

3.3 Pembuatan Material Laminasi dan Pengambilan Data

Proses pengambilan data ini adalah mencatat ketebalan *fiberglass* dan resin sebagai material laminasi. Proses pembuatan material laminasi dengan cara mencampur resin dan katalis. Menurut penelitian Sandi (2019) komposisi resin dan katalis yang optimal untuk *fiberglass* dengan dimensi 185 mm x 185 mm yaitu sebesar 30 ml dan 0.3 mm atau 1% dari volume resin. Sedangkan untuk penyusun *fiberglass* yaitu *fiberglass Chopped Strand Mat* (CRM) atau serat gelas acak, *fiberglass Woven Roving Mat* (WRM) atau serat gelas anyam dan *tissue matt*. Setelah resin dan katalis tercampur rata, gunakan kuas untuk meratakan resin ke *fiberglass* yang sudah digelar dan disiapkan di atas bidang datar (bidang datar yang digunakan adalah lantai rumah). Kemudian agar mengering secara sempurna, didiamkan minimal 8 jam atau seharian selama 12 jam. Setelah mengering, *fiberglass* diangkat atau dilepaskan dari lantai, lalu diukur ketebalannya menggunakan jangka sorong. Pada tabel 3-2 adalah hasil pengukuran material laminasi. Pengulangan sebanyak 3 kali untuk membuat material laminasi. Pengulangan tersebut digunakan untuk mendapat rata – rata ketebalan laminasi. Tabel 3-2 adalah data hasil pengukuran ketebalan.

Tabel 3- 2 Hasil percobaan mencari ketebalan laminasi

Pengulangan ke-	<i>Fiberglass</i> Acak 1 Lapis (mm)	<i>Fiberglass</i> Anyam 1 Lapis (mm)	<i>Tissue Matt</i> 2 Lapis (mm)
1	0.46	0.52	0.42
2	0.74	0.6	0.44
3	0.7	0.62	0.46
Rata - rata	0.43	0.58	0.63

Tabel 3- 3 Komposisi resin dan katalis

Bahan	Resin (gr)	Katalis (gr)
<i>Fiberglass</i> Acak	30	0.3
<i>Fiberglass</i> Anyam	30	0.3
<i>Tissue Matt</i>	30	0.3

3.4 Proses Pembuatan Spesimen

3.4.1 Proses Desain

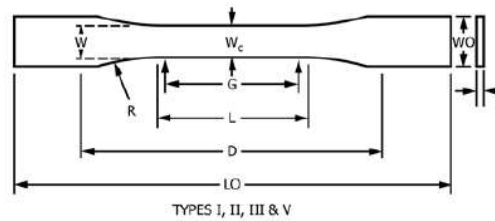
1. Menentukan tipe yang akan digunakan untuk pengujian yaitu dengan cara mengukur ketebalan produk. Produk yang akan dibuat memiliki ketebalan 5 mm. Maka tipe II yang digunakan berdasarkan tabel pada ASTM D638.

Tabel 3- 4 Dimensi spesimen uji tarik ASTM D-638

Dimensions (see drawings)	Specimen Dimensions for Thickness, <i>T</i> , mm (in.) ^a					Tolerances
	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.56), incl	4 (0.16) or under		
	Type I	Type II		Type IV ^b	Type V ^{c,d}	
<i>W</i> —Width of narrow section ^{e,f}	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	±0.5 (±0.02) ^{h,i}
<i>L</i> —Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	±0.5 (±0.02) ^h
<i>WO</i> —Width overall, min ^d	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	—	+ 6.4 (+ 0.25)
<i>WD</i> —Width overall, min ^d	—	—	—	—	9.53 (0.375)	+ 3.18 (+ 0.125)
<i>LO</i> —Length overall, min ^h	185 (6.5)	183 (7.2)	240 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	no max (no max)
<i>G</i> —Gage length ⁱ	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	—	7.62 (0.300)	±0.25 (±0.010) ^h
<i>G</i> —Gage length ⁱ	—	—	—	25 (1.00)	—	±0.13 (±0.005)
<i>D</i> —Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5) ^g	25.4 (1.0)	±5 (±0.2)
<i>R</i> —Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	±1 (±0.04) ^h
<i>RO</i> —Outer radius (Type IV)	—	—	—	25 (1.00)	—	±1 (±0.04)

2. Setiap tipe memiliki desain spesimen uji yang berbeda, untuk desain spesimen uji tipe II seperti pada gambar. Ketebalan spesimen sebesar 3.2 mm dengan toleransi 0.4 mm. Spesimen yang akan dibuat memiliki 2 bagian, yaitu

bagian *core* dan *laminata*. Ketebalan *laminata* sebesar 0.5 mm. Untuk membuat bagian *core* menggunakan 3D Print, maka ketebalan yang didesain sebesar 2.7 mm.



Gambar 3- 1 Keterangan dimensi spesimen uji ASTM D-638

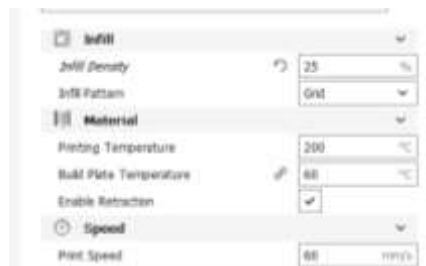
3. Hasil desain yang dibuat berdasarkan tabel ASTM D638



Gambar 3- 2 Desain spesimen uji tarik

3.4.2 Proses Mencetak Spesimen Menggunakan 3D Print

1. Eksport desain spesimen tersebut ke format .STL agar bisa dimasukkan ke dalam software Cura untuk membuat *G-Code*.
2. Menentukan parameter pada software Cura



Gambar 3- 3 Parameter yang digunakan pada mesin 3D Printing

3. Setelah menentukan parameter, klik “Prepare” yang berada di pojok kanan bawah. Tunggu hingga *G-code* yang disusun oleh Cura siap untuk di simpan.



Gambar 3- 4 Opsi *prepare* untuk menyusun *G-code*

4. Langkah selanjutnya adalah memasukkan *G-code* ke mesin *3D Printing*.
Kemudian proses mencetak spesimen uji menggunakan Aned A8.



Gambar 3- 5 Mesin *3D Printing* Aned A8

5. Hasil proses mencetak spesimen menggunakan mesin *3D Printing* dengan material PLA.



Gambar 3- 6 Hasil mencetak spesimen dengan mesin *3D Printing*

3.4.3 Proses Laminasi Spesimen Uji

1. Potong serat gelas sesuai dengan bentuk spesimen uji. Serat gelas yang digunakan adalah serat gelas anyam/WRM (*Woven Roving Mat*), serat acak/CRM (*Chopped Strand Mat*) dan *tissue mat*.



Gambar 3- 7 Potongan serat gelas

2. Siapkan spesimen uji yang telah dicetak menggunakan mesin *3D Printing*.
3. Lapisi spesimen uji *3D Print* menggunakan resin satu kali lapis.



Gambar 3- 8 Proses pelapisan dengan resin

4. Kemudian ditimpa dengan serat gelas yang telah dipotong. Tunggu sampai sedikit mengering sekitar 10 menit.
5. Setelah itu, lapisi serat gelas tersebut menggunakan resin dengan satu kali lapis.



Gambar 3- 9 Serat gelas yang telah dilapisi dengan resin

6. Diamkan hingga mengering minimal 8 jam.
7. Setelah ditunggu mengering selama 8 jam, spesimen siap untuk diuji.



Gambar 3- 10 Spesimen siap diuji

3.5 Proses Pembuatan Produk *Steering Wheel Ergonomis*

3.5.1 Proses Desain

Proses desain *steering wheel* ini mengacu pada antropometri orang Indonesia. Hal ini dikarenakan agar pengemudi mencapai titik kenyamanannya, sehingga ketika mobil dikendarai dapat menghasilkan produktivitas yang optimal. Antropometri digunakan untuk membuat desain *space* memasukkan tangan untuk menggenggam *steering wheel*. Ketebalan *steering wheel* sebesar 13 mm. Penentuan ketebalan *core* sebesar 8.2 mm karena setelah dilakukan proses pencetakan menggunakan mesin *3D Printing* produk dilaminasi menggunakan serat gelas yang memiliki ketebalan 4.8 mm, sehingga total ketebalan *steering wheel* adalah 13 mm. Pada gambar 3-11 adalah desain akhir *steering wheel*.



Gambar 3- 11 Desain akhir *steering wheel*

Kemudian, *steering wheel* diberikan *handgrip* agar ketika tangan pengemudi menggenggam dan menggunakan gaya yang besar untuk memutar, tangan tidak meleset atau tidak lepas dari *steering wheel*. Data antropometri pada 3-5 digunakan sebagai parameter untuk mendesain *handgrip*. Hasil desain *handgrip* ditunjukkan pada gambar 3-12.

Tabel 3- 5 Data antropometri jari tangan

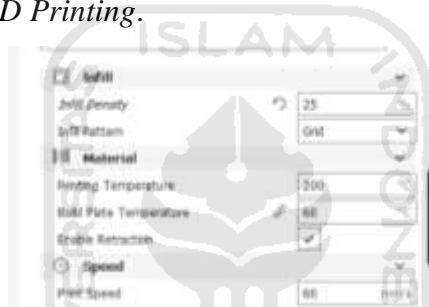
Antropometri	Persentil 50 (mm)
Lebar jari telunjuk (Ljt)	18.9
Lebar jari tengah (Ljtg)	18.8
Lebar jari manis (Ljm)	17.9
Lebar kelingking (Ljk)	15.5



Gambar 3- 12 Desain *handgrip*

3.5.2 Proses Mencetak dengan Mesin *3D Printing*

Kemudian desain tersebut diubah menjadi format .STL agar dapat dibuat *G-Code* menggunakan *software* Cura. Parameter yang digunakan untuk mencetak produk dengan mesin *3D Printing* sesuai dengan parameter ketika mencetak spesimen uji. Pada gambar 3-13 adalah parameter yang digunakan untuk mencetak produk dengan mesin *3D Printing*.



Gambar 3- 13 Parameter pada Cura

3.5.3 Proses Laminasi Pada Produk *Steering Wheel*

Setelah dicetak menggunakan mesin *3D Printing*, kemudian dilakukan laminasi menggunakan serat gelas. Langkah – langkah melakukan laminasi pada *steering wheel* adalah sebagai berikut.

1. Siapkan alat dan bahan untuk melaminasi.
2. Potong serat gelas sesuai dengan ukuran *steering wheel*.
3. Permukaan *steering wheel* dilapisi dengan campuran resin dan katalis satu lapis.
4. Kemudian lapisan resin tersebut ditumpuk dengan serat gelas yang telah dipotong.
5. Tunggu sekitar 10 menit agar serat gelas menempel terlebih dahulu.
6. Kemudian serat gelas yang telah menempel tersebut dilapisi dengan campuran resin dan katalis.

7. Tunggu resin mengering minimal 8 jam.
8. Setelah itu, dilakukan *finishing* dengan cara melapisi resin kembali untuk permukaan yang belum rata.



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perhitungan Gaya pada *Steering Wheel*

Berikut adalah hasil perhitungan gaya pada *steering wheel*. Data yang didapatkan adalah data yang digunakan untuk merancang oleh tim Ulil Albab Student Center (UASC).

