

PEMBUATAN PROTOTIPE PENGGANTI RAHANG PATAH PADA MANUSIA MENGGUNAKAN TEKNOLOGI 3D PRINTER

SKRIPSI

**OLEH :
IVAN GOZALI
198130145**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2022**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 22/6/22

Access From (repository.uma.ac.id)22/6/22

PEMBUATAN PROTOTIPE PENGGANTI RAHANG PATAH PADA MANUSIA MENGGUNAKAN TEKNOLOGI 3D PRINTER

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana
di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Medan Area

HALAMAN JUDUL

Oleh :
IVAN GOZALI
198130145

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2022**

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi : Pembuatan Prototipe Pengganti Rahang Patah Pada Manusia Menggunakan Teknologi 3D Printer
Nama Mahasiswa : Ivan Gozali
NIM : 198130145
Bidang Keahlian : Material Manufaktur

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area

Nama Dosen Pembimbing I : Dr. Eng. Rakhmad Arief Siregar, S.T., M.Eng.
NIDN : 0111057402
Nama Dosen Pembimbing II : M. Yusuf Rahmansyah Siahaan, S.T., M.T.
NIP/NIDN : 0122078003

Medan, 30 Maret 2022

Dosen Pembimbing II,

Dosen Pembimbing I,



(M. Yusuf R. Siahaan, S.T., M.T.)
NIDN: 0122078003



(Dr. Eng. Rakhmad A. Siregar, S.T., M.Eng.)
NIDN: 0111057402

Diketahui Oleh:

Ketua Program Studi Teknik Mesin



(Dr. Kalimat Syah, S.Kom., M.Kom.)
NIDN: 0105058804



(Muhammad Hafid, S.T., M.T.)
NIDN: 0111057402

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagianbagian tertentu dalam penulisan skripsi dari hasil karya orang lain telah dituliskan secara jelas sesuai norma, kaidah dan etika dalam penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademi yang saya peroleh dan sanksi lainnya apabila dikemudian hari ditemukan unsur plagiat dalam skripsi ini.

Medan, Maret 2022

Hormat saya,



(Ivan Gozali)

(198130145)



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR / SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama	: Ivan Gozali
NPM	: 198130145
Fakultas	: Teknik
Program Studi	: Teknik Mesin
Jenis Karya	: Tugas Akhir / Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Non eksklusif (*non-exclusive Royalti-free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“Pembuatan Prototipe Pengganti Rahang Patah Pada Manusia Menggunakan Teknologi 3D Printer”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas Royalti, noneklusif ini, Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelolah dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi saya selama saya tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis /pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Medan, Maret 2022
Yang menyatakan :



(Ivan Gozali)
(198130145)

ABSTRAK

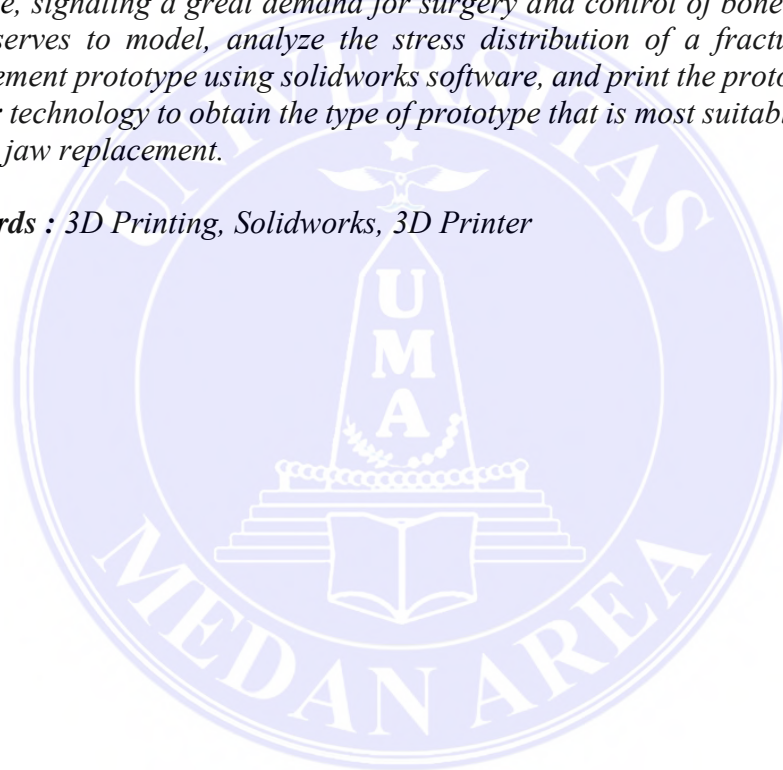
Fraktur mandibula adalah putusnya kontinuitas tulang mandibula, atau bahasa umumnya adalah patah tulang rahang bawah. Faktor etiologi utama terjadinya fraktur mandibula bervariasi berdasarkan lokasi geografis, namun kecelakaan kendaraan bermotor menjadi penyebab paling umum. Cacat mandibula yang disebabkan oleh tumor atau trauma menyebabkan efek yang merugikan pada penampilan pasien, berbicara, mengunyah, dan aktivitas sosial. Oleh karena itu, rekonstruksi mandibula harus mempertimbangkan sendi, oklusi, simetri wajah, area donor, pedikel vaskular, area jaringan lunak dan ketebalan. Dalam bedah maksilofasial, Pencetakan 3D terutama digunakan dalam perawatan gigi operasi implan dan rekonstruksi mandibula. Rekonstruksi yang berhasil perlu memulihkan kesimetrisan penampilan, ruang mengunyah yang cukup, dan posisi sendi yang benar sebanyak mungkin, menandakan permintaan yang besar untuk operasi dan mengontrol posisi tulang. Penelitian ini berfungsi untuk memodelkan, menganalisis distribusi tegangan prototipe pengganti tulang rahang bawah yang patah menggunakan software solidworks, dan mencetak prototipe tersebut dengan menggunakan teknologi Printer 3D sehingga diperoleh jenis prototipe yang paling cocok untuk pengganti rahang manusia yang patah.

Kata kunci : Pencetakan 3D, Solidworks, Printer 3D

ABSTRACT

Mandibular fracture is a break in the continuity of the mandibular bone, or in general it is a fracture of the mandible. The main etiologic factors of mandibular fracture vary by geographic location, but motor vehicle accidents are the most common cause. Mandibular defects caused by tumor or trauma have detrimental effects on the patient's appearance, speech, chewing, and social activities. Therefore, mandibular reconstruction should consider joint, occlusion, facial symmetry, donor area, vascular pedicle, soft tissue area and thickness. In maxillofacial surgery, 3D Printing is mainly used in dental implant surgery and mandibular reconstruction. Successful reconstruction requires restoring symmetry in appearance, adequate chewing space, and correct joint position as much as possible, signaling a great demand for surgery and control of bone position. This study serves to model, analyze the stress distribution of a fractured mandible replacement prototype using solidworks software, and print the prototype using 3D Printer technology to obtain the type of prototype that is most suitable for a broken human jaw replacement.

Keywords : *3D Printing, Solidworks, 3D Printer*



DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Ivan Gozali, dilahirkan di Pematang Siantar pada tanggal 10 Desember 1997 dan Ayah bernama Suwandy Gozali. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar pada tahun 2010 di SD Wage Rudolf Supratman 2, Kecamatan Medan Johor, Provinsi Sumatera Utara, dan menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama pada tahun 2013 di SMP Wage Rudolf Supratman 2, Kecamatan Medan Johor, Provinsi Sumatera Utara, dan penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas pada tahun 2016 di SMA Wage Rudolf Supratman 2, Kecamatan Medan Johor, Provinsi Sumatera Utara, dan juga penulis menyelesaikan pendidikan Diploma Tiga (D3) di Politeknik Negeri Medan (POLMED) pada tahun 2019, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara, dan penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Universitas Medan Area, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin dan selesai pada tahun 2022.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas karunia-Nya kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik, dengan judul “Pembuatan Prototipe Pengganti Rahang Patah Pada Manusia Menggunakan Teknologi 3D Printer”.

Skripsi ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi bagi setiap mahasiswa Universitas Medan Area untuk menyelesaikan pendidikan dengan mendapatkan gelar sarjana di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Secara khusus penulis ucapkan terima kasih kepada orang tua yaitu Ayahanda Suwandy Gozali dan Ibunda Sumarni, dan seluruh keluarga yang memberikan dukungan moral maupun material selama perkuliahan penulis.

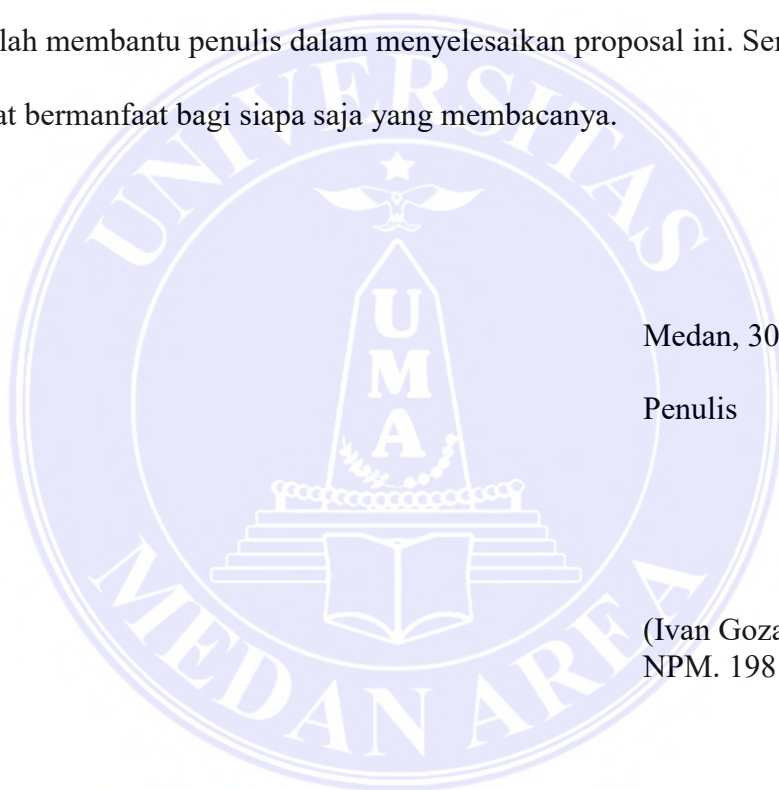
Penulis menyadari dalam skripsi ini masih banyak kekurangan yang masih perlu diperbaiki, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan skripsi ini.

Pada kesempatan ini penulis tidak lupa mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng., M.Sc., selaku Rektor Universitas Medan Area.
2. Bapak Dr. Rahmad Syah, S.Kom., M.Kom., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
3. Bapak Muhammad Idris, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin dan Bapak Dr. Iswandi, S.T., M.T., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
4. Bapak Dr.Eng. Rakhmad Arief Siregar, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing I bagi penulis yang telah banyak memberikan pengarahan dan bimbingan dalam menyelesaikan skripsi ini.

5. Bapak M. Yusuf Rahmansyah Siahaan, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II bagi penulis yang telah banyak memotivasi serta memberikan arahan sehingga menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen pengajar sarjana teknik mesin dan pegawai fakultas teknik Universitas Medan Area yang telah banyak membekali penulis ilmu dan pengetahuan selama penulis menjalani perkuliahan.

Akhir kata penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan proposal ini. Semoga proposal ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang membacanya.



Medan, 30 Maret 2022

Penulis

(Ivan Gozali)
NPM. 198130145

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN BUKU SKRIPSI	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN ERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar belakang	1
1.2. Rumusan masalah.....	4
1.3. Batasan masalah	4
1.4. Tujuan penelitian.....	4
1.5. Manfaat penelitian.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Rahang manusia	6
2.2. Jenis-jenis rahang manusia.....	6
2.3. Daerah fraktur mandibula.....	8
2.4. Desain berbantuan komputer dengan PSI	9
2.5. Implan TMJ khusus	10
2.6. Simulasi dengan metode FEA	10
2.7. Tegangan <i>von misses</i>	11
2.8. Teknologi pengganti rahang bawah pada manusia	12
2.9. Gaya	13
2.10. Tegangan dan regangan.....	14
2.11. Hukum hooke ; modulus elastisitas.....	15
2.12. Teori mesin printer 3D	15
2.13. Jenis-jenis 3D printing	17
2.14. Cara kerja printer 3D.....	18
2.15. Komponen-komponen printer 3D	20
2.16. Pengenalan solidworks.....	25
2.17. Fungsi-fungsi solidworks	26
2.18. Fitur-fitur dasar solidworks.....	27
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	31
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	31
3.1.1. Tempat penelitian	31
3.1.2. Waktu penelitian.....	31
3.2. Alat dan Bahan	32
3.2.1. Alat	32
3.2.2. Bahan.....	33
3.3. Prosedur Penelitian.....	35
3.3.1. Studi literatur	35

3.3.2.	Prosedur pembuatan prototipe.....	35
3.3.3.	Prosedur pengujian simulasi.....	38
3.3.4.	Proses pencetakan prototipe dengan 3D printer	40
3.3.5.	Pengoperasian mesin printer 3D Prusa I3 A8	41
3.4.	Diagram Alir Penelitian	43
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	45
4.1.	Hasil penentuan konsep rancangan	45
4.2.	Hasil pemilihan konsep rancangan.....	45
4.2.1.	Konsep 1	45
4.2.2.	Konsep 2.....	46
4.2.3.	Konsep 3.....	47
4.3.	Hasil prototipe design rancangan	48
4.4.	Hasil pengujian prototipe dengan aplikasi solidworks.....	49
4.4.1.	Simulasi desain konsep dengan pembebanan F pada pengujian pertama	49
4.4.2.	Simulasi desain konsep dengan pembebanan F pada pengujian kedua	51
4.4.3.	Simulasi desain konsep dengan momen τ pada pengujian pertama	52
4.4.4.	Simulasi desain konsep dengan momen τ pada pengujian kedua	53
4.5.	Hasil pengujian deformasi pada prototipe.....	55
4.6.	Hasil pemilihan konsep prototipe pengganti rahang bawah patah .	56
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	57
5.1.	Kesimpulan.....	57
5.2.	Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN	59

