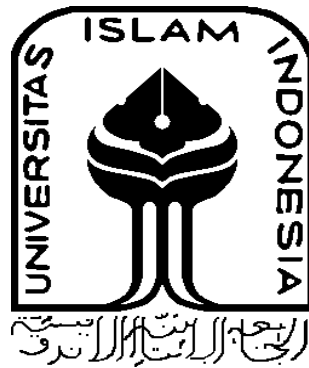


**PEMBUATAN ORTOSIS *FLAT FOOT* MENGGUNAKAN
METODE *REVERSE ENGINEERING* DAN *RAPID
PROTOTYPING***

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : Damarjati Sabdahu
No. Mahasiswa : 19525050
NIRM : 1905020012

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2024**

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, 30 Oktober 2024

Penulis



Damarjati Sabdahu

19525050

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

PEMBUATAN ORTOSIS *FLAT FOOT* MENGGUNAKAN
METODE *REVERSE ENGINEERING* DAN *RAPID*
PROTOTYPING

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :
Nama : Damarjati Sabdahu
No. Mahasiswa : 19525050
NIRM : 1905020012

Yogyakarta, _____ 2024

Pembimbing I,


Dr. Ir. Paryana Puspaputra, M.Eng.

Pembimbing II,


Finny Pratama Putera, S.T. , M.Eng.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**PEMBUATAN ORTOSIS *FLAT FOOT* MENGGUNAKAN
METODE *REVERSE ENGINEERING* DAN *RAPID
PROTOTYPING***

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Damarjati Sabdahu

No. Mahasiswa : 19525050

NIRM : 1905020012

Tim Penguji

Dr. Ir. Paryana Puspaputra, M.Eng.

Ir. Purtojo, S.T., M.Sc. IPP

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

Tanggal : 29/10/2024

Tanggal : 29/10/2024

Tanggal : 29/10/2024

Mengetahui

Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP



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. Dengan penuh rasa syukur dan kebanggaan, saya persembahkan tugas akhir ini kepada orang tua saya, yang telah memberikan dukungan dan dorongan tanpa henti sepanjang perjalanan akademis saya. Saya juga ingin menyampaikan apresiasi yang mendalam kepada para dosen dan pembimbing yang telah membimbing, memberikan bimbingan, serta berbagi ilmu yang sangat berharga. Terakhir, kepada teman-teman dan rekan-rekan yang telah bersama-sama menjalani perjalanan ini. Semoga hasil dari tugas akhir ini menjadi kontribusi positif dan bermanfaat bagi semua pihak yang terlibat

HALAMAN MOTTO

“Jadilah cahaya dalam kegelapan, dan langkahmu akan menuntun orang lain.”

“Bersyukurlah atas apa yang kamu miliki, dan berjuanglah untuk apa yang kamu inginkan.”

“Jadilah perubahan yang ingin kamu lihat di dunia.”

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “PEMBUATAN ORTOSIS *FLAT FOOT* MENGGUNAKAN METODE *REVERSE ENGINEERING* DAN *RAPID PROTOTYPING*”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana (S1) pada Program Studi Teknik Mesin di Universitas Islam Indonesia.

Saya menyadari bahwa dalam proses penyusunan skripsi ini, saya mendapatkan banyak bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, izinkan saya menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu saya tercinta yaitu Susmiyati Marminingsih yang telah memberikan doa dan dukungan yang tak pernah putus untuk penulis.
2. Ayah saya tercinta yaitu Solekhan yang telah memberikan dukungan dan ilmunya bagi penulis.
3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Dr. Ir. Paryana Puspaputra, M.Eng. Selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberi banyak ilmu dan arahan bagi penulis agar dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
5. Bapak Finny Pratama Putera, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan, motivasi, dan kritik yang membangun pada laporan.
6. Teman-teman yang telah menjadi partner diskusi dan saling mendukung dalam menjalani proses ini.

Saya berharap skripsi ini dapat memberikan kontribusi positif bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang *reverse engineering* dan *rapid prototyping*. Semoga tulisan ini bermanfaat bagi pembaca dan dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya. Akhir kata, saya menyadari bahwa skripsi ini

masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat saya harapkan untuk perbaikan di masa mendatang.

Wassalamu'alaikum warrahmatullahi wabarakatuh.

ABSTRAK

Flat foot adalah gangguan fisik pada bagian telapak kaki yang ditandai dengan kurangnya lengkungan pada bagian arkus di telapak kaki. Penyangga yang berupa *insole Flat foot* dibutuhkan sebagai salah satu terapi penanganan. Maka dibutuhkan *Insole flat foot* yang nyaman, kuat dan efektif. Desain *insole* dirancang dengan metode *reverse engineering* dan *rapid prototyping*, dibagi menjadi empat alternatif desain yang setiap alternatif desain-nya semakin sesuai dengan kriteria desain. *Insole flatfoot custom* disesuaikan dengan ukuran anatomi tubuh pasien pengidap *flatfoot* dan dicetak dengan material TPU (*Thermoplastic Polyurethane*) pada mesin *3D printing*. Hasilnya adalah *Insole* Sepatu yang sesuai dengan kriteria desain yang telah ditentukan dengan beberapa keunggulan yaitu material *insole* terbuat dari satu jenis material, perombakan desain bersifat fleksibel, serta proses manufaktur yang praktis.

Kata Kunci: *Flatfoot, Insole Flat foot, Reverse Engineering, Rapid Prototyping, 3D Printing*

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing.....	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji.....	iii
Halaman Persembahan.....	iv
Halaman Motto.....	v
Kata Pengantar.....	vi
Abstrak.....	viii
Daftar Isi.....	ix
Daftar Tabel.....	xi
Daftar Gambar.....	xii
Daftar Notasi.....	xiv
Bab 1 Pendahuluan.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan.....	3
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka.....	4
2.1 Kajian Pustaka.....	4
2.2 Dasar Teori.....	6
2.2.1 Ortosis.....	6
2.2.2 <i>Reverse Engineering</i>	6
2.2.3 <i>Rapid Prototyping</i>	7
2.2.4 CAD/CAM.....	7
2.2.5 <i>Autodesk Fusion 360</i>	7
2.2.6 <i>Exscan Pro</i>	8
Bab 3 Metode Penelitian.....	9
3.1 Alur Penelitian.....	9
3.2 Peralatan dan Bahan.....	9

3.2.1	Peralatan.....	9
3.2.2	Bahan.....	10
3.3	Perancangan.....	10
3.3.1	Identifikasi Masalah.....	10
3.3.2	Kriteria Desain.....	13
3.3.3	Pengambilan Data pasien.....	13
3.3.4	Pemodelan CAD.....	14
3.3.5	Pencetakan Prototipe dengan <i>3D Print</i>	14
Bab 4	Hasil dan Pembahasan.....	15
4.1	Hasil <i>3D Scanning</i>	15
4.2	Hasil Pemodelan CAD.....	17
4.3	Proses <i>3D Print</i>	25
4.4	Hasil Produksi Desain Akhir.....	26
4.5	Hasil Uji Pemakaian.....	27
Bab 5	Penutup.....	31
5.1	Kesimpulan.....	31
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	31
Daftar Pustaka		32