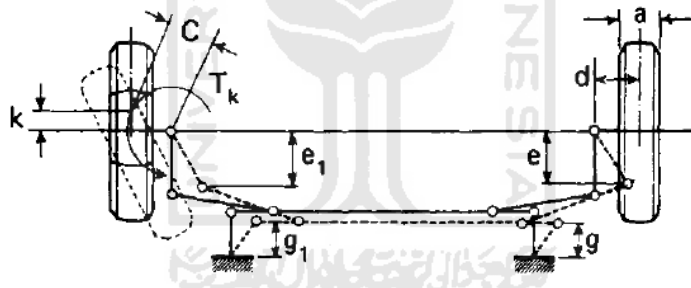
1. Mencari berat mobil bagian depan

$$w_f = \left(\frac{w_{total} \times \text{Weight Distribution}}{2} \right) \times 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$w_f = \left(\frac{206 \text{ Kg} \times 40\%}{2} \right) \times 9.81 \text{ m/s}^2$$

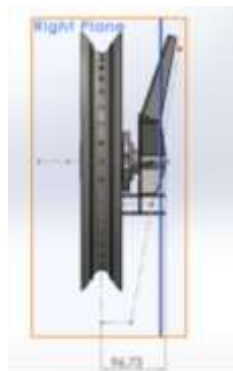
$$w_f = 404.172 \text{ N}$$

2. Mencari momen dari *steering wheel*



Gambar 4- 1 Jarak a dan d

Sumber: (Fenton et al., n.d.)



Gambar 4- 2 Jarak setengah ban ke sumbu *kingpin*

$$\tau = \mu_s \cdot W_f \cdot \sqrt{\frac{a^2}{8} + d^2}$$

Keterangan:

τ = Momen *steering wheel* (Nm)

μ_s = Konstanta gesek statis = 0.75

W_f = Berat mobil bagian depan (N)

d^2 = Lebar telapak ban (m). Menggunakan ban ukuran 80/90

a^2 = Jarak sumbu *kingpin* terhadap setengah lebar telapak roda (m)

$$\tau = 0.75 \times 404.172 \text{ N} \times \sqrt{\frac{0.08^2 \text{ m}}{8} + 0.097^2 \text{ m}}$$

$$\tau = 30.62 \text{ Nm}$$

3. Mencari diameter *steering wheel*

$$\tau = F \times D$$

Keterangan:

τ = Momen *steering Wheel* (Nm)

F = Gaya tangan yang dibutuhkan untuk memutar *steering wheel* (diasumsikan gaya tangan sebesar 10 kg = 98.1 N)

D = diameter *steering wheel* (m)

$$30.62 \text{ Nm} = 98.1 \text{ N} \times D$$

$$D = \frac{30.62 \text{ Nm}}{98.1 \text{ N}}$$

$$D = 0.31 \text{ m}$$

$$D = 31 \text{ cm (diameter minimal)}$$

4. Menentukan diameter sesuai antropometri

Lebar kokpit = 45 cm = 450 mm

Tebal tangan (Ttj) = 47.1 mm

Tebal sarung tangan = 2 mm

Toleransi untuk jarak dari tangan ke frame kokpit = 20 mm

$$D = 450 - ((2 \times T_{tj}) + (2 \times \text{tebal sarung tangan}) + (2 \times \text{toleransi}))$$

$$D = 450 - ((2 \times 47.1) + (2 \times 2) + (2 \times 20))$$

$$D = 450 - ((94.2) + (4) + (40))$$

$$D = 450 - (172.2)$$

$$D = 311.5 \text{ mm}$$

5. Menentukan gaya tangan yang diizinkan sesuai dengan diameter yang telah ditentukan.

$$\tau = F \times D$$

$$30.62 \text{ Nm} = F \times 0.3115 \text{ m}$$

$$F = \frac{30.62 \text{ Nm}}{0.3115 \text{ m}}$$

$$F = 98.3 \text{ N}$$

4.2 Hasil Produk Uji Sampel

Spesimen yang digunakan untuk pengujian tarik yaitu terdiri dari 4 material, yaitu spesimen 3D Print dengan material PLA, spesimen 3D Print dengan laminasi serat gelas acak (CRM), spesimen 3D Print dengan laminasi serat gelas anyam (WRM) dan spesimen 3D Print dengan laminasi *tissue matt*. Spesimen 3D Print diberi nama 3D Print, laminasi serat gelas acak (CRM) diberi nama A1 dan A2, sedangkan untuk spesimen B1 dan B2 adalah laminasi serat gelas anyam (WRM), lalu untuk spesimen dengan laminasi *tissue matt* diberi nama C1 dan C2. Spesimen uji tersebut ditunjukkan pada gambar 4-3 sampai dengan gambar 4-5.



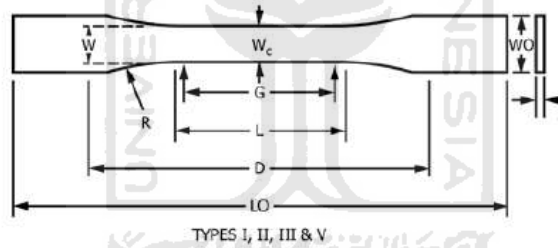
Gambar 4- 3 Spesimen A1 dan A2



Gambar 4- 4 Spesimen B1 dan B2



Gambar 4- 5 Spesimen C1 dan C2



Gambar 4- 6 Keterangan dimensi spesimen uji tarik ASTM D-638

Sumber: (Testing, 2015)

Keterangan:

W = Lebar

T = Tebal total ($T = T_a + T_b$)

T_a = Tebal *core* (3D Print)

T_b = Tebal laminasi (*fiberglass*)

Tabel 4- 1 Dimensi spesimen uji

Spesimen	T (mm)	Lebar (mm)	Berat (gram)	T_a (mm)	T_b (mm)
3D Print	2.8	6	5.30	2.8	-
A1	3.4	6	7.89	2.7	0.7

A2	3.5	6	7.82	2.7	0.8
B1	3.44	6	7.41	2.7	0.74
B2	3.48	6	7.57	2.7	0.78
C1	3.3	6	6.97	2.7	0.6
C2	3.24	6	6.85	2.7	0.52

Tabel 4-1 adalah data yang didapat dengan cara mengukur dimensi spesimen menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0.02 mm. Spesimen A2 memiliki ketebalan yang paling tebal, sedangkan untuk spesimen 3D Print memiliki ketebalan yang paling kecil karna tidak dilakukannya laminasi *fiberglass*. Dari keseluruhan, spesimen terberat yaitu spesimen A1 yang dilaminasi dengan serat gelas acak (CRM).

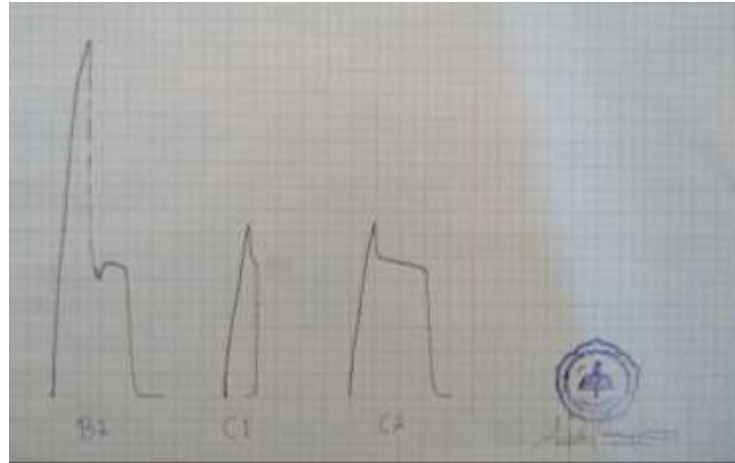
4.3 Hasil dan Pembahasan Uji Tarik 3D Print Laminasi

4.3.1 Hasil Uji Tarik 3D Print Laminasi

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian tarik. Pengujian tarik 3D Print laminasi menggunakan standar ASTM D638 yang dilakukan di Lab. Manufaktur Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma menggunakan mesin GOTECH KT – 7010A2 TAWAN.



Gambar 4- 7 Grafik tegangan-regangan hasil pengujian



Gambar 4- 8 Grafik tegangan-regangan hasil pengujian

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui *material properties* dari filamen PLA yang dilaminasi dengan serat gelas. *Material properties* tersebut digunakan untuk mencari ketebalan produk *steering wheel*. Data yang dibutuhkan untuk mencari ketebalan produk *steering wheel* adalah tegangan tarik yang diizinkan. Kemudian tegangan tarik yang diizinkan tersebut dimasukkan ke dalam rumus tegangan, yang dibutuhkan dalam rumus tersebut adalah gaya torsi *steering wheel* dan luas penampang dari *steering wheel*.

Dari pengujian tarik yang dilakukan mendapat grafik seperti pada gambar diatas. Spesimen yang diuji sebanyak 7 spesimen. Spesimen 3D Print ditunjukkan oleh grafik 3DP, grafik A1 dan A2 adalah hasil pengujian spesimen 3D Print yang dilaminasi dengan serat gelas acak (CRM), grafik B1 dan B2 adalah hasil pengujian spesimen 3D Print yang dilaminasi dengan serat gelas anyam (WRM), grafik C1 dan C2 adalah hasil pengujian dengan spesimen 3D Print yang dilaminasi oleh *tissue matt*.

Tabel 4- 2 Hasil pengujian tarik

Spesimen	Fmax (N)	A (mm ²)	L _o (mm)	L _i -L _o (mm)
3D Print	506.02	16.8	57	1
A1	561.92	20.4	57	0.6
A2	680.58	21	57	0.75
B1	730.59	20.64	57	0.8
B2	1169.93	20.88	57	1.4
C1	571.72	19.8	57	0.9
C2	573.68	19.44	57	0.92

Pada tabel 4-2 menunjukkan hasil pengujian tarik terhadap 7 spesimen. Data tersebut diambil dari kalibrasi grafik tegangan – regangan hasil pengujian yang telah dilakukan. Dari data pada tabel 4-2 maka didapatkan tegangan, regangan, dan modulus elastisitas menggunakan rumus. Berikut adalah perhitungan yang diambil dari data yang paling besar yaitu spesimen B2.

1. Mencari tegangan tarik

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{1169.93 \text{ N}}{20.88 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma = 56.03 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = 56.03 \text{ MPa}$$

2. Mencari regangan

$$\varepsilon = \frac{L_i - L_o}{L_o} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{1.4}{57} \times 100\%$$

$$\varepsilon = 2.45 \%$$

3. Mencari modulus elastisitas

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$E = \frac{56.03 \text{ MPa}}{2.45 \%$$

$$E = 2281,67 \text{ MPa}$$

$$E = 2.28 \text{ GPa}$$

Untuk memudahkan dalam menghitung tegangan, regangan dan modulus elastisitas dari hasil pengujian maka dimasukkan ke dalam *Microsoft excel* menggunakan formula berdasarkan rumus-rumus yang digunakan. Maka akan didapatkan hasilnya sesuai pada tabel 4-3.

Tabel 4- 3 Hasil perhitungan tegangan - regangan

Spesimen	Tegangan (MPa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (GPa)
3D Print	30.12	1.75	1.72
A1	27.54	1.05	2.62
A2	32.40	1.31	2.46
B1	35.39	1.4	2.02
B2	56.03	2.45	2.23
C1	28.8	1.57	1.83
C2	29.51	1.61	1.83

Dari data pada tabel 4-2, kemudian mencari perbandingan kekuatan rata – rata pada spesimen terhadap kekuatan pada 3D Print. Data sampel yang digunakan adalah data hasil pengujian pada spesimen B2, kemudian dimasukkan ke dalam *Microsoft excel* untuk mempermudah perhitungan. Berikut adalah perhitungan untuk membandingkan peningkatan kekuatan material.

