

**REKONSTRUKSI DESAIN *SOCKET* PADA LENGAN PROSTETIK
UNTUK PENYANDANG DISABILITAS *TRANSRADIAL* MENGGUNAKAN
PENDEKATAN *REVERSE ENGINEERING***

TUGAS AKHIR

Oleh:

Muhammad Diponegoro Stropawiro

1201180390



**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS REKAYASA INDUSTRI
UNIVERSITAS TELKOM
2021/2022**

ABSTRAK

Produk prostetik pada umumnya dirancang oleh kalangan *designer* orthosis sebagai alternatif penunjang anatomi manusia dalam menggantikan rupa fisik maupun peran dari bagian tubuh yang hilang. Namun dalam penggunaannya, tidak jarang dijumpai permasalahan pada bagian produk yang berinteraksi langsung pada tubuh pemakai, sehingga menyebabkan rasa tidak nyaman dan iritasi. Bagian *socket* kerap dipermasalahkan oleh pengguna produk prostetik mengingat bagian tersebut bertanggung jawab terhadap kontak langsung dengan frekuensi terbanyak kepada pengguna.

Berkenaan pada masalah di bagian *socket* tersebut, improvisasi rancangan *socket* akan dilakukan dengan meninjau anatomi dan fisiologi lengan pasien guna menunjang aspek geometris dan fungsional yang lebih baik. Melalui penelitian ini, akan terdapat sejumlah tahapan yang melibatkan studi dan analisis pada interaksi serta mekanisme produk lengan prostetik terhadap penggunaannya. Dengan metode *reverse engineering* atau rekayasa balik, proses *redesign* akan memanfaatkan *software* SolidWorks 2022 serta peninjauan interaksi pada *part* produk terhadap manusia dengan menjalankan serangkaian pengujian kondisi pemakaian produk.

Hasil rancangan perbaikan akan memuat *CAD (computer-aided design)* dan informasi teknis mengenai bagian *socket* produk, pilihan material yang digunakan, dan fitur dari perbaikan produk lainnya. Adapun hasil rancangan tersebut yang nantinya akan didasari kaidah biomekanika pada lengan tanpa mengabaikan estetika produk.

Dengan adanya rancangan perbaikan pada produk lengan prostetik tersebut diharapkan mampu memberikan manfaat dalam meningkatkan kualitas hidup pasien amputasi dan memaksimalkan utilisasi produk sebagaimana fungsi lengan pada anatomi manusia. Selain itu, dengan penelitian ini penulis berharap pula dapat memberikan rujukan maupun pandangan yang lebih luas mengenai perancangan lengan prostetik atau produk serupa di masa mendatang.

Kata kunci - *protesis, transradial, reverse engineering, CAD*

ABSTRACT

Orthosis designers generally design prosthetic products as an alternative to supporting human anatomy in replacing the physical appearance and role of missing body parts. However, in its use, it is not uncommon to encounter problems in the product parts that interact directly with the user's body, causing discomfort and irritation. The *socket* part is often questioned by users of prosthetic products considering that this part is responsible for direct contact with the highest frequency to users.

Concerning the problem in the *socket*, its design will be improvised by reviewing the anatomy and physiology of the patient's arm to support the geometric and functional aspects. This research will involve an analysis of the interactions and mechanisms of the prosthetic arm product on its users. With the reverse engineering method, the redesign process will utilize the SolidWorks 2022 software and review the interaction of product parts with humans by carrying out a series of product usage conditions tests.

The result of the repaired design will contain CAD (computer-aided design) and technical information regarding product parts, materials used, and other product features, especially on the *socket*. The results of the plan will meet the rules of biomechanics on the arm without ignoring the aesthetics of the product.

Improvements in prosthetic arm products can provide benefits in improving the quality of life of amputees and maximizing the utilization of the product as well as the function of the arm in human anatomy. In addition, the research is also expected to be helpful in providing a broader view of information regarding the design of prosthetic arms and similar products in the future.

Keywords - *prosthesis, transradial, reverse engineering, CAD*

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir dengan judul :

REKONSTRUKSI DESAIN *SOCKET* PADA LENGAN PROSTETIK UNTUK PENYANDANG DISABILITAS *TRANSRADIAL* MENGUNAKAN PENDEKATAN *REVERSE ENGINEERING*

Program Studi S1 Teknik Industri

Fakultas Rekayasa Industri Universitas Telkom

Oleh :

Muhammad Diponegoro St Ropawiro
1201180390

Bandung, 22 Desember 2022

Disetujui oleh,

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Muhammad Iqbal, S.T., M.M.

NIP: 08820072

Dino Caesaron, S.T., M.T., Ph.D.

NIP: 22860004

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS



Nama : Muhammad Diponegoro St Ropawiro

NIM : 1201180390

Alamat : Perumahan Bambu Kuning, Kelurahan
Bukit Tempayan, Kecamatan Batu Aji,
Batam

No. Tlp : 081266914089

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini merupakan karya orisinal saya sendiri. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung risiko atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya apabila kemudian ditemukan adanya pelanggaran terhadap kejujuran akademik atau etika keilmuan dalam karya ini, atau ditemukan bukti yang menunjukkan ketidakaslian karya ini.

Bandung, 19 Januari 2022

Muhammad Diponegoro St Ropawiro

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan kesempatan bagi penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul:

“Rekonstruksi Desain *Socket* pada Lengan Prostetik untuk Penyandang Disabilitas *Transradial* menggunakan Pendekatan Reverse Engineering”

Penulis pribadi menyadari bahwa dalam pengerjaan tugas ini tidak luput dari kehadiran pihak-pihak yang telah berjasa dalam memberikan dukungan dan bantuan sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Dengan demikian, penulis berterima kasih kepada:

1. Bapak Muhammad Iqbal, S.T., M.M. selaku dosen pembimbing yang memberikan arahan kepada penulis selama mengerjakan tugas akhir ini.
2. Bapak Dino Caesaron, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen *reviewer* yang telah meninjau, memberikan saran, dan mengevaluasi penulis dalam menyusun tugas akhir ini.
3. Bapak Drs. Harnod, S.E., M.Si. dan Ibu Hermawati yang merupakan orang tua penulis yang telah memberikan dukungan kepada penulis selama tugas akhir ini dikerjakan.
4. Teman-teman kelompok bimbingan penulis, yaitu Hafizh Hariaji, Devinriza Eliansyah, dan Radin Radito Herlambang yang telah menjadi teman seperjuangan yang dalam pengerjaan tugas akhir.

