

**PEMBUATAN BRACE SCOLIOSIS DENGAN METODE
REVERSE ENGINEERING DAN RAPID PROTOTYPING**

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : Luthfi Mahendra Yudistira

No. Mahasiswa : 16525017

NIRM : 2016030556

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

2021

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini hasil kerja saya sendiri dan sepengetahuan saya tidak terdapat tulisan maupun karya yang diterbitkan oleh orang lain, kecuali kutipan secara tertulis yang saya jelaskan setiap sumbernya. Apabila dikemudian hari pernyataan saya tidak benar dan melanggar hak kekayaan intelektual, saya bersedia menerima sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Yogyakarta, 29 November 2021

Penulis

A handwritten signature in black ink is written over a 10,000 Indonesian postage stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text '10.000', 'METERAI TEMPEL', and the serial number '243AJX368439613'.

Luthfi Mahendra Yudistira

16525017

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**PEMBUATAN BRACE SCOLIOSIS DENGAN METODE
REVERSE ENGINEERING DAN RAPID PROTOTYPING**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Luthfi Mahendra Yudistira

No. Mahasiswa : 16525017

NIRM : 2016030556

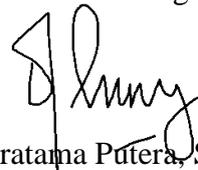
Yogyakarta, 19 Desember 2021

Pembimbing I,



Dr. Ir. Paryana Pusaputa, M.Eng.

Pembimbing II,



Finny Pratama Putera, ST., M.Eng.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

PEMBUATAN BRACE SCOLIOSIS DENGAN METODE REVERSE ENGINEERING DAN RAPID PROTOTYPING

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Luthfi Mahendra Yudistira

No. Mahasiswa : 17525017

NIRM : 2016030556

Tim Penguji

Dr. Ir. Parvana Puspaputa, M.Eng.

Ketua



Tanggal : 30 Desember 2021

Muhammad Ridwan, S.T., M.T.

Anggota I



Tanggal : 30 Desember 2021

Irfan Aditya Dharma, S.T., M.Eng. PhD

Anggota II



Tanggal : 30 Desember 2021

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, segala puji dan syukur kepada Allah SWT atas ridho-Nya saya dapat menyelesaikan Skripsi Tugas Akhir ini. Skripsi saya dedikasikan untuk: Ibu, ibu, ibu saya tercinta untuk segala bentuk dukungan dan doa yang tak pernah terputus; Almamater, PDL, beserta orang-orang di dalamnya sebagai tempat belajar dan berproses; Diri sendiri yang selalu berusaha dan berjuang hingga saat ini.



HALAMAN MOTTO

“Do’amu yang mana? Usahamu yang ke berapa? Kau tak pernah tahu mana yang akan membuahkan hasil. Tugasmu hanya satu diantara keduanya; *perbanyaklah*”

“Sesungguhnya jika kamu bersyukur, niscaya Aku akan menambahkan (nikmat) kepadamu, tetapi jika kamu mengingkari (nikmat-Ku), maka sesungguhnya azab-

Ku sangat pedih.”

(Qs. Ibrahim :7)

“Selama masih melihat ibu tersenyum, maka dunia akan baik-baik saja”

“Utamakanlah adab daripada apa yang mengikutinya”

“Majulah tanpa menyingkirkan. Naiklah tinggi tanpa menjatuhkan.
Jadilah baik tanpa menjelekan. Dan benar tanpa menyalahkan.”

“Dedikasi dan Loyalitas untuk sebuah Amanah”

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Alhamdulillahirabbil'alamiin segala puji untuk Allah SWT yang telah banyak melimpahkan rahmat, taufiq, hidayah dan inayah-Nya. Shalawat serta salam juga tak lupa saya sanjungkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa umat islam dari zaman jahiliyah menuju ke zaman yang maju akan teknologi saat ini.

Laporan Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia. Keberhasilan dalam pelaksanaan sampai penyusunan Laporan Tugas Akhir tidak lepas dari bimbingan dan bantuan berbagai pihak, oleh karena itu dengan kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu saya tercinta yaitu Sri Rahayu Sardie, S.E. yang telah banyak memberikan dukungan serta doa yang tak pernah terputus kepada penulis.
2. Bapak Dr. Eng. Risdiyono ST., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Dr. Ir. Paryana Puspaputra, M.Eng. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberi banyak ilmu dan arahan kepada penulis agar dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
4. Bapak Finny Pratama Putera, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberi bimbingan pada penulisan laporan.
5. Seluruh Dosen dan Staff Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia yang telah berbagi ilmu dan bantuannya selama proses perkuliahan.
6. Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin LEM FTI UII sebagai wadah mengembangkan diri dan belajar selama proses perkuliahan.
7. Teman, Sahabat, Kerabat, dan Keluarga Besar Teknik Mesin yang menjadi tempat bertukar pikiran, pandangan dan pengalaman serta saling membantu dalam kebaikan.

Penulis telah berusaha melakukan yang terbaik dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir namun menyadari bahwa dalam Laporan Tugas Akhir ini masih terdapat

kekurangan dan kesalahan. Oleh sebab itu, penulis berharap kritik dan saran yang bersifat membangun dan dapat dikirimkan melalui email penulis: luthfimyudistira@gmail.com sehingga membuat penulis dapat lebih baik lagi. Akhir kata penulis mohon maaf yang sebesar-besarnya apabila ada kekeliruan di dalam penulisan Tugas Akhir ini dan penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan umumnya bagi pembaca.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.



ABSTRAK

Scoliosis merupakan gangguan fisik pada bagian tulang belakang yang ditandai dengan adanya lengkungan tulang kebagian satu sisi arah. Penyangga atau *brace scoliosis* dibutuhkan sebagai salah satu terapi penyembuhan. Maka, dibutuhkan *brace scoliosis* yang nyaman, mudah, dan kuat serta efektif. Berbeda dengan *brace scoliosis* konvensional dalam penelitian ini *brace scoliosis* dirancang dengan metode *reverse engineering* dan *rapid prototyping*. *Brace scoliosis* dirancang dengan konsep desain yang mengunggulkan kenyamanan, kemudahan, praktis, material yang ringan serta kokoh. Desain dibuat menjadi tiga alternatif desain dan dipilih satu yang paling sesuai dengan konsep. Desain *brace scoliosis* disesuaikan dengan ukuran anatomi tubuh pasien *scoliosis* dan dicetak dengan material PLA+ pada mesin *3D Printing*. Perbedaannya dengan *brace scoliosis* konvensional yaitu dari mulai proses perancangan hingga material yang digunakan. *Finite Element Analysis* juga dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari model yang telah dirancang dengan cara mensimulasikan pembebanan terhadap model sebelum dicetak pada mesin *3D Printing*. Hasilnya *brace scoliosis* yang dirancang berhasil dilakukan sesuai dengan konsep desain yang telah ditentukan. *Brace scoliosis* dengan metode *reverse engineering* dan *rapid prototyping* lebih unggul dari *brace scoliosis* metode konvensional.

Kata Kunci: *Brace Scoliosis, Finite Element Analysis, Rapid Prototyping, Reverse Engineering, 3D Print*

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	iii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iv
Halaman Persembahan	v
Halaman Motto	vi
Kata Pengantar.....	vii
Abstrak	ix
Daftar Isi	x
Daftar Tabel.....	xii
Daftar Gambar	xiii
Daftar Notasi.....	xiv
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	4
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
Bab 2 Tinjauan Pustaka	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	11
2.2.1 Orthosis.....	11
2.2.2 <i>Reverse Engineering</i>	11
2.2.3 <i>Rapid Prototyping</i>	12
2.2.4 <i>Additive Manufacturing</i>	12
2.2.5 CAD/CAM	13
2.2.6 Autodesk Fusion 360.....	14
2.2.7 SolidWorks	14
2.2.8 3D Slicer.....	15
Bab 3 Metode Penelitian	16

3.1	Alur Penelitian	16
3.2	Peralatan dan Bahan.....	16
3.2.1	Peralatan	17
3.2.2	Bahan	17
3.3	Perancangan	17
3.3.1	Identifikasi Masalah	17
3.3.2	Konsep Desain.....	18
3.3.3	Akuisisi Data Pasien.....	19
3.3.4	Pemodelan CAD	20
3.3.5	<i>Finite Element Analysis</i>	24
3.3.6	Pencetakan Prototype dengan <i>3D Print</i>	26
Bab 4	Hasil dan Pembahasan	28
4.1	Hasil Perancangan.....	28
4.1.1	Proses Akuisisi Data.....	28
4.1.2	Pemodelan CAD	29
4.1.3	Analisis Finite Element	31
4.1.4	Proses <i>3D Print</i>	32
4.2	Hasil Produksi.....	34
4.3	Hasil Uji Pemakaian	35
4.4	Hasil Perbandingan Pembuatan <i>Brace Scoliosis</i>	37
Bab 5	Penutup.....	39
5.1	Kesimpulan	39
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	39
Daftar Pustaka	40
LAMPIRAN	43

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kajian Pustaka.....	7
Tabel 3. 1 Properties Fillament PLA+.....	25
Tabel 4. 1 Perbedaan Estimasi Waktu Cetak 3D.....	33
Tabel 4. 2 Perbandingan Metode Konvensional dengan RE dan RP	38



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema <i>Reverse Engineering</i>	12
Gambar 2. 2 <i>Computer Aided Design</i>	13
Gambar 3. 1 Alur Penelitian	16
Gambar 3. 2 Data Pasien Format NRRD.....	19
Gambar 3. 3 Gambar 3D Tubuh Pasien.....	19
Gambar 3. 4 Proses <i>editing</i> model.....	20
Gambar 3. 5 Hasil Remeshing	21
Gambar 3. 6 Pembuatan Surface	21
Gambar 3. 7 Desain Alternatif 1.....	22
Gambar 3. 8 <i>Sketch</i> Desain.....	22
Gambar 3. 9 Desain Alternatif 2.....	23
Gambar 3. 10 Segmentasi Desain.....	24
Gambar 3. 11 Desain Alternatif 3.....	24
Gambar 3. 12 <i>Properties Material</i> PLA+.....	26
Gambar 3. 13 Pengaturan Nozzle	27
Gambar 3. 14 Simulasi Percetakan.....	27
Gambar 3. 15 Hasil Pemodelan CAD : (A) Alternatif Desain 1, (B) Alternatif Desain 2, (C) Alternatif Desain 3	30
Gambar 3. 16 Desain Final <i>Brace Scoliosis</i>	30
Gambar 4. 1 Hasil <i>Editing</i> Gambar 3D Tubuh Pasien	29
Gambar 4. 2 Tumpuan pembebanan.....	31
Gambar 4. 3 Hasil Analisis <i>Finite Element</i>	32
Gambar 4. 4 Hasil Cetak <i>3D Print</i>	34
Gambar 4. 5 Hasil Akhir <i>Brace Scoliosis</i>	35
Gambar 4. 6 Proses Pemasangan.....	36
Gambar 4. 7 Hasil Uji Pemakaian	36

DAFTAR NOTASI

- RE : Reverse Engineering
RP : Rapid Prototyping
AM : Additive Manufacturing
CAD : Computer Aided Design
FEA : Finite Element Analysis
STL : Standard Triangle Language
PLA : Polylactic Acids
N : Newton
MPa : Megapascal
NRRD : Nearly Raw Raster Data



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu hal penting yang perlu diperhatikan oleh manusia adalah kesehatan. Gaya hidup maupun genetik sangat mempengaruhi kondisi kesehatan bahkan kondisi fisik. Dilansir dari republika.co.id, Public Health England (PHE) mengatakan bahwa 80% responden dari survey yang telah dilakukan memilih untuk merubah gaya hidup menjadi gaya hidup yang sehat. Artinya, banyak masyarakat yang telah memiliki kesadaran yang tinggi mengenai kesehatan. Gaya hidup sehat merupakan salah satu cara untuk mencegah dan menaggulangi penyakit, karena tak sedikit penyakit yang akan mengakibatkan gangguan atau keterbatasan fisik. Gangguan fisik dapat mempengaruhi kerja organ lainnya, penampilan, maupun mental penderita.

Gangguan fisik yang dapat mengakibatkan kecacatan tubuh adalah kelainan tulang belakang. Salah satunya adalah *scoliosis* yang merupakan kondisi kelainan tulang belakang yang ditandai oleh lengkungan ke lateral dengan atau tanpa rotasi tulang menetap (Freeman et al., 2004). Menurut Suratun (2006), tulang belakang memiliki peranan penting sebagai penyangga tubuh untuk tetap berada dalam posisi tegak, juga sebagai rangka pelindung sumsum tulang belakang dan penunjang fungsi gerak. *Scoliosis* dapat disebabkan oleh berbagai macam, yaitu genetic atau *scoliosis* bawaan lahir, gangguan saraf dan otot seperti distrofi otot atau cerebral palsy. Penderita *scoliosis* disarankan untuk mengurangi aktivitas berenang, tidur telungkup, lari jarak jauh, dan melompat di trampoline karena akan berpengaruh terhadap kondisi tulangnya.

Dilansir dari mediaindonesia.com, World Health Organization (WHO) mencatat setidaknya 3% warga di dunia rentan terkena *scoliosis*, di Indonesia prevalensi *scoliosis* berkisar 3%-5%. *Scoliosis* dapat menimbulkan adanya komplikasi seperti gangguan jantung dan paru-paru dalam pernapasan, nyeri punggung kronis, kerusakan saraf tulang belakang (Scotland, 2019). Penanganan *scoliosis* tidak dapat dianggap mudah karena menyangkut dengan tulang yang pada

dasarnya sulit untuk diubah secara natural. Penyembuhan *scoliosis* dapat dilakukan dengan cara operasi tulang dan terapi. Praktik terapi *scoliosis* banyak dilakukan di pusat-pusat kesehatan bahkan saat ini berkembang di dunia olahraga yaitu senam yoga. Tak sedikit komunitas penderita *scoliosis* yang memiliki kegiatan terapi bersama dengan metode senam yoga.