DAFTAR TABEL

Tabel 3-1 TPU <i>Filament Properties</i>	10
--	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Alur Penelitian.....	9
Gambar 3.2 Kaki Flat foot.....	11
Gambar 3.3 Kaki Normal.....	11
Gambar 3.4 Kaki Flat foot Fleksibel Posisi Duduk.....	12
Gambar 3.5 Kaki Flat foot Fleksibel Posisi Menjinjit.....	12
Gambar 3.6 ExScan Pro.....	13
Gambar 4.1 Hasil Scan.....	15
Gambar 4.2 Hasil Perbaikan Scan.....	16
Gambar 4.3 Proses Pengambilan Data.....	16
Gambar 4.4 Hasil Final Pemodelan CAD.....	17
Gambar 4.5 Konsep Desain CAD dan Iterasi Desain.....	17
Gambar 4.6 Hasil Import dan Remeshing.....	18
Gambar 4.7 Surface T-Spline.....	19
Gambar 4.8 Desain Awal.....	19
Gambar 4.9 Sketsa insole.....	20
Gambar 4.10 Iterasi Desain 1.....	20
Gambar 4.11 Iterasi Surface T-spline.....	21
Gambar 4.12 Iterasi Desain 2.....	21
Gambar 4.13 Referensi Insole Sepatu.....	22
Gambar 4.14 Hasil Extrude.....	23
Gambar 4.15 Surface T-Spline Insole Sepatu.....	23
Gambar 4.16 Hasil Extrude Support Lengkung Arkus Kaki.....	24
Gambar 4.17 Iterasi Desain 3.....	24
Gambar 4.18 Simulasi 3D Printing Iterasi Desain 3.....	25
Gambar 4.19 Hasil 3D Printing Iterasi Desain 3.....	26
Gambar 4.20 Penimbangan Hasil Cetak.....	26
Gambar 4.21 Penggunaan Insole Flat Foot Iterasi Desain 3.....	27
Gambar 4.22 Penggunaan Insole Flat Foot Iterasi Desain 1.....	28

Gambar 4.23 Insole Iterasi Desain 1 di Dalam Sepatu.....	28
Gambar 4.24 Penggunaan Insole Flat Foot Iterasi Desain 2.....	29
Gambar 4.25 Kegagalan Insole Iterasi Desain 2.....	29
Gambar 4.26 Insole Iterasi Desain 3 di Dalam Sepatu.....	30
Gambar 4.27 Perbandingan Desain Akhir Terhadap Insole Sepatu.....	30

DAFTAR NOTASI

RE	: <i>Reverse Engineering</i>
RP	: <i>Rapid Prototyping</i>
3D	: 3 Dimensi
TPU	: <i>Thermoplastic Polyurethane</i>
MLA	: <i>Medial Longitudinal Arch</i>
AM	: <i>Additive Manufacturing</i>
RP	: <i>Rapid Prototyping</i>
CAD	: <i>Computer Aided Design</i>
RT	: <i>Rapid Technologies</i>
CAM	: <i>Computer Aided Manufacturing</i>
STL	: <i>Standard Triangle Language</i>
mm	: Milimeter
RFA	: <i>Rear Foot Angle</i>
COP	: <i>Center of Pressure</i>
RCSP	: <i>Resting Calcaneal Stance Position</i>

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kaki dan pergelangan kaki adalah bagian tubuh dengan struktur yang kompleks dengan fungsi untuk menstabilkan posisi berdiri, kaki terdiri dari 28 tulang, lebih dari 30 sendi, dan dikelilingi oleh tendon dan ligamen. Kaki memiliki peran yang penting dalam menopang keseluruhan badan. Penyakit ini tidak hanya mengakibatkan rasa sakit tapi juga bisa memiliki dampak negatif pada kehidupan orang dalam sehari-harinya. Keterbatasan ini dapat terjadi akibat *flat foot* atau *pes planus*, dimana lengkung arkus telapak kaki mengalami penurunan yang dapat terjadi pada anak-anak hingga orang dewasa. *Flat foot* terjadi sekitar 20-30% populasi secara global [1].

Flat foot dapat terjadi akibat bawaan maupun bukan bawaan, pada anak-anak biasanya merupakan hal yang normal karena *Medial Longitudinal Arch* (MLA) akan muncul dengan sendirinya seiring pertumbuhan anak, namun pada remaja maupun dewasa biasanya disebabkan karena kebiasaan yang kurang baik ataupun akibat obesitas, kehamilan, dan lain-lain. Kebanyakan orang dengan gejala *flat foot* tidak mengalami dampak atau pengaruh negatif dalam kehidupan sehari-harinya. Namun, beberapa orang yang memiliki kondisi kaki tersebut mengalami nyeri kaki, terutama di area tumit atau lengkungan. Nyeri bisa memburuk saat beraktivitas. Pembengkakan juga bisa terjadi di sepanjang bagian dalam pergelangan kaki [2].

Terdapat dua tipe *flat foot* yaitu *fixed flat foot* dan *flexible flat foot*. Perbedaan keduanya terletak pada tipe telapak kakinya saat berbaring telentang (tidak ada beban). saat ini menentukan perbedaan kedua tipe *flat foot* tersebut masih belum jelas. Sejauh ini yang masih di terus diteliti adalah *flexible flat foot* bisa dikembalikan ke telapak kaki normal menggunakan sepatu atau sol sepatu *orthotic* yang di sisi bagian dalam (*medial*) arkus terdapat sisipan. Oleh karena itu, atas dasar permasalahan tersebut maka penelitian ini penting untuk dilakukan

penanganan terhadap penderita *flat foot* dan belum banyak peneliti yang menghubungkan korelasi antara *arch index* dengan sudut belakang kaki [3].

Untuk pembuatan model ortosis *flat foot* dapat digunakan alat AM (*additive manufacturing*) seperti mesin cetak 3D (*3 Dimensi*) dan model 3D dari bentuk anatomi pasien. Oleh karena itu dibutuhkan metode RE (*Reverse Engineering*) dan RP (*Rapid Prototyping*) dengan tujuan untuk memperoleh data model geometri atau bentuk 3D telapak kaki pasien yang kemudian digunakan untuk proses selanjutnya, yaitu proses pengolahan data desain model menggunakan aplikasi CAD (*Computer Aided Design*). Lalu *output* olahan aplikasi CAD dicetak menggunakan *3D printer* [4].

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, rumusan dalam penelitian yang dapat diperoleh adalah:

Bagaimana cara untuk merancang dan membuat produk *flat foot insole* dengan menggunakan metode RE dan RP serta memanfaatkan desain 3D dan *3D printing*?

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 prototipe dengan menggunakan material TPU (*Thermoplastic Polyurethane*).
2. Pembuatan prototipe menggunakan *3D Printer*.
3. Desain menggunakan *software Autodesk Fusion 360*.
4. Penelitian tidak membahas aspek ortopedi atau medis secara mendalam.
5. Kasus *flat foot* yang dibahas khusus untuk *flat foot* fleksibel

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

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

1. Menerapkan metode RE dan RP dalam perancangan *insole flat foot*.
2. Membuat desain yang relatif mudah untuk dimanipulasikan sesuai kebutuhan.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Berdasarkan tujuan penelitian dan latar belakang permasalahan, manfaat dari penelitian ini yaitu untuk meningkatkan penerapan RE dan RP dalam bidang industri kesehatan serta menambahkan khasanah bagi penelitian selanjutnya terkait pembuatan *insole flat foot*.

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 dilakukan 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 menggunakan penopang lengkung kaki dalam sepatu untuk penderita *flat foot* yang merasakan rasa sakit pada kaki mereka sangat dibutuhkan karena gejala *flat foot* bisa berdampak negatif dalam aktivitas sehari-hari. Saat ini penelitian lebih lanjut mengenai *flat foot* dilakukan dengan berbagai macam metode dan variasi bentuk dan struktur dari ortosis.

Salah satu penelitian mengenai rehabilitasi dengan menggunakan ortosis dilakukan untuk mengevaluasi efek dari cetakan khusus ortosis kaki untuk keseimbangan dan penyakit di kaki pada anak-anak dengan gejala *flat foot* fleksibel. Penelitian tersebut mendapatkan hasil berupa penggunaan ortosis dengan jangka pendek membuahkan hasil positif untuk meningkatkan keseimbangan dan mengurangi rasa sakit pada anak-anak dengan gejala *flat foot* fleksibel [5].

Sekian berkembangnya zaman maka teknologi juga ikut berkembang, salah satu teknologi yang mulai digunakan untuk pembuatan ortosis adalah mesin 3D printer. Penggunaan 3D printer juga dilakukan dalam penelitian yang membahas pembuatan *insole custom 3D print* yang murah untuk orang-orang dengan gejala *flat foot* dan menginvestigasi kemungkinan *insole* ini untuk dipakai dengan tujuan untuk berjalan dan berlari. Dalam penelitian ini tidak ditemukan perubahan yang drastis dalam derajat sendi dan reaksi tekanan pada pijakan tetapi *insole custom* ini meningkatkan jejak dari COP (*Center of Pressure*) secara lateral [6].