Penulis berharap dengan adanya penelitian ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Bandung, 07 November 2022

Muhammad Diponegoro St Ropawiro

NIM : 1201180390

DAFTAR ISI

ABSTRAK	2
ABSTRACT	3
LEMBAR PENGESAHAN	4
KATA PENGANTAR	6
DAFTAR ISI	7
DAFTAR GAMBAR	10
DAFTAR TABEL	11
DAFTAR LAMPIRAN	12
DAFTAR ISTILAH	13
BAB I PENDAHULUAN	14
I.1. Latar Belakang	14
I.2 Alternatif Solusi	21
I.3 Rumusan Masalah	22
I.4 Batasan Masalah	23
I.5 Tujuan Tugas Akhir	23
I.6 Manfaat Tugas Akhir	24
I.7 Sistematika Penulisan	25
BAB II LANDASAN TEORI	27
II.1 Desain dan Pengembangan Produk	27
II.1.1 Definisi Desain	27
II.1.2 Pengembangan Produk	28
II.2 Ergonomi dalam Perancangan Produk	33
II.3 Prinsip Antropometri dalam Perancangan	34
II.3.1 Definisi Antropometri	34
II.3.2 Faktor Penentu Pengukuran Antropometri	35

II.4 Disabilitas dan Amputasi <i>Transradial</i>	36
II.4.1 Definisi Disabilitas.....	36
II.4.2 Tunadaksa Amputasi <i>Transradial</i>	37
II.5 Definisi Prostetik	39
II.6 Sistem Rekayasa berdasarkan Alurnya	40
II.6.1 Rekayasa Balik (<i>Reverse Engineering</i>).....	40
II.6.2 Rekayasa Balik dengan Bantuan Komputer	42
II.6.3 Penggunaan Perangkat Lunak SolidWorks 2022	43
II.7 Peran Penggunaan Metode <i>Reverse Engineering</i> dalam Perancangan ...	44
BAB III METODOLOGI PERANCANGAN	46
III.1 Sistematika Perancangan	46
III.1.1 Tahap Pendahuluan	48
III.1.2 Tahap Pengumpulan Data	48
III.1.3 Tahap Perancangan.....	50
III.1.4 Tahap Analisis Evaluasi.....	52
III.1.5 Tahap Penarikan Kesimpulan	53
III.2. Batasan dan Asumsi Tugas Akhir	53
III.3. Identifikasi Komponen Sistem Terintegrasi.....	55
BAB IV PERANCANGAN SISTEM TERINTEGRASI	57
IV.1 Deskripsi Data	57
IV.2 Spesifikasi Rancangan	60
IV.2.1 Acuan Standar Rancangan	61
IV.2.2 Kriteria Rancangan.....	62
IV.3 Proses Perancangan	62
IV.3.1. Pertimbangan Sifat Mekanis Tulang dan Kesesuaian Material	64
IV.3.2 Proses Sketsa dan Iterasi Perancangan <i>Surface Model</i>	69
IV.3.3 Geometric Digitization	79
IV.3.6 Pertimbangan Perubahan Desain terhadap Arsitektur Produk	84
IV.4 Hasil Rancangan	90
IV.5 Verifikasi Hasil Rancangan.....	92

IV.5.1 Tinjauan pada Kondisi Pemakaian.....	93
IV.5.2 Pengujian Kondisi Pemakaian.....	94
BAB V VALIDASI DAN EVALUASI HASIL RANCANGAN	100
V.1 Validasi Hasil Rancangan	100
V.2 Evaluasi Hasil Rancangan	100
V.3 Pertimbangan Pemasangan <i>Socket</i> terhadap Pengguna	108
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	109
VI.1 Kesimpulan	109
VI.2 Saran Penelitian	110

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1 Tiga tingkat amputasi <i>transradial</i> pada lengan bawah.....	14
Gambar I.2 Ilustrasi prostetik pada lengan bawah.....	15
Gambar I.3 Faktor-faktor yang mempengaruhi interaksi terhadap <i>socket</i>	16
Gambar I.4 Persentase penduduk yang mengalami disabilitas di Indonesia	18
Gambar II.1 Tahapan Perancangan dan Pengembangan Produk	29
Gambar II.2 Proporsi tubuh manusia menurut Leonardo da Vinci	35
Gambar II.3 Tingkat persentase amputasi pada ekstremitas atas.....	38
Gambar III.1 Diagram Alir Penelitian	47
Gambar III.2 Diagram alir <i>reverse engineering</i> pada tahap perancangan	50
Gambar IV.1 Sketsa rencana rancangan dan penyesuaian <i>socket</i>	69
Gambar IV.2 Sketsa pembagian area irisan	70
Gambar IV.3 Hasil <i>sectioning</i> dari lengah bawah yang akan direkonstruksi	71
Gambar IV.4 Struktur <i>wireframe</i>	72
Gambar IV.5 Pembuatan <i>basic shape</i> pada iterasi pertama.....	73
Gambar IV.6 Iterasi kedua berupa perancangan secara detail	75
Gambar IV.7 Mekanisme <i>belt</i> dan <i>buckle</i> yang berfungsi mengencangkan <i>socket</i> ..	77
Gambar IV.8 Penambahan fitur belt dalam mekanisme lepas dan pasang <i>socket</i>	78
Gambar IV.9 Model <i>socket</i>	82
Gambar IV.10 Model <i>padding</i>	82
Gambar IV.11 Model <i>buckle</i>	83
Gambar IV.12 Model <i>belt</i>	83
Gambar IV.13 Skema elemen fungsional produk.....	85
Gambar IV.14 Klasterisasi elemen-elemen produk	87
Gambar IV.15 Geometris kasar <i>socket</i>	89
Gambar IV.16 Pemaparan hasil rancangan <i>socket</i>	91
Gambar IV.17 Visual <i>shear stress</i> pada <i>socket</i>	94
Gambar IV.18 Visual <i>shear stress</i> pada hadapan depan.....	94
Gambar IV.19 Proses pembuatan <i>mesh</i> rekayasa temperatur	95
Gambar IV.20 Visualisasi simulasi persebaran temperatur	96
Gambar IV.21 Visualisasi simulasi aliran udara.....	97
Gambar IV.22 <i>Heatmap</i> tekanan udara pada pengujian	97
Gambar IV.23 Visualisasi arah tekanan statis pada rongga dalam <i>socket</i>	98
Gambar IV.24 Visualisasi pergerakan <i>socket</i> terhadap tekanan statis	98
Gambar V.1 Grafik <i>static nodal stress</i>	102
Gambar V.2 Visualisasi simulasi persebaran temperatur	103
Gambar V.3 Plot distribusi pergeseran <i>socket</i> terhadap tekanan statis.....	104
Gambar V.4 Tampilan <i>mesh</i> pada <i>socket</i> terhadap tekanan statis	105