1. Mencari peningkatan beban maksimal (F_{max})

$$F_{max \text{ 3D Print}} = 506.02 \text{ N}$$

$$\bar{X} F_{max \text{ B1, B2}} = \frac{730.59 \text{ N} + 1169.93 \text{ N}}{2}$$

$$\bar{X} F_{max \text{ B1, B2}} = 950.26 \text{ N}$$

$$\text{Peningkatan } F_{max} = \frac{\bar{X} F_{max \text{ B1, B2}} - F_{max \text{ 3D Print}}}{\bar{X} F_{max \text{ B1, B2}}} \times 100\%$$

$$\text{Peningkatan } F_{max} = \frac{950.26 - 506.02}{950.26} \times 100\%$$

$$\text{Peningkatan } F_{max} = 46.75 \%$$

Tabel 4- 4 Hasil perhitungan perbandingan F_{max} pada spesimen uji

	F_{max} (N)	Peningkatan F_{max} (%)
F_{max} 3D Print	506.02	18.54
Rata-rata A1 dan A2	621.25	
F_{max} 3D Print	506.02	46.75
Rata – rata B1 dan B2	950.26	
F_{max} 3D Print	506.02	11.64
Rata – rata C1 dan C2	572.7	

2. Mencari peningkatan tegangan (MPa)

$$\text{Tegangan 3D Print} = 30.12 \text{ MPa}$$

$$\bar{X} \text{ tegangan B1, B2} = \frac{35.39 \text{ MPa} + 56.03 \text{ MPa}}{2}$$

$$\bar{X} \text{ tegangan B1, B2} = 45.71 \text{ MPa}$$

$$\text{Peningkatan Tegangan} = \frac{\bar{X} \text{ tegangan B1, B2} - \text{Tegangan 3D Print}}{\bar{X} \text{ Tegangan B1, B2}} \times 100\%$$

$$\text{Peningkatan Tegangan} = \frac{45.71 \text{ MPa} - 30.12 \text{ MPa}}{45.71 \text{ MPa}} \times 100\%$$

$$\text{Peningkatan Tegangan} = 34.11 \%$$

Tabel 4- 5 Hasil perhitungan perbandingan tegangan spesimen uji

	Tegangan Tarik (MPa)	Peningkatan (%)
Tegangan 3D Print	30.12	-0.47
Rata-rata Tegangan A1,A2	29.97	
Tegangan 3D Print	30.12	34.11
Rata-rata Tegangan B1,B2	45.71	
Tegangan 3D Print	30.12	-3.17
Rata-rata Tegangan C1,C2	29.19	

3. Mencari peningkatan modulus elastisitas

$$\text{Modulus elastis 3D Print} = 1.7 \text{ GPa}$$

$$\bar{X} \text{ modulus elastis B1, B2} = \frac{2.52 \text{ GPa} + 2.28 \text{ GPa}}{2}$$

$$\bar{X} \text{ modulus elastis B1, B2} = 2.4 \text{ GPa}$$

$$\text{Peningkatan Modulus Elastis} = \frac{\bar{X} \text{ modulus elastis B1, B2} - \text{modulus elastis 3D Print}}{\bar{X} \text{ modulus elastis B1, B2}} \times 100\%$$

$$\text{Peningkatan Modulus Elastis} = \frac{2.4 \text{ GPa} - 1.7 \text{ GPa}}{2.4 \text{ GPa}} \times 100\%$$

$$\text{Peningkatan Modulus Elastis} = 28.5$$

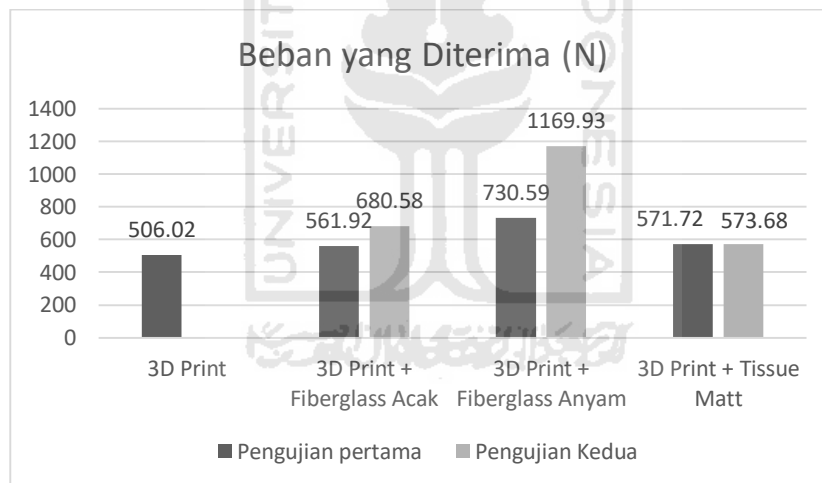
Tabel 4- 6 Hasil perhitungan perbandingan modulus elastis

	Modulus Elastisitas(GPa)	Peningkatan (%)
3D Print	1.7	32.4
Rata-rata A1,A2	2.53	

3D Print	1.7	28.5
Rata-rata B1,B2	2.4	
3D Print	1.7	6.10
Rata-rata C1,C2	1.82	

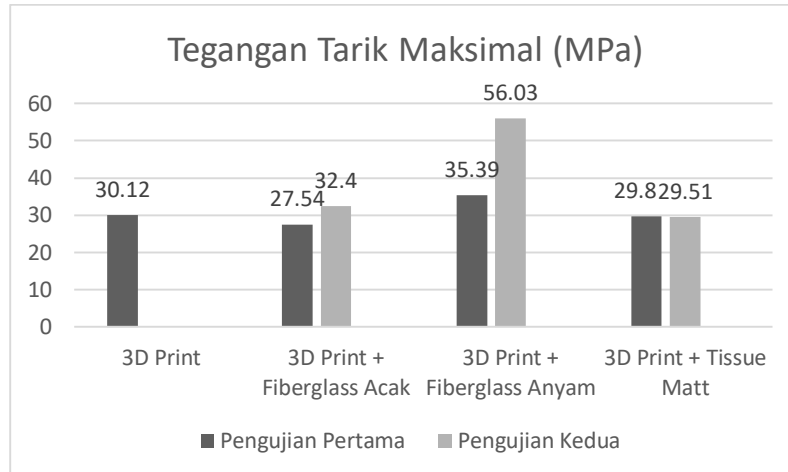
4.3.2 Pembahasan Hasil Pengujian

Pengujian tarik yang dilakukan oleh peneliti bertujuan untuk mengetahui kekuatan material yang akan digunakan untuk menggantikan material *steering wheel*. Dari pengujian tersebut menggunakan 3 material laminasi komposit yang masing-masing berjumlah 2 sampel dan 1 sampel dengan material filament PLA hasil proses 3D Print. Berdasarkan grafik pengujian tarik yang ditunjukkan pada gambar 4-9, sampel B2 dengan material *3D Print* dan laminasi serat gelas anyam mampu menahan beban tertinggi dibandingkan dengan sampel yang lain, yaitu sebesar 1169.93 N.



Gambar 4- 9 Grafik perbandingan beban yang diterima

Berdasarkan hasil pengujian tersebut didapat tegangan masing – masing material. ketiga material komposit laminasi dibandingkan dengan material filamen PLA hasil mesin 3D Print. Material dengan laminasi serat gelas anyam (WRN) memiliki tegangan tarik maksimal terbesar diantara material lainnya, yaitu pada sampel B2 sebesar 56.03 MPa. Berikut adalah grafik perbandingan tegangan tarik maksimal dari 4 material yang berbeda.



Gambar 4- 10 Grafik perbandingan tegangan tarik maksimal

Dari pengujian dan perhitungan yang telah dilakukan, Maka material 3D Print dengan laminasi serat gelas anyam (WRN) mampu menggantikan material besi yang ada pada *steering wheel* mobil listrik Ulil Albab Student Centre (UASC) dengan ketebalan yang telah ditentukan.

4.4 Hasil Perhitungan Ketebalan Material *Steering Wheel*

Setelah menghitung kekuatan material yang dilakukan pada pengujian tarik. Kemudian mencari ketebalan minimal pada material *steering wheel*. Hasil perhitungan tersebut digunakan untuk mengetahui seberapa tebal material yang mampu menahan gaya akibat torsi yang digunakan untuk memutar *steering wheel*. Berikut adalah hasil perhitungan.

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

Ket =

F = Gaya yang dibutuhkan untuk memutar *steering wheel*. Gaya yang digunakan adalah torsi untuk memutar *steering wheel* (τ). Gaya dibagi dengan jumlah baut

σ_{izin} = tegangan tarik izin bahan (didapat dari grafik pengujian)

A = Luas penampang (diameter baut x tebal material(t))

$$11.4 \text{ N/mm}^2 = \frac{30.62 \text{ Nm}}{6 \times t}$$

$$11.4 \text{ N/mm}^2 = \frac{30620 \text{ Nmm}}{6 \times t}$$

$$(68.4 \times 11.4 \text{ t}) \text{ N/mm}^2 = 5103.3 \text{ Nmm}$$

$$11.4 \text{ t} = \frac{5103.3}{68.4}$$

$$11.4 \text{ t} = 74.6$$

$$t = \frac{74.6}{11.4}$$

$$t = 6.54 \text{ mm (ketebalan minimal)}$$

4.4.1 Mencari Ketebalan *Steering Wheel* dengan SF

Safety factor adalah angka yang diperhitungkan untuk menjamin faktor keamanan dari suatu bahan material, dimana material tersebut dikenakan beban tarik, tekan, maupun puntir. Dari *safety factor* tersebut dapat digunakan untuk mengevaluasi suatu produk.

Dalam pembuatan produk *steering wheel* menggunakan asumsi *safety factor* sebesar 2, karena pada *steering wheel* menerima beban dinamik atau beban yang bergerak. Beban yang bergerak tersebut didapatkan dari gaya tangan yang digunakan untuk memutar *steering wheel* ketika digunakan (Dobrovolsky, 1988). Perhitungan ketebalan pada *steering wheel* menggunakan *safety factor* seperti dibawah ini:

$$\sigma_{izin} = \frac{F \times SF}{A}$$

Ket:

F = Gaya yang dibutuhkan untuk memutar *steering wheel*. Gaya yang digunakan adalah torsi untuk memutar *steering wheel* (τ). Gaya dibagi dengan jumlah baut

σ_{izin} = tegangan tarik izin bahan (didapat dari grafik pengujian)

A = Luas penampang (diameter baut x tebal material(t))

SF = *Safety Factor*. SF diasumsikan sebesar 2

$$11.4 \text{ N/mm}^2 = \frac{30.62 \text{ Nm} \times 2}{6 \times t}$$

$$11.4 \text{ N/mm}^2 = \frac{61240 \text{ Nmm}}{6 \times t}$$

$$(68.4 \times 11.4 \text{ t}) \text{ N/mm}^2 = 10206.67 \text{ Nmm}$$

$$11.4 \text{ t} = \frac{10206.67}{68.4}$$

$$11.4 \text{ t} = 149.22$$

$$t = \frac{149.22}{11.4}$$

$$t = 13.08 \text{ mm}$$

4.5 Hasil dan Pembahasan Produk *Steering Wheel*

4.5.1 Proses *3D Printing*

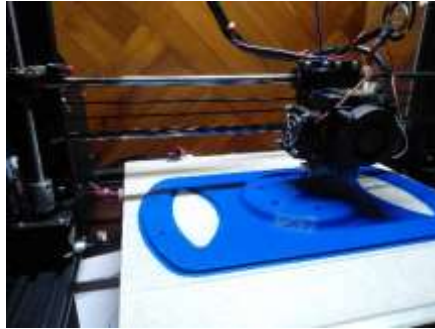
Pada pembuatan produk menggunakan mesin *3D Printing* membutuhkan waktu 10 jam. Ketika proses pembuatannya mengalami kegagalan, yaitu terangkatnya filamen PLA saat pencetakan sehingga *infill* pada *steering wheel* tidak terisi penuh seperti yang ditunjukkan pada gambar 4-11. Pada gambar tersebut filamen PLA terangkat dan tidak menyatu dari layer yang sebelumnya. Terangkatnya PLA terjadi ketika proses pencetakan memasuki 61% dari total pencetakan. Parameter yang digunakan adalah menggunakan *infill* 25% dan bentuk *infill grid*.