Setelah munculnya desain *insole flat foot* dengan metode *3D print*, dilakukanlah uji coba untuk menginvestigasi efek dari *insole* tersebut dalam pemakaian sehari-hari. Di dalam penelitian ini dibuahkan hasil berupa *Insole 3D print* yang tidak memberi perubahan secara drastis dalam posisi derajat sendi kaki, namun mereka mengubah arah dari *Center of pressure* (COP) secara lateral ketika berjalan cepat, dimana hal ini memperbaiki distribusi beban pada kaki pada saat posisi berdiri [7].

Banyak penelitian selanjutnya yang menyangkut tentang efek dari penggunaan *insole flat foot* yang dibuat dengan metode *3D print* yang menginvestigasi efek *insole 3D print* dalam tekanan dan kenyamanan pada kaki *plantar*, serta pelaksanaannya investigasi efek *insole 3D print* terhadap lengkung kaki penderita *flat foot* fleksibel. Kedua penelitian tersebut membuahkan hasil yang positif terhadap perubahan pada kaki pengidap *flat foot* [8][9].

Semakin beriring waktu semakin banyak inovasi inovasi yang dilakukan terhadap pembuatan *insole 3D print*. Salah satunya dilakukan dengan membuat 3 jenis *insole 3D print* untuk membandingkan efek biomekanikanya terhadap penderita *flat foot*. Kemudian didapatkan hasil berupa ketiga jenis *insole* dapat memberikan bantuan untuk menopang lengkungan kaki, serta meningkatkan sudut *dorsofleksi* pada kaki [10].

Penelitian tentang pembuatan *insole 3D print* kemudian mulai masuk ke Indonesia, dimana penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk membuat *insole* sepatu khusus untuk pengidap *flat foot*. Metode yang dilakukan untuk pengambilan data dari penelitian tersebut mulai menggunakan *3D scanner* untuk dimasukan kedalam aplikasi *Rhinoceros 3D* [3].

Inovasi selanjutnya dilakukan dengan tujuan untuk memperbaharui metode *3D printing* dengan metode *3D printed spacer technique* yang membuahkan hasil lembut, sejuk, dan ringan pada hasil cetak dengan pergerakan *toolpath* yang efisien tanpa *travel movement* [11].

2.2 Dasar Teori

Dalam Penelitian ini, digunakan berbagai teori-teori yang relevan dan menjadi dasar dari penelitian mengenai ortosis atau *flat foot insole*.

2.2.1 Ortosis

Ortosis adalah alat khusus yang didesain untuk menopang atau memperbaiki struktur dari tubuh. Ortosis bisa berfungsi sebagai penopang lengkung arkus, peredam, dan membuat stabil untuk membantu meredakan rasa sakit dan rasa kurang nyaman yang berkaitan dengan *flat foot*.

Salah satu hal yang umum mengenai ortosis adalah, ortosis dibagi menjadi dua tipe berdasarkan tingkat kekakuan dari materialnya. Ortosis lunak (*soft Orthosis*), biasa digunakan sebagai *insole* karena terbuat dari material yang digunakan untuk mendistribusikan tekanan beban yang diterima. Sedangkan ortosis kaku (*rigid orthosis*), dibuat dari material yang lebih kuat dan kaku dengan desain yang memiliki tujuan untuk membenarkan masalah mekanis dengan merubah bentuk kaki dan penyalarasannya.

Selain dari kedua bentuk umum dari ortosis seperti di atas, ada juga bentuk ortosis yang menggunakan kedua bentuk tersebut yang disebut dengan ortosis semi kaku (*semi-rigid orthosis*). ortosis semi kaku ini adalah gabungan dari material yang lunak dan keras, mereka didesain untuk menyediakan topangan dan redaman pada tubuh. Biasa digunakan untuk beberapa kasus pada *flat foot* karena desain dari ortosis ini dapat membantu meredakan beban yang ada pada saat berjalan ataupun berlari [12].

2.2.2 Reverse Engineering

RE adalah sebuah proses dimana fitur kritis dari sebuah objek yang nyata itu ditiru dengan tujuan untuk membuat model virtual/nyata dengan akurat atau diperbaharui. Hal ini memerlukan alat yang rumit, fasilitas komputer, dan kemampuan manusia yang tinggi [13], [14].

2.2.3 Rapid Prototyping

Kebutuhan untuk membuat model fisik konstruksi telah muncul akibat konsekuensi dari keinginan untuk mengurangi harga sementara meminta untuk meningkatkan kecepatan, akurasi, dan kualitas dari keseluruhan dimensi dari produk finalnya. Teknologi *Rapid Technologies* (RT) kemudian muncul untuk “menyediakan” kebutuhan ini.

RT, kemudian dikembangkan untuk mengkonstruksi objek nyata secara langsung dari data digital yang berada di dalam sistem CAD. Teknologi RP diperkenalkan untuk memperdalam pemahaman atau penggambaran dari suatu tahap dalam membuat desain sebuah produk, sehingga bisa dipakai untuk menghindari ketidakpastian yang mengikuti dalam *full-scale production* [15], [16], [17].

2.2.4 CAD/CAM

CAD adalah penggunaan sistem komputer untuk mendukung pembuatan , perubahan, analisis, dan optimasi dari suatu desain. *Software* CAD digunakan untuk meningkatkan produktivitas dari desainer, meningkatkan kualitas dari desain, meningkatkan pemahaman komunikasi dari dokumentasi, dan untuk membuat basis data dari manufaktur [18].

Software Computer Aided Manufacturing (CAM) dibutuhkan untuk memimpin dari banyaknya perbedaan proses manufaktur untuk membuat *toolpath* yang mengakibatkan hasil struktur dengan kualitas tinggi. *Toolpath* tidak hanya berpengaruh langsung ke bentuk geometri, tetapi juga ke jejak termal dari suatu komponen yang kemudian berpengaruh kekakuan, distorsi geometri, dan sisa tekanan, yang semuanya harus dipertimbangkan dan diperhitungkan pada saat pertengahan atau akhir dari proses permesinan [19], [20].

2.2.5 Autodesk Fusion 360

Fusion 360, adalah sebuah produk yang dibuat oleh *Autodesk* yang menggabungkan *integrating industrial design, mechanical simulation*, dan CAM yang mendukung kolaborasi dalam aplikasinya yang berbasis *cloud storage* dan *Cross-platform*. *Fusion 360* memiliki beberapa lingkungan kerja dan modul yang

berupa: *modelling, molding, surface patching, rendering, animation, simulation, CAM, drawings* dan lain lain [21].

2.2.6 Exscan Pro

SHINING 3D adalah Perusahaan yang membuat, memanufaktur, dan mengkomersilkan berbagai ragam teknologi tiga dimensi, termasuk *3D scanner* untuk beberapa industri dan aplikasi, *3D printer* untuk AM dan konsumen pasar, material 3D, desain 3D dan jasa manufaktur, serta *platform online 3D* berbasis *Cloud*.

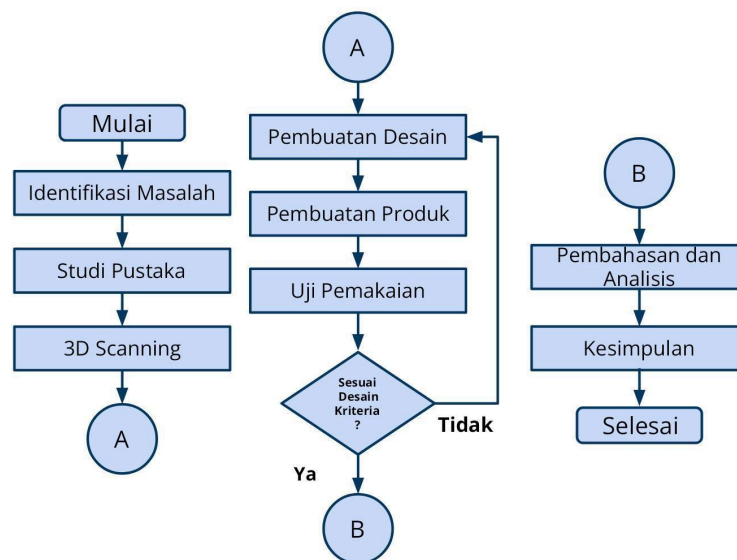
Penulis mengambil hasil pindai dengan alat yang diproduksi oleh perusahaan ini dengan alat yang dijalankan oleh aplikasi bernama *Exscan Pro*. *Exscan Pro* adalah aplikasi yang diciptakan untuk *scanner 3D* mereka yang memiliki performa tinggi, yang memberikan pengguna pengalaman yang cepat dalam proses *scanning* dan proses data [22].