DAFTAR TABEL

Tabel I.1 Akar masalah dan potensi solusi penelitian.....	22
Tabel III.1 Identifikasi Elemen Sistem Terintegrasi dalam penelitian	55
Tabel IV.1 Deskripsi Sectioning pada Pengukuran	57
Tabel IV.2 Deskripsi Data Pengukuran	58
Tabel IV.3 Spesifikasi Standarisasi pada Rancangan	61
Tabel IV.4 Spesifikasi Kriteria Perancangan dalam Penelitian	62
Tabel IV.5 Data Hasil Pengukuran	63
Tabel IV.6 <i>Mechanical Properties</i> pada Tulang.....	64
Tabel IV.7 <i>Mechanical Properties</i> Material pada <i>Socket</i>	66
Tabel IV.8 Pertimbangan Kelebihan dan Kekurangan Material	67
Tabel IV.9 Proses Iterasi Pertama Rancangan	74
Tabel IV.10 Proses Iterasi Kedua Rancangan.....	76
Tabel IV.11 Proses Iterasi Ketiga pada Rancangan	79
Tabel IV.12 Proses Digitalisasi Geometris	80
Tabel IV.13 Daftar <i>Part</i> pada Pemodelan Solid	81
Tabel IV.14 Faktor Pertimbangan Klasterisasi	86
Tabel IV.15 Analisis Interaksi pada <i>Chunk</i>	90
Tabel IV.16 Verifikasi Rancangan melalui <i>Testing</i>	92
Tabel IV.17 Pertimbangan <i>Testing</i> terhadap Kondisi Pemakaian <i>Socket</i>	93
Tabel IV.18 Interaksi Temperatur pada <i>Socket</i>	95
Tabel V.1 Validasi Hasil Rancangan	100
Tabel V.2 Evaluasi <i>Testing Result</i>	101
Tabel V.3 Hasil Akhir Evaluasi	107
Tabel V.4 Pertimbangan Pemasangan <i>Socket</i>	108

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A - Detail Instrumen Pengukuran	114
Lampiran B - <i>Technical Drawing</i>	116

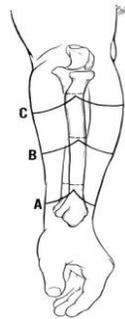
DAFTAR ISTILAH

Istilah	Deskripsi	Halaman Pertama Muncul
<i>Transradial</i>	Kondisi amputasi yang terjadi pada bagian lengan bawah manusia.	14
Prostetik	Sebuah produk yang digunakan untuk membantu manusia dalam menggantikan fungsi alat gerak yang hilang.	14
<i>Socket</i>	Suatu bagian produk yang berfungsi untuk menyatukan bagian tubuh dengan alat prostetik	16
Residual	Bagian lengan yang tersisa setelah dilakukannya tindak amputasi.	16
CAD	Singkatan dari <i>computer aided design</i> , merupakan suatu perangkat lunak atau program komputer yang berperan dalam membantu proses perancangan produk.	37

BAB I PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Penggunaan lengan prostetik oleh penyandang disabilitas masih menjadi solusi bagi tuna daksa untuk membantu aktivitas dalam kehidupan mereka sehari-hari. Mengingat peran tangan yang penting dalam melangsungkan segala aktivitas secara manual, termasuk manipulasi objek, berinteraksi, dan melakukan pekerjaan sehari-hari (Rhee dan Lewis, 2010). Pada pasien atau penyandang tuna daksa *transradial*, kegiatan yang berkaitan dengan lengan dan tangan dapat terganggu karena adanya keterbatasan dalam beraktivitas seperti menggenggam, meraih, atau menggerakkan objek. Dengan kondisi tersebut, seseorang dengan tuna daksa pada umumnya dibantu dengan adanya lengan prostetik atau lengan palsu guna menggantikan peran tangan.



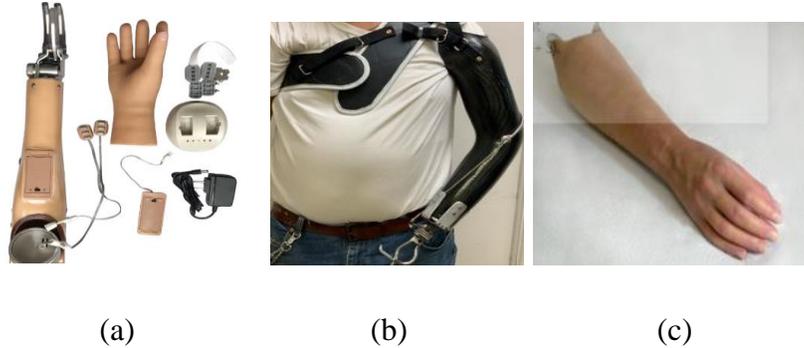
Gambar I.1 Tiga tingkat amputasi *transradial* pada lengan bawah.

(Sumber: Louis DS: Amputations, in Green DL (ed): *Surgery of the Hand*, ed 2.

New York, Churchill Livingstone Inc, 1988)

Sejumlah model lengan prostetik dikembangkan dan dirancang berdasarkan jenis dan kondisi tubuh pasien. Beberapa model lengan prostetik terhubung dengan tenaga dari luar tubuh manusia dan sebagian dapat digerakan secara manual melalui tenaga manusia. Beberapa model prostetik tidak memiliki daya gerak atau hanya meniru rupa fisik yang hilang dari penggunaanya.