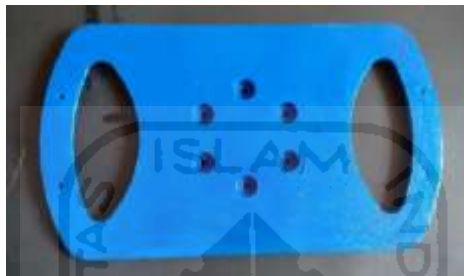
Gambar 4- 11 Produk *steering wheel* mengalami kegagalan

Setelah mengalami kegagalan, maka dilakukan kembali proses pencetakan. Waktu yang dibutuhkan untuk mencetak adalah 10 jam. Gambar 4-12 adalah proses pencetakan yang kedua. Ketika proses mencetak berlangsung tidak

mengalami kendala apapun. Hasil pencetakan tersebut ditunjukkan pada gambar 4-13.



Gambar 4- 12 Proses pencetakan yang kedua



Gambar 4- 13 Hasil pencetakan kedua

4.5.2 Laminasi *Steering Wheel*

Setelah melakukan proses pencetakan menggunakan mesin *3D Printing* kemudian dilakukan laminasi dengan serat gelas anyam atau WRM (*Woven Roving Mat*). Waktu yang dibutuhkan untuk proses laminasi hingga proses *finishing* adalah 2.5 hari. Hari pertama adalah proses penempelan serat gelas ke permukaan *steering wheel* dan melapisinya dengan resin. Proses pengeringan membutuhkan waktu masing – masing satu hari untuk tiap permukaan atas dan bawah agar proses pengeringannya maksimal dan ketika proses *finishing* meratakan permukaan tidak lengket. Gambar 4-14 dan 4-15 adalah proses penempelan serat gelas dan serat gelas yang sudah mengering.



Gambar 4- 14 Proses penempelan serat gelas



Gambar 4- 15 Serat gelas yang sudah mengering

Serat gelas yang telah mengering kemudian dilakukan proses *finishing*, yaitu dengan cara mengamplas serat gelas yang tajam agar permukaan *steering wheel* menjadi halus dan tidak membahayakan tangan pengemudi. Setelah permukaan tersebut sudah halus kemudian dipasangkan *handgrip* dari *steering wheel* tersebut. Gambar 4-16 adalah *steering wheel* yang telah selesai proses *finishing*.



Gambar 4- 16 *Steering wheel* setelah proses *finishing*

4.6 Hasil Pengujian Produk *Steering Wheel* Laminasi

4.6.1 Uji Ergonomis *Steering Wheel*

Uji ergonomis pada *steering wheel* bertujuan untuk mengetahui apakah *steering wheel* telah memenuhi tingkat kenyamanan pengemudi. Pengujian ini dilakukan dengan cara mencari responden sebanyak 15 orang dengan rentang usia 18-22 tahun. Kemudian responden diberikan kesempatan untuk memberi saran dan komentar terhadap desain *steering wheel* agar dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya. Tabel 4-7 adalah data hasil uji ergonomis *steering wheel*.

Berikut adalah pertanyaan untuk uji ergonomis *steering wheel*

- a. Apakah *steering wheel* nyaman ketika digunakan?
- b. Apakah tekstur dan material yang digunakan sudah nyaman ketika digenggam?

Tabel 4- 7 Data hasil uji ergonomis

Nama	Tingkat Kenyamanan desain <i>handrip</i>	Tingkat Kenyamanan Material <i>Handgrip</i>	Saran dan Komentar
Sultan	Nyaman	Nyaman	Sudah cukup.
Amry	Nyaman	Nyaman	Lapisan karet bagian belakang <i>handgrip</i> kurang rapi.
Bayu	Nyaman	Nyaman	Tidak ada yang harus diperbaiki.
Rossy	Tidak Nyaman	Nyaman	Karet pada <i>handgrip</i> lunak.
Arif	Tidak Nyaman	Nyaman	Material <i>handgrip</i> sudah nyaman dan lunak, namun diameter <i>handgrip</i> terlalu besar
Istar	Nyaman	Nyaman	Sudah cukup.
Andri	Nyaman	Nyaman	Sudah cukup
Aji	Nyaman		Sudah cukup.
Aditya	Nyaman	Nyaman	Lapisan karet pada <i>handgrip</i> masih kurang rapi.

Tri Nurudin	Nyaman	Nyaman	Arah alur jari dibuat sesuai dengan posisi tangan ketika mengendarai. Material <i>handgrip</i> lunak.
Jabar	Tidak Nyaman	Tidak Nyaman	Diameter genggamannya terlalu besar, sebaiknya diperkecil lagi. Lapisan karet kurang rapi.
Eka	Tidak Nyaman	Nyaman	Diameter genggamannya terlalu besar. Material <i>handgrip</i> lunak.
Fuad	Nyaman	Nyaman	Sebaiknya karet bagian belakang dirapikan.
Putut	Nyaman	Nyaman	<i>Finishing</i> harus diperhatikan.
Dwi	Nyaman	Nyaman	Tidak ada yang harus diperbaiki.

Dari tabel 4-7 uji ergonomis dapat disimpulkan bahwa diameter *handgrip* pada produk *steering wheel* nyaman digenggam oleh pengemudi dan material pada *handgrip* sudah lunak dan nyaman digunakan. Namun, ada beberapa saran dan komentar dari responden untuk merapikan karet bagian belakang pada *handgrip*.

4.6.2 Pengujian Untuk Membelokkan Mobil

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah *steering wheel* laminasi dapat digunakan untuk membelokkan roda mobil listrik Ulil Albab Student Center (UASC) dalam kondisi statis. Pengujian ini dilakukan di Lab. Mobil Listrik Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia. Pengujian ini dilakukan dengan cara memasang *steering wheel* pada mobil listrik dengan pengemudi yang memiliki berat badan 60 Kg, kemudian *steering wheel* diputar untuk mengetahui apakah *steering wheel* tersebut mampu menahan beban mobil dan pengemudi ketika mobil dibelokkan. Gambar 4-17 adalah proses pengujian membelokkan mobil.



Gambar 4- 17 Proses pengujian membelokkan roda mobil

4.7 Kendala Proses Pembuatan

4.7.1 Proses Desain

Pada saat proses desain penentuan awal diameter *steering wheel* sebesar 244 mm, penentuan diameter awal mengalami kesalahan karena adanya kesalahan dalam proses perhitungan analisis gaya pada *steering wheel*. Berat mobil yang digunakan adalah 146 Kg, berat tersebut tidak termasuk berat *driver*. Setelah dikoreksi perhitungan analisis gayanya dengan menambahkan berat pengemudi sebesar 60 Kg, maka diameter *steering wheel* didapat 311.5 mm.

Pada gambar 4-18 adalah desain *steering wheel* yang belum mengacu pada *rules* kompetisi FSAE. Dalam *rules* FSAE Japan 2019 disebutkan bahwa bentuk dari *steering wheel* tidak diperbolehkan menyerupai huruf H dan angka 8. Hal ini bertujuan untuk menghindari cedera pengemudi karena kecelakaan. Gambar 4-19 adalah kutipan *rules* kompetisi FSAE Japan 2019. Oleh karena itu, desain awal *steering wheel* didesain ulang seperti pada gambar 4-20 dengan diameter 311.5 mm dan bentuk desain sesuai *rules* FSAE Japan 2019.



Gambar 4- 18 Desain awal *steering wheel*

- T.1.6.7 The steering wheel must have a continuous perimeter that is near circular or near oval. The outer perimeter profile may have some straight sections, but no concave sections. "H", "Figure 8", or cutout wheels are not allowed.

Gambar 4- 19 *Rules FSAE Japan 2019*



Gambar 4- 20 Desain akhir *steering wheel*

4.7.2 Pengujian Tarik Material

Pengujian tarik material dilakukan di Lab. Manufaktur Universitas Sanata Dharma Yogyakarta. Kendala yang dialami adalah kendala biaya dan peraturan protokol kesehatan Covid-19. Spesimen yang diuji seharusnya berjumlah 8 spesimen. Namun spesimen yang dapat dilakukan pengujian hanya sebanyak 7 spesimen dikarenakan adanya limit waktu yang diberikan oleh pihak Lab. Manufaktur Universitas Sanata Dharma. Ketika peneliti akan melakukan pengujian spesimen kedelapan tidak diperbolehkan dikarenakan pada saat itu urutan terakhir melakukan pengujian sebelum laboratorium tersebut ditutup untuk umum. Pada gambar 4-21 adalah proses pengujian tarik material di Lab. Manufaktur Universitas Sanata Dharma.



Gambar 4- 21 Proses pengujian tarik material

4.7.3 Proses Cetak dengan Mesin 3D Printing

Proses mencetak *steering wheel* mengalami kegagalan yaitu kusut dan terangkatnya filamen PLA ketika proses pencetakan memasuki 61% dari proses pencetakan. Akibat kusut dan terangkatnya filamen menyebabkan layer dengan layer yang lainnya tidak menempel dan tidak berikatan, sehingga membentuk seperti benang – benang halus. Kemudian percobaan kedua dilakukan dengan mengganti filamen PLA dengan merk yang berbeda dan proses pencetakan *steering wheel* berhasil dengan memakan waktu 10 jam. Pada gambar 4-22 dan 4-23 adalah gambar hasil cetakan yang gagal dan percobaan kedua berhasil.



Gambar 4- 22 Hasil cetakan percobaan pertama



Gambar 4- 23 Hasil cetakan percobaan kedua

4.7.4 Proses Laminasi *Steering Wheel*

Kendala yang terjadi ketika proses laminasi yang pertama adalah ketika melaminasi bentuk lingkaran yang digunakan untuk menghubungkan *steering wheel* ke *quick release*. Kendala tersebut adalah terangkatnya serat gelas pada bagian sudut, solusi yang dilakukan adalah menahan bagian sudut tersebut dengan cara ditekan menggunakan *scrap cat*.

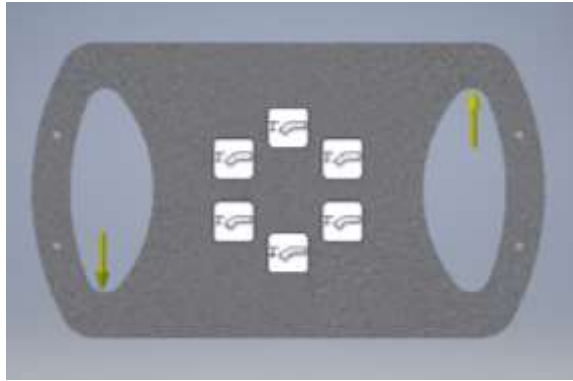
Kendala yang kedua adalah pada saat proses menghaluskan permukaan laminasi dimana serat gelas yang tajam tersebut dapat melukai tangan saat proses menghaluskan menggunakan amplas. Selain itu, resin dan serat gelas yang telah mengering menjadi keras dan tajam sehingga sering terjadinya sobek pada amplas yang digunakan. Gambar 4-24 adalah serat gelas yang sudah mengering menjadi keras dan tajam.



Gambar 4- 24 Serat gelas yang telah mengering

4.8 Analisis Menggunakan Software

Analisis tegangan pada *steering wheel* menggunakan software CAD yaitu Inventor 2017. *strees analysis* dilakukan 2 kali dikarenakan pada analisis yang pertama adanya kesalahan perhitungan gaya yang menyebabkan kesalahan dalam proses desain. Analisis yang kedua adalah desain akhir setelah dilakukannya pengulangan perhitungan pada gaya.



Gambar 4- 25 Bagian *fixed* dan *load* pada *steering wheel*

Pada gambar 4-25 adalah gambar titik *fixed* dan *load* pada desain *steering wheel*. Titik *fixed* terdapat pada bagian baut dikarenakan bagian tersebut untuk menyambung *steering wheel* ke *steering column* menggunakan *quick release*. Sedangkan untuk bagian *load* diletakkan pada bagian tersebut karena gaya yang didapatkan dari tangan untuk memutar *steering wheel*.

Analisis pertama adalah pada desain *steering wheel* dengan ketebalan 4.3 mm dan diameter 277.8 mm adalah analisis tegangan pada desain yang mengalami kesalahan pada saat perhitungan gaya *steering wheel*. Pada desain ini pembebanan yang didapat dari gaya kedua tangan sebesar 48.49 N. Sehingga masing – masing titik pembebanan mendapat gaya 24.245 N. Pada tabel 4-8 adalah tabel pembebanan pada analisis tegangan.