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Jadwal tugas akhir	31
Tabel 3.2. Spesifikasi laptop	33
Tabel 3.3. Sifat bahan titanium (Ti-6Al-4V Solution treated and aged SS)	39
Tabel 4.1. Tabel morfologi prototipe pengganti rahang patah pada manusia ...	45
Tabel 4.2. Metode keputusan pemberat prototipe pengganti rahang bawah patah	56



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Rahang bawah manusia	7
Gambar 2.2.	Daerah fraktur mandibula greenstick, simple, compound.....	9
Gambar 2.3.	Perpindahan bagian kondilus kiri dari reaksi sebelumnya	9
Gambar 2.4.	Model implant TMJ khusus.....	10
Gambar 2.5.	Maksimum tegangan von mises untuk 3 model mandibula.....	11
Gambar 2.6.	Diagram tegangan-regangan untuk berbagai jenis baja.....	15
Gambar 2.7.	Mesin printer 3D.....	16
Gambar 2.8.	Komponen printer 3D.....	20
Gambar 2.9.	Sistem pengumpan.....	22
Gambar 2.10.	Extruder	23
Gambar 2.11.	Print bed.....	24
Gambar 2.12.	Interface	24
Gambar 2.13.	Aplikasi solidworks	26
Gambar 2.14.	Fitur-fitur solidworks.....	27
Gambar 2.15.	Fitur <i>extruded boss</i> (kiri) dan <i>extruded cut</i> (kanan)	28
Gambar 2.16.	Fitur <i>revolved boss</i> dan <i>revolved cut</i>	28
Gambar 2.17.	Fitur <i>swept</i>	29
Gambar 2.18.	Fitur <i>loft</i>	29
Gambar 2.19.	Fitur <i>shell</i>	30
Gambar 3.1.	Mesin Printer 3D Prusa I3 Anet A8	32
Gambar 3.2.	Laptop	33
Gambar 3.3.	Filamen PLA	34
Gambar 3.4.	Filamen ABS	34
Gambar 3.5.	Membuka halaman gambar baru di solidworks 2015	35
Gambar 3.6.	Menu <i>sketch</i>	35
Gambar 3.7.	Sketsa 2D rahang bawah	36
Gambar 3.8.	<i>Extrude Boss</i> sketsa sebesar 84.1 mm	36
Gambar 3.9.	Perintah <i>extrude cut</i> untuk membuat bentuk rahang	36
Gambar 3.10.	Perintah <i>mirror</i> untuk menduplikat sisi rahang.....	37
Gambar 3.11.	Desain rahang bawah manusia yang masih utuh	37
Gambar 3.12.	Desain rahang bawah yang patah	37
Gambar 3.13.	Menu <i>Add-Ins</i>	38
Gambar 3.14.	Dialog box <i>solidworks simulation</i>	38
Gambar 3.15.	Menu <i>new study</i>	39
Gambar 3.16.	Perintah dalam simulasi objek.....	40
Gambar 3.17.	Proses pencetakan prototipe dengan 3D printer	41
Gambar 3.18.	Hasil pencetakan prototipe dengan 3D printer	41
Gambar 3.19.	Diagram alir penelitian	43
Gambar 4.1.	Konsep 1 rancangan pengganti tulang rahang patah	46
Gambar 4.2.	Konsep 2 rancangan pengganti tulang rahang patah	46
Gambar 4.3.	Konsep 3 rancangan pengganti tulang rahang patah	47
Gambar 4.4.	Prototipe design konsep 1 pengganti tulang rahang patah	48
Gambar 4.5.	Prototipe design konsep 2 pengganti tulang rahang patah	48

Gambar 4.6.	Prototipe design konsep 3 pengganti tulang rahang patah	48
Gambar 4.7.	Pembebanan F pada pengujian pertama	49
Gambar 4.8.	Simulasi konsep 1 dengan gaya 49.0 N pengujian pertama	50
Gambar 4.9.	Simulasi konsep 2 dengan gaya 49.0 N pengujian pertama	50
Gambar 4.10.	Simulasi konsep 3 dengan gaya 49.0 N pengujian pertama	50
Gambar 4.11.	Pembebanan F pada pengujian kedua.....	51
Gambar 4.12.	Simulasi konsep 1 dengan gaya 49.0 N pengujian kedua	51
Gambar 4.13.	Simulasi konsep 2 dengan gaya 49.0 N pengujian kedua	51
Gambar 4.14.	Simulasi konsep 3 dengan gaya 49.0 N pengujian kedua	52
Gambar 4.15.	Momen τ pada pengujian pertama	52
Gambar 4.16.	Simulasi konsep 1 dengan momen 5.5125 Nm pengujian pertama	52
Gambar 4.17.	Simulasi konsep 2 dengan momen 5.5125 Nm pengujian pertama	53
Gambar 4.18.	Simulasi konsep 3 dengan momen 5.5125 Nm pengujian pertama	53
Gambar 4.19.	Momen τ pada pengujian kedua	53
Gambar 4.20.	Simulasi konsep 1 dengan momen 5.5125 Nm pengujian kedua.....	54
Gambar 4.21.	Simulasi konsep 2 dengan momen 5.5125 Nm pengujian kedua.....	54
Gambar 4.22.	Simulasi konsep 3 dengan momen 5.5125 Nm pengujian kedua.....	54
Gambar 4.23.	Grafik <i>von misses stress</i> prototipe design gaya 49.0 N	55
Gambar 4.24.	Grafik <i>von misses stress</i> prototipe design momen 5.5125 Nm	55

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Teknologi *rapid manufacturing* telah mulai dimanfaatkan dalam bidang medis. Dulunya, penggunaan teknologi dalam bidang medis hanyalah merupakan sebuah harapan yang optimis untuk dapat diraih suatu saat nantinya. Di zaman sekarang ini, harapan tersebut sudah mulai muncul secara perlahan-lahan di beberapa penerapan yang menunjukkan bagaimana teknik manufaktur dengan metode berlapis-lapis yang menawarkan perkembangan yang dramatis dalam bidang medis yaitu dalam hal penyediaan perawatan yang lebih baik kepada penderita cedera maupun penyakit yang traumatis. Dengan munculnya teknologi manufaktur aditif pada pertengahan 1980-an, teknologi pencetakan tiga dimensi (3D) yang mencetak benda dengan mengandalkan ekstrusi termoplastik untuk pembuatan *prototipe*/permodelan. Bahan termoplastik yang digunakan adalah *Asam Polylactic (PLA)* dan *Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)* yang dicetak dengan cara dicairkan menggunakan nozel yang dialirkan secara berlapis lapis sehingga membentuk suatu benda.

Dalam bedah maksilofasial, *3D Printing* terutama digunakan dalam perawatan gigi operasi implan dan rekonstruksi mandibula. Sekarang alat bedah diakui secara luas berkat banyak keuntungan yang dilaporkan dalam literatur, seperti akurasi perangkat medis yang diproduksi, kemampuan untuk menyiapkan implan sebelum operasi, dan mengurangi waktu operasi. Saat digunakan dalam rekonstruksi rahang, sepertinya teknologi ini dapat meningkatkan hasil estetika

dan rehabilitasi fungsional. Namun, meskipun jumlahnya banyak studi dalam literatur yang melaporkan penggunaan *3D Printing* pada rekonstruksi rahang, sedikit yang diketahui tentang manfaat klinis nyata dalam dibandingkan dengan teknik bedah konvensional. Sebagian besar data tersedia dari laporan kasus dan seri kasus, termasuk hanya sejumlah kecil pasien dan tanpa pembandingan.

Mandibula atau rahang bawah terdiri dari lengkungan horizontal yang menahan gigi berisi pembuluh darah dan saraf. Dua bagian vertikal (rami) pada rahang membentuk sendi engsel yang dapat digerakkan di kedua sisi kepala, berartikulasi dengan rongga glenoid tulang temporal tengkorak. Rami juga memberikan keterikatan pada otot-otot yang penting dalam mengunyah. Bagian depan tengah lengkungan rahang diperkuat dan ditopang untuk membentuk dagu. Ada empat jenis otot yang menghubungkan sekaligus membantu tulang rahang bawah untuk bergerak. Otot-otot ini bekerja sama satu sama lain untuk membantu tulang rahang bawah bergerak ke atas, ke bawah, ke kiri dan ke kanan. Tulang rahang bawah tidak terhubung dengan tengkorak dan merupakan satu-satunya tulang yang bisa bergerak. Fungsi dari rahang bawah adalah membentuk bagian mulut, membantu proses mengunyah makanan, tempat melekatnya gigi bagian bawah, melindungi saraf dan otot yang berada di sekitar mulut dan tengkorak.

Fraktur mandibula adalah putusnya kontinuitas tulang mandibula, atau bahasa umumnya adalah patah tulang rahang bawah. Hilangnya kontinuitas pada rahang bawah (mandibula), dapat berakibat fatal bila tidak ditangani dengan benar. Faktor etiologi utama terjadinya fraktur mandibula bervariasi berdasarkan lokasi geografis, namun kecelakaan kendaraan bermotor menjadi penyebab paling umum.

Beberapa penyebab lain berupa kelainan patologis seperti keganasan pada mandibula, kecelakaan saat kerja, dan kecelakaan akibat olahraga.

Cacat mandibula yang disebabkan oleh tumor atau trauma menyebabkan efek yang merugikan pada penampilan pasien, berbicara, mengunyah, dan aktivitas sosial. Oleh karena itu, rekonstruksi mandibula harus mempertimbangkan sendi, oklusi, simetri wajah, area donor, pedikel vaskular, area jaringan lunak dan ketebalan. Rekonstruksi yang berhasil perlu memulihkan kesimetrisan penampilan, ruang mengunyah yang cukup, dan posisi sendi yang benar sebanyak mungkin, menandakan permintaan yang besar untuk operasi dan mengontrol posisi tulang. Rekonstruksi mandibula yang tepat dan fungsional adalah salah satu cara untuk meningkatkan kualitas hidup pasien dan membantu mereka kembali ke dalam masyarakat.

Sesuai dengan latar belakang tersebut, maka dalam penelitian ini penulis akan membuat prototipe pengganti rahang patah pada manusia. Penulis akan mendesain variasi prototipe pengganti tulang yang patah pada rahang bawah manusia dan dari variasi prototipe yang telah dibuat tersebut akan diuji distribusi tegangan pada masing-masing prototipe rahang tersebut dengan menggunakan perangkat lunak Solidworks. Setelah hasil pengujian tersebut telah dilakukan pada prototipe tersebut, maka akan ditarik kesimpulan untuk jenis prototipe yang paling cocok digunakan sebagai pengganti rahang yang patah.

Dengan latar belakang ini maka penulis tertarik untuk mengadakan penelitian sebagai tugas sarjana dengan judul: PEMBUATAN PROTOTIPE PENGGANTI RAHANG PATAH PADA MANUSIA MENGGUNAKAN TEKNOLOGI 3D PRINTER.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya maka rumusan masalah dari penelitian ini yaitu mendesain dan melakukan analisis terhadap 3 jenis prototipe pengganti tulang rahang bawah pada manusia yang patah dengan menggunakan software Solidworks.

1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini yaitu pembuatan prototipe pengganti tulang rahang bawah pada manusia yang patah dengan menggunakan teknologi 3D Printer dengan jenis bahan yang dicetak pada 3D Printer tersebut yaitu dengan bahan *Asam Polylatic (PLA)*.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan batasan masalah tersebut maka tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memodelkan prototipe pengganti tulang rahang bawah yang patah dengan menggunakan perangkat lunak Solidworks.
2. Menganalisis distribusi tegangan pada prototipe pengganti tulang rahang bawah yang patah dengan menggunakan perangkat lunak Solidworks.
3. Mencetak prototipe pengganti tulang rahang bawah yang patah pada manusia menggunakan teknologi 3D Printer.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat antara lain :

1. Memberikan pengetahuan dalam pencetakan prototipe rahang manusia pada mesin 3D Printer.
2. Memberikan pengetahuan tentang desain tulang rahang bawah manusia yang patah dengan menggunakan software Solidworks.