Menurut APC Prosthetics Teams tahun 2020 tentang *Upper Limb Prosthetics*, diantara jenis lengan prostetik yang beredar secara luas diantaranya:



Gambar I.2 Ilustrasi prostetik pada lengan bawah
(a) kosmetik Deccan OrthoPro India, (b) Ilustrasi lengan prostetik tipe *body-powered* ALLEN Prosthetics & Orthotics, (c) Ilustrasi lengan prostetik *myoelectric* P&O Rehabilitation

1. *Myoelectric*

Jenis prostetik ini ditenagai secara eksternal melalui motor listrik bertenaga baterai untuk mengendalikan perangkatnya sehingga prostetik jenis mampu melakukan beberapa pekerjaan tangan manusia dengan sejumlah batasan tertentu.

2. Prostetik *Body-powered*

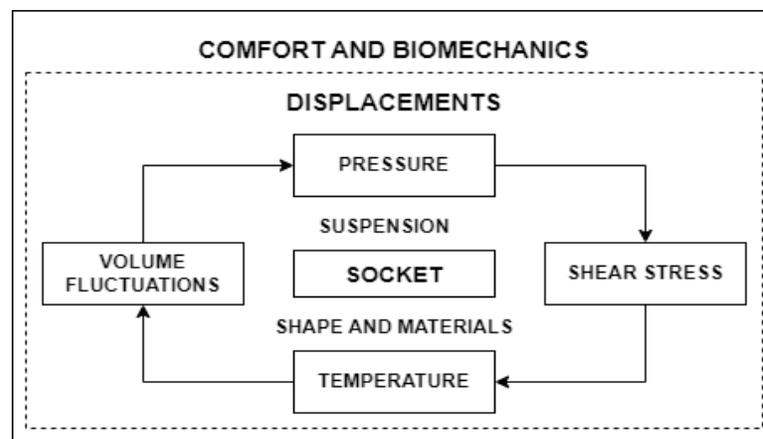
Prostetik jenis ini ditenagai oleh tubuh penggunanya, yang mana prostetik ini merupakan yang sangat umum digunakan. Prostetik *body-powered* memungkinkan pengguna mengendalikan perangkat terminal melalui sistem *harness* yang berada di sekitar dada dan bahu penggunanya.

3. Prostetik Kosmetik

Jenis prostesis ini secara tradisional dianggap murni memberikan tampilan fisik pengguna atau hanya memenuhi peran *cosmetic*, yang mana tidak ada perangkat penggerak dan model sepenuhnya diperuntukan mengimitasikan rupa bagian lengan manusia.

Secara luas lengan prostetik sendiri tersusun atas beberapa *part*/bagian yang terdiri dari *socket*, *appendage* (tangan), *joint* (sendi), dan modul penghubung. Namun diantara bagian-bagian tersebut, peran *socket* memiliki pengaruh yang besar kepada penggunaannya, menimbang bagian tersebut mengalami kontak secara langsung. *Socket* sendiri merupakan salah satu bagian dari produk prostetik yang berfungsi untuk melekatkan bagian amputasi atau residual pada organ tiruan seperti tangan atau kaki palsu, sehingga menghubungkan tubuh manusia dengan alat bantu tersebut.

Paterno et al. (2018) menyatakan jika pada bidang prostetik, *socket* adalah salah satu hal penting yang menghambat *interface* pada faktor *man and machine*. Schofield et al. (2017) juga menerangkan bahwa *socket* menjadi salah satu faktor penentu keberhasilan protesis pada alat gerak atas. Górski et al. (2020) juga menjelaskan jika bagian terpenting dari protesis ekstremitas atas adalah *socket*. Pentingnya peran *socket* dalam produk prostetik juga dipengaruhi oleh aspek-aspek kenyamanan dan biomekanis, sebagaimana yang dijelaskan oleh Paterno et al. (2018) bahwa setidaknya terdapat beberapa aspek fisik yang mempengaruhi kenyamanan *socket* yaitu tegangan geser, temperatur, tekanan, dan fluktuasi volume.



Gambar I.3 Faktor-faktor yang mempengaruhi interaksi terhadap *socket* oleh Paterno et al. (2018)

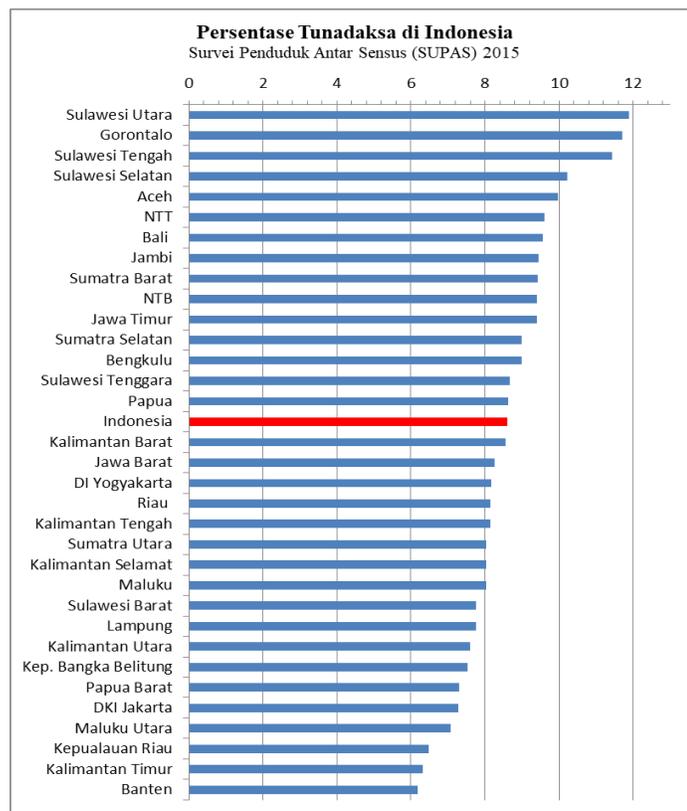
Setiap aspek fisik tersebut dapat berasal dari pengguna yang memakai *socket*, ataupun disebabkan faktor eksternal lainnya. Quiroz dan Perez (2017) menerangkan bahwa *socket* dan *interface* merupakan elemen yang penting dalam orthosis dan protesis, dimana *socket* tersebut harus memiliki kontak yang sesuai antara *device* prostetik dan bagian tubuh yang mengalami prostetik.