Tabel 4- 8 Tabel pembebanan

<i>Load Type</i>	<i>Force 1</i>	<i>Force 2</i>
<i>Magnitude</i>	-24.245 N	24.245 N
Vektor X	0	0
Vektor Y	0	0
Vektor Z	0	0

Tabel 4- 9 Tabel pembebanan

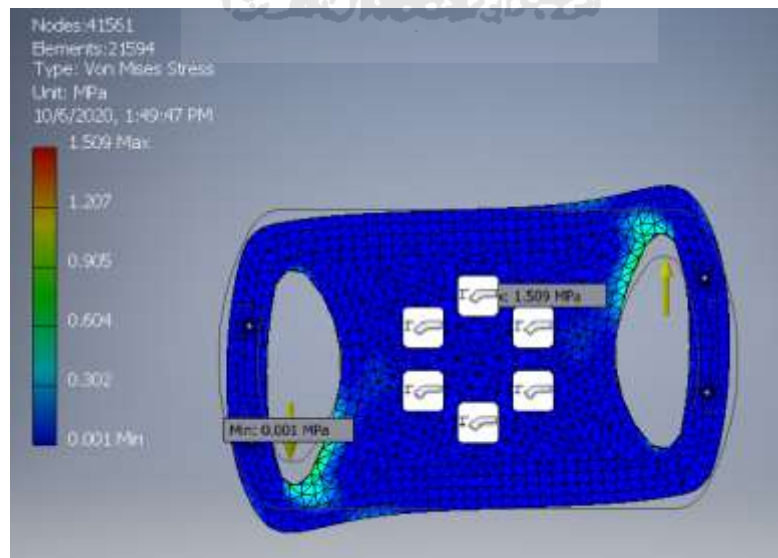
<i>Load Type</i>	<i>Force 1</i>	<i>Force 2</i>
<i>Magnitude</i>	-49.15 N	49.15 N
Vektor X	0	0
Vektor Y	0	0

Vektor Z	0	0
----------	---	---

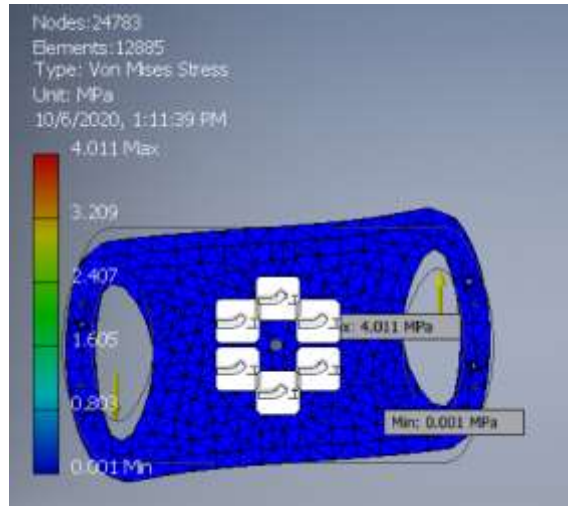
Analisis kedua adalah pada desain *steering wheel* yang telah dilakukan perhitungan ulang dan mendapatkan ketebalan sebesar 13 mm dan diameter 311.5 mm. Pada analisis ini dengan pembebanan 98.3 N untuk gaya kedua tangan ketika memutar *steering wheel*. Sehingga masing – masing pembebanan sebesar 49.15 N. Pada tabel 4-9 adalah tabel pembebanan pada *steering wheel*.

4.8.1 Tegangan *Von Mises*

Pada gambar 4-26 adalah gambar tegangan *Von Mises* desain awal *steering wheel*. Tegangan maksimal sebesar 1.509 MPa yang terletak pada bagian baut. Tegangan *Von Mises* minimal sebesar 0.001 MPa terletak pada bagian yang terkena gaya dari tangan secara langsung. Sedangkan pada gambar 4-27 adalah tegangan *Von Mises* desain akhir *steering wheel*. Tegangan *Von Mises* maksimal sebesar 4.011 MPa dan tegangan *Von Mises* minimal sebesar 0.001 MPa. Tegangan *Von Mises* merupakan faktor penentu apakah material yang akan digunakan dalam suatu perancangan akan mengalami kegagalan atau kerusakan ketika diberikan beban. Material dikatakan luluh ketika mencapai titik nilai kritis dari tegangan *Von Mises*, kemudian disebut dengan tegangan luluh (Ari, 2019).



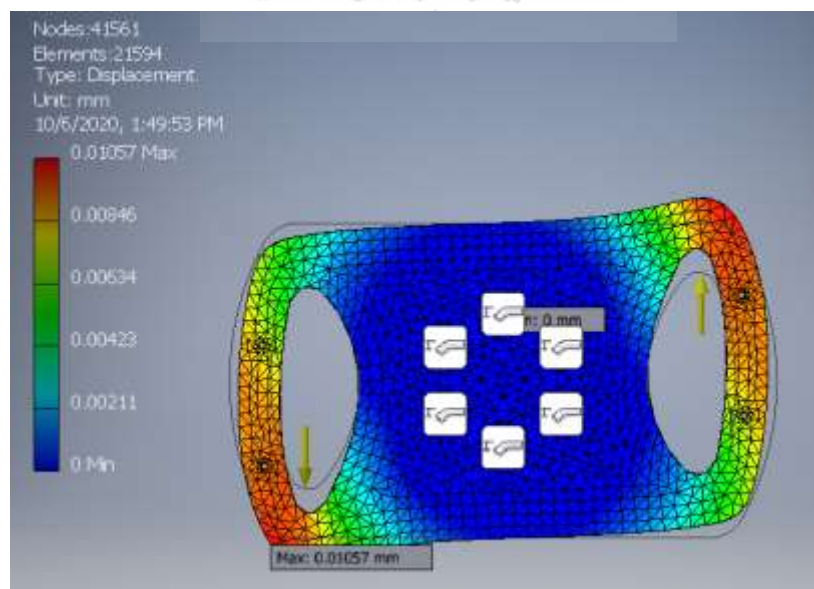
Gambar 4- 26 Tegangan *Von Mises* pada desain awal *steering wheel*



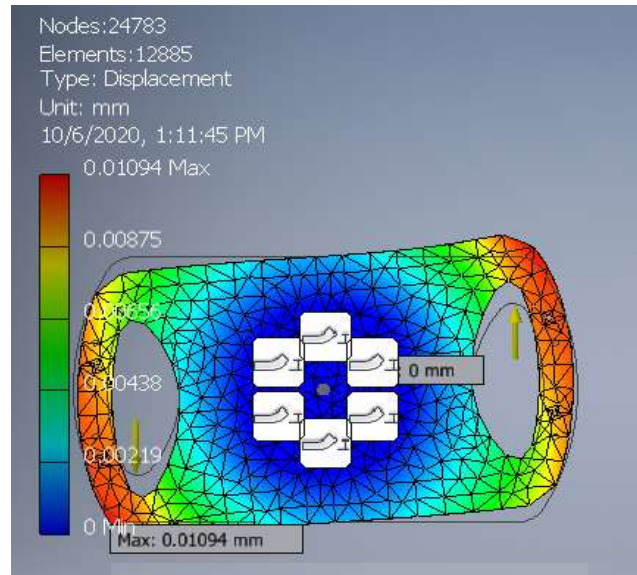
Gambar 4- 27 Tegangan *Von Mises* pada desain akhir *steering wheel*

4.8.2 *Displacement*

Pada gambar 4-28 adalah besarnya *displacement* yang terjadi ketika diberikan gaya. *Displacement* atau deformasi merupakan faktor yang dapat menentukan apakah desain dari suatu produk tidak mengalami kegagalan atau kerusakan. Deformasi adalah perubahan suatu material yang dikarenakan adanya pembebanan. Deformasi maksimal yang terjadi adalah 0.01057 mm dan deformasi minimal sebesar 0 mm. Pada gambar 4-29 menunjukkan bahwa *displacement* terbesar pada desain akhir *steering wheel* sebesar 0.01094 mm dan terkecil sebesar 0 mm.



Gambar 4- 28 *Displacement* yang terjadi pada desain awal *steering wheel*

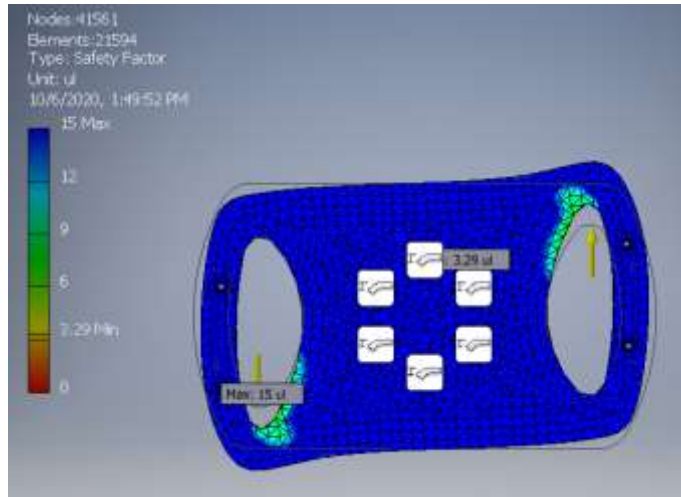


Gambar 4- 29 *Displacement* yang terjadi pada desain akhir *steering wheel*

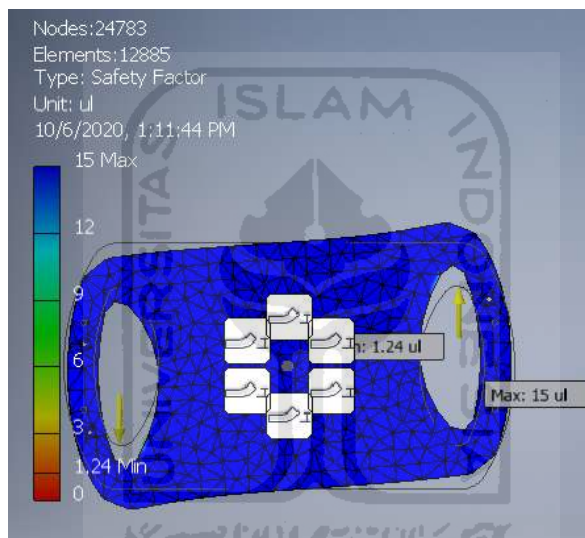
4.8.3 *Safety Factor*

Safety Factor adalah besaran nilai yang diperhitungkan untuk menjamin faktor keamanan suatu bahan material, dimana material tersebut akan dikenakan beban, salah satunya adalah beban tarik, tekan dan puntir. Secara umum, semakin besar nilai *Safety Factor* maka akan semakin aman material yang akan digunakan. Biasanya suatu bahan material dikatakan aman minimal 1 (satu).

Pada gambar 4-30 adalah *safety factor* dari analisis desain awal yang memiliki nilai minimal sebesar 3.29 ul dan nilai maksimal sebesar 15 ul. Sedangkan pada gambar 4-31 adalah gambar *safety factor* dari analisis desain akhir yang memiliki nilai minimal sebesar 1.24 ul dan nilai maksimal sebesar 15 ul. Kedua perancangan tersebut memiliki *safety factor* diatas nilai 1 (satu) yang berarti kedua perancangan tersebut aman digunakan.