3. Sebagai referensi dan bahan pertimbangan dalam penelitian pada pengembangan perancangan prototipe pengganti tulang rahang bawah yang patah pada manusia dalam penelitian yang akan datang.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Rahang Manusia

Rahang adalah kedua bagian tulang atas dan bawah yang terletak pada rongga mulut sekaligus sebagai tempat gigi untuk tumbuh. Rahang terdiri atas rahang bawah yang dapat digerakkan (mandibula) dan rahang atas yang tetap (maxila). Rahang digunakan untuk menggigit dan mengunyah makanan dengan cara digerakan berlawanan satu sama lain. [1]

Fungsi rahang manusia yaitu :

1. Membentuk mulut : Bersama dengan tulang rahang atas atau maksila, fungsi tulang rahang bawah adalah membentuk struktur mulut.
2. Membantu proses mengunyah : Pergerakan tulang rahang bawah yang ke atas dan ke bawah membantu Anda untuk bisa mengunyah makanan dengan baik.
3. Tempat melekatnya gigi bagian bawah : Fungsi tulang rahang bawah lainnya adalah menjadi tempat melekat dan perlindungan untuk gigi bagian bawah.
4. Melindungi saraf dan otot : Selain membentuk struktur mulut, fungsi tulang rahang bawah bersama dengan tulang rahang atas adalah untuk melindungi saraf-saraf dan otot-otot penting di sekitar mulut dan tengkorak. [2]

2.2. Jenis-Jenis Rahang Manusia

Mandibula atau rahang bawah terdiri dari lengkungan horizontal yang menahan gigi berisi pembuluh darah dan saraf. Dua bagian vertikal (rami) pada rahang membentuk sendi engsel yang dapat digerakkan di kedua sisi kepala, berartikulasi dengan rongga glenoid tulang temporal tengkorak. Tulang mandibula

merupakan pembentuk rahang bawah dengan posisinya menempel pada tulang tengkorak bagian temporal dan merupakan satu-satunya hubungan antar tulang tengkorak yang bisa digerakkan.[3] Mandibula ini juga merupakan satu-satunya tulang pada tengkorak yang dapat bergerak. Mandibula bisa ditekan dan diangkat pada waktu membuka dan menutup mulut. Dapat ditonjolkan, ditarik ke belakang dan sedikit digoyangkan dari kiri ke kanan dan sebaliknya sebagaimana terjadi pada waktu mengunyah. Ada empat jenis otot yang menghubungkan sekaligus membantu tulang rahang bawah untuk bergerak. Otot-otot ini bekerja sama satu sama lain untuk membantu tulang rahang bawah bergerak ke atas, ke bawah, ke kiri dan ke kanan. Tulang rahang bawah tidak terhubung dengan tengkorak dan merupakan satu-satunya tulang yang bisa bergerak. Fungsi dari rahang bawah adalah membentuk bagian mulut, membantu proses mengunyah makanan, tempat melekatnya gigi bagian bawah, melindungi saraf dan otot yang berada di sekitar mulut dan tengkorak. Gambar rahang bawah dapat dilihat pada gambar 2.1. dibawah ini.



Gambar 2.1. Rahang Bawah Manusia

Rahang atas atau maxila melekat erat pada tulang hidung di pangkal hidung, ke tulang frontal, lakrimal, ethmoid, dan zygomatik di dalam rongga mata, ke tulang palatine dan sphenoid di langit-langit mulut dan di samping dengan ekstensi untuk membentuk bagian anterior lengkung *zygomatik* (tulang pipi). Bagian bawah

rahang atas yang melengkung berisi gigi atas. Tulang rahang atas terdiri dari bagian kiri dan kanan yang tidak memiliki bentuk teratur dan menyatu di bagian tengah tengkorak, tepatnya di bawah hidung. Tulang rahang atas adalah salah satu tulang utama pada wajah dan terdiri dari tulang pada bagian atas mulut, tulang bagian bawah pada mata, serta tulang bagian bawah dan samping pada hidung. Fungsi rahang atas adalah pelindung organ vertikal pada tengkorak, membantu pergerakan mulut dan wajah, meningkatkan volume dan kedalaman suara, tempat melekatnya gigi bagian atas dan untuk meringkan tengkorak.

2.3. Daerah Fraktur Mandibula

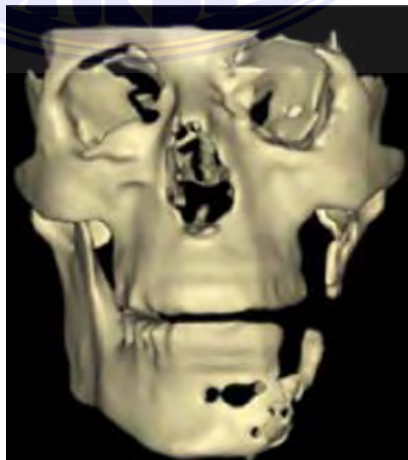
Berdasarkan daerah fraktur yang diperlihatkan pada gambar 2.2., daerah fraktur dibagi menjadi fraktur greenstick atau incomplete; fraktur yang tidak sempurna dimana pada satu sisi dari tulang mengalami fraktur sedangkan pada sisi yang lain tulang masih terikat. Fraktur greenstick biasanya didapatkan pada anak-anak karena periosteum tebal. Fraktur tunggal; fraktur hanya pada satu tempat saja. Fraktur multipel; fraktur yang terjadi pada dua tempat atau lebih, umumnya bilateral. Fraktur kominutif; terdapat adanya fragmen yang kecil bisa berupa fraktur simple atau compound. Selain itu terdapat juga fraktur patologis; fraktur yang terjadi akibat proses metastase ke tulang, impacted fraktur; fraktur dengan salah satu fragmen fraktur di dalam fragmen fraktur yang lain. Fraktur atrophic; adalah fraktur spontan yang terjadi pada tulang yang atrofi seperti pada rahang yang tidak bergigi. Indirect fraktur; fraktur yang terjadi jauh dari lokasi trauma.



Gambar 2.2. Daerah Fraktur Mandibula Greenstick, Simple, Compound

2.4. Desain Berbantuan Komputer dengan PSI

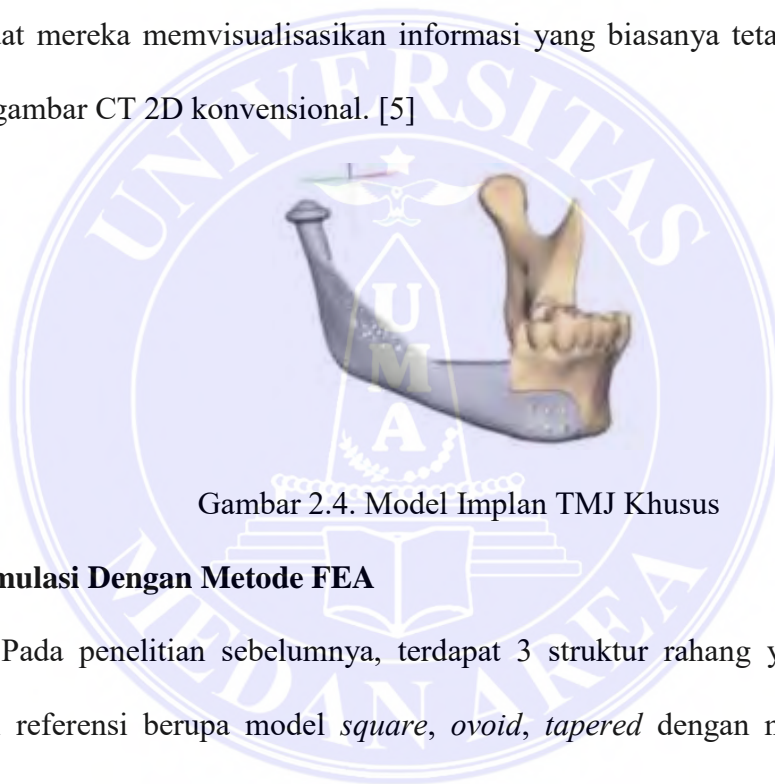
Karena tumor merusak anatomi mandibula secara unilateral seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.3., desain implan bisa diperoleh dari keuntungan dari sisi kanan mandibula yang tidak terpengaruh. Menggunakan perangkat lunak 3-MATIC ®(Materialise, Leuven, Belgia), fungsi pencerminan digunakan, dan implan dirancang untuk mempertahankan dan mereproduksi pandangan struktur jaringan keras. Menerapkan desain ini akan mendukung pasca operasi yang sehat dan lebih normal status wajah. Simulasi virtual implan kemudian diperpanjang secara distal dengan sayap setebal 2 mm dengan desain yang baik lubang untuk menerima sekrup untuk retensi pada sisa yang tidak terpengaruh mandibula kanan. Lubang di dalam bodi PSI dirancang untuk mengurangi berat badan dan memfasilitasi penjahitan otot-otot di sekitar daerah pencangkakan. [4]



Gambar 2.3. Perpindahan Bagian Kondilus Kiri Dari Reseksi Sebelumnya

2.5. Implan TMJ Khusus

Untuk memvisualisasikan anatomi mandibula dan daerah sekitarnya, CT scan resolusi tinggi dengan ketebalan irisan dan peningkatan yang memadai digunakan untuk memodelkan defek secara 3D. Wilayah yang diinginkan ditangkap dengan baik dalam pemindaian dan direplikasi sebagai model digital 1:1 untuk memahami defek dan patologi. Identy adalah untuk memberikan model yang cukup jelas seperti yang terlihat pada gambar 2.4. dan membantu ahli bedah untuk membuat mereka memvisualisasikan informasi yang biasanya tetap tersembunyi dalam gambar CT 2D konvensional. [5]



Gambar 2.4. Model Implan TMJ Khusus

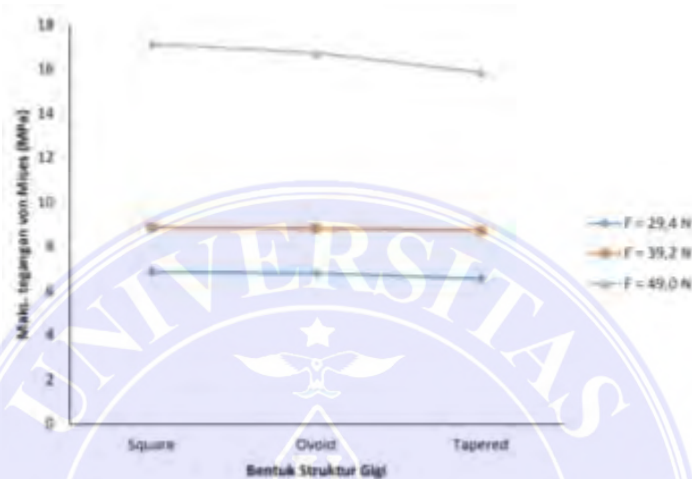
2.6. Simulasi Dengan Metode FEA

Pada penelitian sebelumnya, terdapat 3 struktur rahang yang dijadikan sebagai referensi berupa model *square*, *ovoid*, *tapered* dengan masing masing dimensinya berupa :

1. *Square* : panjang = 112.5 mm, lebar = 97.1 mm, tinggi = 84.1 mm;
2. *Ovoid* : panjang = 112.4 mm, lebar = 95.1 mm, tinggi = 82.1 mm;
3. *Tapered* : panjang = 112.6 mm, lebar = 94.0 mm, tinggi = 84.0 mm.

Metode FEA dalam simulasi pada aplikasi solidworks digunakan untuk mengamati distribusi tegangan seperti yang terlihat pada gambar 2.5. Berdasarkan bentuk geometri mandibula pembebanan tertinggi memberikan respon tegangan *von misses* yang tinggi. Bila pembebanan $F = 29,4$ N dijadikan referensi, terjadi

peningkatan sebesar 29% pada pembebanan $F = 39,2$ N, tetapi melonjak tinggi hingga sekitar 150% untuk pembebanan $F = 49,0$ N. Hal ini menjadi fakta bahwa faktor geometri berpengaruh terhadap distribusi tegangan *von misses*. Ketiga model memberikan informasi bahwa mandibula dengan struktur gigi *tapered* memberikan respon tegangan *von misses* yang rendah dibanding model mandibula yang lain dan semakin berpengaruh signifikan bila beban yang diberikan semakin meningkat. [6]



Gambar 2.5. Maksimum Tegangan *Von Misses* Untuk 3 Model Mandibula

2.7. Tegangan *Von Misses*

Tegangan *von misses* adalah nilai yang digunakan untuk menentukan apakah suatu bahan akan luluh atau patah. *Von misses* ini banyak digunakan untuk bahan ulet, seperti logam. Kriteria luluh *von misses* menyatakan bahwa jika tegangan *von misses* suatu material berada di bawah beban yang sama atau lebih besar dari batasan luluh material yang sama di bawah tegangan sederhana, maka material tersebut akan luluh.

Banyak teori dan konsep telah diturunkan dari konsep dasar mekanika kontinum. Salah satunya adalah teori energi distorsi maksimum, yang diterapkan di berbagai bidang seperti bantalan karet dan aplikasi dengan bahan ulet lainnya. Ini awalnya disusulkan oleh Hubert pada tahun 1904 dan dikembangkan lebih lanjut oleh Von Misses pada tahun 1913. Menurutnya, leleh terjadi ketika energi distorsi

mencapai nilai kritis. Nilai kritis ini, yang spesifik untuk setiap bahan, dapat dengan mudah diperoleh dengan melakukan uji tarik sederhana.[7]

2.8. Teknologi Pengganti Rahang Bawah Patah pada Manusia

Salah satu hasil riset karya anak bangsa berupa alat kesehatan untuk rekayasa jaringan tulang manusia berupa Gama-CHA. Gama-CHA tersebut secara klinis telah terbukti menjadi perancah (penyangga) tulang dan gigi yang baik pada operasi regeneratif. Alat tersebut sangat identik dengan tulang manusia. Keunggulan Gama-CHA dibandingkan produk lainnya adalah, secara klinis telah terbukti menjadi perancah tulang yang baik pada operasi regeneratif. Bahkan Gama-CHA memungkinkan dokter gigi, ahli bedah mulut, periodontist, dan ahli ortopedi menggunakannya dalam terapi mempercepat pertumbuhan tulang yang hilang tanpa harus mengambil tulang pasien yang masih sehat.