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Dalam proses perancangan ortosis kaki rata dengan metode RE dan RP ini melalui tahapan-tahapan sebagai berikut:



Gambar 3.1 Alur Penelitian

3.2 Peralatan dan Bahan

3.2.1 Peralatan

1. Laptop
2. *Mini digital scale*
3. *Software Exscan Pro*
4. *EinScan Pro 2X Plus*
5. *Autodesk Fusion 360*
6. *Simplify 3D*
7. *Creality Ender 3 V3 SE*
8. *Sandpaper*

3.2.2 Bahan

Untuk bahan yang digunakan adalah *filament* TPU (*Thermoplastic Polyurethane*) karena untuk pembuatan insole, bahan yang paling dibutuhkan selain kekuatan untuk menopang beban dari pengguna adalah kelenturan dari material.

Untuk pencetakan prototipe dilakukan dengan menggunakan *filament* TPU (*Thermoplastic Polyurethane*) dengan harapan memenuhi kriteria dalam pembuatan desain *insole flat foot* yang mengharuskan desain untuk bisa menopang tubuh namun cukup fleksibel supaya *insole* tidak patah. Untuk *filament* yang paling lentur dan tersedia secara umum dan banyak dipakai adalah *filament* TPU dengan *Material property* sebagai berikut:

Tabel 3-1 TPU Filament Properties

Properties	Value	Test Methods
Filament diameter	1.75 mm	-
Specific gravity	1.19 g/cc	ASTM D792
Tensile strength, yield	4 Mpa	ASTM D638
Tensile strength, ultimate	26 Mpa	ASTM D638
Tensile modulus	12 Mpa	ASTM D638
Elongation at yield	65%	ASTM D638
Elongation at break	660%	ASTM D638
Hardness	85 Shore A	ASTM D2240
Glass transition (Tg)	-35 °C	DSC
Melting point	216 °C	DSC

3.3 Perancangan

3.3.1 Identifikasi Masalah

Beberapa orang dari penderita *flat foot* mengalami rasa sakit, bengkak, *osteoarthritis* pada lutut, dan deformasi pada kaki. Untuk pengidap *flat foot* dengan kategori *flexible flatfoot* mempunyai harapan untuk mengurangi gejala tersebut dengan bantuan terapi dan alat ortosis yang bertujuan untuk membantu menopang atau membentuk formasi yang ideal untuk telapak kaki. Berikut adalah foto kaki penderita *flat foot*:



Gambar 3.2 Kaki *Flat foot*

Pada gambar di atas bisa terlihat hampir tidak ada lengkung arkus pada saat posisi berdiri, apabila dibandingkan dengan bentuk telapak kaki yang normal maka bisa terlihat perbedaannya secara jelas. Berikut adalah contoh lengkung arkus pada telapak kaki yang normal pada saat posisi berdiri:



Gambar 3.3 Kaki Normal

Untuk gambar yang membuktikan bahwa penulis mengidap gejala flatfoot fleksibel adalah foto berikut dimana bentuk lengkung arkus pada kaki masih terlihat sedikit pada saat posisi duduk atau menjinjit:



Gambar 3.4 Kaki Flat foot Fleksibel Posisi Duduk



Gambar 3.5 Kaki Flat foot Fleksibel Posisi Menjinjit

Ortosis *flatfoot* yang sesuai dengan kebutuhan akan membantu kelancaran dalam terapi, maka dibutuhkan rancangan *insole* kaki rata yang baik. Pemanfaatan teknologi dalam membuat insole kaki rata dengan metode RE dan RP bisa menyesuaikan bentuk telapak kaki untuk penggunaan yang nyaman dan efektif.

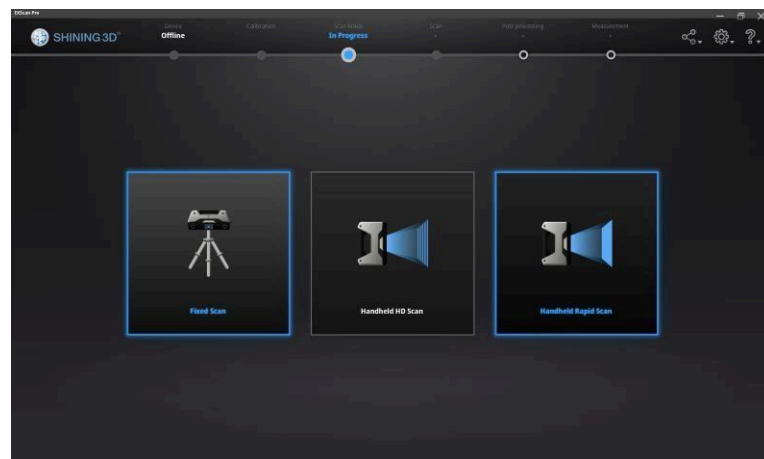
3.3.2 Kriteria Desain

Insole kaki bertujuan sebagai upaya penyembuhan pada pasien dengan kelainan bentuk telapak kaki khususnya *flat foot*. Pada penelitian ini akan dilakukan perancangan insole kaki dengan kriteria desain sebagai berikut:

1. Bentuk *insole* yang simetris kanan dan kiri untuk mendistribusi beban yang ada pada kaki secara merata.
2. Berat *insole* tidak melebihi 500 gram.
3. *Insole* yang dibuat hanya terdiri dari satu jenis material (TPU).

3.3.3 Pengambilan Data pasien

Proses pengambilan data pasien diambil dengan menggunakan 3D *scanner* yang filenya nanti akan diolah dalam bentuk **.STL (Standard Triangle Language)** yang kemudian dijadikan referensi untuk pembuatan desain model. 3D *scan* yang digunakan adalah *scanner EinScan Pro 2X Plus*, dan aplikasi yang digunakan untuk mengolah datanya adalah aplikasi *ExScan Pro* seperti gambar berikut:



Gambar 3.6 *ExScan Pro*

3.3.4 Pemodelan CAD

Pembuatan model dilakukan dengan menggunakan *software Autodesk Fusion 360*. Pemodelan dilakukan dengan mengimport file stl yang diperoleh dari proses *scanning* dan kemudian bisa dimanipulasi untuk menyesuaikan kebutuhan dalam pembuatan model *insole* sepatu. Aplikasi *fusion 360* ini dipilih karena penulis hanya memiliki aplikasi tersebut untuk mendesain suatu barang dengan referensi bentuk yang organik seperti anggota tubuh.