Gambar 4- 30 *Safety factor* pada desain awal *steering wheel*



Gambar 4- 31 *Safety factor* pada desain akhir *steering wheel*

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Material yang tersusun dari hasil *3D Printing* dengan laminasi serat gelas anyam atau *Woven Roving Matt* (WRM) mampu menggantikan material sebelumnya dengan ketebalan 13 mm.
2. Material komposit yang berupa hasil *3D Printing* dilaminasi dengan serat gelas jenis *Woven Roving Matt* (WRM) atau biasa disebut dengan serat gelas anyam memiliki kekuatan tarik maksimal rata-rata sebesar 45.71 MPa yang mampu menahan beban sebesar 950.26 N.
3. Berdasarkan uji ergonomis pada produk *steering wheel* telah tercapai tingkat kenyamanannya untuk desain *handgrip* dan material *handgrip* lunak ketika digenggam.
4. Kendala dalam proses pembuatan adalah
 - a. Proses desain
Kesalahan dalam melakukan perhitungan gaya yang menyebabkan terjadinya kesalahan dalam menentukan diameter dan ketebalan produk.
 - b. Pada pengujian tarik material
Kendala dalam biaya dan protokol kesehatan Covid – 19 yang menyebabkan data pengujian kurang memadai.
 - c. Proses mencetak dengan *3D Printing*
Kusutnya filamen PLA yang menyebabkan antar layer tidak berikatan dan membentuk seperti benang – benang halus.
 - d. Proses laminasi
Kendala yang terjadi adalah serat gelas yang sudah kering menjadi sangat keras dan tajam sehingga melukai tangan ketika proses *finishing*.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

1. Melakukan pengujian produk *steering wheel* laminasi komposit pada mobil listrik Ulil Albab Student Center (UASC).
2. Melakukan pengujian bending untuk mengetahui kekuatan bending pada produk *steering wheel* laminasi komposit mobil listrik Ulil Albab Student Center (UASC).



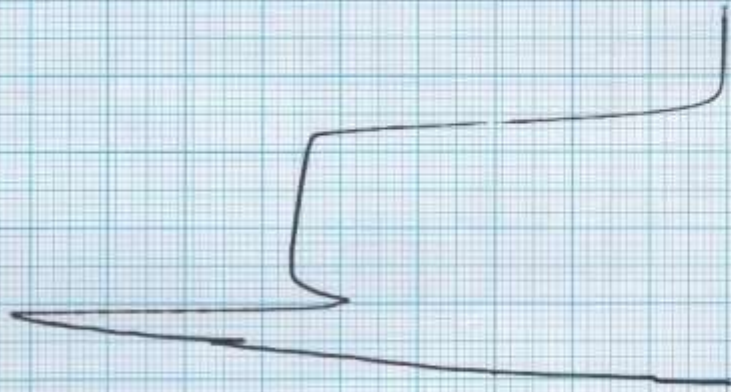
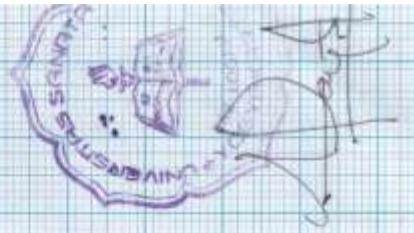
DAFTAR PUSTAKA

- Adi Ermawan, A. (2018). *Penambahan Presentase Serat dan Jumlah Lapisan (1-3) Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Fiberglass-Polyester (Yukalac C-108 B Justus)*.
- Andry Saputra, O., Sudiro, & Ramelan, U. (2019). *Implementasi Mesin Cetak 3 Dimensi untuk Pembuatan Komponen Otomotif*.
- Ari, L. (2019). *DESAIN DAN ANALISIS TEGANGAN CRANE HOOK MODEL CIRCULAR SECTION KAPASITAS 5 TON MENGGUNAKAN AUTODESK INVENTOR 2017*. 10(1), 27–32.
- Arthaya, B. (2015). *Eksplorasi Kemampuan dan Kapasitas Mesin 3D Printing Dalam Pengembangan Modul Rakitan dan Kemampuan Uji*. 1–34.
- Bagus, Yogasara, T., & Wulansatya, S. (2004). *EVALUASI DAN PERANCANGAN ULANG RUANG KEMUDI DAN PENUMPANG MOBIL KANCIL BERDASARKAN PRINSIP ERGONOMI*.
- Budiman, H. (2016). *ANALISIS PENGUJIAN TARIK (TENSILE TEST) PADA BAJA ST37*. 03(01), 9–13.
- Dobrovolsky, V. (1988). *Machine Elements*. Moscow: Foreign Languages Publishing House.
- Fajar, D. I. (2015). *ANALISA SISTEM KEMUDI MOBIL LISTRIK BRAJAWAHANA ITS TERHADAP KONSDISI*.
- Fenton, J., Sc, M., Eng, C., & Mech, M. I. E. (n.d.). *Handbook of Automotive Design Analysis*.
- Ferdinand, R., & Rozi, F. (2020). *EKSPLORASI DESAIN STRUKTUR COVER BODY MOTOR DENGAN MENGGUNAKAN 3D PRINTING FDM*. 3, 233–239.
- FN Hutajulu, A. (2017). *SINTESIS DAN KARAKTERISASI MATERIAL BOKOMPOSIT POLYLACTIC ACID (PLA) BERPENGUAT SERBUK TULANG SAPI SEBAGAI KANDIDAT BAHAN TULANG BUATAN*.
- Hery S, A. (2006). *Sistem Kemudi pada Kendaraan Berpenggerak Roda Depan*.
- Kurnia Dwi, A., Syahyuniar, R., & Priono, N. (2017). *PERANCANGAN SISTEM KEMUDI MANUAL PADA MOBIL LISTRIK*. 4, 1–6.

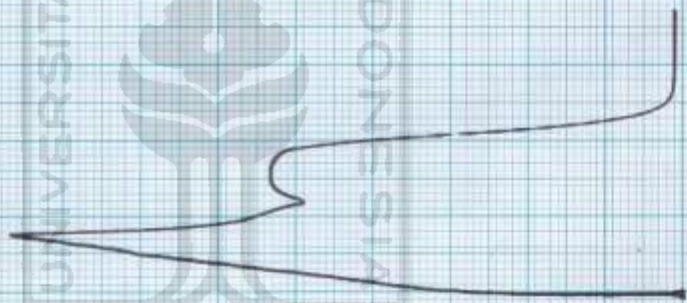
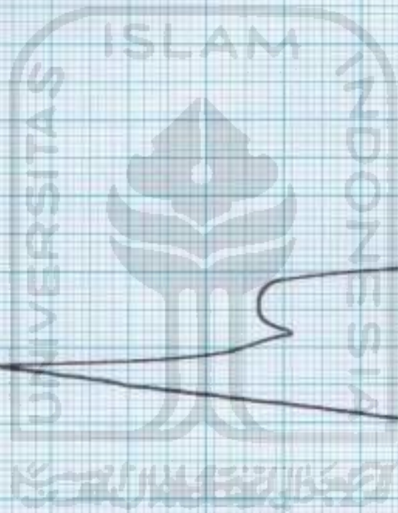
- Lubis, S., & Sutanto, D. (2016). *PENGARUH POSISI ORIENTASI OBJEK PADA PROSES RAPID PROTOTYPING 3D PRINTING TERHADAP KEKUATAN TARIK MATERIAL POLYMER*. 20(3), 229–238.
- Mahmud, K. (2016). *PENELITIAN TERHADAP DEFORMASI PADA PADUAN ALUMINIUM TIPE A5083P-O DENGAN TEKNIK INTERFEROMETRI OPTIK*. 8(2).
- Nayiroh, N. (2013). *Teknologi Material Komposit*.
- Purnomo, H. (2014). *PENGUKURAN ANTROPOMETRI TANGAN USIA 18 SAMPAI 22 TAHUN KABUPATEN SLEMAN YOGYAKARTA*. (2004), 106–112.
- Rinanto, A., & Sutopo, W. (2017). *Perkembangan Teknologi Rapid Prototyping : Study Literatur*. 18, 105–112.
- Salindeho, R. D., Soukota, J., Poeng, R., Teknik, J., Universitas, M., & Ratulangi, S. (n.d.). *Pemodelan Pengujian Tarik Untuk Menganalisis Sifat Mekanik Material*. 1–11.
- Sandi, W. (2019). *Cover velg mobil mikro*.
- Sastranegara, A. (2009). *Mengenal Uji Tarik dan Sifat-sifat Mekanik Logam*.
- Souisa, M. (2011). *ANALISIS MODULUS ELASTISITAS DAN ANGKA POISSON BAHAN DENGAN UJI TARIK*. 5(2), 9–14.
- Suhardi, B. (2008). *Perancangan Sistem Kerja dan Ergonomi Industri Jilid 1*. Jakarta.
- Suparman. (2000). *Mekanika Teknik* (1st ed.). Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Suyono, A., & Arsana, I. M. (2013). *RANCANG BANGUN SISTEM KEMUDI MANUAL PADA MOBIL LISTRIK GARUDA UNESA*. 187–195.
- Tarwaka, HA. Bakri, S., & Sudiajeng, L. (2004). *Ergonomi untuk Keselamatan, Kesehatan Kerja dan Produktivitas* (Jilid 1). Surakarta.
- Testing, A. S. and M. (2015). *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics 1 (ASTM D638)*. <https://doi.org/10.1520/D0638-14.1>
- Training Section, N. S. D. (n.d.). *TOYOTA : Materi Pelajaran Chasis Group Step 2*. Jakarta: PT. TOYOTA - ASTRA MOTOR.
- Wibowo, & dkk. (2014). *GOMBAL (Genteng Komposit Serat Bambu Alami)*,

Inovasi Atap Rumah Kuat, Ringan, dan Tahan Gempa Bumi.