Teknologi ini juga memungkinkan menggunakan tulang pasien yang sudah meninggal dari bank jaringan. Di samping itu, teknologi ini memungkinkan perbaikan rahang pasca pencabutan gigi, perbaikan fraktur tulang rahang, dan mempercepat penyembuhan luka pada jaringan tulang. Pasalnya, Gama-CHA mengandung unsur karbonat, kristalinitas, dan polimer yang disesuaikan dengan komposisi tulang. Kolagen yang dipakai secara imunologis bisa diterima tubuh, sehingga mempercepat remodeling tulang hingga identik seperti sedia kala. Hal tersebut karena Gama-CHA diproses sesuai suhu tubuh sehingga kristalisasinya sesuai tulang. Namun, hal yang perlu ditekankan adalah alat tersebut bukan untuk memperbaiki gigi, namun tulang pendukungnya. [8]

2.9. Gaya

Gaya adalah tarikan atau dorongan yang terjadi pada suatu benda. Gaya ini menimbulkan perubahan posisi, gerak atau perubahan bentuk benda. Gaya memiliki nilai dan arah, sehingga masuk ke dalam besaran vektor. Gaya disimbolkan dengan Force (F) dan satuan gaya adalah Newton (N). Pengukuran gaya dilakukan dengan alat yang disebut dinamometer atau neraca pegas. Untuk melakukan sebuah gaya diperlukan tenaga. Semakin besar gaya yang hendak dilakukan, maka semakin besar pula tenaga yang harus dikeluarkan.

Gaya memiliki tiga rumus dasar untuk menjelaskan gerak benda. Tiga rumus tersebut adalah hukum Newton 1, 2, dan 3.

1. Hukum Newton 1 : “Jika penjumlahan atau pengurangan gaya yang bekerja pada benda sama dengan nol, benda yang semula diam tetap diam.” Serta benda yang bergerak lurus beraturan akan tetap bergerak lurus beraturan. Rumus Hukum Newton 1 yaitu :

$$\sum F = 0 \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan : $\sum F$ = resultan gaya (kilogram m/s²)

2. Hukum Newton 2 : “Percepatan atau perubahan dari kecepatan gerak benda selalu berbanding lurus dengan resultan gaya yang bekerja pada suatu benda dan selalu berbanding terbalik dengan massa benda.”

Rumus Hukum Newton 2 yaitu :

$$\sum F = m.a \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan : $\sum F$ = resultan gaya (kilogram m/s²)

m = massa benda (kilogram)

a = percepatan (m/s²)

3. Hukum Newton 3 : “Jika suatu benda memberikan gaya terhadap benda kedua, maka benda kedua akan membalas gaya dari benda pertama dengan arah berlawanan.”

Rumus Hukum Newton 3 yaitu :

$$\sum F_{aksi} = -\sum F_{reaksi} \dots \dots \dots (2.3)$$

2.10. Tegangan dan Regangan

Gaya per satuan luas pada suatu penampang dinamakan tegangan yang dinotasikan dengan σ . [9] Tegangan pada luas penampang A yang dikenakan beban aksial P adalah P dibagi luas A :

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (Pers 2.4.)$$

Keterangan : σ = Tegangan (N/m^2)

P = Beban (N)

A = Luas penampang (m^2)

Regangan merupakan perubahan relatif ukuran atau bentuk suatu benda yang mengalami tegangan. Regangan dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara pertambahan panjang benda terhadap panjang benda mula-mula. Selain itu regangan menjadi tolok ukur seberapa jauh benda tersebut berubah bentuk. Rumus dari regangan yaitu :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots \dots \dots (Pers 2.5.)$$

Keterangan : ε = Regangan

ΔL = pertambahan panjang (m)

L = panjang mula-mula (m)

2.11. Hukum Hooke ; Modulus Elastisitas

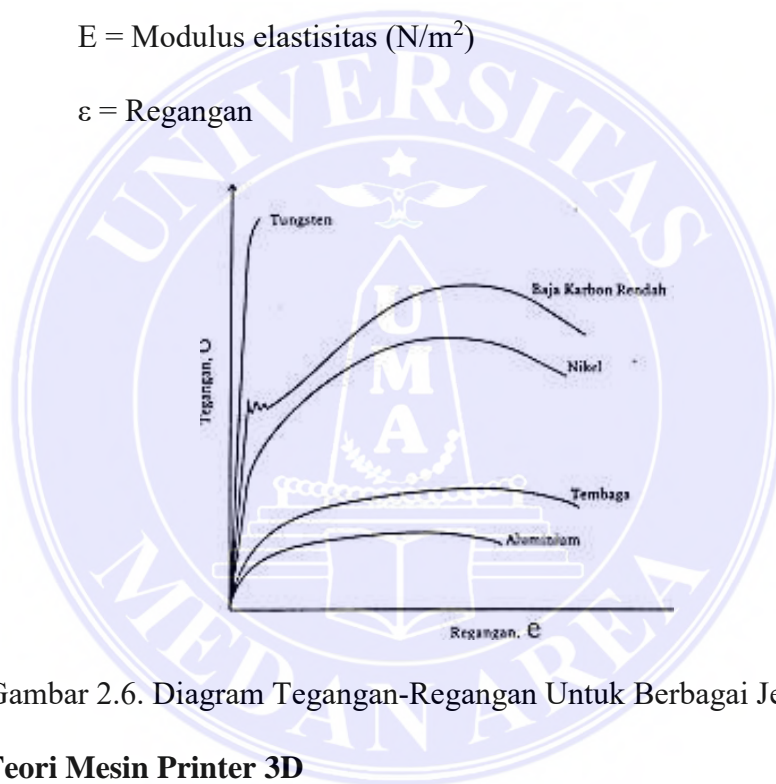
Kebanyakan struktur dirancang untuk mengalami deformasi yang relatif kecil, yaitu hanya terkait dengan garis lurus diagram tegangan-regangan artinya bahwa struktur dirancang agar tidak melewati kekuatan luluhnya σ_Y . Sepanjang garis elastis yang dapat dilihat pada gambar 2.6., tegangan σ adalah berbanding lurus dengan regangan ϵ , sehingga dapat dituliskan dalam bentuk :

$$\sigma = E \cdot \epsilon \dots \dots \dots \text{(Pers 2.6.)}$$

Keterangan : σ = Tegangan (N/m^2)

E = Modulus elastisitas (N/m^2)

ϵ = Regangan



Gambar 2.6. Diagram Tegangan-Regangan Untuk Berbagai Jenis Baja

2.12. Teori Mesin Printer 3D

Pencetakan 3D, atau manufaktur aditif, adalah konstruksi objek tiga dimensi dari model CAD atau model 3D digital. Istilah "pencetakan 3D" dapat merujuk pada berbagai proses di mana material disimpan, digabungkan atau dipadatkan di bawah kendali komputer untuk membuat objek tiga dimensi, dengan material yang ditambahkan bersama-sama (seperti plastik, cairan atau butiran bubuk yang menyatu bersama), biasanya lapis demi lapis.

Pada 1980-an, teknik pencetakan 3D dianggap hanya cocok untuk produksi prototipe fungsional atau estetika, dan istilah yang lebih tepat untuk itu pada saat itu adalah *rapid prototyping*. Pada 2019, presisi, pengulangan, dan jangkauan bahan pencetakan 3D telah meningkat ke titik di mana beberapa proses pencetakan 3D dianggap layak sebagai teknologi produksi industri, di mana istilah manufaktur aditif dapat digunakan secara sinonim dengan pencetakan 3D. Salah satu keuntungan utama dari pencetakan 3D adalah kemampuan untuk menghasilkan bentuk atau geometri yang sangat kompleks yang tidak mungkin dibuat dengan tangan, termasuk bagian berongga atau bagian dengan struktur rangka internal untuk mengurangi berat. *Fused Deposition Modelling (FDM)*, yang menggunakan filamen kontinu dari bahan termoplastik, adalah proses pencetakan 3D yang paling umum digunakan pada tahun 2020. [10] Gambar mesin printer 3D terlihat pada gambar 2.7. dibawah ini.



Gambar 2.7. Mesin Printer 3D

2.13. Jenis-Jenis 3D Printing

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 22/6/22

Access From (repository.uma.ac.id)22/6/22

Berbagai sektor yang sudah mengaplikasikan penggunaan 3D Printer yaitu industri, arsitektur, kesehatan, otomotif, kesenian, pendidikan, hingga militer. Seiring berjalannya waktu, mengikuti kebutuhan berbagai sektor yang semakin beragam, tipe dan jenis 3D printing juga turut berkembang. Adapun jenis-jenisnya adalah berikut ini:

1. *Stereolithography (SLA)*

Stereolithography (SLA) merupakan jenis 3D *Printing* yang original karena umum digunakan pada printer 3D pertama sejak tahun 1980-an. Kinerja khasnya yaitu dengan cara mencetak selapis demi selapis material yang ditumpuk secara berturut-turut sampai membentuk bangun yang diinginkan.

Material yang biasa digunakan adalah semacam cairan yang seketika akan membeku saat terpapar sinar ultraviolet. Untuk program yang dipakai dalam membuat desain digitalnya yaitu program CAD. File yang dapat dibaca mesin printer harus berformat *STL (Standar Tessellation)*. Waktu pencetakan bergantung pada dimensi objek yang akan dicetak.

2. *Selective Laser Sintering (SLS)*

Jenis yang kedua ini memiliki kemiripan bentuk dan cara kerja dengan tipe SLA. Perbedaannya terletak pada material yang digunakan untuk membentuk cetakan. Jika SLA memakai cairan, *Selective Laser Sintering* menggunakan material berwujud bubuk yang berbahan dasar kaca, nilon, bahkan keramik. Dibanding dengan SLA, jenis ini mempunyai suku cadang yang lebih kuat meskipun hasil akhirnya cenderung kasar. Jenis 3D *printing* ini sangat cocok untuk memproduksi objek yang tersusun oleh material yang bervariasi.

3. *Fused Deposition Modelling (FDM)*

FDM atau bisa diterjemahkan sebagai Pemodelan Deposisi Gabungan yaitu jenis 3D *Printing* yang pencetakannya menggunakan material berbahan plastik. Dibanding tipe lain, FDM merupakan tipe yang paling hemat biaya, ramah lingkungan, dan waktu cetaknya relatif cepat. Kekurangannya yaitu permukaan hasilnya agak kasar dan kurang kuat karena terbuat dari plastik.

Jenis ini adalah yang paling banyak digunakan oleh perusahaan terkenal seperti Nestle, Hyundai, Dial, dll. Penggunaan FDM ini biasanya dalam rangka membuat prototype produk.

4. *Digital Light Processing (DLP)*

DLP atau Pemrosesan Cahaya Digital memiliki kesamaan dengan jenis SLA karena sama-sama menggunakan material resin plastik cair yang akan mengeras jika terpapar cahaya. Perbedaannya terletak pada jenis cahaya yang dipakai, SLA menggunakan sinar UV, sedangkan DLP memakai layar proyektor dengan pencahayaan digital.

Melalui pencahayaan digital maka DLP mampu mencetak keseluruhan lapisan material sekaligus sehingga prosesnya akan sangat cepat. Hasil cetaknya juga beresolusi baik. Jenis ini termasuk populer karena harganya terjangkau dan materialnya tidak terlalu kompleks.[11]

2.14. Cara Kerja Printer 3D

Cara kerja printer 3D ini adalah dengan membuat terlebih dahulu cetaknya yang sebenarnya sama atau sejenis dengan printer konvensional yang bisa digunakan untuk menciptakan layer atau lapisan berwarna sehingga akan menghasilkan objek 3D yang nampak seperti wujud aslinya. Namun, yang

membedakan pada printer 3D ini adalah yang dipakai bukan lagi tinta cetak biasa tetapi jenis plastic molten wax dan bahan lainnya seperti logam atau besi sehingga nantinya bisa menciptakan jenis model bentuk yang diharapkan.

Sistem Kerja 3D printer adalah ada 3 tahapan yang berbeda yaitu:

1. Membuat Model 3D

Untuk membuat model dari objek 3D yang akan dibuat nantinya maka Anda harus menggunakan software khusus untuk bisa mendesain model 3D nya yang nantinya bisa mendukung printer yang ada untuk mencetak objek tersebut. Contoh software nya adalah *delcam*, *solidwork*, dan lainnya. Software pastikan hanya menggunakan yang original jangan pernah tergoda menggunakan software palsu atau bajakan.

2. *Printing Process*

Kemudian jika Anda sudah menyiapkan desainnya maka bisa melanjutkan ke *printing process*. Untuk proses pencetakan desain berbeda-beda antara desain satu dan lainnya.

Beberapa faktor yang mempengaruhi antara lain adalah ukuran, desain, volume, kerumitan desain dan lainnya. Prinsip dasar saat menjalankan *printing process* ini adalah *Additive Layer* yang mana prosesnya dimulai dari mesin membaca desain 3D lalu akan melakukan proses penyusunan setiap layer secara bertahap. Nantinya jika sudah selesai maka bisa terlihat objek 3D yang sudah menjadi utuh.

3. *Finishing Process*

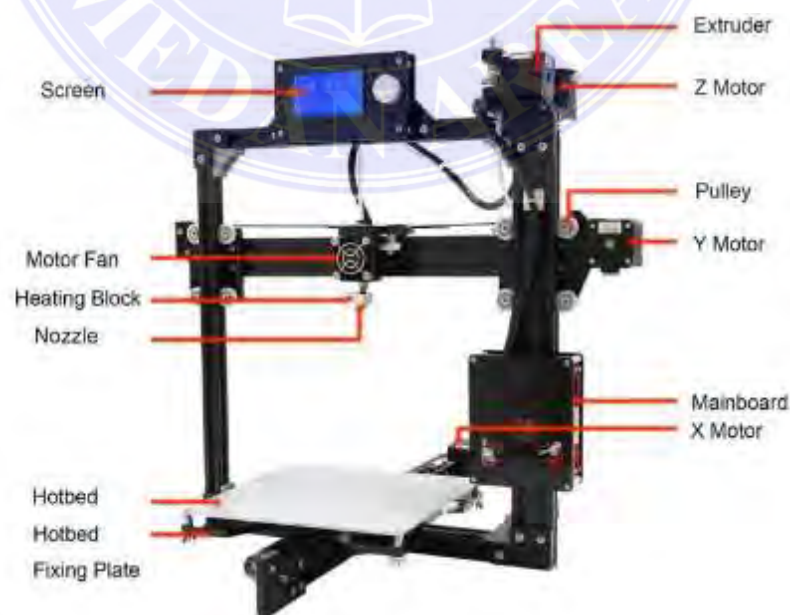
Untuk tahapan yang terakhir adalah *finishing*. Anda bisa menyempurnakan bagian yang belum begitu sempurna yang lebih kompleks misalnya saja disebabkan

oleh *size* yang ternyata berbeda dari yang Anda harapkan. Ada teknik yang digunakan pada tahapan finishing ini yaitu *multiple material techniques*.