Namun, penanggulangan *scoliosis* harus berdasarkan dengan tingkat keparahannya. *Scoliosis* dibedakan menjadi tiga tingkat, yaitu *scoliosis* ringan, sedang, dan berat (Kusumi, 2010). Apabila kondisi tulang belakang penderita *scoliosis* sudah parah maka dapat dikategorikan menjadi *scoliosis* berat dan dianjurkan untuk menjalani operasi. Untuk *scoliosis* sedang, saat ini berkembang metode penyembuhan dengan penyangga atau *brace*. Sedangkan untuk *scoliosis* ringan, dapat dilakukan terapi di pusat-pusat kesehatan maupun berlatih di rumah (Hamid, 1992). Dalam kasus *scoliosis* sedang, penggunaan *brace* atau penyangga akan sangat membantu pemulihan tulang. *Brace* memiliki berbagai jenis, bentuk, dan merek dagang yang memiliki kelebihan masing-masing. Dalam penggunaannya penyangga harus rutin dan dalam pengawasan medis.

Dilansir dari scoliolife.com, terdapat beberapa jenis penyangga atau *brace scoliosis* diantaranya yaitu Cheneau Gengsingen (GBW), Penyangga Boston, *Scoliobrace* atau Rigo, dan SpinesCor. Menurut Kowalski et al., (2011) perawatan menggunakan penyangga tipe Cheneau efektif dalam menghentikan perkembangan *scoliosis* pada 48,1% pasien, artinya penggunaan penyangga ini efektif juga dalam mengurangi kejadian operasi. Dalam serangkaian studi yang memanfaatkan tipe Cheneau Gengsingen (GBW) juga menunjukkan tingkat keberhasilan yang melampaui angka 85%. Namun, tipe Penyangga Boston lebih banyak dikenal oleh para penggunanya.

Saat ini, teknologi manufaktur sudah banyak berkembang hingga ke dunia medis. Termasuk dalam pembuatan penyangga atau *brace scoliosis* yang memanfaatkan *Additive Manufacturing* (AM) berupa *Rapid Prototyping* menggunakan mesin cetak 3 Dimensi (*3D Print*) yang sangat membantu dalam pembuatan produk. Kelebihan dari *Additive Manufacturing* (AM) yaitu lebih efektif dan efisien dalam pembuatan suatu produk karena dapat mencetak dengan

bentuk produk yang khas, mudah, dan cepat, serta menghemat bahan dalam proses pengerjaan, hasilnya pun akan lebih presisi dan teliti.

Sebelum proses pencetakan, tentunya dibutuhkan model 3D dari bentuk anatomi tulang belakang pasien. Maka diperlukan metode *Reverse Engineering* (RE). *Reverse Engineering* (RE) adalah sebuah cara mengubah source code menjadi model desain yang digunakan dalam rekayasa ulang sistem (Stringfellow, 2006). Metode ini bertujuan untuk mendapatkan bentuk 3D tulang belakang pasien yang selanjutnya dilakukan perancangan desain dengan menggunakan *Computer Aided Design* (CAD) dan dicetak menggunakan *3D Print* setelahnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, berikut adalah rumusan dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang dan membuat produk *brace scoliosis* menggunakan metode *Reverse Engineering* dan *Rapid Prototyping* memanfaatkan 3D desain dan *3D Printing*?
2. Bagaimana membuat produk *brace scoliosis* yang sesuai dengan kebutuhan medis menggunakan metode *Reverse Engineering* dan *Rapid Prototyping* dengan efektif dan efisien?
3. Bagaimana membuat produk *brace scoliosis* yang memiliki keunggulan lebih baik daripada *brace scoliosis* pada umumnya?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah tersebut dibuat batasan masalah agar ruang lingkup pembahasan dalam penelitian menjadi jelas dan tidak meluas ke topik lain. Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya sampai pada tahap pembuatan prototype dengan metode *Reverse Engineering* dan *Rapid Prototyping* menggunakan *3D Printing* dengan material filamen PLA+.
2. Desain menggunakan *software* 3D Slicer dan Autodesk Fusion 360.
3. Analisis kekuatan menggunakan *software* Autodesk Solidworks 2018.
4. *Prototype* yang dibuat hanya satu jenis ukuran saja.

5. Penelitian tidak membahas aspek orthopedi atau medis secara mendalam.

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Berdasarkan batasan masalah di atas, maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan:

1. Menerapkan metode *Reverse Engineering* dan *Rapid Prototyping* dalam perancangan *brace scoliosis*.
2. Membandingkan metode pembuatan *brace scoliosis* konvensional dengan metode *Reverse Engineering* dan *Rapid Prototyping*.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Berdasarkan tujuan penelitian dan latar belakang permasalahan, manfaat dari penelitian ini yaitu untuk meningkatkan penerapan *Reverse Engineering* dan *Rapid Prototyping* dalam bidang industri kesehatan serta menambah khasanah bagi penelitian selanjutnya terkait pembuatan *brace scoliosis*.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan Laporan Tugas Akhir ini diuraikan dalam lima bab yang berurutan agar pembahasannya mudah dipahami. Bab 1 berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat penelitian dan perancangan dilakukan, serta sistematika penulisan laporan akhir. Bab 2 berisi kajian pustaka dan teori-teori yang melandasi dan berhubungan dengan penelitian dan perancangan yang dilakukan. Bab 3 berisi alur penelitian dan perancangan, alat dan bahan yang digunakan serta tahapan-tahapan proses kerja. Bab 4 membahas mengenai hasil-hasil yang sudah diperoleh dari perancangan dan pembahasan dari hasil-hasil tersebut. Kesimpulan hasil penelitian dan perancangan serta saran untuk penelitian selanjutnya dijelaskan pada Bab 5.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Terapi dan latihan intens untuk penderita *scoliosis* sangat dibutuhkan karena *scoliosis* berdampak pada aktivitas sehari-hari. Hingga saat ini, penelitian mengenai alat penyangga atau *brace scoliosis* telah banyak dilakukan dengan berbagai metode dan tujuan-tujuan tertentu. Penelitian mengenai rehabilitasi untuk penderita *scoliosis* dilakukan oleh Pelealu et al., (2013) yang mengklasifikasikan berdasarkan sudut kurvatura sebagai dasar acuan rehabilitasi. Rehabilitasi dilakukan dengan menggunakan orthosis atau *brace scoliosis* yang bertujuan untuk mengoreksi kurvatura *scoliosis* yang ada atau mempertahankan koreksi yang telah dilakukan oleh terapi operasi. Hasilnya, progresivitas *scoliosis* dari penggunaan *brace* dapat dipengaruhi oleh jenis kelamin, ukuran kurvatura saat pertama kali ditemukan, tipe dan rotasi kurvatura, serta usia.

Penggunaan *3D Printing* dalam pembuatan *brace scoliosis* juga dilakukan oleh Redaelli et al., (2020) dalam penelitiannya untuk mengevaluasi kelayakan produksi penyangga *scoliosis* ortopedi dengan pencetakan 3D, membandingkan kinerja dan biaya dengan prosedur thermoforming klasik. Dengan memanfaatkan metode *Reverse Engineering* untuk mengolah model 3 dimensinya yang kemudian dicetak dengan bahan Polyethylene terephthalate glycol-modified (PETG) menggunakan *3D Printing* dan dibandingkan dengan bahan lain seperti polyethylene (PE) dan polypropylene (PP) thermoformed. Hasilnya, pasien melaporkan persepsi dukungan yang lebih baik dan tidak ada perbedaan kenyamanan yang signifikan dibandingkan dengan penyangga thermoformed.

Selain itu, pembuatan *brace scoliosis* juga dapat memanfaatkan *Computer Aided Design* (CAD). Penelitian yang membandingkan perkembangan *brace* CAD dilakukan oleh Weiss & Kleban (2015). Perbandingan dilakukan dengan membandingkan koreksi in-*brace* dari dua sampel pasien *scoliosis* dengan *brace* dengan desain berbantuan komputer (*Computer Aided Design/CAD*) yang berbeda dengan berdasarkan pendekatan pemodelan elemen Finite Element Modelling

Approach (FEMA). Hasilnya Koreksi *in-brace* menggunakan pendekatan yang berbeda sangat berbeda. Hasilnya, koreksi *in-brace* CBA adalah 66% dari nilai awal. Koreksi *in-brace* FEMA adalah 42% dari nilai awal.

Zarei (2021) melakukan penelitian mengenai *brace* atau rompi tulang belakang untuk mencegah cedera yang bertambah parah. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat rompi immobilizer tulang belakang (NSIV) baru dengan fitur-fitur seperti ringan dan volume rendah, sekali pakai dan higienis, biaya sangat rendah, dapat didaur ulang dan kemampuan untuk dipasang di semua pusat gawat darurat untuk mengganti rompi immobilizer lama. Metode yang digunakan adalah CAD modeling, cut molding prototyping, juga antropometri. Hasilnya, produksi bidai sekali pakai darurat sangat bermanfaat dan efektif.

Ardila et al., (2016) melakukan penelitian mengenai orthosis pada bagian tubuh atas yang bertujuan untuk menyediakan prototipe orthosis yang lebih nyaman, higienis, dan estetik, serta memungkinkan untuk pengurangan waktu penggunaan cetakan plester. Metode yang digunakan adalah *Additive Manufacturing* (AM) dan *Reverse Engineering* (RE), yang dinilai sebagai teknologi alternatif yang sangat baik untuk memecahkan masalah cetakan plester tradisional. Hasilnya, 3D Scan terbukti menjadi metode yang efektif untuk mendapatkan anatomi pasien, selama proses ini dukungan dapat digunakan untuk meningkatkan kenyamanan dan stabilisasi individu selama digitalisasi.

Tabel 2. 1 Kajian Pustaka

Tahun	Peneliti	Penelitian	Jenis Metode	Variabel	Parameter	Tujuan	Hasil Penelitian
2013	J. Palealu, L. S. Angliadi, E. Angliadi	Rehabilitasi Medik Pada <i>Scoliosis</i>	Observasi dan Rehabilitasi	Progresivitas penyembuhan dari rehabilitasi pasien <i>scoliosis</i> .	Jenis kelamin, ukuran kurvatura saat pertama kali ditemukan, tipe dan rotasi kurvatura, dan usia.	Untuk mengetahui bentuk-bentuk penyembuhan atau rehabilitasi untuk pasien <i>scoliosis</i>	Progresivitas <i>scoliosis</i> dari penggunaan <i>brace</i> dapat dipengaruhi oleh jenis kelamin, ukuran kurvatura saat pertama kali ditemukan, tipe dan rotasi kurvatura, serta usia.
2015	Weiss & Kleban	Development of CAD/CAM Based <i>Brace</i> Models for the Treatment of Patients with <i>Scoliosis</i> -	Finite Element Modelling Approach (FEMA)	Nilai koreksi antara metode CBA dan FEMA	Keefektifan metode perkembangan <i>brace</i> CAD	Membandingkan perkembangan <i>brace</i> CAD	Hasilnya, koreksi in- <i>brace</i> CBA adalah 66% dari nilai awal. Koreksi in- <i>brace</i> FEMA adalah 42% dari nilai awal. Pendekatan CBA

		Classification Based Approach versus Finite Element Modelling					saat ini lebih unggul daripada FEMA.
2016	CP Agudelo-Ardila1, G C Prada-Botía1, dan PH Rodrigues G2	Orthotic prototype for upper limb printed in 3D: A efficient solution	<i>Additive Manufacturing (AM) dan Reverse Engineering (RE)</i> dibandingkan dengan metode tradisional	Proses produksi yang dilakukan menggunakan metode tradisional dan metode <i>3D Print</i>	Waktu, jumlah kehadiran pasien, keakuratan geometri, dan harga	Untuk menyediakan prototipe orthosis yang lebih nyaman, higienis, dan estetik, serta memungkinkan untuk pengurangan waktu penggunaan cetakan plester	3D Scan terbukti menjadi metode yang efektif untuk mendapatkan anatomi pasien, selama proses ini dukungan dapat digunakan untuk meningkatkan kenyamanan dan stabilisasi individu selama digitalisasi.

2020	D. Redaelli	<i>3D Printing orthopedic scoliosis braces: a test comparing FDM with thermoforming</i>	<i>Reverse Engineering</i>	Ultimate strength, Durability, Coefficient of thermal expansion, Price, Printability, Extruder temperature, Bed temperature, Toughness, Hydrophobicity, Chemical inertness, Flexibility, Fatigue resistance, Medical grade	Penyangga berbahan thermoforming	Mengevaluasi kelayakan produksi penyangga scoliosis ortopedi dengan pencetakan 3D, membandingkan kinerja dan biaya dengan prosedur thermoforming klasik	Tidak ada perbedaan kenyamanan yang signifikan dibandingkan dengan penyangga thermoformed.
2021	Hossein Zarei	New Spinal Immobilizer	CAD modeling, cut	Perancangan splint body	Jenis material, sifat, berat,	Untuk merancang dan membuat rompi	Produksi bidai sekali pakai darurat sangat

		Vest for Prehospital Emergency Care	molding prototyping, Studi antropometri		volume, dan biaya produksi body splint , antropometri tubuh.	immobilizer tulang belakang (NSIV) baru dengan fitur-fitur seperti ringan dan volume rendah, sekali pakai dan higienis, biaya sangat rendah, dapat didaur ulang.	bermanfaat dan efektif.
2021	Luthfi	Pembuatan <i>Brace Scoliosis</i> dengan Metode <i>Reverse Engineering</i> dan Rapid Prototyping.	<i>Reverse Engineering</i> dan Rapid Prototyping.	Proses perancangan <i>Brace Scoliosis</i> dengan Metode <i>Reverse Engineering</i> dan Rapid Prototyping menggunakan <i>3D Printing</i> .	Bentuk, ukuran, kenyamanan, kekuatan <i>brace scoliosis</i> .	Menerapkan metode <i>Reverse Engineering</i> dan <i>Rapid Prototyping</i> dalam perancangan <i>brace scoliosis</i> yang unggul dari metode konvensional.	<i>Brace scoliosis</i> sebagai alat <i>orthosis</i> dengan material filament PLA+.