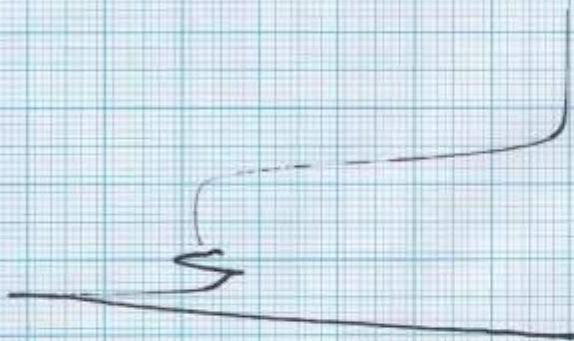




B1



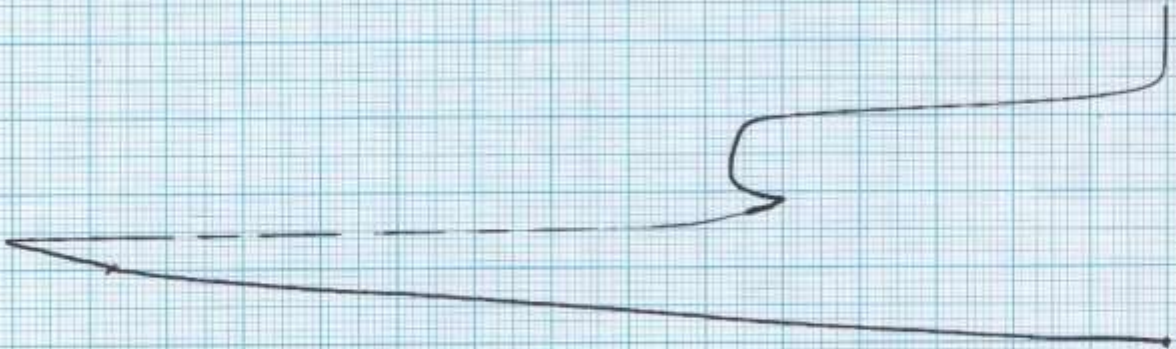
A2



A1



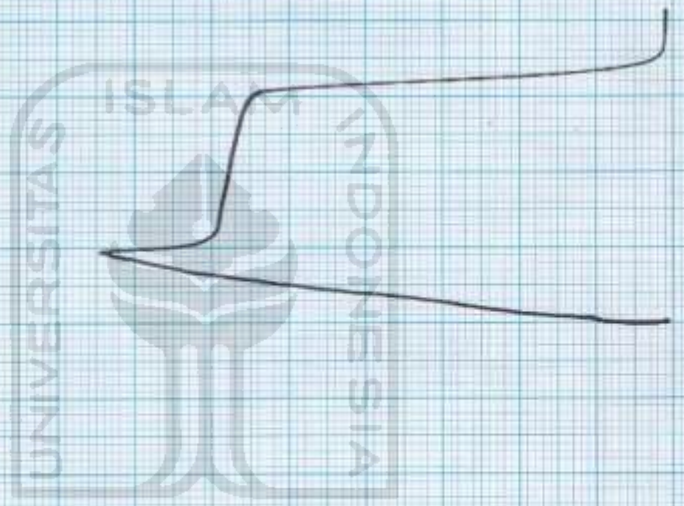
3DP



B2

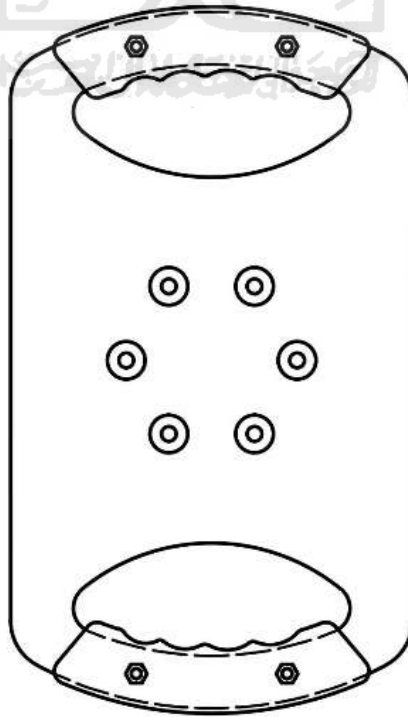


C1



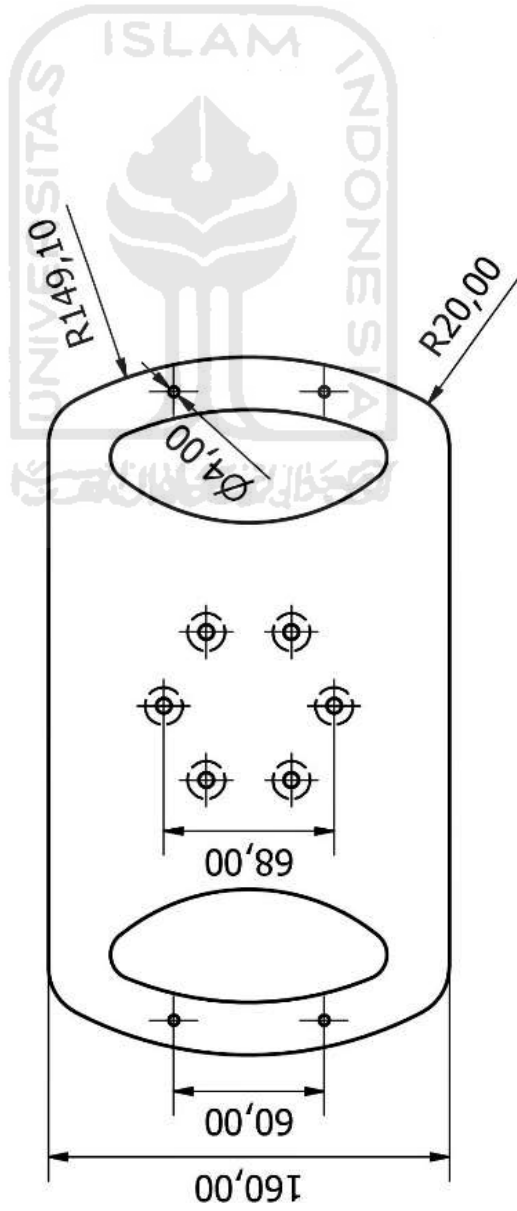
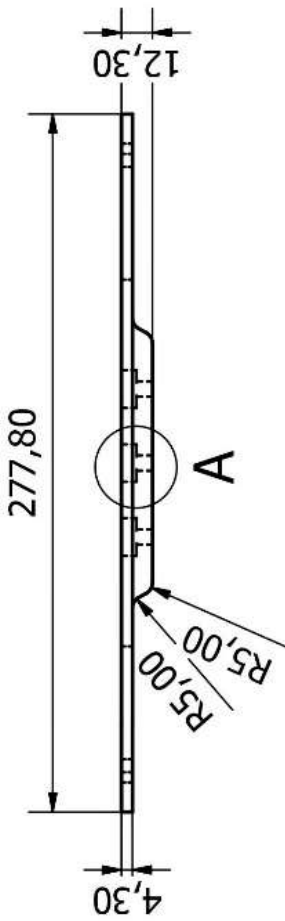
C2



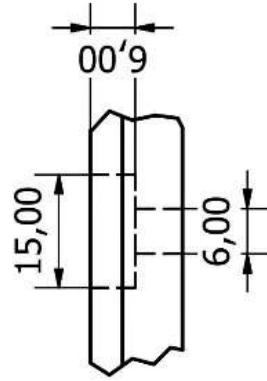


	Skala : 1:3	Digambar : M. Syahrul R. Putra	Ket :
	Satuan : mm	NIM : 16525022	
	Tanggal : 09/10/2020	Diperiksa :	
Teknik Mesin - FTI UII		Steering wheel Assembly	
		A4	


LAMPIRAN 3



A (1:1)

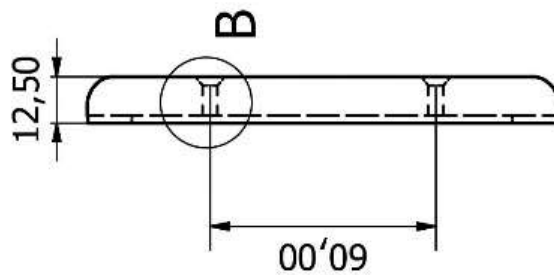
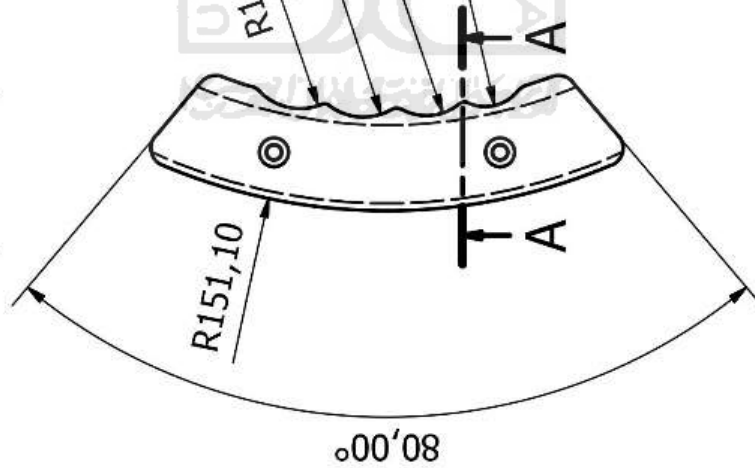
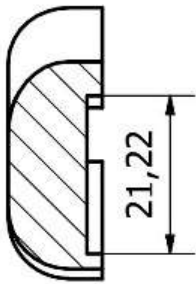


LAMPIRAN 4

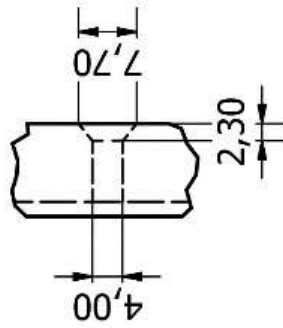
	Skala : 1:3	Digambar: M. Syahrul R. Putra	Ket :
	Satuan : mm	NIM : 16525022	
	Tanggal : 09/10/2020	Diperiksa :	
Teknik Mesin - FTI UJI		Steering wheel	A4



A-A (1)



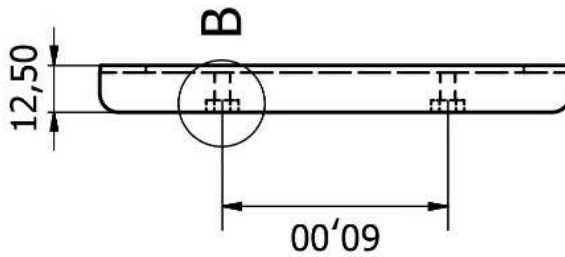
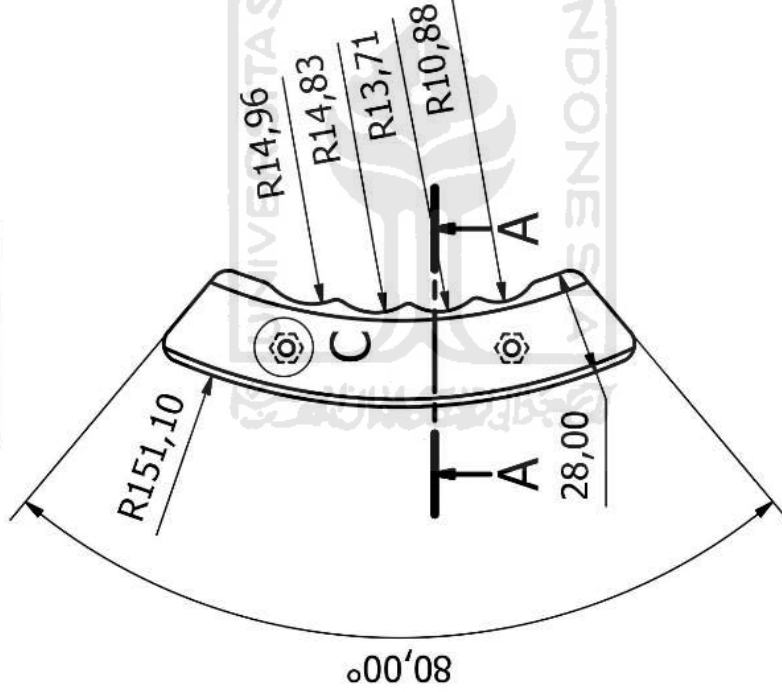
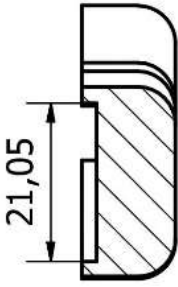
B (1:1)



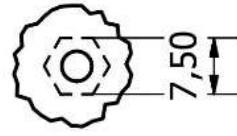
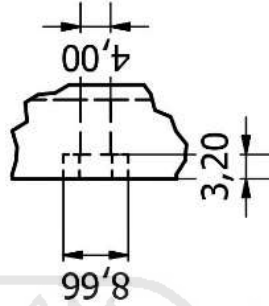
	Skala : 1:2	Digambar : M. Syahrul R. Putra	Ket :
	Satuan : mm	NIM : 16525022	
	Tanggal : 09/10/2020	Diperiksa :	
Teknik Mesin - FTI UII		Handgrip Atas	A4



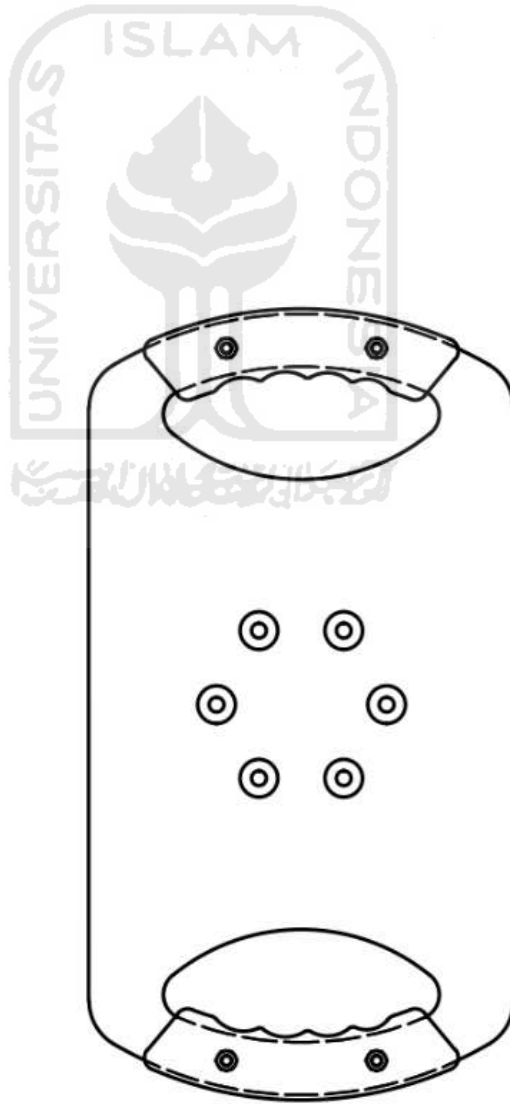
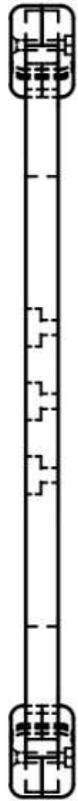
A-A (1)