3.3.5 Pencetakan Prototipe dengan 3D Print

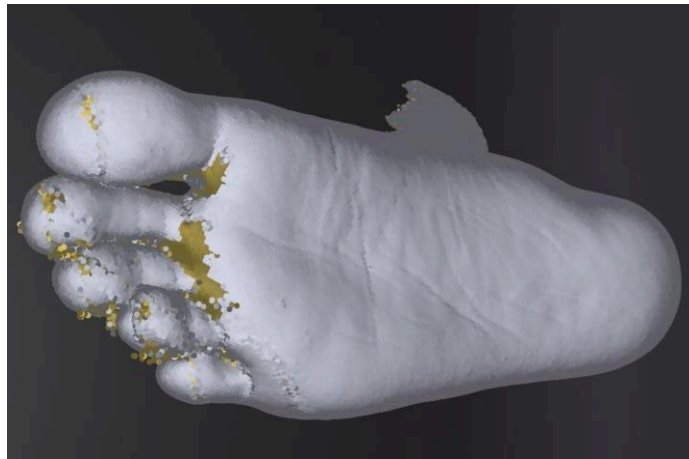
Untuk melakukan pencetakan *3D printing* diperlukan beberapa parameter yang harus diperhatikan dan diantaranya adalah suhu untuk proses pencetakan. Untuk filament TPU (*Thermoplastic Polyurethane*) memiliki jangkanya suhu 225-245°C untuk *extrude temperature*, dengan untuk suhu *bedding* sebesar 45-60°C.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

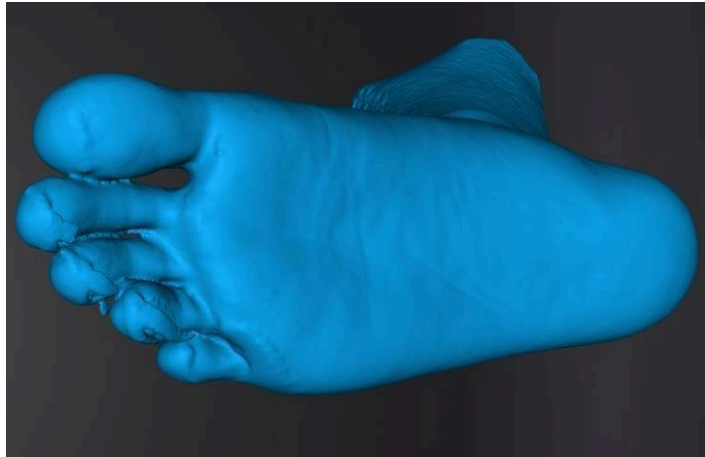
4.1 Hasil 3D Scanning

Setelah melakukan proses *scanning* secara langsung menggunakan 3D scanner *EinScan Pro 2X Plus*. Maka diperoleh hasil *scan* dengan bentuk yang masih berlubang, hasil *scan* yang berantakan tersebut tidak optimal untuk dijadikan model untuk referensi pembuatan desain *insole* sepatu, maka dari itu hasil *scan* dirapikan di dalam aplikasi *exscan pro*. Berikut adalah hasil *scan* yang masih berlubang pada kaki:



Gambar 4.1 Hasil Scan

Hasil yang berlubang tersebut dirapikan di dalam aplikasi dengan fitur *generate point clouds* dengan pilihan *quality priority* atau *speed priority*, untuk model yang diperlukan cukup dengan menggunakan pilihan *speed priority*. Setelah membuat *point clouds* pada hasil scan maka model tersebut berubah menjadi *mesh model* dengan opsi *water tight* dalam kualitas *high detail* untuk mengisi lubang dan ketidaksempurnaan yang ada pada model. Berikut adalah model yang sama setelah diperbaiki:



Gambar 4.2 Hasil Perbaikan *Scan*

Dalam perbaikan *mesh* untuk referensi model *insole* masih ada ke tidak sempurna yang ada pada jari kaki, namun hal tersebut tidak akan menjadi masalah dalam proses pembuatan *insole* sepatu karena permukaan yang paling penting dalam proses mendesain adalah bagian telapak kaki pasien.

Hasil telapak kaki yang dipindai berada pada posisi melayang, hal ini karena *flexible flat foot* akan menunjukkan lengkungan pada kaki yang nantinya berguna dalam pembuatan desain *insole* kaki. Proses *scan* bisa berlangsung selama 1-3 menit, jadi diperlukan penyangga pada kaki untuk melakukan proses *scan* yang ideal untuk pasien. Berikut adalah penggambaran proses pengambilan data *scan* pada kaki:



Gambar 4.3 Proses Pengambilan Data

4.2 Hasil Pemodelan CAD

Perancangan *insole* sepatu dilakukan dengan CAD dalam beberapa tahap. Berikut adalah hasil final pemodelan CAD:



Gambar 4.4 Hasil Final Pemodelan CAD

Desain akhir dilakukan dengan enam tahap. Tahapan tersebut dimulai dengan membuat *surface T-splines*, membuat *insole*, membuat *support* arkus kaki, *Merging insole*, *finishing*, dan *mirror*. Proses ini tidak terlepas dari berbagai kendala, baik kendala dari tingkat kesulitan proses pengerjaan serta pengaruhnya terhadap waktu pengerjaan. Berikut adalah beberapa tahap hasil yang telah dibuat:



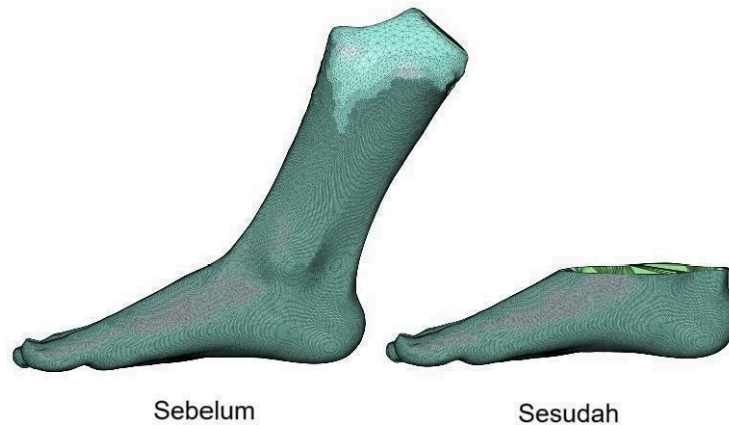
Gambar 4.5 Konsep Desain CAD dan Iterasi Desain

Bisa terlihat dari gambar di atas, terdapat konsep desain dan iterasinya sebelum pemilihan desain yang terakhir. Pembuatan desain memanfaatkan *software* CAD yang hasil akhirnya dicetak menggunakan metode *rapid prototyping* berupa *3D*

printing, aplikasi software CAD yang digunakan untuk mendesain *insole* sepatu adalah *fusion 360*.

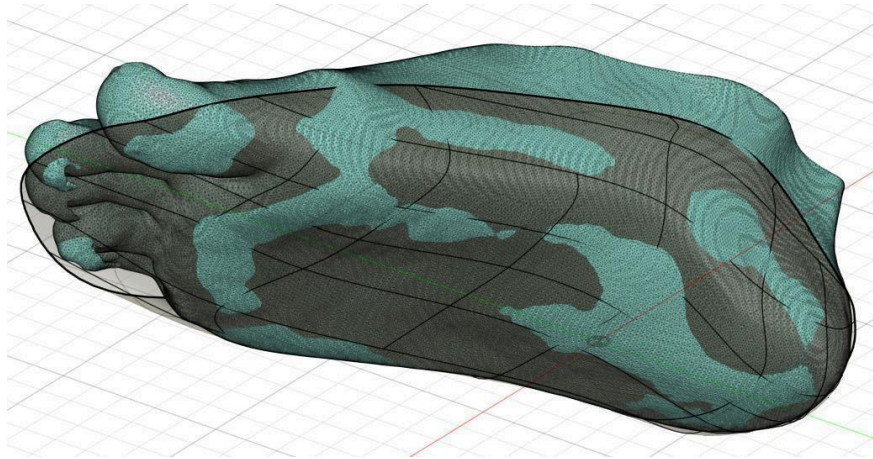
Tahap desain diawali dengan proses *remeshing*. *Remeshing* dilakukan untuk mengubah hasil *.STL* pada model kaki sesuai dengan kemampuan komputer untuk membuat model *insole* sepatu, *polygon* yang ada pada mesh kaki terlalu besar maka resolusinya dikurangi dengan fitur *remesh* atau *reduce*.

Karena model yang dibutuhkan hanya telapak kaki, maka sisa dari *mesh* pada model dipotong dengan fitur *mesh plane cut* dengan *fill type* minimal untuk mengurangi jumlah *poly* dan resolusi yang ada pada *mesh* untuk mengurangi beban pada komputer. Berikut adalah gambar sebelum dan sesudah proses *remeshing* dan *plane cut*.