2.2 Dasar Teori

Dalam penelitian ini, digunakan berbagai teori-teori yang relevan dan menjadi dasar dari penyelesaian penelitian mengenai penyangga atau *brace scoliosis*.

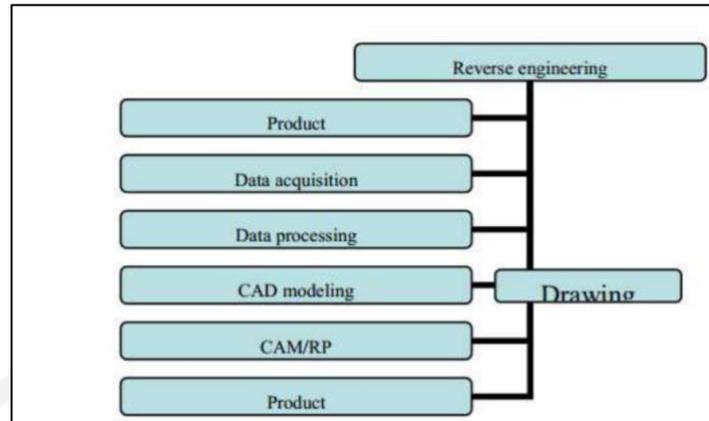
2.2.1 Orthosis

Orthosis merupakan alat yang dirancang khusus untuk menahan gerak tubuh, mencegah kecacatan, melindungi luka, dan membantu fungsi anggota tubuh serta membantu proses penyembuhan. Tujuan utama penggunaan orthosis adalah untuk memperbaiki postur dan kontraktur otot, untuk mendukung posisi sendi normal, dan memfasilitasi atau meningkatkan fungsi gerak (Knutson et al., 1991)

Dalam membantu proses penyembuhan atau memperbaiki postur, orthosis sangat berguna bagi penderita *scoliosis*. Orthosis untuk penderita *scoliosis* yaitu *brace skolios*. *Brace scoliosis* dapat membantu penyembuhan tulang juga sebagai bentuk terapi bagi penderita *scoliosis*.

2.2.2 Reverse Engineering

Reverse Engineering merupakan metode dalam suatu desain produk yang biasanya digunakan untuk mendesain dan memodifikasi suatu produk berdasarkan produk yang ada. Metode *Reverse Engineering* membutuhkan beberapa peralatan seperti 3D Scan dan CMM (*Coordinate Measuring Machine*) untuk menangkap data, dan mengubah data fisik menjadi data elektronik sehingga dapat diolah dalam CAD (Hussain et al., 2008). *Reverse Engineering* adalah kebalikan dari Forward Engineering. Proses atau alur dari *Reverse Engineering* dimulai dari produk sedangkan alur Forward Engineering diakhiri dengan produk. Dengan menggunakan *software* CAD, produk dapat digambarkan dalam bentuk produk digital. Menurut Bagci (2009) *Reverse Engineering* dapat dimanfaatkan untuk mengevaluasi sistematis dari suatu produk dengan tujuan replika atau pembuatan model baru karena bagian yang rusak umumnya terlalu mahal untuk mengganti atau tidak tersedia lagi. Skema dari *Reverse Engineering* adalah sebagai berikut:



Gambar 2. 1 Skema Reverse Engineering

Sumber: Anggoro et al., (2015)

2.2.3 Rapid Prototyping

Rapid Prototyping merupakan suatu teknik dalam membentuk atau merakit produk dengan integrasi antara system CAD (*Computer Aided Design*) dan mesin pencetak seperti *3D Print* atau CNC. Pembentukannya dilakukan dengan menambahkan lapis demi lapis sesuai irisan yang diolah dengan CAD (Rinanto & Sutopo, 2017). Selain itu, menurut Bourell et al., (2009) *Rapid Prototyping* adalah pembentukan benda dari data atau desain 3D berupa lapisan dan sebagai kebalikan dari proses manufaktur yang mengurangi bagian-bagian yang tidak diperlukan. *Rapid Prototyping* telah terbukti bermanfaat dalam bidang prostetik dan ortotik, karena bentuknya dapat spesifik dengan anatomi pasien masing-masing. *Rapid Prototyping* bermanfaat dalam bidang kedokteran, karena dengan teknologi ini dapat membuat bagian-bagian anatomi yang kompleks secara langsung dari data yang discan (Dhakshyani et al., 2011)

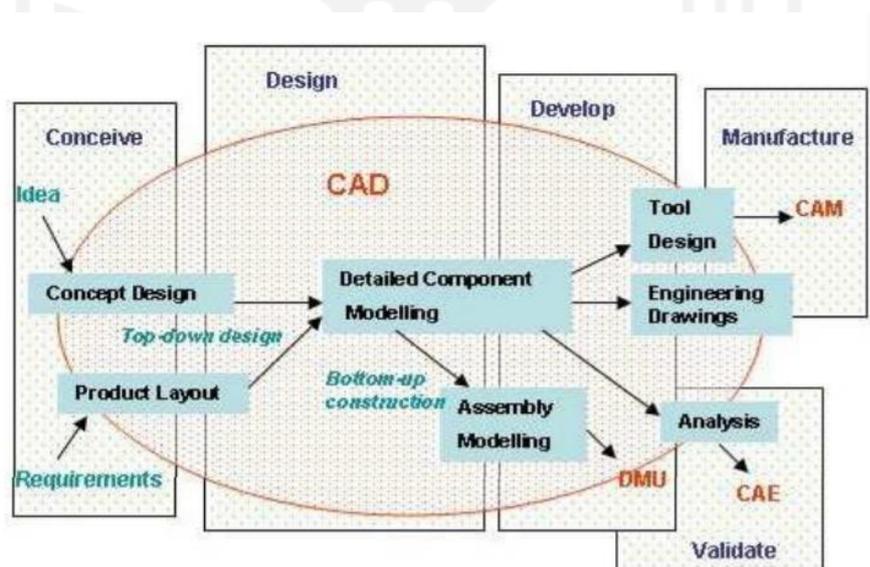
2.2.4 Additive Manufacturing

Additive Manufacturing (AM) lebih populer disebut dengan *3D Printing* (Gibson, 2015). Teknologi *Additive Manufacturing* (AM) merupakan teknologi canggih di mana sebuah produk dapat diproduksi dengan membangun bahan lapisan tipis dari desain tiga dimensi digital (3D) yang diciptakan menggunakan *software* desain bantuan komputer (Achillas, 2014). AM maupun *3D Printing* merujuk pada proses membangun bagian-bagian dengan menggabungkan bahan

lapis demi lapis dari file CAD. Berbeda dengan proses manufaktur tradisional, seperti Pemesinan CNC, di mana suatu bagian dibuat dengan mengurangkan material dari blok material. AM dan *3D Printing* dapat digunakan terlepas dari apakah bagiannya dibuat dari plastik, logam, atau karet.

2.2.5 CAD/CAM

CAM (*Computer Aided Manufacturing*) merupakan sebuah aktivitas yang menggunakan computer sebagai alat bantu dalam perancangan dan proses pengerjaan dari sebuah produk. *Computer-Aided Design* (CAD) digunakan secara luas di perangkat yang berbasis komputer yang membantu insinyur teknik, arsitek, profesional perancangan yang banyak bekerja dengan aktivitas rancangan (Ningsih, 2005). Sedangkan CAM (*Computer Aided Manufacturing*) merupakan sistem manufaktur yang mengoptimalkan kemampuan program komputer untuk menterjemahkan disain rekayasa yang dibuat oleh CAD sehingga dapat mengontrol mesin NC (*Numerical Controlled Machines*). Berikut merupakan skema CAD dan CAM.



Gambar 2. 2 Computer Aided Design

Sumber: Ningsih (2005)

2.2.6 Autodesk Fusion 360

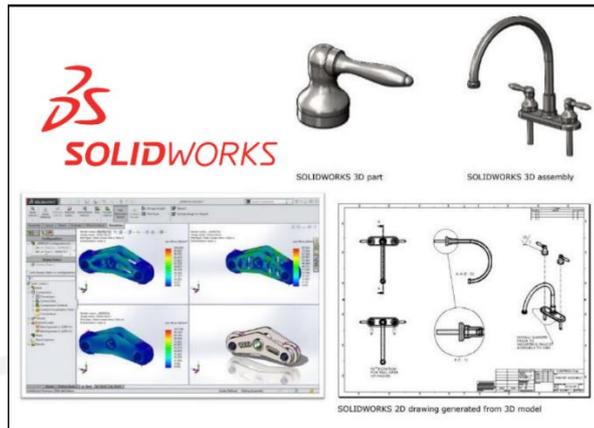
Autodesk Fusion 360 merupakan platform *software* pemodelan 3D, CAD, CAM, dan PCB berbasis cloud untuk desain dan manufaktur produk. Dapat dimanfaatkan untuk merancang dan merekayasa produk, memastikan estetika, bentuk, kesesuaian, dan fungsi. Menurut Suhada et al., (2018) dengan Fusion 360, desainer dapat membuat produk yang memiliki bentuk dan fungsi serta mempersiapkannya untuk proses fabrikasi dengan menggunakan satu perangkat. Hasilnya, pengguna dapat mengeksplorasi ide produk dengan cepat dan mendapatkan hasil prototipe lebih cepat. Fusion 360 dapat menyunting langsung dengan fitur atau perlengkapan model yang ada dengan satu-satunya alat *software* CAD / CAM yang benar-benar terintegrasi. Fitur yang ada dalam Autodesk Fusion meliputi *Sketching, Solid Modeling, Freeform T-Spline Sculpting, Direct Modeling, Rendering*, dan lainnya.



Gambar 2. 3 Autodesk Fusion 360

2.2.7 SolidWorks

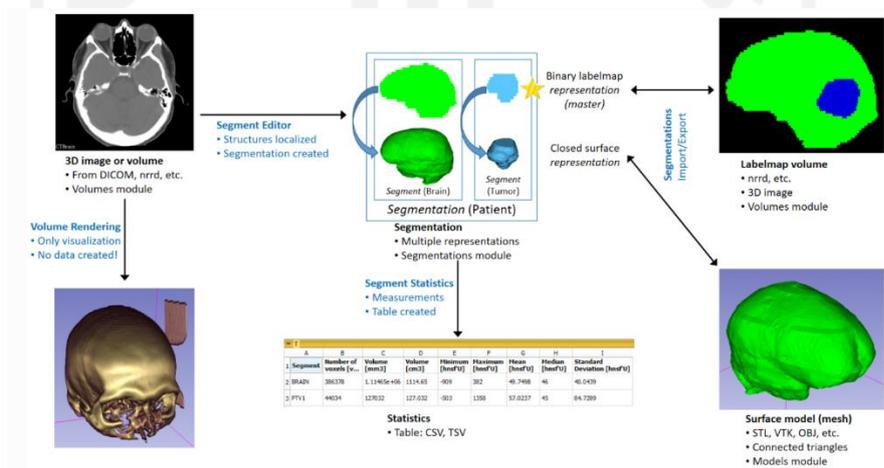
Software SolidWorks sangat membantu dalam proses desain. *Software* Solidworks digunakan untuk merancang part permesinan atau susunan part permesinan yang berupa assembling dengan tampilan 3D untuk merepresentasikan part sebelum real part-nya dibuat atau tampilan 2D (drawing) untuk gambar proses permesinan (Nurpalah, 2017). Fitur yang ditawarkan mulai dari pembuatan sketsa hingga dapat menganalisis material. Dalam penelitian ini, SolidWork digunakan untuk analisis Finite Element.



Gambar 2. 4 SolidWorks
(Sumber: Dassault Systems, 2015)

2.2.8 3D Slicer

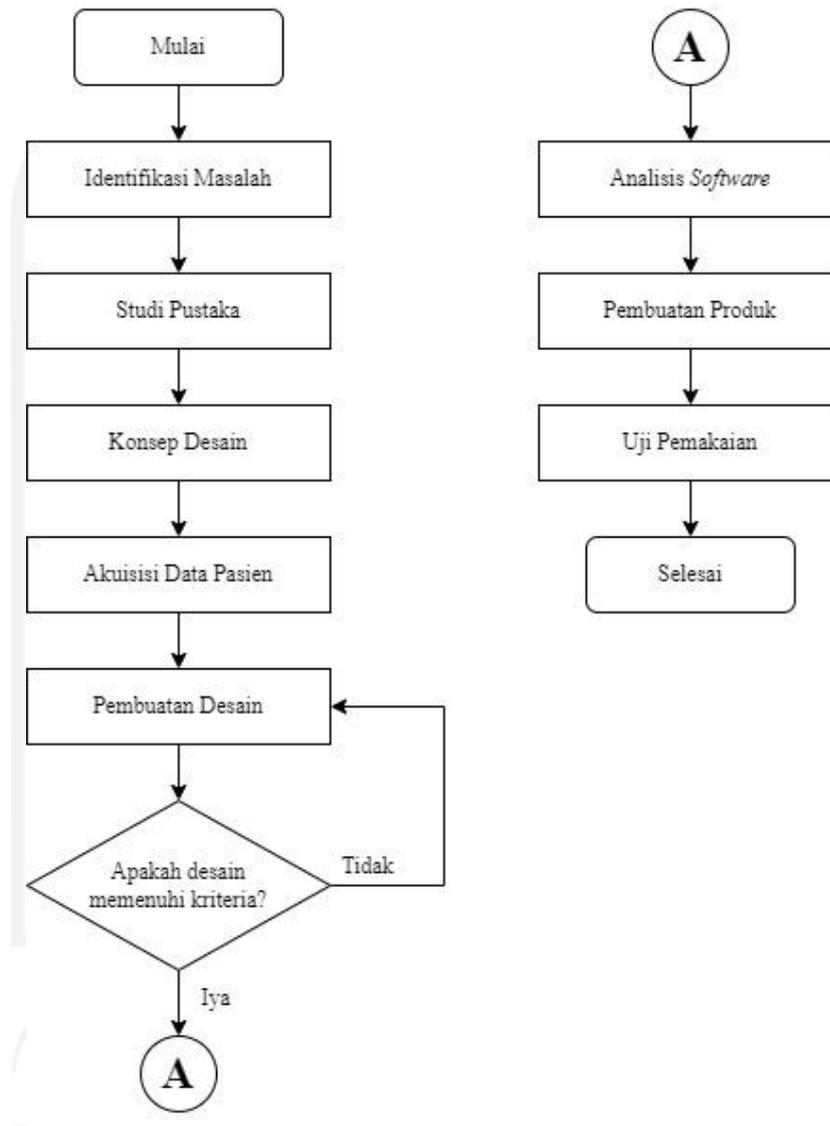
3D Slicer merupakan *software* yang membantu visualisasi dan analisis kumpulan data komputasi citra medis. Kumpulan data yang didukung meliputi gambar, segmentasi, permukaan, anotasi, transformasi, dll., dalam 2D, 3D, dan 4D. Pada penelitian ini 3D Slicer digunakan untuk mengubah format data .NRRD ke format data .STL.