3D printer adalah kemajuan teknologi di dunia modern seperti sekarang yang harga per pcs nya cukup mahal. Tidak hanya menyentuh di angka jutaan saja bahkan ada yang satu unit printernya dihargai hingga ratusan juta rupiah. Untuk itu, sebelum Anda memutuskan akan membeli salah satu atau beberapa diantaranya maka pastikan Anda memang sangat membutuhkannya. Banyak perusahaan sekelas internasional seperti perusahaan tas, perusahaan sepatu yang menciptakan produk best seller dengan mengandalkan printer 3D ini.

Awalnya mereka akan menggunakannya untuk mencetak *dummy product* baru kemudian mencetak *final product* secara massal jika dirasa sudah memenuhi standard. Harga membeli satu unit printer 3D memang mahal dengan budget besar namun jika dibandingkan dengan hasil produksi yang cepat dan bisa skala besar maka jatuhnya justru akan lebih hemat.[12]

2.15. Komponen-Komponen Printer 3D



Gambar 2.8. Komponen Printer 3D

Berikut merupakan uraian dari komponen 3D Printer seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.8. yaitu :

1. Motherboard

Motherboard yang juga dikenal sebagai *mainboard* atau papan kontrol. Seperti namanya, komponen ini bertanggung jawab untuk menjaga kelancaran pemrosesan mesin. Bertanggung jawab atas semua operasi dasar, motherboard berfungsi sebagai otak dari printer 3D. Ini mengarahkan komponen gerak sesuai instruksi yang dikirim dari komputer dan pada saat yang sama, menginterpretasikan sinyal dari sensor.

2. Kerangka

Kerangka membantu menyatukan semua komponen printer 3D Anda di satu tempat. Itu juga menjaga stabilitas seluruh alat. Jika kerangka anda kuat, anda akan memiliki printer 3D yang lebih tahan lama. Perusahaan menggunakan bahan yang berbeda dan yang paling umum adalah logam dan akrilik. Di masa lalu, kayu digunakan untuk bingkai printer 3D konsumen. Namun, untuk menjaga stabilitas tertinggi, sebaiknya dipilih kerangka logam. Ketika berbicara tentang kerangka, desain frame terbuka dan tertutup juga membuat perbedaan. Kerangka tertutup menawarkan hasil yang lebih baik dengan mempertahankan suhu yang konsisten di sekitar ruang cetak. Ada beberapa printer yang juga menawarkan kerangka semi-tertutup.

3. Unit Catu Daya

Unit catu daya membantu dalam memasok daya untuk kelancaran operasi komponen printer 3D. Anda dapat memasang unit catu daya pada kerangka, dapat

tersedia secara terpisah bersama dengan kotak pengontrol lain. Namun, yang dipasang memberikan tampilan yang ringkas dan menempati ruang lebih sedikit.

4. Filamen

Filamen adalah bahan yang digunakan untuk Printer 3D. Filamen tersedia dalam gulungan. Filamen ini dipanaskan sampai suhu tertentu dan dicairkan untuk dicetak di print bed. Ada banyak jenis filamen yang digunakan untuk pencetakan 3D yaitu berupa : ABS (*Acetonitrile Butadiene Styrene*), PLA (*Polylactic Acid*), HIPS (*High Impact Polystyrene*), Nylon, PVA (*Polyvinyl Alcohol*), PETG (*Glycol-modified Polyethylene Terephthalate*), TPU (*Thermoplastic Polyurethane*), ASA (*Acrylonitrile Styrene Acrylate*).

5. Sistem Pengumpan

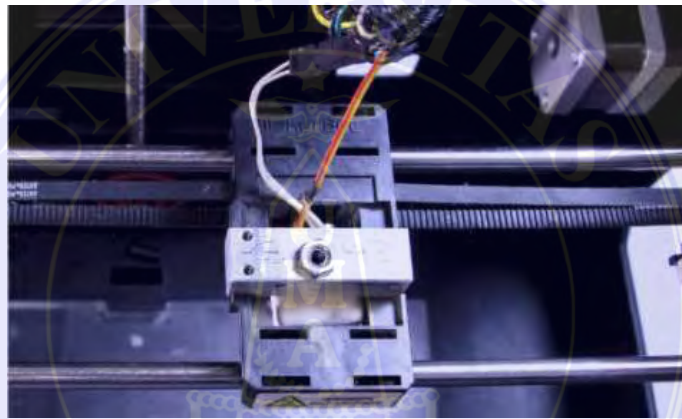
Ada dua sistem pengumpan yang paling umum digunakan dalam komponen printer 3D: Sistem *Bowden* dan sistem *direct*. Dalam pengaturan *Bowden*, ada lokasi berbeda untuk *cold end* dan *hot end*. Sementara *filament tube* (PTFE) digunakan untuk mengarahkan filamen menuju *hot end*. Pengaturan ini dapat secara dramatis meningkatkan kecepatan cetak saat ekstrusi menjadi lebih ringan. Ketika berbicara tentang sistem *direct*, *cold end* dan *hot end* terhubung langsung. Sistem *direct feeder* paling umum di antara pengguna yang bekerja dengan filamen fleksibel. Sistem pengumpan terlihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Sistem Pengumpan

6. Extruder

Extruder juga dikenal sebagai print head mengekstrusi filamen dan mencetaknya di print bed. Extruder dapat dikategorikan dalam dua bagian. Satu disebut *cold end* sementara yang lain dikenal sebagai *hot end*. Tugas *cold end* adalah untuk mengunci filamen sambil mendorongnya secara bertahap ke bawah *hot end*. *Hot end* memiliki nozzle yang melekat di ujungnya, mempertahankan suhu tinggi lebih besar dari titik leleh filamen. *Hot end* melelehkan filamen yang selanjutnya disimpan di print bed. Extruder terlihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10. Extruder

7. Print Bed

Print Bed adalah komponen di mana model dibuat. Filamen disimpan pada print bed, satu lapis pada satu waktu untuk membangun seluruh objek. Salah satu bagian printer 3D utama yang menentukan kualitas dan permukaan akhir dari objek yang dicetak. Printer 3D yang berbeda menawarkan jenis print bed yang berbeda. Anda dapat menemukan print bed yang dipanaskan dan juga yang tidak dipanaskan. Print bed yang tidak dipanaskan mungkin cukup untuk PLA, namun, untuk filamen tingkat lanjut, *heated print bed* direkomendasikan. Ini membantu meningkatkan

adhesi dan stabilitas untuk lapisan pertama cetakan. Print bed terlihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. *Print Bed*

8. Konektivitas

Ketika berbicara tentang konektivitas dengan perangkat lain, komponen printer 3D sangat berbeda. Beberapa hanya menyediakan ethernet atau port USB untuk koneksi. Namun, banyak printer 3D baru sekarang tersedia dengan pengaturan Wi-Fi juga. Antarmuka juga dapat membantu menghubungkan ponsel atau laptop melalui koneksi Wi-Fi ke printer 3D Anda. Transfer file juga dapat dilakukan menggunakan salah satu dari tiga opsi tadi.

9. Interface

Saat ini, sebagian besar printer 3D, bahkan yang murah, hadir dengan interface pengguna LCD. Dengan bantuan interface ini, seseorang dapat mengontrol pengaturan printer tanpa perlu komputer. Interface terlihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12. *Interface*

Oleh karena itu, mesin ini dapat berfungsi sebagai mesin mandiri. Sebagian besar printer 3D memiliki interface yang terpasang. Namun, Anda dapat menemukan beberapa model dengan kotak pengontrol terpisah termasuk interface LCD. Interface ini dapat membantu memeriksa dan mengatur parameter mesin. Anda juga dapat menggunakan interface ini untuk memulai pemuatan atau pembongkaran filamen. Selain itu, sistem auto-leveling dapat diinisialisasi dengan bantuan layar kecil ini pada printer 3D.[13]

2.16. Pengenalan Solidworks

Solidworks adalah software design engineering khususnya design model 3D yang di produksi oleh DASSAULT SYSTEMES. Software ini biasanya digunakan dalam mendesign model 3D dan ada 3 tampilan dalam solidwork yaitu part untuk menggambar model lalu assembly yaitu untuk mengassembly atau menggabungkan model model part yang telah kita gambarkan menjadi sebuah konstruksi yang kita inginkan dan selanjutnya drawing yaitu untuk menggambar/mempersentasikan model part atau assembly yang telah kita buat untuk diteruskan menjadi lembar kerja yang siap di cetak/print dan diteruskan ke industri. Saat ini banyak industri manufaktur yang menggunakan software Solidworks ini. Diperkirakan ada lebih dari 3-4 juta engineer yang menggunakan software ini dari 80.000 perusahaan yang ada di dunia. Logo aplikasi solidworks terlihat pada gambar 2.13.

Gambar teknik merupakan alat bantu bagi desainer, engineer, dan semua pihak yang terkait dalam berkomunikasi. Sederhananya, gambar teknik bisa dianggap sebagai Bahasa yang digunakan oleh orang-orang teknik dalam berkomunikasi. Karena dalam suatu gambar teknik terdapat kaidah-kaidah yang telah disepakati bersama sehingga memudahkan setiap individu yang terlibat untuk

memahami maksud yang disampaikan dalam gambar tersebut.[14] Sehingga dasar dari pembacaan gambar teknik sangat diperlukan oleh seorang drafter dalam menggunakan aplikasi solidworks ini dalam mendesain sebuah objek.



Gambar 2.13. Aplikasi Solidworks

2.17. Fungsi-Fungsi Solidworks

Solidworks menggunakan desain parametrik, yang mana menghasilkan 3 jenis file yang berkaitan dengan tiga konsep dasar Solidworks: part, assembly, dan drawing. File-file ini saling berhubungan satu sama lain, dan modifikasi sekecil apapun dapat mempengaruhi ketiga file yang berhubungan tersebut. Ketiga file tersebut dinamai fungsi, dan fungsi tersebut merupakan dasar yang penting dalam membuat model di Solidworks. Solidworks digunakan untuk membuat desain produk dari yang sederhana sampai yang kompleks seperti roda gigi, mesin mobil, alat konstruksi, alat pertanian, dan sebagainya. Fungsi utama Solidworks yaitu:

1. Part

Part adalah sebuah objek 3D yang terbentuk dari fitur-fitur. Sebuah part merupakan sekumpulan fungsi solid yang terdiri dari relasi anterior, geometri, dan relasi Boolean. Sebuah part bisa menjadi sebuah komponen pada suatu assembly, dan juga bisa dibuat dalam bentuk 2D pada sebuah drawing. Fitur adalah bentukan dan operasi yang membentuk part. Base feature merupakan feature yang pertama kali dibuat. Extension file untuk part SolidWorks adalah .SLDPRT.

2. Assembly

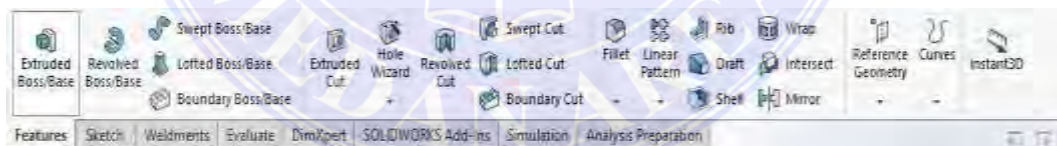
Assembly adalah gabungan dari beberapa parts, feature dan assembly lain (Sub Assembly) yang disatukan. Extension file untuk SolidWorks Assembly adalah .SLDASM.

3. Drawing

Drawing adalah templates yang digunakan untuk membuat gambar kerja 2D/2D engineering Drawing dari single component (part) maupun Assembly yang sudah kita buat. Extension file Untuk SolidWorks Drawing adalah .SLDDRW.[15]

2.18. Fitur-Fitur Dasar Solidworks

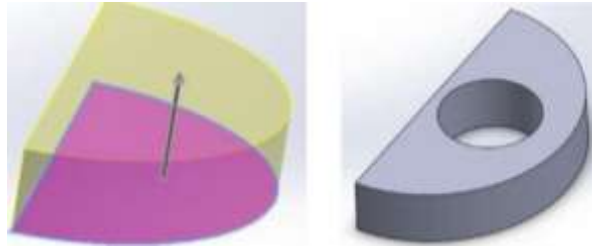
Fitur-fitur dasar seperti yang terlihat pada gambar 2.14. yang sering digunakan adalah *Extruded*, *Revolved*, *Swept*, *Lofted*. Fitur-fitur tersebut ada 2 macam, ada boss dan cut. *Boss* digunakan untuk membentuk sketsa 2 dimensi menjadi 3 dimensi. Sedangkan *cut* digunakan untuk menghilangkan sebagian dari objek 3 dimensi. Untuk lebih jelas, dibawah ada gambar dan penjelasan lebih detail. Selain itu, fitur sederhana lainnya yang biasa digunakan adalah *Shell*. [16]



Gambar 2.14. Fitur-Fitur Solidworks

1. *Extrude*

Extrude seperti menarik secara tegak lurus terhadap bidang sketsa 2 dimensi sehingga sketsa menjadi objek 3 dimensi. Perbedaan *extrude boss* dan *extrude cut* dapat dilihat di gambar. *Extrude cut* digunakan untuk membuat lubang, menghilangkan bagian dari objek 3 dimensi, sedangkan *Extrude boss* digunakan untuk membuat objek 3 dimensi. Fitur *extrude* terlihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.15. Fitur *Extruded Boss* (Kiri) dan *Extrude Cut* (Kanan)

2. *Revolved*

Seperti *extrude*, *Revolve* juga terdiri dari *revolved boss*, dan *revolved cut*.