Dengan *socket* yang dirancang secara sesuai dan dipasang dengan benar pada pasien atau penyandang tunadaksa *transradial*, maka pengguna tidak akan mengalami rasa sakit, ulserasi, lecet, dan kesulitan lainnya selama pemakaian. Pada pemakaian jangka panjang, *socket* umumnya merupakan bagian sering yang dikeluhkan ketidaknyamanannya. Sehingga dengan demikian, terdapat banyak kasus prostetik dimana pengguna lebih memilih untuk melepas pasang pemakaian produk dan memilih untuk menggunakannya jika hanya benar-benar diperlukan saja atau ketika berpergian dan berhadapan dengan orang banyak.

Jika dilakukan peninjauan terhadap proses pembuatan *socket*, pada umumnya lembaran material seperti polimer akan dilunakan *socket* terlebih dahulu. Selanjutnya, lembaran yang telah dilunakan tersebut ditempelkan pada residual lengan sehingga mampu menyesuaikan bentuk lengan penggunanya. Namun dengan metode demikian, hingga saat ini masih terdapat banyak penelitian yang menjelaskan kekurangan model *socket* yang dibuat melalui proses tersebut dengan mengaitkannya terhadap keluhan rasa nyeri maupun iritasi kulit pada pengguna.

Beranjak dari alasan tersebut, suatu pengembangan perlu dilakukan dengan tujuan untuk memperbaiki rancangan dan struktur geometris dari *socket* pada lengan prostetik. Pengembangan prostetik tersebut setidaknya dilakukan dengan mempertimbangkan aspek biologis lengan penggunanya guna memperoleh desain *socket* yang nyaman ketika digunakan. Selain itu, dengan rancangan yang berfokus pada aspek biomekanis pengguna, diharapkan desain *socket* mampu beresonansi sesuai kebutuhan penggunanya dalam menjalankan aktivitasnya sehari-hari.

Menurut Sang dan Luo (2016), bahwa penerapan biomekanik pada *interface* antara prostesis dan lengan residual merupakan dasar untuk perbaikan desain prostetik. Dengan demikian, rancangan *socket* yang menyesuaikan aspek biomekanis lengan dapat menunjang faktor keselamatan dan kesehatan penggunanya dengan meminimasi terjadinya *fatigue* maupun cedera. Disamping pentingnya peran produk prostetik dalam membantu penggunanya, salah satu hambatan dalam implementasi prostetik lainnya di luar dari faktor pengembangan ialah akses dan *awareness* publik. Menurut WHO dalam Standards for Prosthetics and Orthotics (2017) memperkirakan bahwa pada hari ini hanya 1 dari 10 orang dengan kebutuhan khusus yang memiliki akses ke produk bantuan seperti prostesis dan orthosis, hal tersebut diakibatkan oleh besarnya biaya yang diperlukan serta masih kurangnya kesadaran, ketersediaan alat, jumlah tenaga terlatih, pembiayaan oleh pemerintah dan kebijakan pemerintah yang meregulasi.



Gambar I.4 Persentase penduduk yang mengalami disabilitas di Indonesia

Memperkirakan jumlah kasus prostetik di Indonesia, dapat dibayangkan berapa banyak pasien prostetik atau tuna daksa yang kemungkinan masih mengalami masalah pada penggunaan *socket* tersebut. Berdasarkan data Survei Sosial Ekonomi Nasional (Susenas) tahun 2018, di Indonesia terdapat 14,2% penduduk yang menyandang disabilitas atau setara dengan 30,38 juta jiwa. Jika dibandingkan dengan laporan lainnya pada tiga tahun sebelumnya, menurut Survei Penduduk Antar Sensus (SUPAS) 2015, terdapat 8,56% penduduk Indonesia mengalami disabilitas. Dari data tersebut, terlihat bahwa kedua survei menunjukkan terjadinya penambahan kasus dalam kurun waktu tiga tahun. Dari semua kasus disabilitas di Indonesia, menurut SUPAS terdapat 1,30% dari seluruh penduduk di Indonesia mengalami kesulitan dalam menggunakan dan menggerakkan organ jari dan tangan.

Menindaklanjuti permasalahan tersebut, proses rancangan *socket* pada lengan prostetik dalam penelitian ini setidaknya mampu mendukung proses recovery dari wujud awal lengan pasien. Dengan adanya proses pemulihan ulang, maka diperlukan suatu cara untuk mengetahui bagaimana faktor biologis tersebut bekerja. Dengan cakupan objek pada penelitian ini yang berupa anatomi lengan pasien yang mana hal tersebut merupakan salah satu bidang keilmuan biologi, Wang (2011) menyatakan bahwa di lapangan, para *engineer* dan ilmuwan yang terlibat pada objek biologis sering melakukan tugasnya dalam arah yang berlawanan, yang mana mereka meyakini bahwa antara perilaku tubuh yang diobservasi dan elemen biologis harus mendasari mekanisme yang dapat menyusun fungsi tubuh itu sendiri. Dengan pernyataan tersebut, maka proses rancangan perbaikan dan pemulihan ini memiliki suatu keterkaitan terhadap metode rekayasa balik atau *reverse engineering*.

Pendekatan rekayasa balik dinilai mendukung perancangan model *socket* dengan menganalisis dan merekonstruksi kembali lengan pasien sebagai titik awal perancangan. Selama proses desain untuk rancangan *socket* dilakukan, model akan dibuat untuk pengujian, verifikasi, dan evaluasi desain. Proses ini pada umumnya akan dilakukan secara berulang dan memerlukan beberapa modifikasi secara iteratif.

Amini (2017) menjelaskan bahwa dengan *reverse engineering* perancangan produk dapat diperbaiki pada tingkat standar global dan mampu mengemukakan cara baru dalam meningkatkan dan mengembangkan produk guna memenuhi kebutuhan *customer* seperti sistem operasi yang lebih baik, penambahan fitur, dan pemecahan masalah produk serta terpenuhinya persyaratan pasar baik itu perubahan maupun peningkatan teknologi dan pengurangan biaya. Alhasil, pemilihan metode *reverse engineering* pada perancangan *socket* lengan prostetik dalam penelitian ini, dinilai sesuai untuk mengekstraksi rancangan perbaikan.