Gambar 2. 5 3D Slicer
(Sumber: 3D Slicer Official Website, 2020)

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian



Gambar 3. 1 Alur Penelitian

3.2 Peralatan dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam perancangan ini adalah:

3.2.1 Peralatan

1. Laptop
2. *Software* 3D Slicer 4.11.
3. *Software* Autodesk Fusion 360
4. *Software* Solidworks 2018
5. *Software* Creality Slicer
6. *3D Printer* CR-10 S5
7. Palu

3.2.2 Bahan

1. Filamen PLA+ eSun
2. Tali webbing
3. Snaplock
4. Spon ati
5. Rivet
6. Lem

3.3 Perancangan

Dalam proses perancangan *brace scoliosis* dengan metode *Reverse Engineering* dan *Rapid Prototyping* ini melalui tahapan-tahapan sebagai berikut:

3.3.1 Identifikasi Masalah

Penderita kelainan tulang belakang seperti *scoliosis* membutuhkan perawatan dan perhatian khusus. Dalam proses terapi atau penyembuhan, dibutuhkan alat pendukung yang mampu efektif dan efisien dalam membantu penyembuhan. Penyangga atau *brace scoliosis* merupakan salah satu alat yang banyak dibutuhkan pasien *scoliosis*.

Brace scoliosis yang sesuai dengan kebutuhan akan sangat membantu kelancaran terapi, maka dibutuhkan rancangan *brace scoliosis* yang baik. Pemanfaatan teknologi dalam pembuatan *brace scoliosis* dengan *Reverse*

Engineering dan *Rapid Prototyping* akan menyesuaikan bentuk anatomi tulang belakang sehingga penggunaannya nyaman dan efektif.

3.3.2 Konsep Desain

Brace scoliosis bertujuan sebagai upaya penyembuhan pada pasien kelainan tulang belakang khususnya *scoliosis*. Penggunaan *brace scoliosis* tentunya sangat diperhitungkan dalam beberapa factor karena menyangkut dengan pribadi pasien dan rencana penyembuhan yang akan dilakukan. *Brace scoliosis* yang banyak terdapat dipasaran saat ini adalah *brace scoliosis* Tipe Boston. Memiliki ciri sebagai berikut:

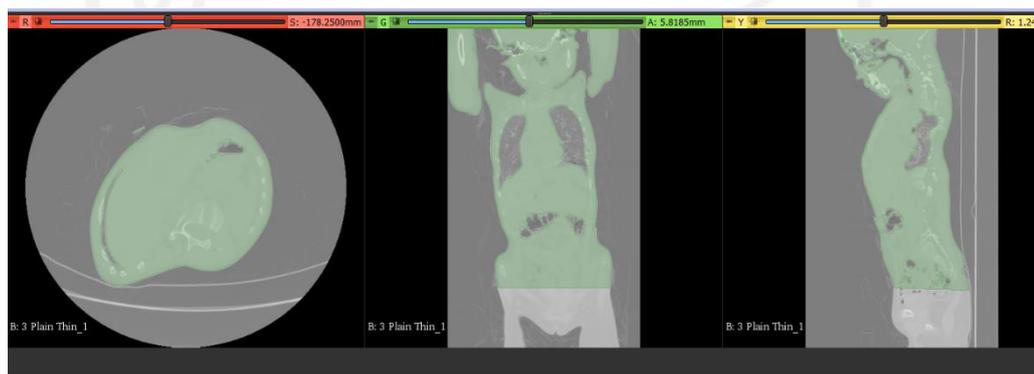
1. Masih menggunakan metode konvensional dalam pembuatannya dengan menggunakan gips.
2. Merupakan *brace* simetris yang menekan badan dari berbagai sisi sehingga cenderung tidak nyaman.
3. Bentuk *brace* yang cenderung ‘*bulky*’ atau terlihat besar dan kurang presisi.
4. Material yang digunakan biasanya berat dan tebal.
5. Mengandalkan tempelan busa sebagai daya pendorong.

Dengan ciri Tipe Boston seperti di atas, maka dibutuhkan konsep desain *brace scoliosis* yang lebih mengedepankan kenyamanan. Pada penelitian ini akan dilakukan perancangan *brace scoliosis* dengan kriteria desain sebagai berikut:

1. Menggunakan teknologi komputerisasi CAD/CAM dan *3D Printing* sehingga memberikan kenyamanan pada pasien dalam proses perancangan.
2. Tipikal *brace* yang asimetri yaitu dapat memberikan bentuk yang sesuai dengan bentuk tulang pasien sehingga penyembuhannya efektif.
3. Bentuk *brace* dengan *cutting* minimalis dan lebih presisi.
4. Material yang digunakan adalah bahan PLA+.
5. Ketebalan *brace scoliosis* maksimal 5 mm.
6. Berat *brace scoliosis* tidak lebih dari 2 Kg.
7. Memiliki ventilasi agar nyaman atau tidak panas ketika digunakan.
8. Desain *brace scoliosis* yang *adjustable* atau dapat diatur kekencangannya.

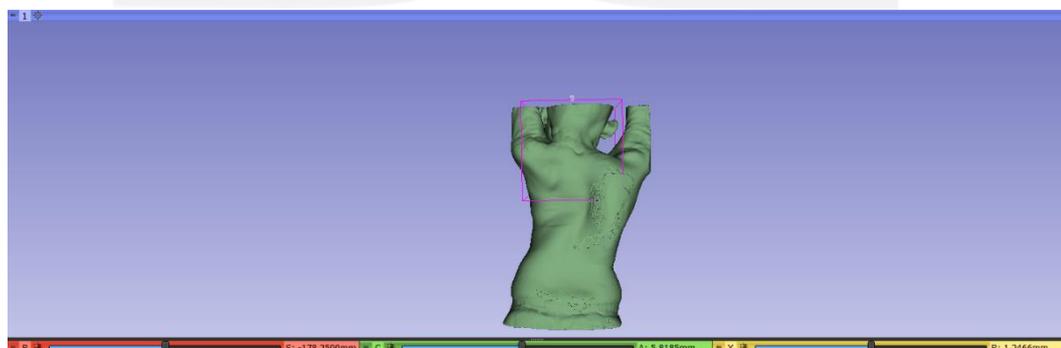
3.3.3 Akuisisi Data Pasien

Data pasien yang menjadi acuan dalam proses rancangan *brace scoliosis* ini diambil dari laman Embodi3D yang merupakan website komunitas *3D Printing* biomedis dikarenakan peneliti tidak dapat bertemu pasien secara langsung untuk dilakukan *3D Scan*. Data pasien yang diunduh dengan format **.NRRD** kemudian dilakukan pengakuisisian data menggunakan *software* 3D slicer agar data dapat dibaca dalam format **.STL** sebagai objek pada *software* Autodesk Fusion 360 yang kemudian diolah menjadi acuan desain *brace scoliosis* agar sesuai dengan bentuk tubuh pasien.



Gambar 3. 2 Data Pasien Format NRRD

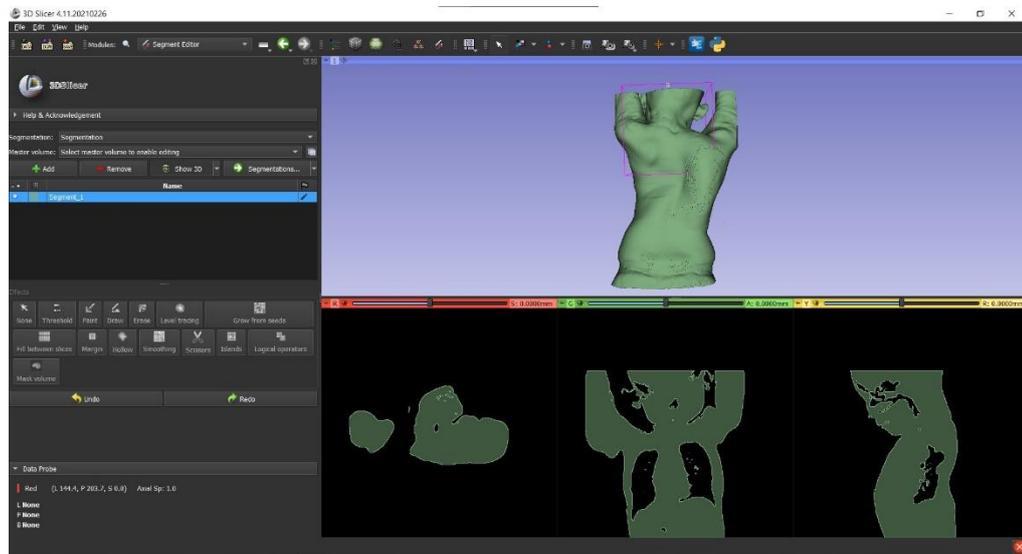
Gambar 3.2 merupakan gambar hasil CT-Scan dari pasien yang kemudian data tersebut diolah menggunakan *tools Transforms, Models* dan *Volumes* yang ada pada *software* 3D Slicer untuk mendapatkan gambar 3D dari tubuh pasien. Berikut merupakan hasil gambar 3D dari tubuh pasien:



Gambar 3. 3 Gambar 3D Tubuh Pasien

Dari Gambar 3.3 bagian gambar 3D pasien di beberapa bagian terdapat tekstur yang tidak rata. Maka, perlu dilakukan *editing* dengan menggunakan *tools*

Segment Editor yang berfungsi untuk menghaluskan gambar. Setelah seluruh permukaan gambar 3D sesuai dengan kebutuhan pemodelan, selanjutnya data gambar tersebut di *eksport* menjadi format **.STL**.



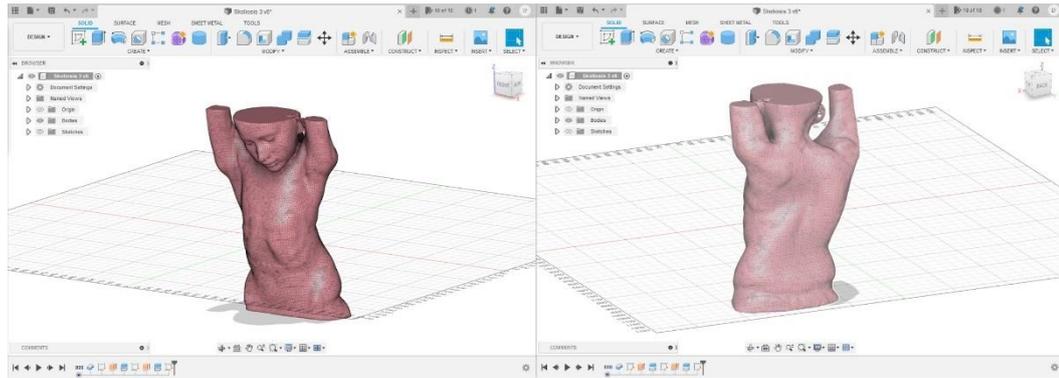
Gambar 3. 4 Proses *editing* model

3.3.4 Pemodelan CAD

Setelah dilakukan akuisisi data, maka selanjutnya data tersebut dapat diolah menjadi desain *brace scoliosis*. Pembuatan desain memanfaatkan *software* CAD sebelum akhirnya dicetak menjadi *ptotype* dengan *3D Printing*. Berikut merupakan langkah pembuatan desain hingga pencetakan:

1. Remeshing

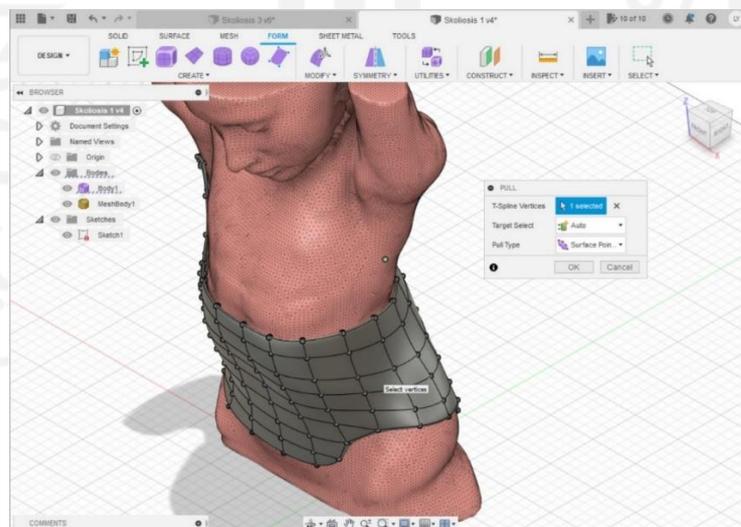
Remeshing dilakukan untuk mengurangi resolusi gambar desain dengan menggunakan fitur *Reduce Mesh* dengan cara memperbesar mesh sehingga jumlahnya lebih sedikit. Pengurangan dilakukan tanpa mengubah bentuk asli tubuh pasien, remeshing atau penipisan jumlah titik dan perataan sehingga menghasilkan bentuk seperti pada Gambar 3.5.