Revolved ini seperti memutar sketsa sehingga membentuk objek 3 dimensi. Pada gambar kiri, sketsa 2 dimensinya adalah persegi panjang, lalu direvolved 360 derajat dengan sumbu acuannya adalah salah satu sisi persegi panjang (berwarna biru muda), sehingga terbentuk objek 3 dimensi. Demikian juga untuk *revolved cut*, namun digunakan untuk menghilangkan bagian dari objek 3 dimensi. Fitur *Revolved Boss* dan *Revolved Cut* terlihat pada gambar 2.16.



Gambar 2.16. Fitur *Revolved Boss* dan *Revolved Cut*

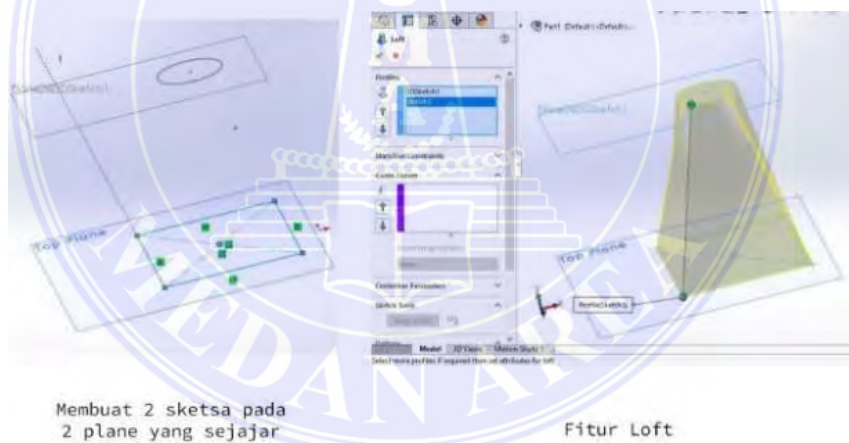
3. *Swept*

Fitur *swept* digunakan untuk membuat bentuk-bentuk seperti pipa. Untuk menggunakan fitur ini dibutuhkan suatu 1 sketsa tertutup (kontour) 2 dimensi dan 1 sketsa berupa garis. Hasilnya adalah suatu bidang yang di *extrude* sesuai dengan garis. Fitur *swept* terlihat pada gambar 2.17.

Gambar 2.17. Fitur *Swept*

4. *Loft*

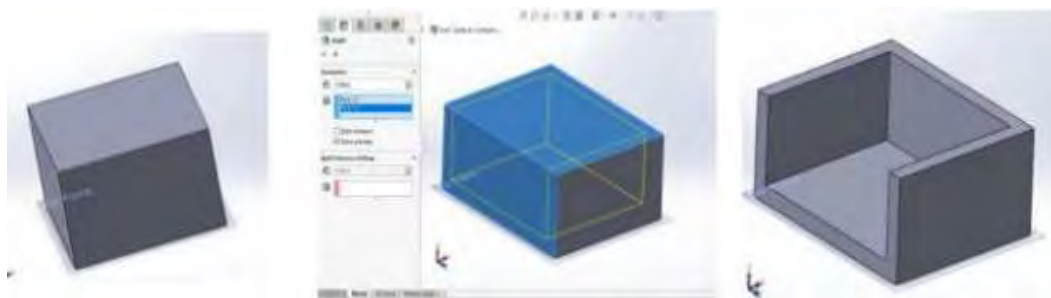
Loft dapat digunakan untuk membuat objek seperti teropong, piramida, kerucut dan lainnya. Untuk menggunakan fitur ini dibutuhkan 2 sketsa tertutup 2 dimensi (kontour), sehingga membutuhkan 2 plane yang sejajar. Lalu fitur ini akan membuat objek 3 dimensi berdasarkan 2 sketsa tersebut (gambar kanan). Fitur *loft* terlihat pada gambar 2.18.

Gambar 2.18. Fitur *Loft*

5. *Shell*

Fitur *shell* biasa digunakan untuk membuat part yang berongga. Rongga dapat dibuat dengan memilih *face*/permukaan yang ingin dilubangi. Pada gambar diatas (Tengah) ada permukaan berwarna biru yang adalah *face*/permukaan yang dipilih untuk fitur *shell*. Lalu dibawahnya ada angka ukuran ketebalan dari sisi luar

dengan *shell* yang dibuat. Hasil akhir dari fitur *shell* ada pada gambar di kanan. Fitur *shell* terlihat pada gambar 2.19.



Sebelum di shell (Kiri), Memilih face/permukaan (Tengah), Setelah di shell (Kanan)

Gambar 2.19. Fitur *Shell*



BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1. Tempat Penelitian

Tempat penelitian perancangan ini dilakukan di Univeritas Medan Area, Jl.

Kolam No.1 Medan Estate / Jl. Gedung PBSI Medan.

3.1.2. Waktu Penelitian

Waktu yang diperkirakan untuk perancangan prototipe rahang bawah ini kurang lebih 4 bulan, mulai studi literature sampai dengan sidang akhir, seperti terlihat pada tabel 3.1 dan langkah-langkah perancangan yang dilakukan dibawah ini.

Tabel 3.1. Jadwal Tugas Akhir

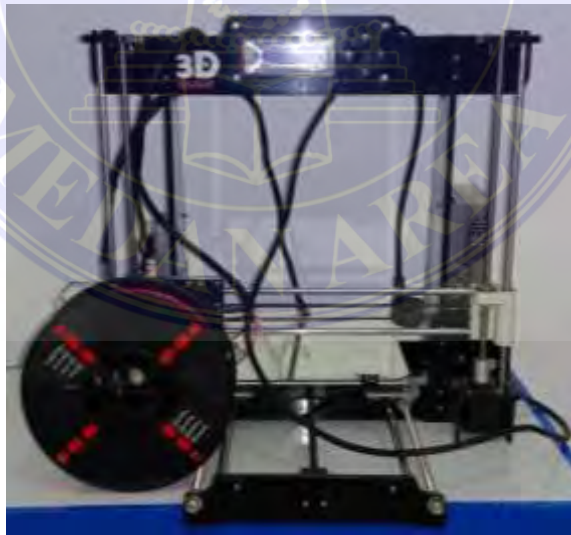
No	Kegiatan	2021					2022					
		Jun	Jul	Agus	Sep	Okt	Nov	Des	Jan	Feb	Mar	
1	Studi literature	■										
2	Persiapan laporan		■									
3	Administrasi terbit SK seminar proposal			■								
4	Seminar proposal				■							
5	Menentukan bentuk 3D rahang bawah manusia yang patah					■						
6	Desain rahang bawah manusia yang patah						■					
7	Pengujian desain rahang bawah manusia yang patah menggunakan aplikasi solidworks							■				
8	Analisa data								■			
9	Seminar hasil									■		
10	Sidang akhir										■	

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat

a. Mesin Printer 3D

Mesin printer 3D adalah sebuah mesin pencetak yang mencetak objek secara tiga dimensi yang bisa dilihat, dipegang dan mempunyai volume. Sebuah model 3D dibangun lapis demi lapis yang proses pembuatan benda padat tiga dimensi dari file digital. Jenis printer 3D yang digunakan adalah jenis mesin printer 3D Prusa I3 Anet A8 yang terlihat pada gambar 3.1. Istilah pencetakan printer 3D awalnya mengacu pada proses yang menyimpan bahan pengikat ke tempat tidur bedak dengan kepala printer inkjet berlapis-lapis. Baru-baru ini, istilah ini digunakan dalam bahasa vernakular populer untuk mencakup beragam teknik pembuatan aditif. Amerika Serikat dan standar teknis global menggunakan istilah resmi manufaktur aditif untuk pengertian yang lebih luas ini.



Gambar 3.1. Mesin Printer 3D Prusa I3 Anet A8

b. Laptop

Laptop yang digunakan dalam studi perancangan ini spesifikasinya dapat dilihat pada tabel 3.2. dan gambar laptop terlihat pada gambar 3.2. dibawah.

Tabel 3.2. Spesifikasi Laptop

No.	Deskripsi	Spesifikasi
1	Processor	Intel(R) B960 processor (2.2GHz, 2MB L3 cache)
2	RAM	4.00 GB
3	Operation System	Windows 7 Pro 64 Bit
4	Produk	Asus X44H



Gambar 3.2. Laptop

c. Program Solidworks

Dalam mendesain prototipe rahang patah pada manusia, penulis menggunakan aplikasi solidworks, disini program solidworks yang digunakan oleh penulis berupa solidworks tahun 2015.

3.2.2. Bahan

a. Filamen PLA

Filamen PLA adalah termoplastik biodegradable yang terbuat dari sari pati jagung, atau tebu. Keunggulan dari PLA ini adalah mudah dicetak dan kemungkinan besar penggunaan PLA ini akan lebih baik. Penggunaan filamen PLA ini tidak terlalu sensitif dengan suhu ruangan dan tidak juga dengan air, untuk model-model dengan kerumitan atau detail yang lebih tinggi PLA bisa

menanganinya dengan baik. Karakteristik secara umum dari filament PLA adalah tidak beracun, menyempit saat dipanaskan sehingga cocok digunakan sebagai bahan pembungkus dapat juga digunakan untuk aplikasi pencetakan 3D. Filamen PLA terlihat pada gambar 3.3. dibawah ini.



Gambar 3.3. Filamen PLA

b. Filamen ABS

Filamen ABS adalah termoplastik yang umum. Ini adalah plastik populer untuk cetakan injeksi dan digunakan untuk membuat lego, instrumen, dan lainnya. ABS juga banyak digunakan dalam bidang teknik, seperti misalnya untuk kebutuhan elektronik, otomotif, dll. Filamen ABS mempunyai kekuatan kejut dan kekenyalan yang tinggi dibanding polistiren, sehingga sangat cocok untuk aplikasi pada komponen-komponen yang bergerak. Karakteristik secara umum dari filament ABS yaitu plastik yang cukup kuat jika dicetak pada suhu yang sesuai dan akan mendapatkan ikatan lapisan yang bagus. Filamen ABS dapat dilihat pada gambar 3.4. dibawah ini.



Gambar 3.4. Filamen ABS

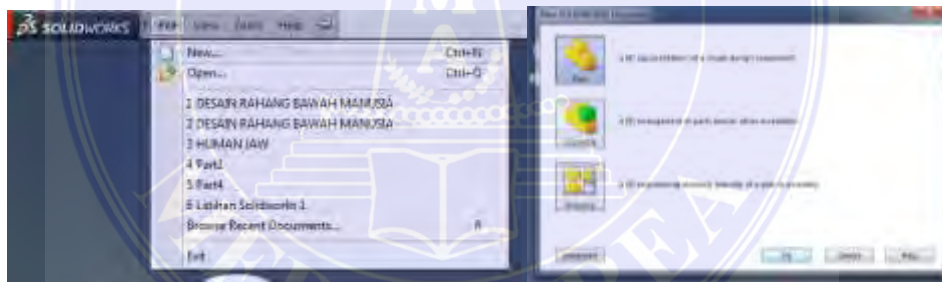
3.3. Prosedur Penelitian

3.3.1. Studi Literatur

Dalam penelitian ini, penulis terlebih dahulu melakukan studi literatur dengan cara mempelajari buku, jurnal, ataupun referensi lainnya. Penelusuran sumber-sumber tulisan yang sudah pernah dibuat sebelumnya berupa jurnal-jurnal baik jurnal nasional maupun internasional. Jurnal nasional diperoleh penulis dari website *google scholar* sedangkan untuk jurnal internasional diperoleh penulis dari website *science direct*. Dari studi literatur didapatkan penjelasan mengenai teori-teori seperti yang diuraikan oleh penulis di bab 2.

3.3.2. Prosedur Pembuatan Prototipe

Buka aplikasi solidworks 2015 terlebih dahulu kemudian buka halaman gambar baru melalui : *file > new > part > Ok*. Perhatikan gambar 3.5. dibawah.



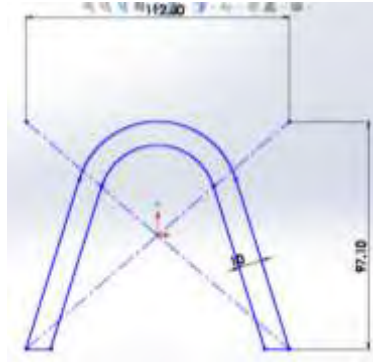
Gambar 3.5. Membuka Halaman Gambar Baru di Solidworks 2015

Setelah halaman gambar baru sudah terbuka, pada menu bar pilih *tab sketch > sketch*, perhatikan gambar 3.6. dibawah ini :



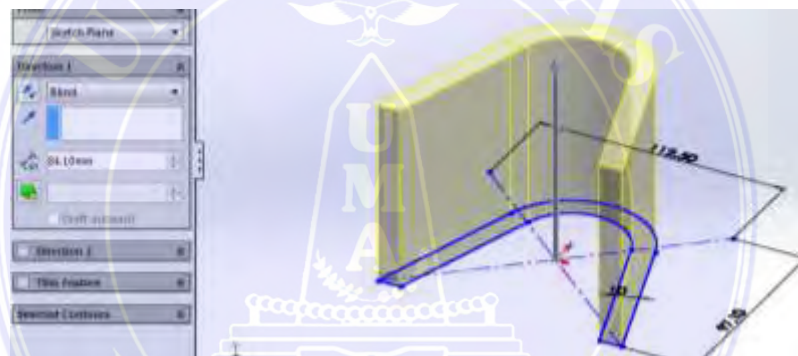
Gambar 3.6. Menu *Sketch*

Langkah pertama yaitu dari *top plane*, dilakukan penggambaran rahang bawah terlebih dahulu untuk sketsa 2D nya seperti yang terlihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7. Sketsa 2D Rahang Bawah

Setelah sketsa 2D rahang bawah telah selesai digambar, langkah selanjutnya yaitu menggunakan perintah *extrude*, untuk membuat objek menjadi 3D dengan ketinggian 84.1 mm. Perhatikan gambar 3.8. dibawah.