Sebelum proses perancangan *socket* tersebut dapat dimulai, dibutuhkan suatu ukuran pada wujud fisik *socket* guna membangun struktur geometris dari *socket* yang akan dirancang. Oleh sebab itu, setidaknya dibutuhkan seorang responden yang berperan dalam memberikan dimensi ukuran melalui proses pengukuran antropometri pada bagian tubuh lengan bawah. Dengan begitu, diperlukan input pengukuran antropometri guna mendefinisikan ukuran produk, kapabilitas desain, dan pertimbangan proses produksi. Responden yang dibutuhkan dalam proses pengukuran tersebut harus memenuhi kondisi *transradial*, dimana responden memiliki residual pada bagian lengan bawah. Hal ini dilakukan guna memenuhi informasi aktual yang dibutuhkan untuk melanjutkan proses perancangan.

Terpenuhinya kebutuhan data pengukuran akan menunjang dimensi produk dan wujud fisik pada *socket* yang sinkron terhadap kebutuhan aktual. Dalam memenuhi data pengukuran tersebut, kegiatan pengambilan ukuran lengan pada nantinya dilakukan dengan kontak secara langsung pada residual lengan bawah. Pengukuran tersebut dilakukan dengan menggunakan instrumen ukur utama berupa *tape measurement*, yang secara umum digunakan oleh para desainer pakaian dan penjahit dalam memperoleh ukuran dari bagian tubuh tertentu. Penggunaan alat ukur tersebut, dipilih atas pertimbangan kemudahan untuk didapatkan dan dioperasikan.

Meninjau penyelesaian pada masalah pada tuna daksa yang membutuhkan perangkat prostetik terhadap target hasil rancangan diperlukan dalam menentukan solusi masalah. Pada kasus permasalahan dalam penelitian ini, rancangan dispesifikasikan pada seorang responden yang berlokasi di Kota Batam pada sebuah organisasi peduli disabilitas di kompleks pertokoan Mega Legenda, Jalan Raja Husin, Kecamatan Batam Kota. Pengukuran melalui responden ini diterapkan guna dihasilkannya rancangan model *socket* yang dapat disesuaikan dengan ukuran aktual pada penggunanya, khususnya pada pengguna yang memiliki ukuran lengan bawah yang tidak jauh berbeda atau sama terhadap responden. Alhasil, solusi mengenai permasalahan rancangan pada *socket* seperti ketidaknyamanan akibat faktor tekanan, dorongan, dan temperatur selama pemakaian dapat diimplementasikan pada suatu produk dengan parameter ukuran yang aktual.

I.2 Alternatif Solusi

Dari penjabaran latar belakang yang telah dibahas, adapun beberapa akar masalah serta potensi solusi yang memungkinkan tercapainya penyelesaian masalah tersebut. Akar masalah tersebut, secara garis besar mengarah pada berbagai keluhan oleh pengguna terhadap rancangan *socket* lengan prostetik yang dinilai masih belum optimal. Sehingga, diperlukan suatu solusi yang menjawab permasalahan pada penggunaan *socket* tersebut.

Meski demikian, secara teknis akar masalah tersebut kemungkinan memiliki solusi yang jauh lebih luas di luar konteks pengembangan produk. Beberapa solusi lainnya tersebut dapat berupa solusi preventif seperti menghindari segala faktor penyebab ketidaknyamanan maupun solusi temporer yang memberikan penanganan sementara dari ketidaknyamanan pengguna. Namun dalam menunjang solusi yang lebih berkelanjutan, pemecahan masalah melalui proses perancangan dinilai mampu memberikan dampak jangka panjang kepada pengguna. Dengan adanya perancangan, implementasi solusi yang permanen diharapkan mampu menjawab permasalahan pada pemakaian *socket* pada produk lengan prostetik.

Dengan pertimbangan dampak jangka panjang pada penggunaan produk, maka dalam penelitian ini dikemukakan potensi solusi yang difokuskan pada proses perancangan produk dengan melibatkan perbaikan (*improvement*) yang merubah wujud, struktur, maupun tampilan fisik produk. Diantara implementasi potensi solusi yang memungkinkan tersebut antara lain sebagai berikut:

Tabel I.1 Akar masalah dan potensi solusi penelitian

No.	Akar Masalah	Potensi Solusi
1.	Produk lengan prostetik memberikan rasa tidak nyaman seperti tekanan dan gesekan yang menyebabkan ketidaknyamanan hingga potensi iritasi akibat kontak pada <i>socket</i> terhadap permukaan kulit pengguna.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Perbaiki desain dengan mempertimbangkan analisis interaksi antara <i>part</i> produk dan manusia 2. Rekonstruksi bentuk <i>part</i> produk yang disesuaikan dengan kenyamanan aspek fisik pengguna. 3. Pemilihan material yang <i>suitable</i> terhadap kontak kulit secara langsung.
2.	Bentuk <i>socket</i> yang tidak menunjang aktivitas fisik pengguna lengan prostetik.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Melakukan riset dan studi literatur terkait struktur/rancang <i>socket</i> yang <i>compatible</i> terhadap biomekanika lengan. 2. Identifikasi bentuk geometris pada <i>socket</i> yang menunjang aktivitas fisik. 3. Pengujian rancangan <i>socket</i> dengan mempertimbangkan kondisi pemakaian produk.

I.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan pemaparan pada latar belakang penelitian, adapun sejumlah rumusan masalah yang bertujuan untuk memberikan kejelasan dan arah terhadap solusi permasalahan, diantaranya:

1. Bagaimana rancangan *socket* lengan prostetik pada pasien disabilitas *transradial* dapat dilakukan melalui metode *reverse engineering*?
2. Bagaimana implementasi rekonstruksi *socket* pada lengan prostetik yang dapat diterapkan dengan mempertimbangkan aspek interaksi fisik dan kondisi pemakaian kepada pengguna produk?