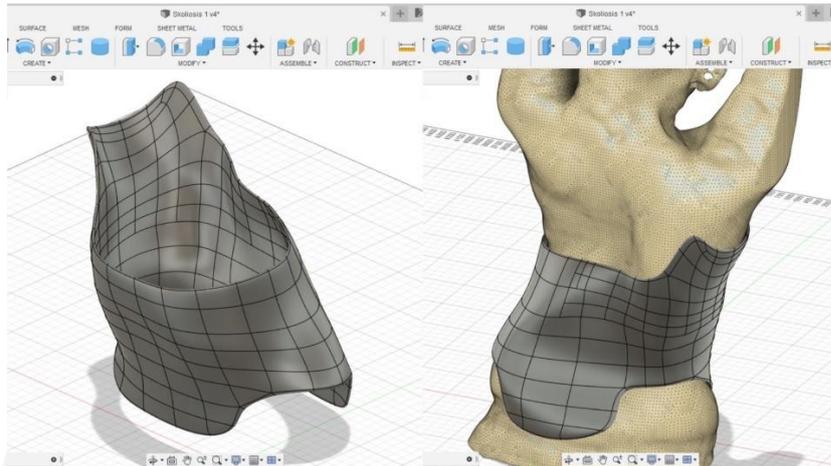
Gambar 3. 5 Hasil Remeshing

2. Pembuatan Desain

Setelah dilakukan remeshing, selanjutnya pembuatan desain dapat dilakukan. Pembuatan desain menggunakan Autodesk fusion 360 diawali dengan pembuatan *surface* mengikuti bagian tubuh model. Selanjutnya *create to form* untuk mengaktifkan fitur *t-splines* dalam *tools pull*. *T-splines* adalah salah satu fitur keunggulan pada *software Autodesk Fusion 360* yang berguna pada metode *Reverse Engineering* fungsinya untuk membuat *surface* agar dapat mengikuti bentuk dari hasil *3D scan* atau objek yang akan didesain. Berikut merupakan pemodelan desain awal pada Alternatif 1:

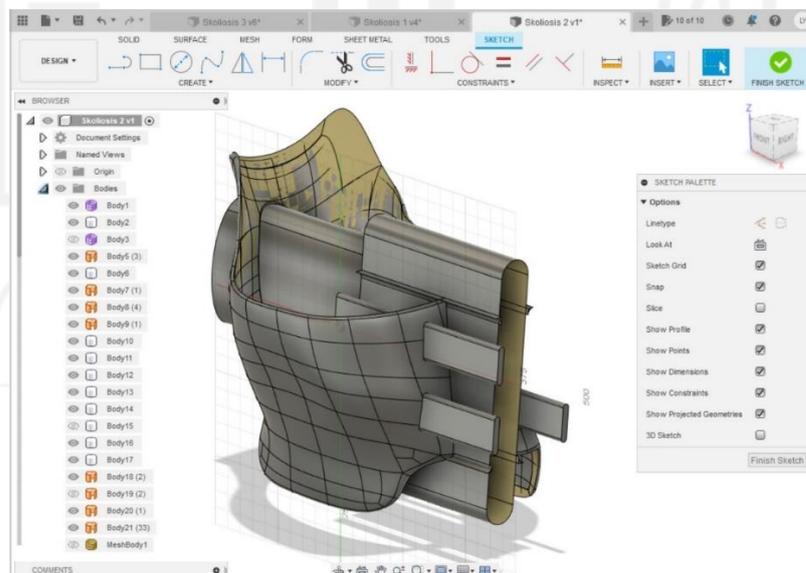


Gambar 3. 6 Pembuatan Surface

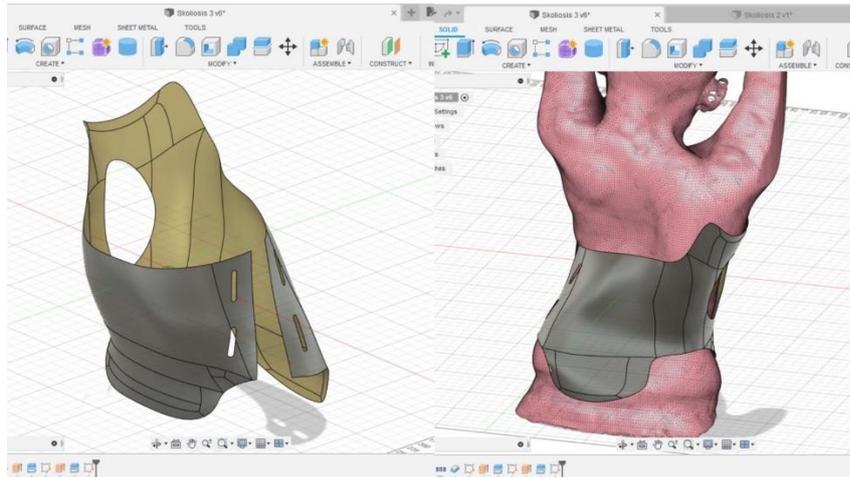


Gambar 3. 7 Desain Alternatif 1

Pada desain Alternatif 1, kerangka *brace scoliosis* yang dibuat mengelilingi tubuh sepenuhnya sehingga ruang gerak pasien terbatas serta menyulitkan pasien dalam pemakaian. Hal tersebut bertentangan dengan konsep desain yang telah dibuat, yaitu *brace scoliosis* harus memudahkan pasien, praktis, *adjustbale* dan nyaman. Maka dari itu, dilakukan beberapa perubahan desain dengan menggunakan fitur *Sketch* yang kemudian di *Extrude* dan *Trim*. Berikut merupakan desain Alternatif 2:



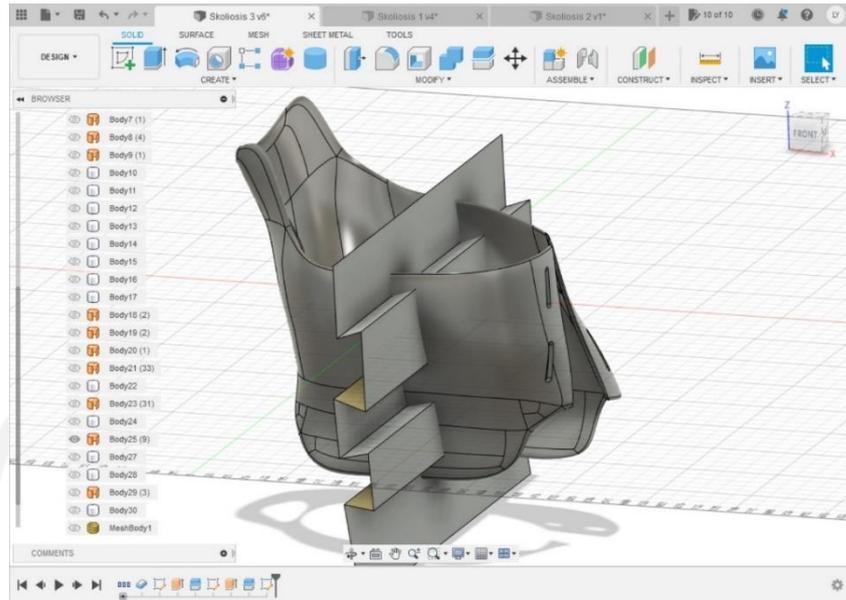
Gambar 3. 8 Sketch Desain



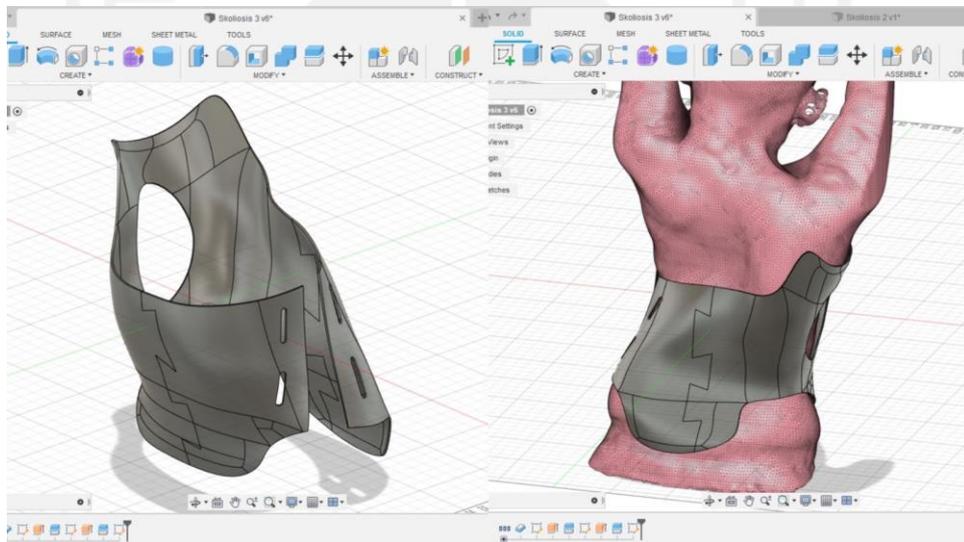
Gambar 3. 9 Desain Alternatif 2

Pada Alternatif 2 desain *brace scoliosis* dibuat lebih sesuai dengan bentuk tubuh penderita *scoliosis* yang condong ke satu sisi. Selain itu, terdapat lubang untuk memberikan kenyamanan dan sirkulasi udara yang baik. Penggunaan *brace scoliosis* dengan desain ini memanfaatkan pengait tambahan berupa tali pada sisi lainnya. Namun karena keterbatasan alat, desain ini tidak dapat direalisasikan karena *3D Print* yang digunakan tidak dapat mencetak desain dengan ukuran yang terlalu besar.

Desain yang terakhir atau Alternatif 3 dibuat dengan adaptasi desain Alternatif 2 yang dilakukan segmentasi atau dibagi menjadi empat bagian agar lebih mudah dalam proses pencetakan. Karena dibagi menjadi empat bagian, maka diberikan pengait berupa snaplock yang digunakan pada sisi di atas lubang sirkulasi. Kedua alternatif desain ini memenuhi kriteria desain yang telah dibuat meliputi kenyamanan, kepraktisan, kemudahan juga fitur *adjustable* pada pengait. Berikut merupakan desain Alternatif 3:



Gambar 3. 10 Segmentasi Desain



Gambar 3. 11 Desain Alternatif 3

3.3.5 *Finite Element Analysis*

Analisis material menggunakan *Finite Element* dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari model yang telah dirancang dengan cara mensimulasikan pembebanan terhadap model. Analisis dilakukan menggunakan *software* Solidworks dengan fitur Stress Analysis. Material yang digunakan adalah filament PLA+, maka diperlukan properties tersendiri yang harus diinputkan dalam *software* SolidWorks karena hasil simulasi bergantung pada properties yang digunakan. Properties material PLA+ yang diperlukan adalah Tensile strength,

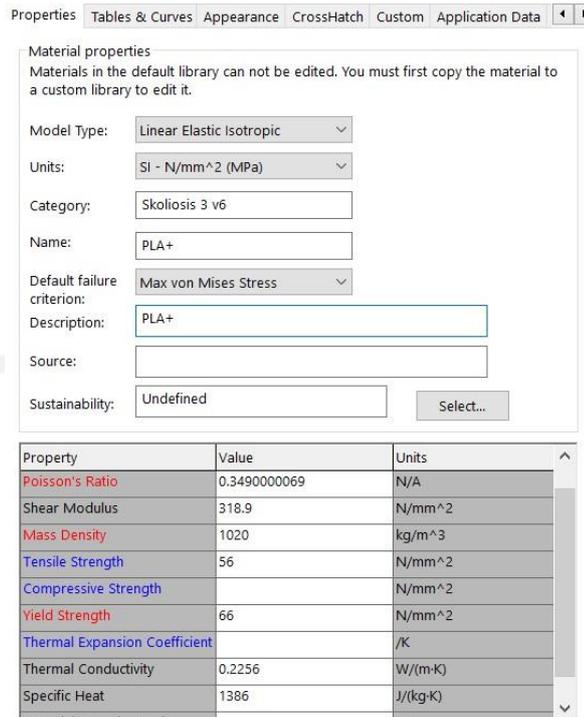
Modulus elastis, elongation, dan yield strength. Properties yang digunakan untuk material filament PLA+ mengacu pada Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Properties Fillament PLA+

Properti	Standar	Kondisi	Satuan	PLA
Chemical Formula	-	-	-	(C ₃ H ₄ O ₂) _n
Density	ASTM D792	-	gr/cm ³	1,25
Melt Mass – Flow Rate	ASTM D1238	210°C/2.16kg	gr/10min	6,0 – 78
		220°C/10.0kg	gr/10min	-
Melting Point	ASTM D3418	-	°C	± 160
Printing Temperature	-	-	°C	± 190 – 210
Glass Transition Temperature	ASTM E1356	-	°C	60 – 65
Tensile Modulus	ASTM D638	Room Temperature	MPa	2020 – 3543
Tensile Strength	Yield ASTM D638		MPa	61 – 66
	Break ASTM D638		MPa	49 – 56
Tensile Elongation	Yield ASTM D638		%	9,8 – 10
	Break ASTM D638		%	0,5 – 9,2
Flexural Modulus	ASTM D790		MPa	2504 – 4000
Flexural Strength	ASTM D790		MPa	80 – 114
Compressive Strength	ASTM D695		MPa	18 – 94
Impact (Izod Notched)	ASTM D256		ft.lb/in	0,3 – 0,8

(Sumber: Pambudi, 2017)

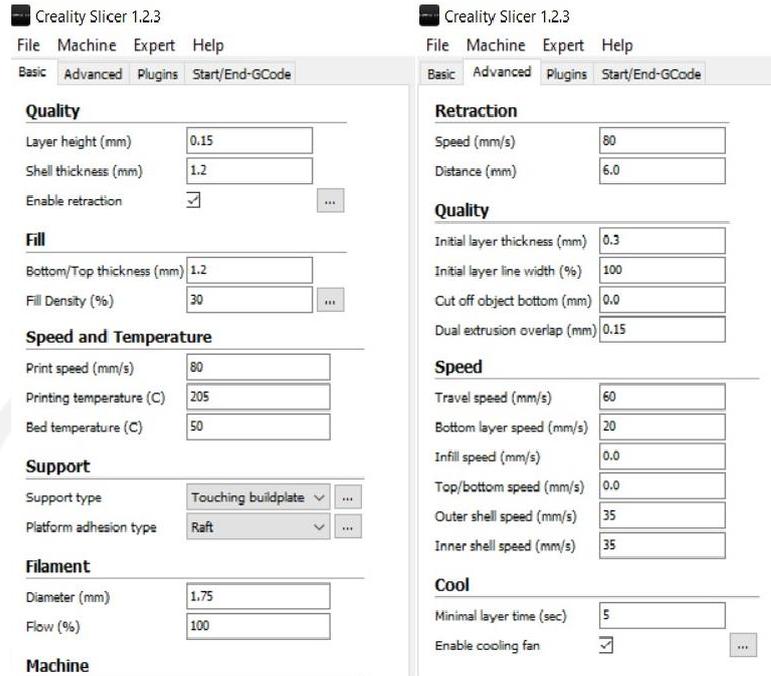
Dari Tabel 3.1 maka dapat ditentukan angka-angka yang akan diinputkan ke *software* SolidWorks seperti pada Gambar 3.9.