Gambar 4.6 Hasil *Import* dan *Remeshing*

Setelah dilakukan *remeshing*, selanjutnya pembuatan desain diawali dengan membuat *surface* mengikuti bentuk telapak kaki pada model. Selanjutnya *Create to form* untuk membuat *T-Splines* dalam *tools pull*. *T-splines* adalah salah satu fitur keunggulan 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 telah dibuat. Berikut adalah hasil bentuk *form* yang didesain untuk memperbaiki lengkung arkus pada kaki:



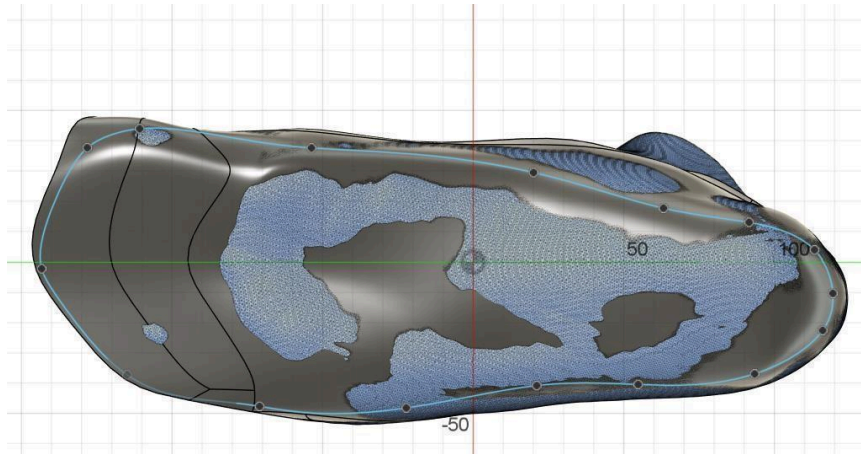
Gambar 4.7 Surface T-Spline

Dari hasil gambar bisa terlihat ada bagian yang tidak sepenuhnya berada di permukaan kaki, namun menembus ke dalam kaki. Hal ini karena tujuan dari *insole* sepatu adalah memperbaiki postur dari telapak kaki. Setelah *meshing* dari *surface* kaki untuk *insole* sepatu terbuat maka bisa ditambahkan ketebalan untuk *layer surface* tersebut dengan fitur *Thicken*. Berikut adalah hasilnya:



Gambar 4.8 Desain Awal

desain awal dikhawatirkan tidak mampu menopang beban dari pengguna, maka dibuat iterasi desain 1. Desain ini merupakan lanjutan dari konsep desain yang dilanjutkan sebelum fitur *thicken* dilakukan. Desain tersebut dibuat dengan membuat sketsa di bawah *surface T-spline* seperti gambar berikut:



Gambar 4.9 Sketsa insole

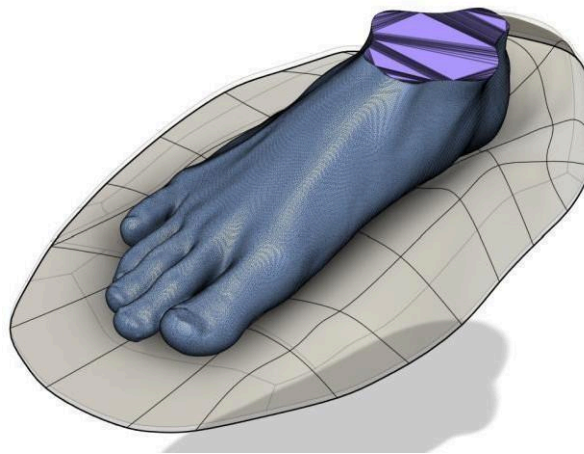
Setelah membuat sketsa untuk insole, kemudian ketebalan diberikan dari sketsa tersebut dengan menggunakan fitur *extrude*. Fitur ini dilakukan dengan menggunakan sketsa sebagai profil yang dipilih dengan *extent type (to object)* dan *object* yang dipilih adalah *surface T-spline* yang telah dibuat. Setelah menggunakan pengaturan tersebut maka diperoleh hasil insole dengan iterasi desain 1 sebagai berikut:



Gambar 4.10 Iterasi Desain 1

Ketika dilakukan pengujian pemakaian, iterasi desain 1 tidak memenuhi kriteria kenyamanan karena bentuk *insole* sepatu yang terlalu kecil. Sehingga ketika *insole* digunakan di dalam sepatu, pengguna bisa merasakan ukuran kakinya yang melebihi *insole* pada bagian depan serta sering terjadi slip pada *insole* di dalam sepatu terlihat pada gambar 4.22. Oleh karena itu diperlukan pengulangan desain yang akan menghasilkan iterasi desain 2.

Kegagalan iterasi desain 1 berada pada sketsa *insole* yang dibuat, karena *surface T-spline* mengikuti permukaan kaki pada bagian samping maka ukuran sketsa *insole* tidak bisa melebihi permukaan *surface T-spline*. Hasil *Surface T-Spline* kemudian dibuat dengan bentuk yang melebar ke segala arah dengan permukaan yang masih menutupi telapak kaki. Berikut adalah Hasil *T-spline* yang dibuat ulang:



Gambar 4.11 Iterasi *Surface T-spline*

Langkah selanjutnya adalah membuat *insole* dengan membuat sketsa yang lebih besar dari permukaan kaki, kemudian menggunakan fitur *extrude* dengan langkah yang sama pada iterasi desain 1. Setelah melakukan langkah tersebut maka didapatkan hasil iterasi desain 2 seperti gambar tersebut:



Gambar 4.12 Iterasi Desain 2

Ketika melakukan tahap uji pemakaian maka ditemukan bahwa hasil *insole* terlalu besar sehingga tidak bisa dimasukkan ke dalam sepatu. Sehingga perlu dilakukan pengulangan pada desain *insole*, pengulangan ini menghasilkan desain akhir dari *insole* sepatu. Perubahan yang dilakukan terdapat pada langkah sebelum pembuatan sketsa *insole*, dengan penambahan referensi foto bagian dalam sepatu yang akan diperlukan untuk menentukan ukuran *insole* sepatu.



Gambar 4.13 Referensi *Insole* Sepatu

Gambar di atas adalah proses dimana foto bagian dalam sepatu diambil dengan koin sebagai referensi untuk melakukan *re-scale* yang bisa dilakukan di dalam aplikasi *fusion 360* dengan fitur *calibrate*, kemudian memilih titik untuk ditaruh pada posisi ujung koin, untuk menentukan ukuran koin sesuai dimensi sesungguhnya yang berupa 27 mm (milimeter) pada diameternya.

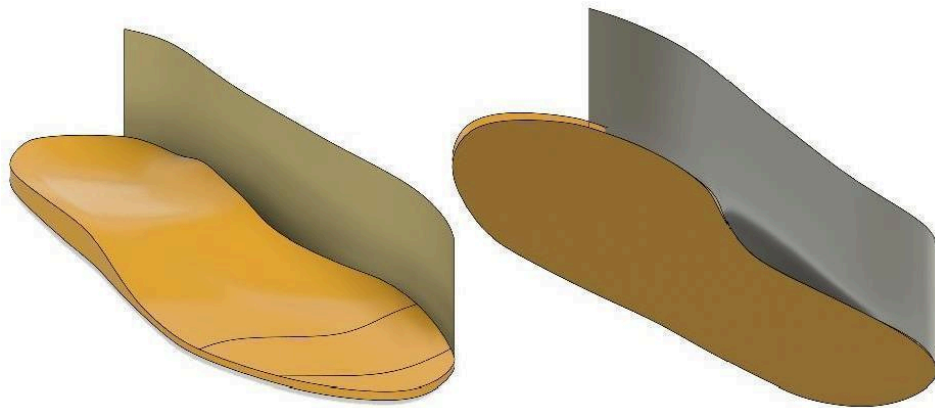
Langkah berikutnya adalah mengubah posisi/peletakan gambar untuk menyesuaikannya dengan referensi *3D scan* kaki dengan fitur *edit canvas* pada gambar, kemudian letakan posisinya sesuai dengan referensi *scan*. Setelah itu didapatkan hasil seperti gambar 4.10 referensi *insole* sepatu.