I.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, terdapat sejumlah batasan yang ditujukan untuk memperjelas masalah yang diangkat dan memfokuskan jangkauan pembahasan sehingga menjadikan penelitian ini dapat lebih terarah, diantara batasan tersebut:

1. Rancangan *socket* lengan prostetik dalam penelitian ini hanya diperuntukan pada kondisi pasien amputasi *transradial*.
2. Hasil rancangan *socket* lengan prostetik tidak ditujukan pada kasus dimana pasien mengalami amputasi akibat kanker, diabetes, atau kondisi lainnya yang memerlukan tindakan lebih lanjut oleh ahli medis.
3. Pengujian dan evaluasi rancangan disimulasikan secara *computer generated* melalui *software* Solidworks 2022.

I.5 Tujuan Tugas Akhir

Adapun tujuan dalam penelitian ini yang merupakan capaian yang dihasilkan dari penelitian dan output yang akan diperoleh dari proses perancangan *socket*, sebagai berikut:

1. Melakukan rekonstruksi desain dan struktur *socket* pada lengan prostetik melalui pendekatan rekayasa balik atau *reverse engineering* guna tercapainya *design improvement*.
2. Mengidentifikasi wujud fisik rancangan *socket* pada lengan prostetik dengan pertimbangan biomekanika lengan pengguna melalui pendekatan rekayasa balik.

3. Mengevaluasi hasil rancangan perbaikan melalui serangkaian simulasi pada kondisi pemakaian *socket* pada lengan prostetik.

Tujuan penelitian tersebut ditetapkan guna tercapainya hasil rancangan yang sesuai terhadap kriteria pada setiap butir tujuan, sehingga penelitian ini mampu memberikan manfaat kepada pemangku kepentingan yang terlibat.

I.6 Manfaat Tugas Akhir

Dengan dilakukannya rancang ulang pada *socket*, adapun beberapa manfaat yang diharapkan dapat dirasakan oleh pihak yang terlibat sebagai dampak tercapainya tujuan rancangan pada *socket*. Di antara pihak yang merasakan manfaat tersebut dapat berasal dari pengguna produk maupun pengembang produk serupa. Dengan tercapainya hasil rancangan *socket*, maka sejumlah manfaat yang diperoleh pada penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Manfaat bagi pengguna produk:
 - a. Rancangan perbaikan lengan prostetik diharapkan dapat bekerja sesuai mekanisme pada anatomi lengan manusia.
 - b. Meningkatkan produktivitas kepada pengguna lengan prostetik dalam kehidupannya sehari-hari.
 - c. Memberikan rasa kenyamanan dan menghindari cedera dan iritasi terhadap permukaan kulit pengguna pada pemakaian jangka panjang.
2. Manfaat bagi perancang atau pengembang produk:
 - a. Perancang dapat memahami improvisasi struktur fisik *socket* pada produk lengan prostetik *transradial*.
 - b. Hasil rancangan diharapkan mampu mengemukakan informasi yang dapat mempertimbangkan pengembangan produk serupa di masa yang mendatang.
 - c. Evaluasi penelitian dapat menjadi pembahasan yang berguna untuk studi banding pada produk prostetik lainnya.

I.7 Sistematika Penulisan

Penyusunan penelitian ini meliputi sistematika penulisan sebagai struktur yang menjadi acuan urutan penulisan guna merampungkan tugas akhir. Adanya sistematika penulisan ini juga ditujukan untuk mempermudah penyampaian penelitian dengan menyusun pembahasan melalui bagian bab sebagai berikut:

1. BAB I Pendahuluan

Bagian pertama dari penelitian ini berisikan tentang latar belakang penelitian yang diikuti oleh rumusan masalah dan tujuan perancangan yang menjadi suatu bagian fundamental yang menggagas mengapa perancangan produk harus dilakukan. Selain itu, bagian ini berisi tentang manfaat penelitian yang dijelaskan baik itu dari sudut pandang peneliti maupun pengguna. Dengan konteks tersebut, bagian pendahuluan pada penelitian ini menjadi suatu pengantar yang mengawali pembahasan guna memberikan pemahaman kepada pembaca.

2. BAB II Landasan Teori

Dalam pembahasan bab ini, sejumlah tinjauan teoritis diuraikan dalam bentuk paragraf terkait definisi, konsep, dan pemahaman tentang konteks permasalahan yang diangkat. Landasan teori memberikan pandangan umum tentang acuan ilmiah terkait masalah yang dibahas pada proses perancangan. Dengan adanya landasan teori, penelitian dapat diperkuat melalui pengembangan cabang-cabang pengetahuan yang terlibat dalam proses perancangan.

3. BAB III Metodologi Perancangan

Pada bab ini terdapat pemaparan sistematika penelitian serta penjelasan mengenai setiap aktivitas yang dilakukan selama perancangan berlangsung. Selain itu, adapun diagram alir yang memberikan gambaran tentang bagaimana proses perancangan dilakukan dari tahap pendahuluan hingga tahap penarikan kesimpulan.

Di dalam bab ini, juga memuat tentang penjelasan dari setiap tahap dalam perancangan. Selain itu, pada bagian ini juga menjelaskan beberapa elemen sistem terintegrasi yang terlibat dalam penelitian.

4. BAB IV Perancangan Sistem Terintegrasi

Bagian ini memaparkan proses perancangan inti dalam penelitian seperti proses pembuatan desain melalui sketsa, pembentukan model solid dengan perangkat lunak, dan penyusunan *prototype*. Dalam proses perancangan tersebut, terdapat sejumlah iterasi *problem solving* yang memuat bagaimana geometris *socket* dihasilkan. Pada bab ini pula, elemen-elemen sistem integrasi diimplementasikan dalam proses perancangan guna tercapainya optimasi yang diekspektasikan terhadap output yang dihasilkan dari penelitian.

5. BAB V Analisis Hasil dan Evaluasi

Pada bab ini, hasil dari perancangan yang telah didapatkan pada bab sebelumnya akan mengalami evaluasi guna memastikan rancangan tersebut sesuai dengan kriteria verifikasi dan validasi dalam memenuhi kebutuhan pengguna produk. Proses pengujian atau *testing* dilakukan dengan merekayasa interaksi produk terhadap kondisi pemakaian produk, yang mana pada proses tersebut terdapat sejumlah input dan parameter tertentu.