Gambar 3. 12 Properties Material PLA+

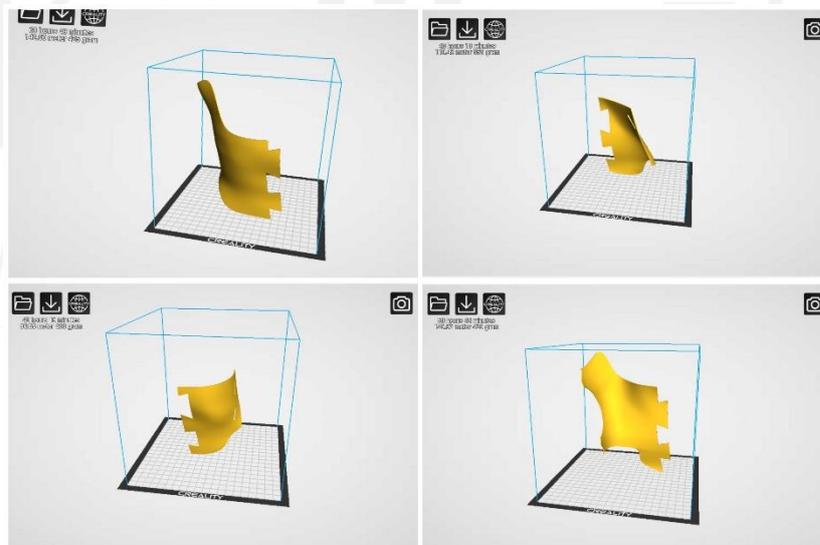
3.3.6 Pencetakan Prototype dengan 3D Print

Proses setelah dilakukan pemilihan model desain dan Analisis Finite Element adalah pencetakan dengan mesin *3D Print*. Sebelumnya, desain 3D yang telah dibuat di ekspor dalam format *.STL* lalu kemudian diinput ke mesin *3D Print*. Mesin *3D Print* perlu di berikan pengaturan dan kalibrasi untuk mengatur temperature dan ketinggian bed, memanaskan *nozzle* serta menentukan jenis dan ukuran filamen yang digunakan. Pengaturan gerakan *nozzle* dilakukan dengan *software* Creality Slicer. Pengaturan parameter tersebut yaitu:



Gambar 3. 13 Pengaturan Nozzle

Setelah kalibrasi mesin selesai, pencetakan dengan mesin *3D Print* dapat dimulai. Mesin 3D ini berkapasitas cetak 500mm x 500mm x 500mm dengan merek Creality 10S. Material *brace scoliosis* yang dicetak adalah filamen PLA+. Berikut merupakan simulasi pencetakan dalam *software* Creality Slicer.



Gambar 3. 14 Simulasi Percetakan

BAB 4

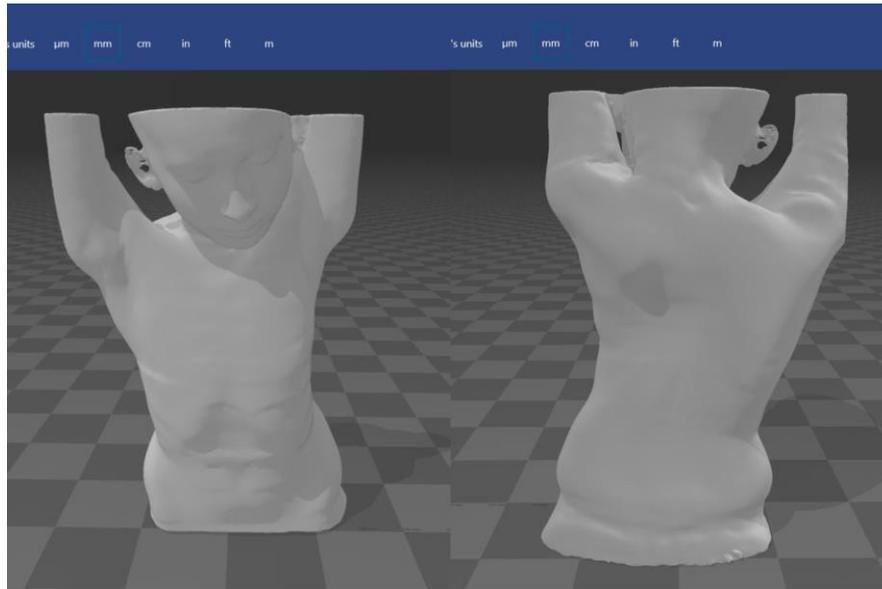
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan

Perancangan *brace scoliosis* dilakukan dengan beberapa tahap yaitu tahap pengakuisisian data menggunakan *software 3D Slicer*, pra-pemodelan, pemodelan CAD menggunakan Autodesk Fusion, *Finite Element Analysis* menggunakan SolidWorks, dan pencetakan 3D. Proses ini tidak lepas dari berbagai kendala, baik kendala dari tingkat kesulitan proses pengerjaan serta pengaruhnya terhadap waktu pengerjaan.

4.1.1 Proses Akuisisi Data

Pada proses pengakuisisian data, data yang didapat dari laman Embodi3D yang merupakan website komunitas *3D Printing* biomedis adalah data hasil CT Scan pasien. Alasan utama peneliti menggunakan data sekunder karena peneliti tidak dapat bertemu secara langsung dengan pasien sehingga tidak dapat dilakukan *3D Scan*, selain itu beberapa pasien lain tidak bersedia, dan ada yang tidak masuk dalam kriteria pasien yaitu laki-laki. Artinya data yang didapatkan merupakan data 2D termasuk didalamnya ukuran tubuh pasien sebagai acuan desain. Akuisisi data ini mengubah format data **.NRRD** menjadi format **.STL**. Kendala yang terjadi adalah proses akuisisi menjadi gambar 3D diperlukan *editing* yang sesuai dengan kebutuhan desain untuk memudahkan proses selanjutnya. Berikut merupakan hasil *editing* gambar 3D tubuh pasien yang telah di *export* ke **.STL**:

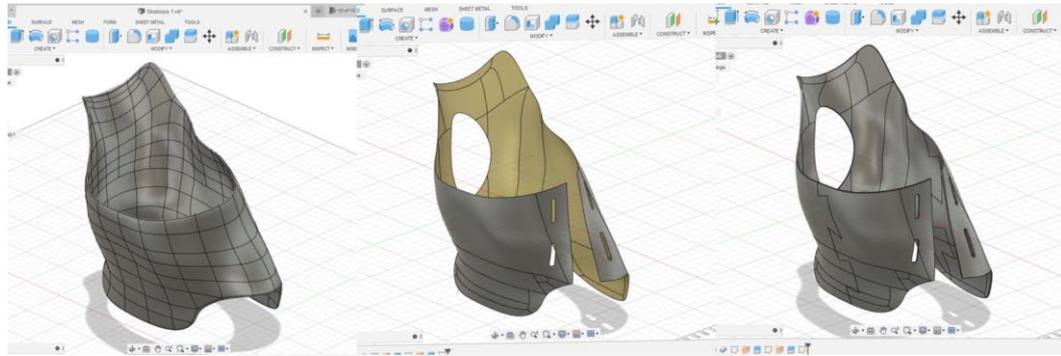


Gambar 4. 1 Hasil *Editing* Gambar 3D Tubuh Pasien

4.1.2 Pemodelan CAD

Sebelum dilakukan pemodelan, desain perlu melalui proses pra-pemodelan menggunakan *software* Autodesk fusion 360 yang bertujuan untuk menghilangkan *noise* pada desain dan pada proses ini juga dilakukan remeshing atau penipisan di sejumlah titik dan perataan untuk mengurangi resolusi gambar desain dengan menggunakan fitur Reduce Mesh. Pengurangan dilakukan tanpa mengubah bentuk asli tubuh pasien.

Tahap terakhir dalam proses desain adalah pemodelan CAD. Pada proses pemodelan ini, acuannya adalah hasil dari proses remeshing. Pemodelan mengikuti bentuk tubuh pasien yang disesuaikan dengan kebutuhan pasien yaitu dalam hal perawatan tulang belakang atau *scoliosis*. Bentuk *brace scoliosis* yang dihasilkan pada desain adalah desain yang diinovasikan peneliti dan tidak melibatkan perhitungan medis. Desain dibuat secara bertahap dan dihasilkan beberapa alternatif agar dapat memperhitungkan kesesuaiannya dengan konsep desain yang telah dibuat. Dari pemodelan CAD yang menghasilkan 3 alternatif desain yaitu:



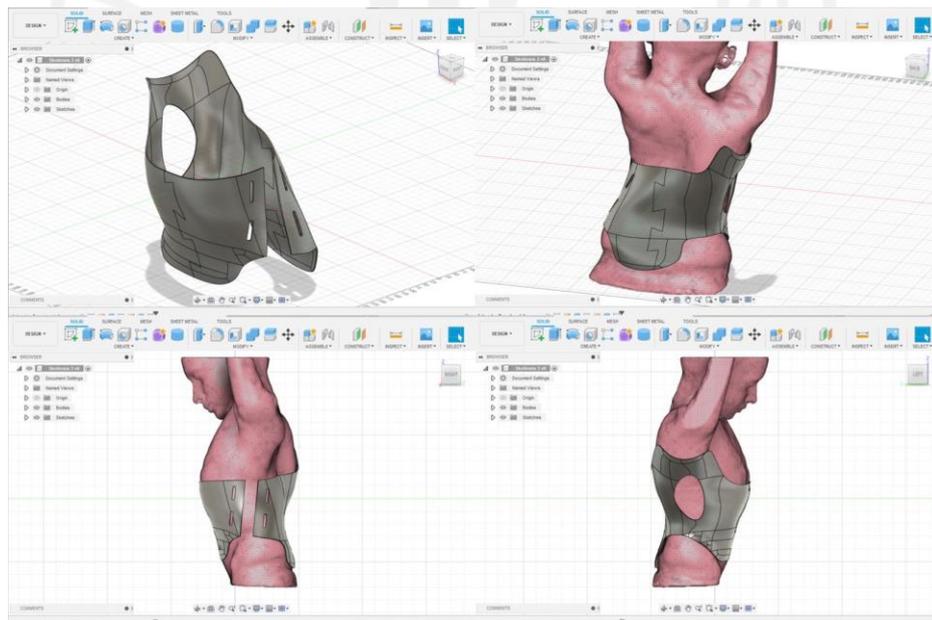
(A)

(B)

(C)

Gambar 3. 15 Hasil Pemodelan CAD : (A) Alternatif Desain 1, (B) Alternatif Desain 2, (C) Alternatif Desain 3

Dari ketiga alternatif desain yang dibuat, dipilihlah Alternatif Desain 3 dengan penambahan tali webbing sebagai pengait dan snaplock sebagai pengunci *brace*. Alternatif Desain 3 merupakan desain final untuk *brace scoliosis* karena desain tersebut adalah desain yang paling sesuai dengan konsep desain yang telah dibuat meliputi kenyamanan, kepraktisan, dan kemudahan juga fitur *adjustable* yang didukung dengan penggunaan tali webbing dan snaplock.

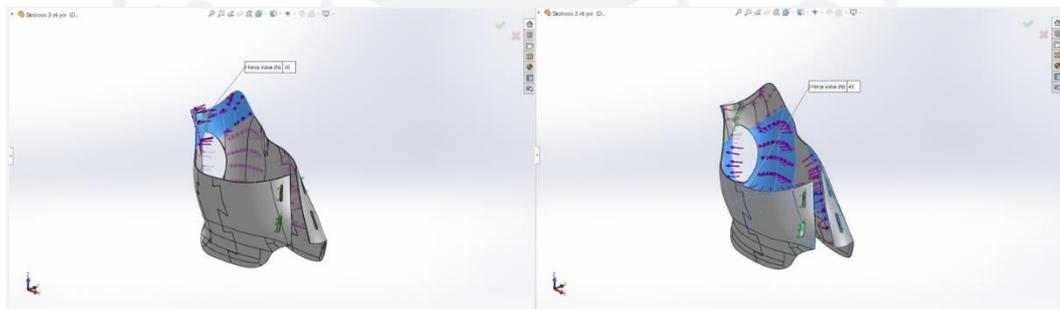


Gambar 3. 16 Desain Final *Brace Scoliosis*

Karena pada desain alternatif 3 dilakukan segmentasi menjadi 4 bagian, maka keempat bagian tersebut di export terlebih dahulu ke format **.STL** secara terpisah sebelum dilakukan proses *3D Print*.