Setelah tahap tersebut maka dibuat sketsa *insole* sepatu yang sesuai dengan foto referensi *insole* sepatu kemudian dilakukan langkah *extrude* seperti pada tahap pembuatan *insole* alternatif desain 2. Setelah dilakukan langkah tersebut maka dihasilkan *insole* sebagai berikut:



Gambar 4.14 Hasil *Extrude*

Dari gambar 4.11 terlihat ada bagian bagian lekukan yang ada pada bagian *insole*, lekukan ini tidak dapat menopang bagian lengkung arkus pada kaki, sehingga desain masih perlu diperbaiki. Maka dibuatlah bagian *surface T-spline* untuk menyesuaikan bentuk *insole* terhadap bagian dalam sepatu dan *surface scan* kaki. Berikut adalah gambar pembuatan *surface T-spline* bagian penopang lengkung arkus:



Gambar 4.15 *Surface T-Spline Insole Sepatu*

Setelah membuat *surface insole* maka bisa dibuat bagian untuk menopang lengkung arkus kaki. Langkah ini dimulai dengan membuat sketsa yang kemudian di *extrude* untuk menyesuaikan bentuk *surface T-spline Insole* sepatu. Berikut adalah hasil dari *extrude* bagian yang akan menopang lengkung arkus pada kaki:



Gambar 4.16 Hasil *Extrude Support* Lengkung Arkus Kaki

Hasil extrude tersebut dibuat dengan menyesuaikan kedua bentuk *surface T-spline* pada permukaan kaki dan bagian dalam sepatu. Kemudian hasil dari extrude dijadikan satu bagian dengan *insole* dengan fitur *merge*. Setelah kedua bagian menjadi satu maka desain *insole* kemudian dicerminkan untuk membuat pasangan *insole* yang lainnya. Berikut adalah hasil akhir dari *insole flatfoot*:



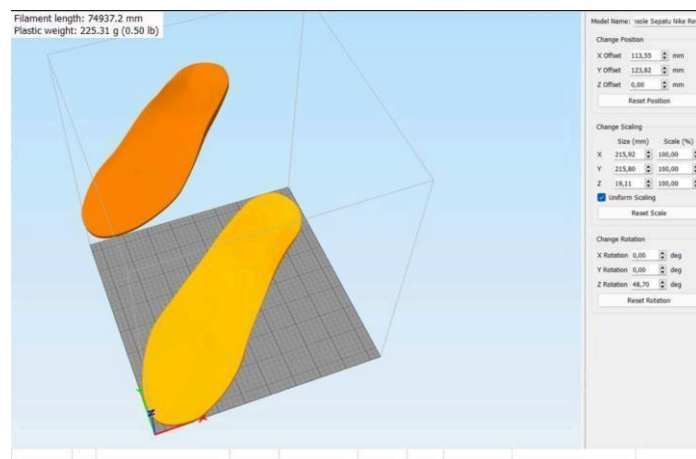
Gambar 4.17 Iterasi Desain 3

Iterasi Desain 3 ini adalah hasil akhir dari pembuatan desain *insole* sepatu.

4.3 Proses 3D Print

Setelah desain dibuat kemudian desain langsung di *print* untuk dilakukan uji pemakaian. Desain yang dibuat dari *fusion 360* kemudian di *export* dengan format **.STL** lalu dimasukkan ke dalam aplikasi *Simplify3D* untuk mengatur dan mengkalibrasi temperatur dan ketinggian *bed*, memanaskan *nozzle* serta menentukan jenis dan ukuran filamen yang digunakan. Pengaturan gerakan *nozzle* dilakukan dengan aplikasi tersebut.

Setelah kalibrasi mesin selesai, pencetakan dengan mesin 3D printer dapat dimulai. Mesin 3D yang digunakan adalah *Creality Ender 3 V3 SE* dengan kapasitas cetak 220 x 220 x 250mm. Material insole kaki yang dicetak adalah *filament* TPU. Berikut merupakan simulasi pencetakan Iterasi Desain 3 dalam *software Simplify 3D*:



Gambar 4.18 Simulasi 3D Printing Iterasi Desain 3

Karena ukuran kedua *insole* lebih besar dari kapasitas cetak mesin maka proses *3D printing* dilakukan dengan memisahkan *insole* kanan dan kiri. Proses waktu untuk mencetak memakan waktu sekitar 18 jam 54 menit yang dilakukan dengan dua 3D printer untuk mengurangi waktu pengerjaan. *Infill* dari proses pencetakan dibuat 60%, tinggi *layer height* yang dipakai adalah 0.1 mm, *nozzle* diameternya adalah 0.40 mm, *pattern infill Rectilinear*, temperatur *nozzle* 220°C, temperatur *Heatbed* 50°C.

4.4 Hasil Produksi Desain Akhir

Setelah melakukan pencetakan 3D, didapatkan hasil yang hampir sempurna dengan massa sebesar 179,3 gram. Karena tingkat ketelitian layer *height* yang dipilih adalah 0.1mm maka hasil akhir dari proses pencetakan hampir tidak memiliki permukaan kasar yang dapat mengganggu pada saat proses uji coba pemakaian, namun proses *finishing* masih harus dilakukan pada permukaan yang masih sedikit kasar dengan menggunakan *sandpaper*. Berikut adalah bentuk akhir dari *insole flatfoot* dan massanya:



Gambar 4.19 Hasil 3D *Printing* Iterasi Desain 3



Gambar 4.20 Penimbangan Hasil Cetak

4.5 Hasil Uji Pemakaian

Berikut adalah foto saat penggunaan ortosis *insole flat foot* final yang berupa iterasi desain 3:



Gambar 4.21 Penggunaan *Insole Flat foot* Iterasi Desain 3

Foto di atas diambil pada saat posisi berdiri, gambar menunjukkan pada saat penggunaan *insole* terjadi penolakan pada lengkung arkus pada kaki. iterasi desain 3 mencakup semua kriteria karena desain tersebut dibuat dengan menggunakan teknologi komputerasi CAD/CAM *3D printing*, bentuk *insole* yang simetris kanan dan kiri mendistribusikan beban pada kaki secara merata, *insole* terbuat dari satu jenis material yaitu *filament TPU (Thermoplastic Polyurethane)*, dan terakhir adalah kenyamanan pada saat penggunaan sehari-hari.

Sebelum desain akhir dipilih, terdapat beberapa percobaan pada iterasi desain 1 dan iterasi desain 2. Pada iterasi desain 1, dihasilkan *insole flat foot* yang bisa digunakan tetapi ada satu kekurangan pada iterasi desain 1. Karena ukurannya yang dibuat lebih kecil dari ukuran permukaan kaki maka iterasi desain 1 mengalami *slip* ketika digunakan di dalam sepatu. Berikut adalah gambar hasil uji coba iterasi desain 1:



Gambar 4.22 Penggunaan *Insole Flat Foot* Iterasi Desain 1

Dari gambar penggunaan *insole* iterasi desain 1 bisa dilihat bahwa *insole* dapat menopang beban pengguna pada saat berdiri, namun kekurangan dari desain ini terletak pada kenyamanan pada saat penggunaan sehari-hari yang bisa ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 4.23 *Insole* Iterasi Desain 1 di Dalam Sepatu

Pada Gambar 4.23 bisa terlihat rongga-rongga yang masih ada di bagian tumit *insole*, rongga tersebut mengakibatkan terjadinya *flat foot* yang masih bisa bergerak didalam sepatu pada saat pemakaian, hal ini menyebabkan penggunaan *insole* yang kurang nyaman untuk dipakai.