Gambar 3.8. *Extrude Boss* sketsa sebesar 84.1 mm

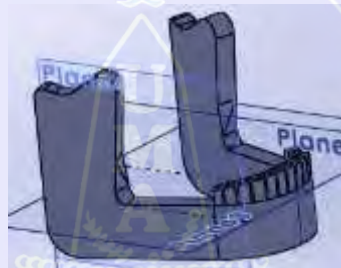
Kemudian kita membuat sketsa kembali dengan acuan *right plane* sebagai *plane* untuk menggambar bentuk rahang yang kemudian di *extrude cut* seperti yang diperlihatkan pada gambar 3.9. dibawah.

Gambar 3.9. Perintah *Extrude Cut* Untuk Membuat Bentuk Rahang

Bentuk rahang yang sudah diperoleh melalui perintah sebelumnya kemudian didesain sedemikian rupa untuk bentuk lengkungan rahang, gigi rahang yang kemudian dengan perintah *mirror* untuk membuat duplikat rahang tersebut dengan acuan *mid plane* sebagai acuan perintah *mirror* tersebut. Perhatikan gambar 3.10. dibawah.



Gambar 3.10. Perintah *Mirror* Untuk Menduplikat Sisi Rahang



Gambar 3.11. Desain Rahang Bawah Manusia Yang Masih Utuh

Rahang bawah manusia yang masih utuh seperti yang terlihat pada gambar 3.11., kemudian untuk membuat desain prototipe pengganti tulang rahang bawah yang patah sesuai dengan pembahasan dalam penelitian ini maka penulis perlu membuat desain rahang bawah yang patah seperti yang terlihat pada gambar 3.12. dibawah.

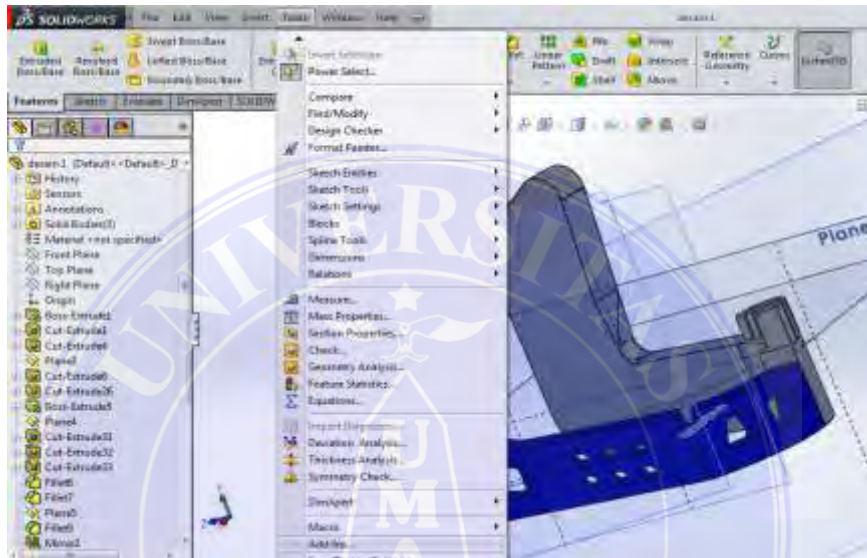


Gambar 3.12. Desain Rahang Bawah Yang Patah

3.3.3. Prosedur Pengujian Simulasi

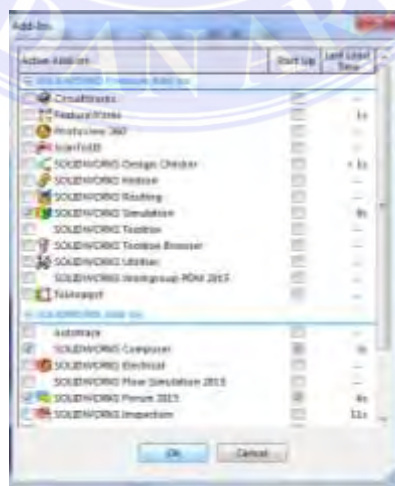
Pengujian simulasi pada prototipe dilakukan dengan mengikuti langkah sebagai berikut :

- 1) Buka aplikasi solidworks kemudian pilih *menu > tools > Add-Ins...* Perhatikan gambar 3.13. dibawah ini.



Gambar 3.13. Menu *Add-Ins*

- 2) Setelah muncul dialog box, centanglah *solidworks simulation* kemudian klik Ok. Perhatikan gambar 3.14. dibawah ini.



Gambar 3.14. Dialog box *Solidworks Simulation*

- 3) Pilih menu *simulation* > *study advisor* > *new study* untuk memulai simulasi pada program solidworks. Perhatikan gambar 3.15. dibawah ini.



Gambar 3.15. Menu *New Study*

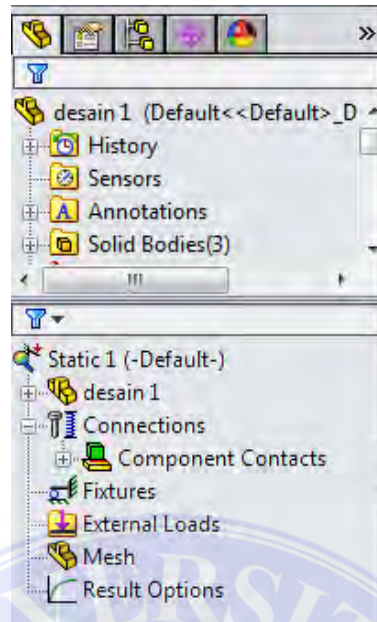
- 4) Pilih *static* untuk kategori simulasi yang akan kita jalankan. Kemudian perhatikan gambar gambar 3.16. dibawah, terdapat beberapa perintah yang akan kita gunakan dalam simulasi yaitu berupa :

- a. *Apply material* : untuk memilih jenis bahan yang hendak kita uji pada objek. Pada pengujian ini jenis bahan yang digunakan adalah Titanium (Ti-6Al-4V Solution treated and aged SS). Sifat dari bahan titanium tersebut dapat terlihat pada tabel 3.3. dibawah ini.

Tabel 3.3. Sifat Bahan Titanium (Ti-6Al-4V Solution treated and aged SS)

Sifat	Nilai	Satuan
Modulus Elastisitas	1.0480031e+011	N/m ²
Rasio Poisson's	0.31	N/A
Modulus Geser	4.1023807e+010	N/m ²
Kepadatan Massa	4428.78	kg/m ³
Kekuatan Tekanan	1050000000	N/m ²
Kekuatan Hasil	827370880	N/m ²
Koefisien Ekspansi Thermal	9e-006	/K
Konduktivitas Thermal	6.7	W/(m.K)
Panas Spesifik	586.04	J/(kg.K)

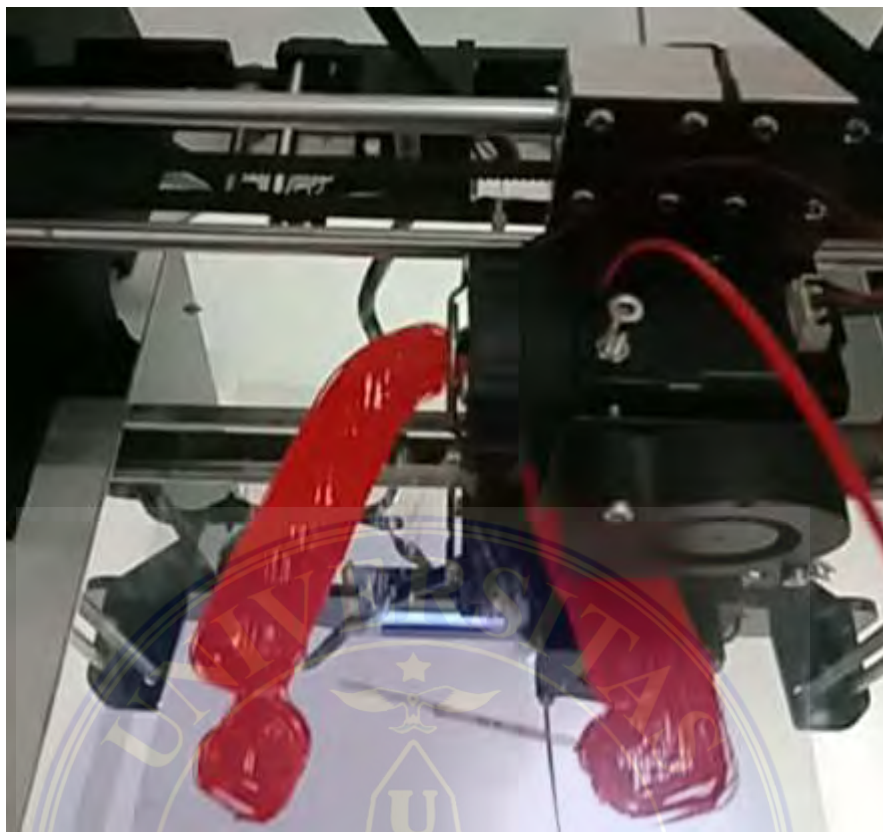
- b. *Fixtures* : untuk menentukan daerah penjepitan objek yang hendak kita uji.
- c. *External loads* : untuk memberi gaya yang hendak kita berikan pada objek yang ingin kita simulasikan.
- d. *Mesh* : untuk mensimulasikan objek.



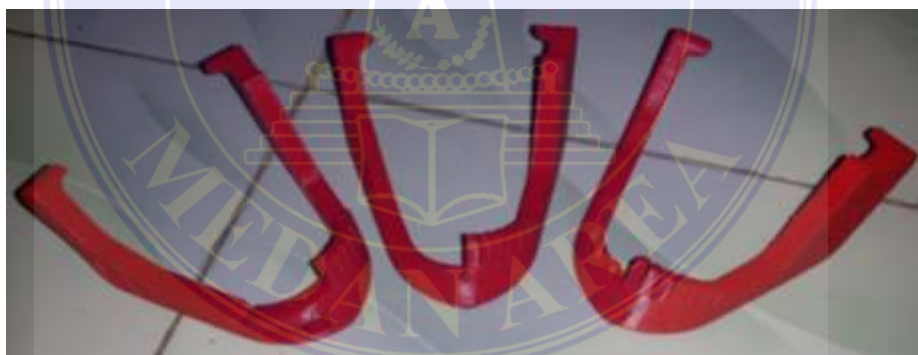
Gambar 3.16. Perintah Dalam Simulasi Objek

3.3.4. Proses Pencetakan Prototipe Dengan 3D Printer

Proses pencetakan prototipe ini dengan menggunakan mesin printer 3D Prusa I3 A8, untuk pencetakan konsep 1 menghabiskan waktu sekitar 3 jam 25 menit, konsep 2 menghabiskan waktu sekitar 3 jam 35 menit, dan konsep 3 menghabiskan waktu sekitar 3 jam 30 menit. Pencetakan dengan menggunakan *speed mul* 60-100°C. dan *flow mul* 100°C, suhu yang digunakan untuk mencetak ketiga prototipe tersebut sekitar 200°C, jika dibawah suhu tersebut maka filamen PLA tidak akan meleleh dengan sempurna karena filamen PLA membutuhkan suhu 190°C-220°C agar bisa meleleh. Jika diatas suhu 210°C permukaan bed lapisan bawah terlalu panas maka filamen yang akan dicetak hasilnya akan menjadi tidak sempurna maka hasil print yang kita inginkan tidak akan sesuai seperti yang kita harapkan. Proses pencetakan prototipe dapat dilihat pada gambar 3.17. dibawah ini. Kemudian hasil cetak prototipe atas ketiga konsep yang telah dirancang oleh penulis dapat dilihat pada gambar 3.18. dibawah ini.



Gambar 3.17. Proses Pencetakan Prototipe Dengan 3D Printer



Gambar 3.18. Hasil Pencetakan Prototipe Dengan 3D Printer

3.3.5. Pengoperasian Mesin Printer 3D Prusa I3 A8

Cara mengoperasikan mesin Printer 3D Prusa I3 A8 yaitu :

1) Menghidupkan mesin printer 3D

Hidupkan mesin printer 3D dengan cara menghubungkan steker dengan stopkontak.

2) Masukkan data *SD Card*

Masukkan data *SD card* ke slot yang berada disamping kiri pada mesin printer 3D, *SD card* sebelumnya harus dimasukan terlebih dahulu data yang hendak kita cetak dengan menggunakan mesin printer 3D biasanya data tersebut tersimpan dalam format *G-Code*.