B (1:1) C (1:1)

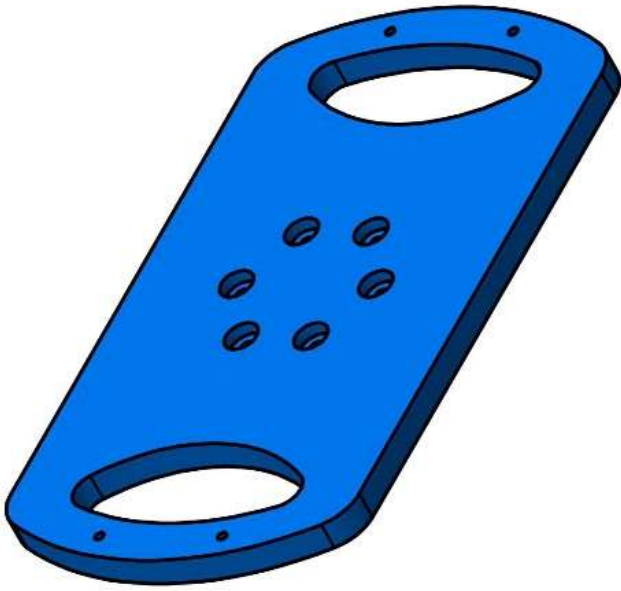


	Skala : 1:2	Digambar: M. Sahrul R. Putra	Ket :
	Satuan : mm	NIM : 16525022	
	Tanggal : 09/10/2020	Diperiksa :	
Teknik Mesin - FTI UII	Handgrip Bawah		A4

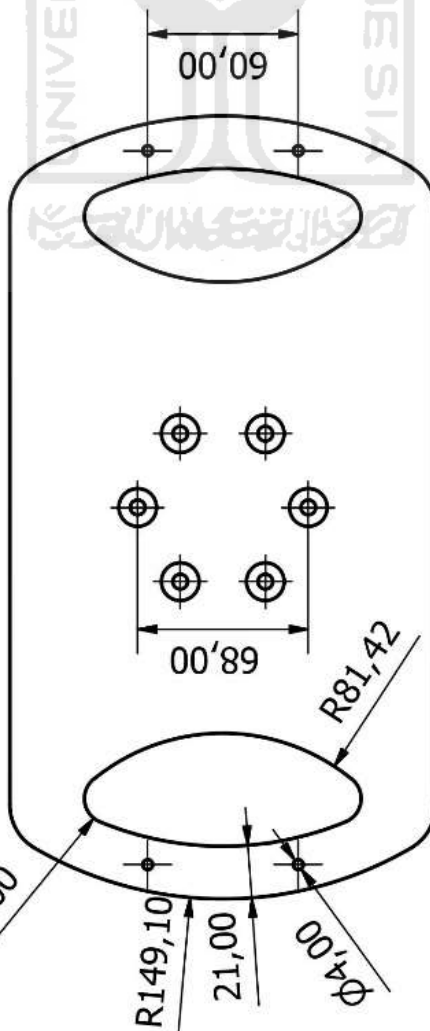
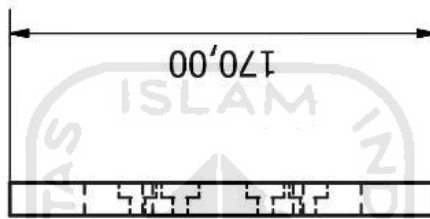
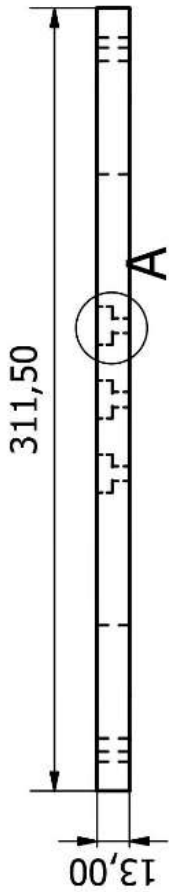
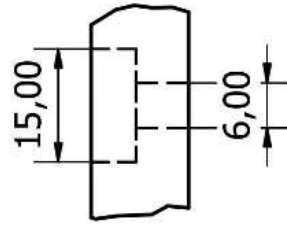


	Skala : 1:3	Digambar : M. Syahrul R. Putra	Ket :
	Satuan : mm	NIM : 16525022	
	Tanggal : 09/10/2020	Diperiksa :	
Teknik Mesin - FTI UII		Steering wheel Assembly	A4

LAMPIRAN 7

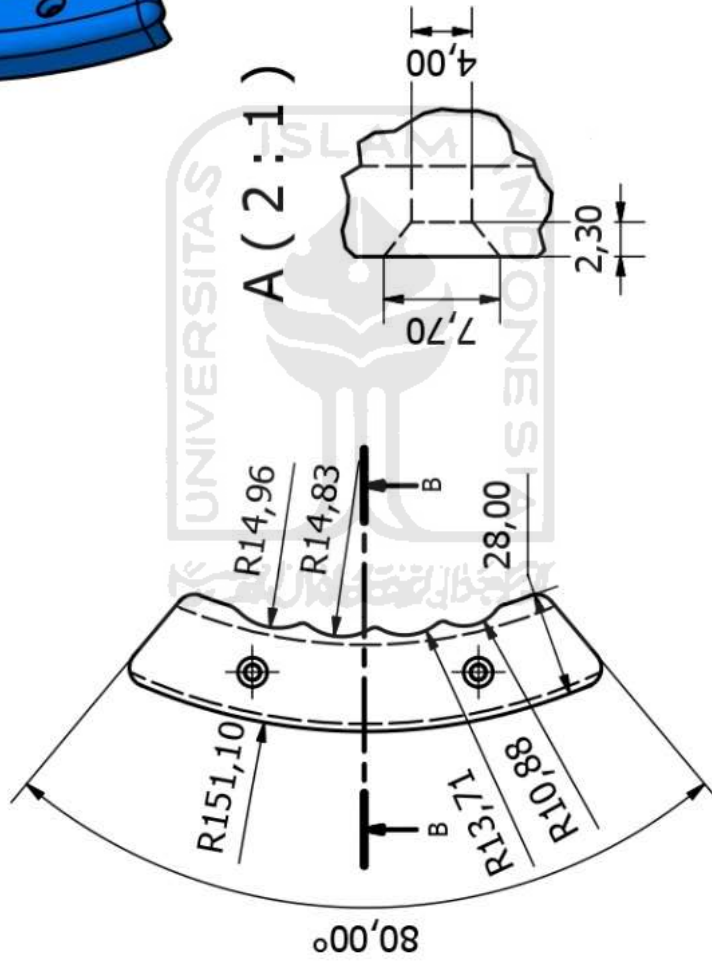
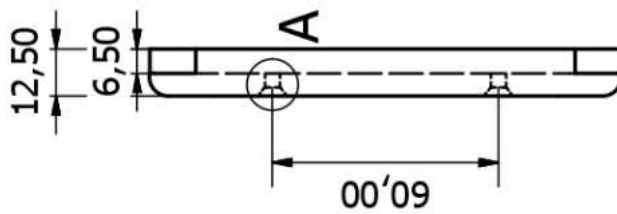
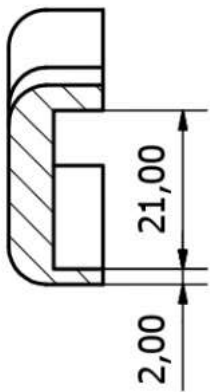


A (1:1)



	Skala : 1:3	Digambar : M. Syahrul R. Putra	Ket :
	Satuan : mm	NIM : 16525022	
	Tanggal : 09/10/2020	Diperiksa :	
Teknik Mesin - FTI UJI		Steering wheel	A4

B-B (1)

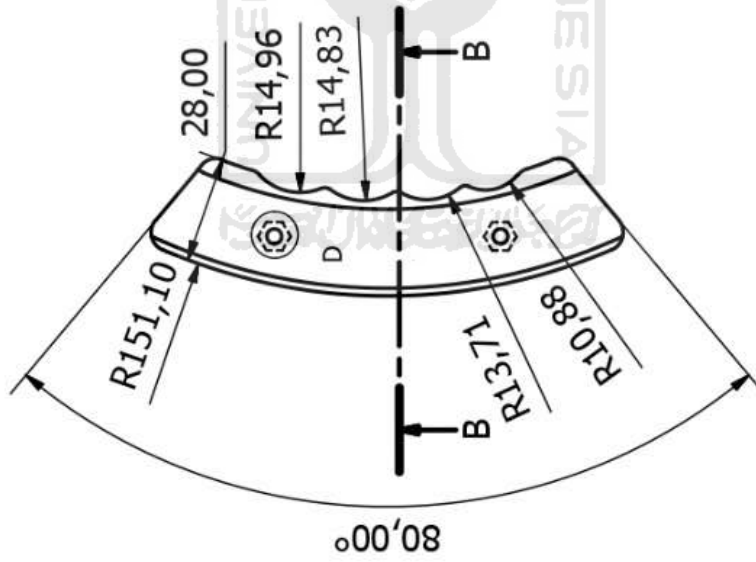
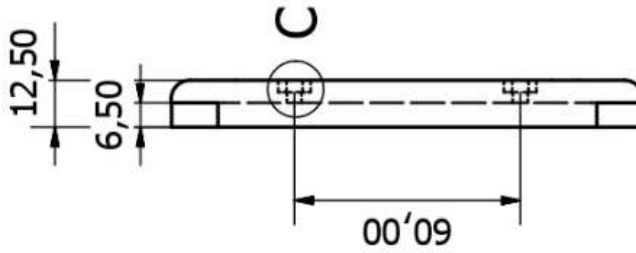
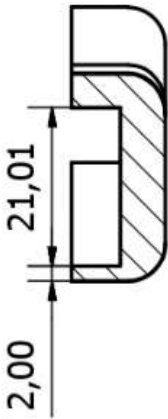


A (2 : 1)

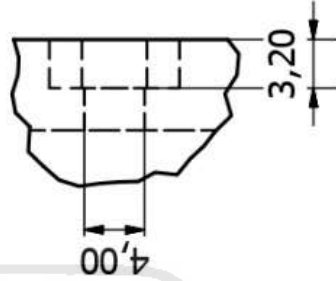
	Skala : 1:2	Digambar : M. Syahrul R. Putra	Ket :
	Satuan : mm	NIM : 16525022	
	Tanggal : 09/10/2020	Diperiksa :	
Teknik Mesin - FTI UII		Handgrip Atas	A4



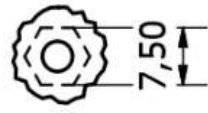
B-B (1)



C (2 : 1)



D (1 : 1)



	Skala : 1:2	Digambar : M. Syahrul R. Putra	Ket :
	Satuan : mm	NIM : 16525022	
	Tanggal : 09/10/2020	Diperiksa :	
Teknik Mesin - FTI UII		Handgrip Bawah	A4