Selanjutnya dibuatlah iterasi desain 2, iterasi desain 2 dibuat untuk memenuhi kriteria desain kenyamanan penggunaan dalam kegiatan sehari-hari. Berikut adalah hasil uji coba penggunaan iterasi desain 2:



Gambar 4.24 Penggunaan *Insole Flat Foot* Iterasi Desain 2

Jika dibandingkan dengan gambar 4.21 dan gambar 4.22 ketiga *insole* ini berhasil menopang badan pengguna saat posisi berdiri, namun kesalahan yang ada pada iterasi desain 2 adalah ukuran dari *insole* yang melebihi bagian dalam sepatu sehingga *insole* tidak dapat digunakan dalam sepatu. Berikut adalah gambar dari kegagalan dari desain tersebut:



Gambar 4.25 Kegagalan *Insole* iterasi Desain 2

Dari kegagalan iterasi desain 2 maka dibuatlah iterasi desain 3 yang mempertimbangkan dimensi bagian dalam sepatu sehingga dihasilkan bentuk yang menyerupai bagian dalam sepatu supaya *insole* dapat dimasukkan dengan posisi yang pas. Berikut adalah gambar bagian dalam sepatu dengan *insole* iterasi desain 3:



Gambar 4.26 *Insole* Iterasi Desain 3 di Dalam Sepatu

Desain akhir dibuat dengan memperhatikan dimensi dalam sepatu maka didapatkan *insole flat foot* yang memenuhi semua kriteria desain yang telah dibuat. Berikut adalah gambaran perbandingan *insole* desain akhir dengan *insole* bawaan sepatu:



Gambar 4.27 Perbandingan Desain Akhir Terhadap *Insole* Sepatu

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Pembuatan *insole flat foot* telah berhasil dibuat dengan menggunakan metode *reverse engineering* dan *rapid prototyping* dengan Metode 3D *scanning* untuk pengambilan data pasien, *Autodesk Fusion 360* untuk pembuatan desain, dan *3D Printer* untuk pencetakan prototipe.
2. Desain *insole* sepatu berhasil dibuat dengan kelebihan berupa proses pembuatannya relatif lebih mudah untuk dimanipulasikan sesuai kebutuhan.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Dari penelitian ini masih dapat kekurangan yang dapat disempurnakan dengan penelitian lebih lanjut, diantaranya:

1. Penderita penyakit *flat foot* adalah penulis sendiri, sehingga munculnya bias dalam pengambilan hasil lebih tinggi. Maka diperlukan *sample size* yang lebih beragam agar bisa membuahkan hasil yang lebih akurat.
2. Perlu adanya konsultasi dan bimbingan dengan dokter *orthopedi* pada proses pembuatan *insole* supaya hasil koreksi lengkung arkus pada kaki menjadi lebih baik lagi.
3. Metode *Reverse Engineering* dan *Rapid Prototyping* dapat dikembangkan dan diterapkan untuk komplikasi medis lainnya.
4. Untuk pengujian dari RFA (*Rearfoot Angle*), COP (*Center of Pressure*), dan RCSP (*Resting Calcaneal Stance Position*) tidak dapat diuji karena pengujian tersebut diluar bidang peneliti.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Su, Z. Mo, J. Guo, dan Y. Fan, "The Effect of Arch Height and Material Hardness of Personalized Insole on Correction and Tissues of Flatfoot," *J Healthc Eng*, vol. 2017, 2017, doi: 10.1155/2017/8614341.
- [2] K. J. Youn, S. Y. Ahn, B. O. Kim, I. S. Park, dan S. K. Bok, "Long-term effect of rigid foot ortosis in children older than six years with flexible flat foot," *Ann Rehabil Med*, vol. 43, no. 2, hlm. 224–229, Apr 2019, doi: 10.5535/arm.2019.43.2.224.
- [3] D. B. Wibowo, Y. Umardani, dan N. K. Mustadzanah, "RANCANG BANGUN SOL SEPATU ORTHOTIC UNTUK PENDERITA FLATFOOT," 2022.
- [4] "PEMBUATAN BRACE SCOLIOSIS DENGAN METODE REVERSE ENGINEERING DAN RAPID PROTOTYPING."
- [5] H. J. Lee, K. B. Lim, J. H. Yoo, S. W. Yoon, H. J. Yun, dan T. H. Jeong, "Effect of custom-molded foot orthoses on foot pain and balance in children With symptomatic flexible flat feet," *Annals of Rehabilitation Medicine*, vol. 39, no. 6, hlm. 905–913, 2015, doi: 10.5535/arm.2015.39.6.905.
- [6] Y.-K. Kim dan J.-Y. Joo, "EFFECTS OF CUSTOM-MADE 3D PRINTED INSOLES FOR FLAT-FOOT PEOPLE ON GAIT PARAMETERS: A PRELIMINARY STUDY."
- [7] "Effects of Customized 3D-printed Insoles on the Kinematics of Flat-footed Walking and Running".
- [8] R. Xu *dkk.*, "Comparative study of the effects of customized 3D printed insole and prefabricated insole on plantar pressure and comfort in patients with symptomatic flatfoot," *Medical Science Monitor*, vol. 25, hlm. 3510–3519, 2019, doi: 10.12659/MSM.916975.
- [9] K. W. Cheng *dkk.*, "A three-dimensional printed foot ortosis for flexible flatfoot: An exploratory biomechanical study on arch support reinforcement and undercut," *Materials*, vol. 14, no. 18, Sep 2021, doi: 10.3390/ma14185297.

- [10] C. Y. Hsu, C. S. Wang, K. W. Lin, M. J. Chien, S. H. Wei, dan C. S. Chen, "Biomechanical Analysis of the FlatFoot with Different 3D-Printed Insoles on the Lower Extremities," *Bioengineering*, vol. 9, no. 10, Okt 2022, doi: 10.3390/bioengineering9100563.
- [11] Y. Sterman, D. Solav, N. Rosen, E. Saffuri, dan L. Shmilov Zaritsky, "Custom orthotic insoles with gradual variable stiffness using 3D printed spacer technique," *Virtual and Physical Prototyping*, vol. 19, no. 1, 2024, doi: 10.1080/17452759.2024.2336151.
- [12] E. Bednarczyk, S. Sikora, A. Kossobudzka-Górska, K. Jankowski, dan Y. Hernandez-Rodriguez, "Understanding flat feet: An in-depth analysis of orthotic solutions," *Journal of Orthopaedic Reports*, vol. 3, no. 1, hlm. 100250, Mar 2024, doi: 10.1016/j.jorep.2023.100250.
- [13] K. Saiga, A. S. Ullah, A. Kubo, dan Tashi, "A Sustainable Reverse Engineering Process," dalam *Procedia CIRP*, Elsevier B.V., 2021, hlm. 517–522. doi: 10.1016/j.procir.2021.01.144.
- [14] A. A. Aremo, "ReverseEngineeringResearch," Dec 2021.
- [15] H. I. Medellín-Castillo dan J. E. P. Torres, "Rapid prototyping and manufacturing: A review of current technologies," dalam *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings*, American Society of Mechanical Engineers (ASME), 2010, hlm. 609–621. doi: 10.1115/IMECE2009-11750.
- [16] S. M. Peltola, F. P. W. Melchels, D. W. Grijpma, dan M. Kellomäki, "A review of rapid prototyping techniques for tissue engineering purposes," 2008. doi: 10.1080/07853890701881788.
- [17] D. Balu Ghane, "NOVATEUR PUBLICATIONS INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATIONS IN ENGINEERING RESEARCH AND TECHNOLOGY [IJIERT] RAPID PROTOTYPING: THE REVOLUTIONARY TECHNOLOGY AND APPLICATIONS REVIEW".
- [18] I. Sadrehaghighi, "Computer Aided Design (CAD) CFD Open Series", doi: 10.13140/RG.2.2.12634.62408.

- [19] T. Feldhausen *dkk.*, “Review of Computer-Aided Manufacturing (CAM) strategies for hybrid directed energy deposition,” 1 Agustus 2022, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.addma.2022.102900.
- [20] J. H. Park, H. K. Jung, dan J. R. Lee, “Development and evaluation of fall impact protection pads using additive manufacturing,” *Materials*, vol. 12, no. 20, Okt 2019, doi: 10.3390/ma12203440.
- [21] P. P. Song, Y. M. Qi, dan D. C. Cai, “Research and Application of Autodesk Fusion360 in Industrial Design,” dalam *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, Mei 2018. doi: 10.1088/1757-899X/359/1/012037.
- [22] “SHINING 3D-EinScan Pro 2X series-EXScan Pro 3.3.0.0-User Manual-USER MANUAL EinScan Pro 2X / 2X Plus / EP EXScan Pro Software V3.3,” 2019.

LAMPIRAN 1

PENJELASAN MENGENAI TEMPLATE

LAPORAN TUGAS AKHIR

Pengaturan Toolpath 3D Print Aplikasi