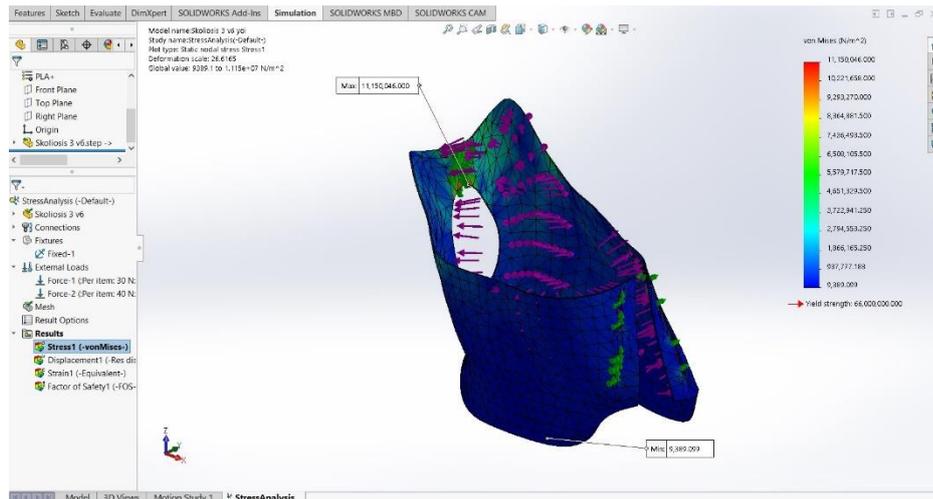
4.1.3 Analisis Finite Element

Analisis material dilakukan setelah proses desain selesai dilakukan serta pemilihan bahan yang sudah ditentukan. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan dari desain yang dibuat dengan cara memberikan beban terhadap desain. Posisi pembebanan diasumsikan untuk memaksimalkan tegangan Von Moises dengan cara tumpuan yang digunakan berada pada pengunci *brace scoliosis* yang perlu ditopang, kemudian diberi beban yang berbeda antara bagian dada sebesar 30N dan perut sebesar 40N yang disebar pada permukaan orthosis badan.



Gambar 4. 2 Tumpuan pembebanan

Selanjutnya, didapatkan hasil analisis tegangan maksimal Von Mises yaitu 11.2 Mpa. Tegangan tersebut berada dibawah batas kekuatan material PLA+ sehingga dapat diterima dengan *yield strength* pada data properties PLA+ 66 Mpa.



Gambar 4. 3 Hasil Analisis *Finite Element*

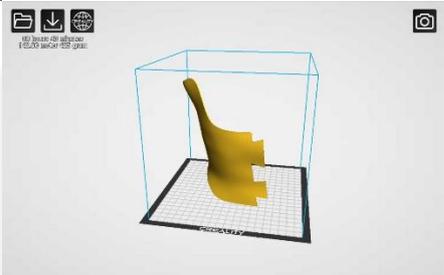
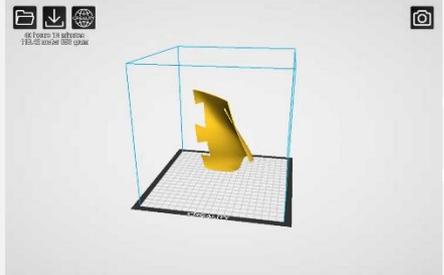
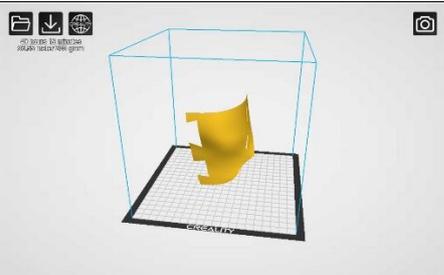
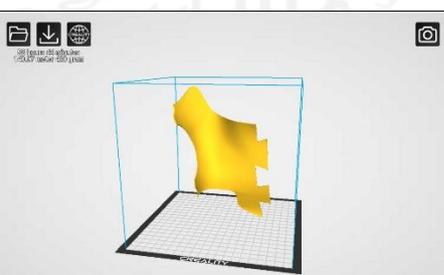
4.1.4 Proses *3D Print*

Proses pencetakan *brace scoliosis* menggunakan mesin *3D Print* dilakukan setelah pemilihan desain alternatif. Pencetakan 3D memakan waktu yang cukup lama dikarenakan adanya tahapan yang harus dipersiapkan sebelum cetak seperti pengaturan mesin yang sangat mempengaruhi hasil pencetakan. Proses pengaturan ini terkendala karena proses pengaturan harus pas mulai dari *setting* kecepatan *nozzle*, temperatur *nozzle*, temperatur *bed*, *support type* hingga kalibrasi pada mesin *3D Printer* harus sesuai agar hasil pencetakan yang didapat juga sesuai dengan konsep desain dan kualitas pecetakannya presisi serta dapat mempersingkat waktu. Kendala tersebut dapat diselesaikan dengan menerapkan percobaan *trial-error* beberapa kali, percobaan tersebut berupa mengubah kecepatan *nozzle*, memperbesar *layer* dan memilih bentuk dan kerapatan *infill* yang sesuai dengan bentuk yang akan dicetak.

Memasuki proses cetak, mesin *3D Print* banyak mengalami *error* yang mengakibatkan proses cetak harus diulang terus menerus. *Nozzle* pada mesin *3D Print* seringkali mengalami *overheat* sehingga proses cetak terhenti sebelum seluruh bagian tercetak. Hal tersebut dikarenakan mesin *3D Print* tidak *maintenance* dengan baik. Permasalahan ini memakan waktu yang cukup banyak karena setiap part yang dicetak membutuhkan waktu minimal 40 jam dan tidak dapat dilanjutkan apabila prosesnya terhenti (diulang dari awal). Selain itu,

material yang digunakan juga banyak yang terbuang akibat dari kendala ini. Berikut merupakan perbedaan estimasi waktu proses cetak pada *software* dan perbedaannya dengan waktu yang sebenarnya.

Tabel 4. 1 Perbedaan Estimasi Waktu Cetak 3D

No	Part	Estimasi Waktu	Waktu Sebenarnya
1		60 jam 48 menit	61 jam 13 menit
2		49 jam 18 menit	50 jam 7 menit
3		40 jam 19 menit	40 jam 38 menit
4		58 jam 44 menit	60 jam

Dari table 4.1 dapat disimpulkan bahwa proses pencetakan 3D ini membutuhkan waktu yang cukup lama. Total estimasi waktu cetak untuk

keseluruhan bagian adalah ± 208 jam atau 8 hari tanpa jeda. Namun pada kenyataannya, proses pencetakan 3D ini memakan waktu hingga 2 bulan dikarenakan seringnya mesin mengalami kendala dan terhenti pada saat proses cetak. Proses cetak mulai lancar pada saat mesin dilakukan *maintenance* berulang kali dan pada saat itu hanya kurang satu bagian yang belum berhasil dicetak sehingga pada pencetakan terakhir prosesnya relatif lancar. Berikut merupakan hasil cetak dari *3D Print*:



Gambar 4. 4 Hasil Cetak 3D Print

4.2 Hasil Produksi

Brace scoliosis hasil pencetakan dengan mesin *3D Print* yang memanfaatkan metode *Reverse Engineering* dan *Rapid Prototyping* perlu dilakukan proses finishing. Proses finishing berupa pengikiran agar bagian sisa dari area yang terkena *support* dapat terbentuk sesuai detail yang dirancang, contohnya pada bagian lekukan dikikir agar bentuk lekukan dapat menyesuaikan satu sama lain dengan bagian yang lainnya saat proses *assembly*. Proses *assembly* pada part

yang tersegmentasi memanfaatkan lem untuk menyatukannya, sedangkan untuk *assembly* keseluruhan atau menyatukan bagian depan dan belakang digunakan tali webbing dan snaplock. Selanjutnya, pada bagian dalam *brace scoliosis* ditambahkan lapisan spon ati untuk menambah kenyamanan. Berikut adalah bentuk akhir dari *brace scoliosis*:

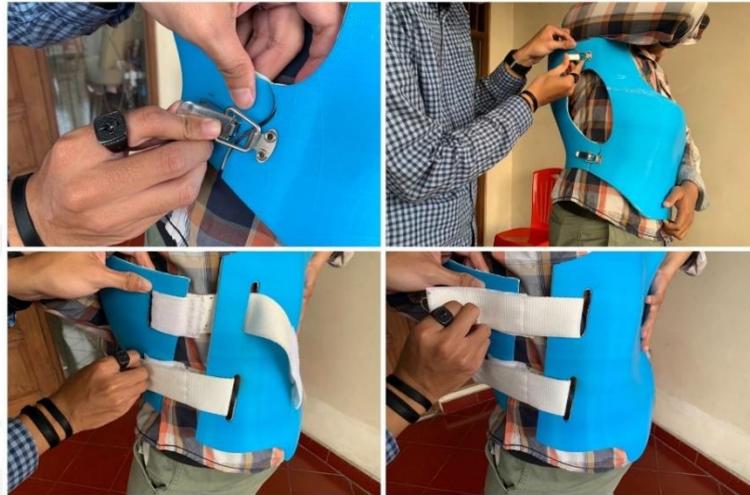


Gambar 4. 5 Hasil Akhir *Brace Scoliosis*

4.3 Hasil Uji Pemakaian

Uji pemakaian *brace scoliosis* dilakukan untuk mengetahui tingkat kenyamanan. Pengujian ini melibatkan pengguna untuk mencoba prototype yang telah dicetak. Seperti yang telah dijelaskan bahwa data yang menjadi acuan dari pembuatan *brace scoliosis* merupakan data sekunder, maka pengujian ini dilakukan bukan dengan pasien aslinya. Dengan kata lain, pengujian ini hanya merupakan uji pemakaian saja. Selain itu, uji pemakaian ini juga untuk menguji kesesuaian dengan konsep desain mengenai kemudahan pemakaian, kenyamanan,

dan fitur *adjustable* untuk menyesuaikan kekencangan dalam penggunaan. Berikut merupakan proses uji pemasangan *brace scoliosis*:



Gambar 4. 6 Proses Pemasangan

Dari Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa penggunaan tali webbing dan snaplock sangat membantu pengguna dalam menyesuaikan kekencangan pemakaian. Berikut adalah hasil uji pemakaian *brace scoliosis*:



Gambar 4. 7 Hasil Uji Pemakaian

4.4 Hasil Perbandingan Pembuatan *Brace Scoliosis*

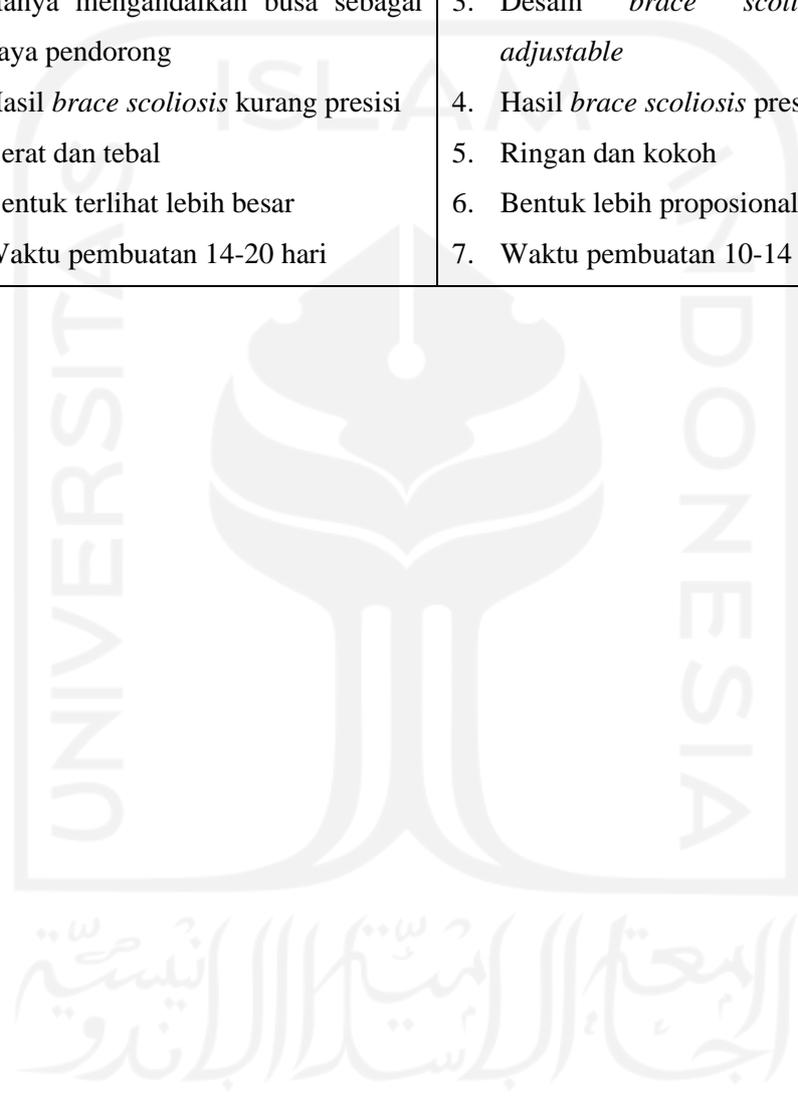
Perbedaan *brace scoliosis* yang dirancang pada penelitian ini dengan *brace scoliosis* yang banyak beredar dipasaran yaitu Tipe Boston yaitu yang pertama adalah saat proses penentuan bentuk yang sesuai dengan lekuk tubuh pasien. Pada Tipe Boston prosesnya masih konvensional dengan menggunakan lembaran *gypsum* yang ditempelkan lembar-perlembar ke tubuh pasien dan pada saat *gypsum* mulai mengeras membentuk pola tubuh *gypsum* tersebut dipotong dan menjadi acuan pembuatan *brace* Tipe Boston, proses ini juga memberikan rasa ketidaknyamanan pada pasien. Sedangkan untuk *brace scoliosis* yang menggunakan metode *Reverse Engineering* dan *Rapid Prototyping* hanya membutuhkan minimal hasil rontgen tulang belakang pasien yang selanjutnya diakuisisi sehingga siap dilakukan pemodelan.