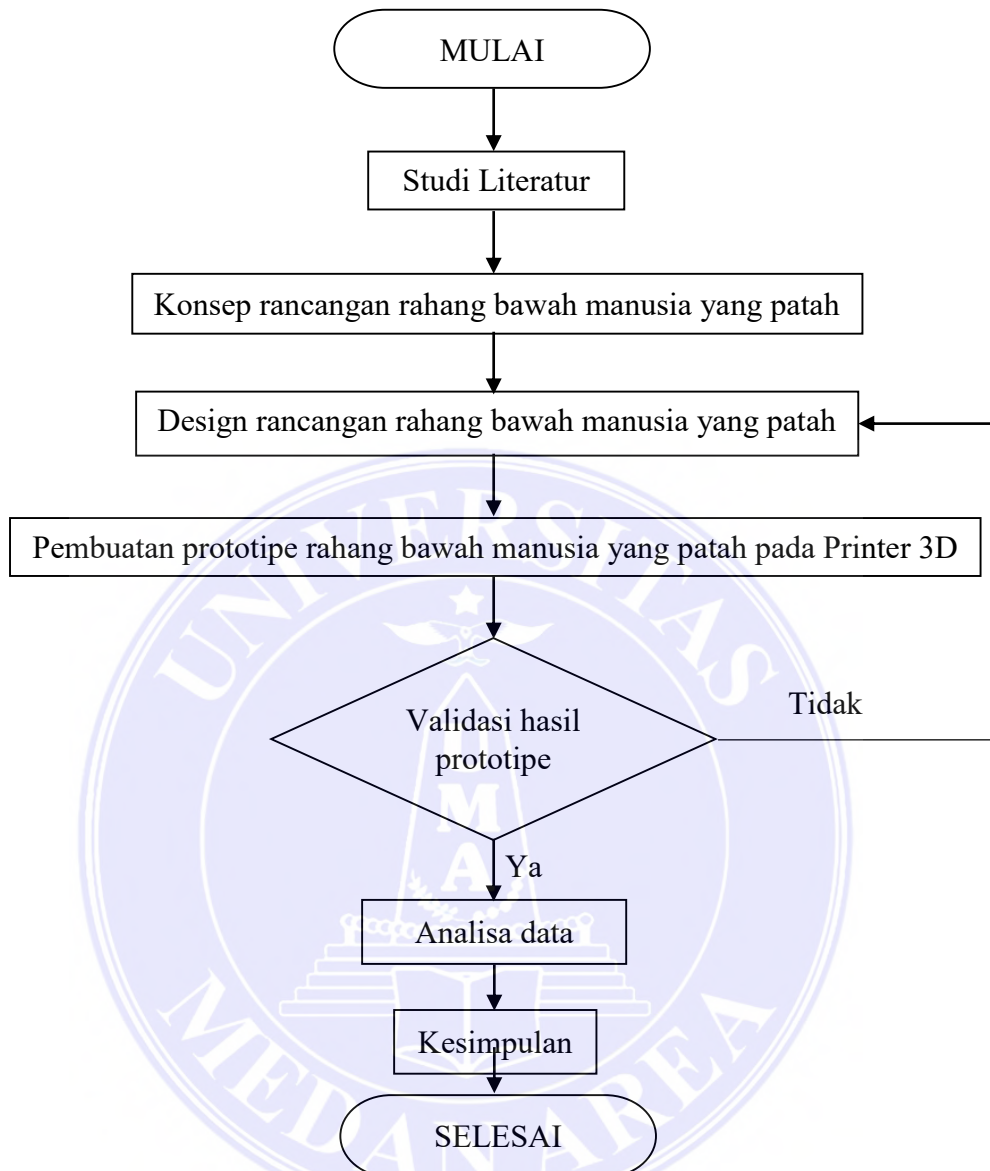
3) Mereset mesin printer 3D

Setelah mesin di reset kemudian kita dapat melihat pada monitor yang tertera di mesin yang memerintahkan untuk "*PRINTER READY*"

4) Lalu pilih tombol menu yang tertera pada mesin kemudian muncul perintah "*QUICK SETTING*" "*HOME ALL*" setelah itu pilih "*Preheat PLA*" apabila ingin menggunakan berbahan filament ABS, maka kita tinggal pilih menggunakan berbahan "*Preheat ABS*" setelah selesai klik tombol "*BACK*" dan muncul perintah "*Print File*" lalu kita bebas memilih salah satu file yang hendak kita cetak menggunakan 3D printer.

5) Setelah file yang kita inginkan kita pilih maka kita tiggal menunggu printer tersebut bekerja secara otomatis hingga file yang kita inginkan selesai dicetak dengan menggunakan 3D printer tersebut.

3.4. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.19. Diagram Alir Penelitian

Adapun penjelasan mengenai diagram alir penelitian pada gambar 3.19. yang akan dilakukan oleh penulis dalam penyusunan skripsi ini yaitu :

1. Studi literatur : Studi literatur diperoleh dengan cara mempelajari buku, jurnal, ataupun referensi lainnya. Penelusuran sumber-sumber tulisan yang sudah pernah dibuat sebelumnya berupa jurnal-jurnal baik jurnal nasional maupun internasional.

2. Konsep rancangan rahang bawah manusia yang patah : Penulis menentukan konsep dalam pembuatan rancangan rahang bawah manusia yang patah dengan grafik morfologi.
3. Design rancangan rahang bawah manusia yang patah : Melalui grafik morfologi yang telah dibuat oleh penulis kemudian ditentukanlah design yang akan penulis buat untuk rancangan rahang bawah manusia yang patah.
4. Pembuatan prototipe rahang bawah manusia yang patah pada Printer 3D : Penulis akan mencetak hasil design yang telah dibuat sebelumnya dengan menggunakan mesin Printer 3D.
5. Validasi hasil prototipe : Hasil print 3 dimensi akan dievaluasi apakah sudah tercetak sesuai dengan design yang telah dibuat. Jika ya maka akan dilanjutkan untuk dianalisa data, namun apabila hasil tidak sesuai maka akan dilakukan design ulang terhadap rancangan rahang bawah manusia yang patah tersebut.
6. Analisa data : prototipe yang telah dibuat akan dianalisa dengan menggunakan aplikasi Solidworks.
7. Kesimpulan : Pada tahap akhir ini, penulis akan menarik kesimpulan dalam penyusunan skripsi ini.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pembuatan prototipe pengganti rahang patah pada manusia menggunakan teknologi 3D printer, dengan beberapa konsep yang bervariasi ini didapatkan beberapa kesimpulan yaitu :

1. Hasil desain ketiga model prototipe pengganti rahang patah pada manusia dengan menggunakan software solidworks berkerja dengan maksimal seperti yang ditunjukkan pada hasil gambar prototipe pengganti tulang rahang patah yang telah dibuat oleh penulis.
2. Hasil analisis yang dibuat oleh penulis dengan menggunakan software solidworks dapat dilakukan dengan baik dengan memperoleh nilai distribusi *von misses stress* pada ketiga model prototipe yang telah dibuat.
3. Pencetakan prototipe pengganti tulang rahang bawah patah pada manusia dengan menggunakan teknologi 3D printer bekerja dengan maksimal.

5.2. Saran

Adapun beberapa saran yang dapat diberikan oleh penulis dalam penyusunan skripsi ini yaitu :

1. Perlunya dilakukan pembelajaran dalam menggunakan perangkat lunak *solidworks* dalam menggambar rancangan prototipe rahang manusia terlebih dahulu.
2. Perlunya pemahaman dalam pembacaan hasil simulasi dalam perangkat lunak *solidworks*.

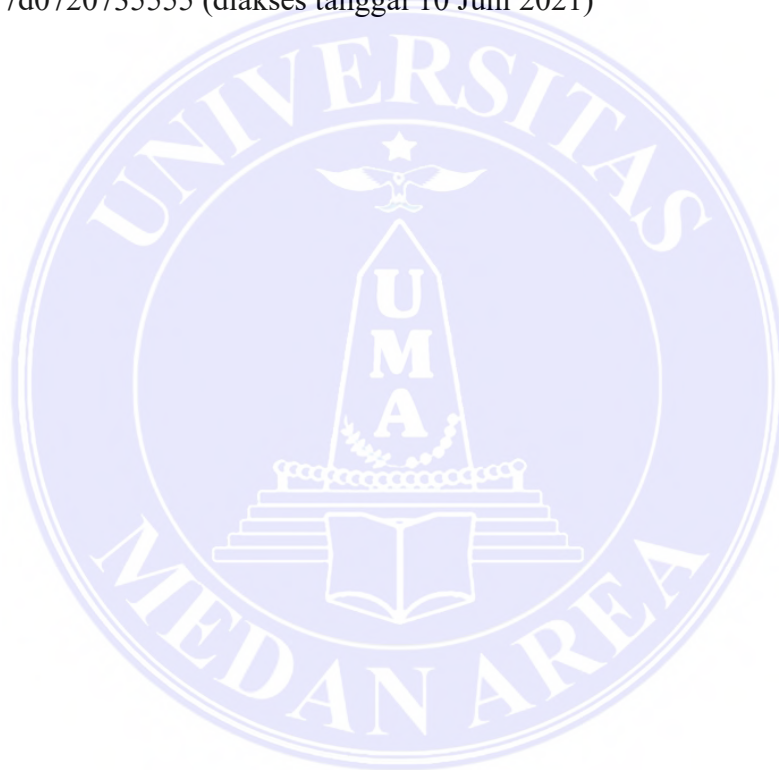
3. Perlunya referensi dalam bidang kedokteran untuk mencetak prototipe pengganti rahang patah pada manusia pada kecelakaan yang berakibat terhadap terjadinya fraktur mandibula.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Admin. (2021). “Rahang”, <https://id.wikipedia.org/wiki/Rahang> (diakses tanggal 8 Juni 2021)
- [2] Admin RSUD. (2020). “Fungsi tulang rahang bawah di tubuh manusia”, <https://rsud.bulelengkab.go.id/informasi/detail/artikel/fungsi-tulang-rahangbawah-di-tubuh-manusia-18> (diakses tanggal 8 Juni 2021)
- [3] Kirnanoro H., N. M. (2021). *Anatomi Fisiologi*. Yogyakarta: Pustaka Baru Press.
- [4] Darwich K., M. B. I., M. Y. A. A., A. A. (2020). Reconstruction of mandible using a computer-designed 3D-printed patient-specific titanium implant: a case report.
- [5] Gopinath A. L. (2018). “Model implan mandibula 3d printed”, <https://jajalmedical.com/case-study/customized-tmj-implant-16-year-oldgets-treated-from-mandibular-cancer/> (diakses tanggal 8 Juni 2021)
- [6] Rakhmad A. S., M. Y. R. S., R. J. (2021). Numerical Simulation On The Effect Of Reconstructed Mandibular Geometry To Von Mises Stress
- [7] Simscale. (2021). “What is von mises stress?”, <https://www.simscale.com/docs/simwiki/fea-finite-element-analysis/what-is-von-mises-stress/>
- [8] Handayani Indah. (2014). “Gama-CHA, Teknologi Baru Rekayasa Tulang Manusia Identik”, <https://investor.id/archive/gama-cha-teknologi-baru-rekayasa-tulang-manusia-identik> (diakses tanggal 8 Juni 2021)
- [9] Ramses Y. H. (2021). *Mekanika Kekuatan Material*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [10] Pencetakan 3D. https://en.m.wikipedia.org/wiki/3D_printing (diakses tanggal 8 Juni 2021)
- [11] Romana Dwi Fibriati. (2020). “Inilah Jenis-Jenis 3D Printing Yang Umum digunakan Berbagai Industri”, <https://www.builder.id/inilah-jenis-jenis-3d-printing-yang-umum-digunakan-berbagai-industri/> (diakses tanggal 8 Juni 2021)
- [12] Admin. (2018). “3D Printer Adalah Teknologi Modern Dalam Dunia Percetakan”, <https://fomustudio.com/3d-printer-adalah-teknologi-modern-dalam-dunia-percetakan/> (diakses tanggal 8 Juni 2021)

- [13] All3dpindo. (2020). “Komponen Printer 3D : Ayo Rakit Printer 3D Sendiri!”, <https://all3dpindo.com/komponen-printer-3d-ayo-rakit-printer-3d-sendiri/> (diakses tanggal 9 Juni 2021)
- [14] Abdi M. Zainal. (2018). *Solidworks Untuk Desain Manufaktur*. Bandung: Modula.
- [15] Ulty. (2021). “Kelebihan dan Kekurangan Solidworks”, <https://lancanguning.com/post/33656/kelebihan-dan-kekurangan-solidworks.html> (diakses tanggal 10 Juni 2021)
- [16] Biantoro Nicholas. (2019). “7 Menit Lebih Dekat Dengan Solidworks”, <https://medium.com/ristex/7-menit-lebih-dekat-dengan-solidworks-7d0720735555> (diakses tanggal 10 Juni 2021)



LAMPIRAN

1. Nilai *von misses stress* dari hasil pengujian konsep 1

Pengujian	Tegangan <i>Von Misses Stress</i> (Mpa)	
	Minimum	Maksimum
Pembebanan F pada pengujian pertama	0.86	10.33
Pembebanan F pada pengujian kedua	2.78	33.39
Pembebanan τ pada pengujian pertama	46.08	552.9
Pembebanan τ pada pengujian kedua	82.64	991.7

2. Nilai *von misses stress* dari hasil pengujian konsep 2

Pengujian	Tegangan <i>Von Misses Stress</i> (Mpa)	
	Minimum	Maksimum
Pembebanan F pada pengujian pertama	2.045	24.55
Pembebanan F pada pengujian kedua	3.80	45.65
Pembebanan τ pada pengujian pertama	71.07	852.8
Pembebanan τ pada pengujian kedua	103.8	1246

3. Nilai *von misses stress* dari hasil pengujian konsep 3

Pengujian	Tegangan <i>Von Misses Stress</i> (Mpa)	
	Minimum	Maksimum
Pembebanan F pada pengujian pertama	1.78	21.32
Pembebanan F pada pengujian kedua	3.12	37.45
Pembebanan τ pada pengujian pertama	70.07	840.8
Pembebanan τ pada pengujian kedua	79.83	957.9