Gypsum yang menjadi model atau acuan untuk pembuatan *brace scoliosis* metode konvensional tersebut menyebabkan bentuk ukuran tubuh sedikit mengalami perubahan sehingga ketika *brace* dicetak menjadi terlihat besar dan kurang presisi dalam menekan bagian tubuh yang mengalami pembengkokan. Sedangkan untuk *brace scoliosis* yang menggunakan metode *Reverse Engineering* dan *Rapid Prototyping* mengambil data hasil *scan* untuk dijadikan acuan pada pembuatan *brace* dengan melakukan pemodelan CAD menyesuaikan bentuk tubuh dan menekan bagian tubuh pada titik tertentu yang mengalami pembengkokan.

Material yang digunakan pada *brace scoliosis* metode konvensional adalah *Polypropylene* dan kemudian ditempelkan busa yang tebal pada bagian dalam *brace* sebagai daya pendorong dalam penyembuhan pada pasien sehingga membuat *brace scoliosis* menjadi berat dan tebal. Pada *brace scoliosis* dengan metode *Reverse Engineering* dan *Rapid Prototyping* menggunakan material PLA+ yang menggunakan sistem pengunci dan tali pengait sebagai fitur *adjustable* yang dapat diatur kekencangan dan kenyamanannya pada saat *brace* digunakan. Berikut merupakan tabel perbandingan *brace scoliosis* metode konvensional dengan *Reverse Engineering* dan *Rapid Prototyping*:

Tabel 4. 2 Perbandingan Metode Konvensional dengan RE dan RP

Metode Konvensional	Metode <i>Reverse Engineering</i> dan <i>Rapid Prototyping</i>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Ketidaknyamanan saat proses pembuatan model 2. Material polypropylene 3. Hanya mengandalkan busa sebagai daya pendorong 4. Hasil <i>brace scoliosis</i> kurang presisi 5. Berat dan tebal 6. Bentuk terlihat lebih besar 7. Waktu pembuatan 14-20 hari 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Proses pembuatan model menggunakan CAD 2. Material PLA+ 3. Desain <i>brace scoliosis</i> lebih <i>adjustable</i> 4. Hasil <i>brace scoliosis</i> presisi 5. Ringan dan kokoh 6. Bentuk lebih proposional 7. Waktu pembuatan 10-14 hari



BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan serta hasil dan analisis yang telah dibahas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pembuatan *brace scoliosis* dengan metode *Reverse Engineering* dan *Rapid Prototyping* telah berhasil dilakukan dengan menggunakan beberapa alat bantu berupa: *software (3D Slicer, Autodesk Fusion 360, Solidworks 2018, Creality Slicer)* dan *3D Printer*.
2. Metode *Reverse Engineering* dan *Rapid Prototyping* memiliki beberapa kelebihan dan keuntungan daripada metode pembuatan *brace scoliosis* konvensional mulai dari kenyamanan pasien (tidak menyakitkan), tidak memerlukan banyak kehadiran pasien, bentuk dan ukuran yang lebih proposional, produk *brace* yang lebih presisi, lebih ringan namun kokoh sehingga memberikan kenyamanan dan praktis, dan lebih efektif dan efisien dalam waktu pembuatan.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Dari penelitian ini masih terdapat kekurangan dan dapat dilakukan untuk penyempurnaan dan pengembangan lebih lanjut, diantaranya:

1. Menemukan penderita *scoliosis* dan berkenan menjadi subjek penelitian agar dapat menganalisa hasil produk *brace scoliosis* pada uji penggunaan lebih dalam.
2. Perlu adanya konsultasi dan bimbingan dari dokter *oerthopedi* pada proses pembuatan untuk dapat meneliti dan mengoreksi kurva tulang agar dapat lebih baik lagi.
3. Memeriksa dan merawat alat yang digunakan untuk menunjang proses produksi agar tidak banyak mengalami kendala pada saat produksi.
4. Metode *Reverse Engineering* dan *Rapid Prototyping* dapat dikembangkan serta diterapkan pada bidang medis lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

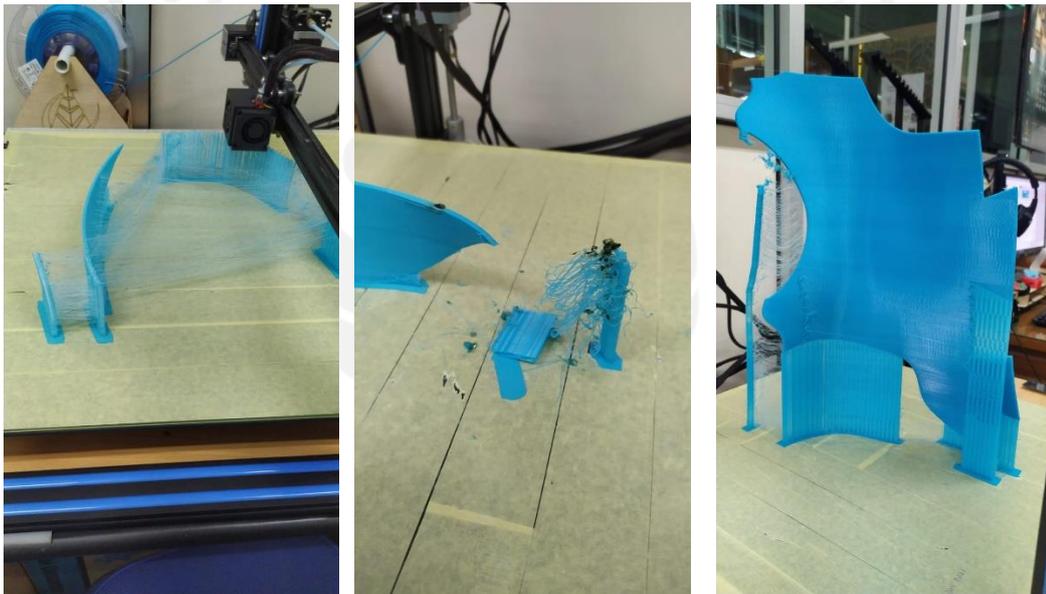
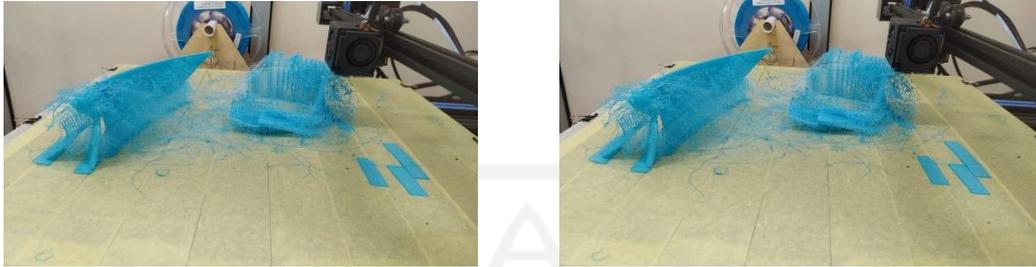
- Achillas, C. A. (2014). A methodological framework for the inclusion of modern additive manufacturing into the production portfolio of a focused factory. *Journal of Manufacturing Systems*.
- Acid, P. (2016, December 18). *Polylactic Acid*. Retrieved from <https://www.makeitfrom.com/material-properties/Polylactic-Acid-PLA-Polylactide>
- AgudeloArdila, C., Botia, G. P., & G, P. R. (2016). Orthotic prototype for upper limb printed in 3D: A efficient solution. *Journal of Physics*.
- Almas, P., & Amanda, G. (2021, January 04). *Banyak Orang Ingin Memulai Gaya Hidup Sehat pada 2021*. Retrieved from [republika.co.id: https://www.republika.co.id/berita/qmeqe3423/banyak-orang-ingin-memulai-gaya-hidup-sehat-pada-2021](https://www.republika.co.id/berita/qmeqe3423/banyak-orang-ingin-memulai-gaya-hidup-sehat-pada-2021)
- Anggoro, P. W., Bawono, B., & Sujatmiko, I. (2015). Reverse engineering technology in redesign process ceramics: application for CNN plate. *Procedia Manufacturing*.
- Bagci, E. (2009). Reverse Engineering Applications for Recovery of Broken or Worn Parts and Re-manufacturing: Three case studies. *Advances in Engineering Software*, 407-418.
- Bourell, D. L., Beaman, J., M.C.Leu, & Rosen, D. (2009). *A Brief History of Additive Manufacturing and the 2009 Roadmap for Additive Manufacturing: Looking Back and Looking Ahead*. . US.
- Dhakshyani, R., & Y. Nukman1, N. A. (2011). *Preliminary report: rapid prototyping models for Dysplastic hip surgery*. Selangor.
- Freeman, T., & Freeman, E. (2004). Musculoskeletal rehabilitation. *Physical Medicine and Rehabilitation Board Review*. New York: Demos Medical Publishing, p.281-3.
- Gibson, I. R. (2015). *Additive Manufacturing Technologies*. New York: Springer.

- Hamid, D. T. (1992). *Ilmu Kedokteran Fisik dan Rehanilitasi Edisi I*. Surabaya: FK Unair.
- Hussain, M., Rao, C. S., & Prasad, K. (2008). Reverse Engineering: Point Cloud Generation with CMM for Part Modeling and Error Analysis. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 3 No 4 pp 37-40.
- Kartinah, E. (2019, November 12). *Penanganan Skoliosis Harus Sejak Dini*. Retrieved from Media Indonesia: <https://mediaindonesia.com/humaniora/271124/penanganan-skoliosis-harus-sejak-dini>
- Knutson, M. L., & Clark, D. E. (1991). Orthotic Device for Ambulation in Children with Celebral Palsy and Myelomeningocele. *Physical Therapy*, 79-91.
- Kowalski, I., Zaborowska-Sapeta, K., Kotwicki, T., Protasiewicz-Faldowska, H., & Kiebzak, W. (2011). Effectiveness of Chêneau brace treatment for idiopathic scoliosis: prospective study in 79 patients followed to skeletal maturity. *Scoliosis*.
- Kusumi. (2010). *The Genetic and Development of Scoliosis*. Singapura: Springer.
- Lau, D. K. (n.d.). *Penyangga Gengsingen*. Retrieved from Scoliolife.com: https://scoliolife.com/id_ID/gengsingen-brace/
- Ningsih, D. H. (2005). Computer Aided Design / Computer Aided Manufactur [CAD/CAM]. *Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK Volume X*, 143-149.
- Nurpalah, A. M. (2017). RANCANG BANGUN KONSTRUKSI ATAP YANG DAPATDIBUKA TUTUP SECARA OTOMATIS.
- Pambudi, A. I. (2017). *ANALISIS PENGARUH INTERNAL GEOMETRI TERHADAP SIFAT MEKANIK MATERIAL POLYLACTIC ACID (PLA) DIPREPARASI MENGGUNAKAN 3D PRINTING*. Surabaya: ITS.
- Pelealu, J., Angliadi, L. S., & Angliadi, E. (2014). REHABILITASI MEDIK PADA SKOLIOSIS. *Jurnal Biomedik (JBM)*, 8-13.
- Redaelli, D. F., Abbate, V., Storm, F. A., Ronca, A., Sorrentino, A., Capitani, C. D., . . . Frascini, P. (2020). 3D printing orthopedic scoliosis braces: a test comparing FDMwith thermoforming. *Int J Adv Manuf Technol*.
- Rinanto, A., & Sutopo, W. (2017). Perkembangan Teknologi Rapid prototyping: Studi Literatur. *Jurnal Metris*, 105-112.

- Scotland, N. I. (2019). Scoliosis: Possible Complications of Scoliosis. *Illnesses and Conditions*. Retrieved from Medline Plus.
- Slicer, 3. (2020). *What is 3D Slicer*. Retrieved from https://slicer.readthedocs.io/en/latest/user_guide/user_interface.html
- Stringfellow, C. (2006). Comparison of SoftwareArchitecture Reverse Engineering Methods. *Information and Software Technology* , 484-497.
- Suhada, R. T., Ariyanti, S., Fajar, A. V., & Komalasari, A. (2018). TRAINING AUTODESK FUSION 360 FOR TEENAGE OF SENIOR HIGH SCHOOL GRADUATES IN IMPROVING ABILITY IN DISASTERS. *ICCD (International Conference on Community Development)* , 285-289.
- Suratun. (2006). *Klien Gangguan System Musculoskeletal*. Jakarta: ECG.
- Systems, D. (2015). *SolidWorks*. Retrieved from www.solidworks.com
- Weiss, H.-R., & Kleban, A. (2015). Development of CAD/CAM Based Brace Models for the Treatment of Patients with Scoliosis-Classification Based Approach versus Finite Element Modelling. *Asian Spine Journal*.
- Zarei, H. (2021). New Spinal Immobilizer Vest for Prehospital Emergency Care. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine* .

LAMPIRAN

Kendala Proses Pencetakan 3D



الجامعة الإسلامية
الاستدائدية

Dokumentasi pengumpulan data