6. BAB VI Kesimpulan dan Saran

Bagian penutup berisikan kesimpulan yang meringkas hasil akhir pada penelitian yang telah dilakukan. Penarikan kesimpulan meliputi ikhtisar dari analisis dan pembahasan masalah yang telah dilakukan pada bab sebelumnya menjadi suatu paragraf yang menjawab tujuan dari permasalahan yang telah ditetapkan pada bab pertama. Pada bagian ini juga memuat saran penelitian yang diberikan oleh penulis sebagai rekomendasi dan pesan terkait penelitian yang dilakukan penulis.

BAB II LANDASAN TEORI

II.1 Desain dan Pengembangan Produk

Dalam perancangan sebuah produk, adapun salah satu elemen penting yang melekat pada produk yaitu berupa desain, dimana desain mengambil peran penting dalam memberikan *value* pada produk tersebut. Sementara itu jika ditinjau dalam proses penciptaannya, umumnya semua produk akan mengalami suatu proses pengembangan, yang mana proses tersebut berisikan aktivitas-aktivitas yang bertujuan merealisasikan produk yang berawal dari perencanaan hingga produk tersebut direalisasikan. Penjelasan yang lebih spesifik mengenai definisi desain dan pengembangan produk akan dijelaskan pada paragraf di bawah sebagai berikut.

II.1.1 Definisi Desain

Desain merupakan suatu ide dalam melihat produk-produk secara pribadi yang berputar di sekitar individualitas, kemandirian pemikiran, refleksi dan empati yang melibatkan penjelajahan pasar dalam rangka melihat kebutuhan orang lain (Morris, 2009). Dalam hal ini, desain dapat diartikan sebagai sebuah pemikiran dalam menyusun elemen-elemen terbaik yang dibutuhkan dan digunakan dalam menyempurnakan proses sesuatu dengan tujuan tertentu. Desain yang baik akan memperhatikan elemen-elemen yang menghasilkan kualitas fungsi yang baik tergantung pada sasaran dalam mendesainnya. Dengan desain, kemudahan dalam komunikasi dan penyampaian informasi menjadi lebih atraktif baik dari segi fisik maupun visual.

Dari segi fungsi, sebuah desain memiliki makna penting dalam memberikan pemahaman terhadap suatu objek kepada orang yang disampaikannya. Dalam proses mendesain diperlukan suatu tujuan akhir dalam meningkatkan produktivitas, keselamatan, kenyamanan dan kualitas yang diperoleh (Setyawan, 2011).

Dengan demikian, implementasi sebuah desain juga dapat berdampak pada suatu benda, dimana Kotler dan Keller (2012) menjelaskan bahwa, desain merupakan suatu keseluruhan dari produk yang mempengaruhi bagaimana produk tersebut terlihat, terasa, dan berfungsi kepada seorang *customer*. Pengaruh desain tersebut tidak luput dari adanya beberapa aspek yang terdapat pada benda atau produk, sehingga Kotler dan Keller (2012) memaparkan sejumlah aspek-aspek dari desain dalam sebuah produk sebagai berikut:

1. Bentuk serta penampilan fisik yang terdapat pada suatu benda.
2. Fitur yang memberikan keistimewaan dan sesuai dengan pertimbangan pasar.
3. Mutu yang sesuai dengan standar dan spesifikasi yang diinginkan.
4. Daya untuk bertahan terhadap tuntutan pemakaian.
5. Keandalan untuk dapat digunakan dalam jangka waktu tertentu.
6. Gaya yang menjadi suatu ketertarikan yang menyempurnakan suatu produk.
7. Kemudahan untuk diperbaiki jika produk mengalami kerusakan.

II.1.2 Pengembangan Produk

Perancangan dan pengembangan produk merupakan suatu urutan langkah atau sejumlah kegiatan dimana suatu perusahaan berupaya dalam menyusun, merancang, dan mengkomersialkan suatu produk, dimana produk tersebut tidak hanya terbatas pada produk yang berwujud fisik namun juga produk yang tidak memiliki wujud fisik seperti jasa (Ulrich dan Eppinger, 2020). Dalam definisi yang lebih umum, pengembangan produk dapat diartikan sebagai suatu rangkaian aktivitas yang dimulai dari analisis persepsi dan peluang pasar, yang selanjutnya diakhiri dengan tahap produksi, penjualan, dan pengiriman produk. Dalam proses pengembangan produk, menurut Ulrich dan Eppinger (2020) jenis proyek pengembangan dapat diklasifikasikan menjadi empat tipe, di antaranya sebagai berikut.

1. Platform Produk Baru

Pengembangan produk yang bertujuan untuk merancang *product family* baru sehingga produk tersebut dapat dikelompokkan dan dapat digabungkan dengan produk baru berdasarkan platform baru.

2. Turunan dari Platform Produk Eksisting

Pengembangan produk yang ditujukan guna memperpanjang platform dengan perbaikan produk sehingga produk lebih bisa menembus pasar..

3. Perbaikan Produk Eksisting

Pengembangan produk berupa menambah atau memodifikasi detail dari produk eksisting dalam rangka mempertahankan produk dari kompetitornya

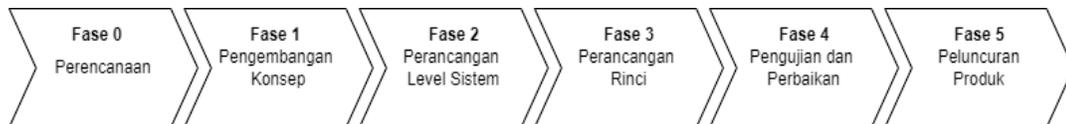
4. Produk yang pada Dasarnya Baru

Pengembangan produk untuk menciptakan produk berbeda atau unik yang belum pernah beredar di pasar sebelumnya.

II.1.2.1 Tahapan Pengembangan Produk

Menurut Ulrich dan Eppinger (2020) Proses pengembangan produk dapat didefinisikan sebagai suatu urutan dan langkah-langkah perubahan sejumlah input menjadi sejumlah output. Definisi lainnya tentang tahapan pengembangan produk menurut Ginting (2010) yaitu perancangan produk merupakan serangkaian aktivitas yang berurutan dan oleh sebab itu disebut sebagai proses perancangan produk.

Pada pelaksanaannya proses pengembangan produk dapat melibatkan beberapa fase, yang mana menurut Ulrich dan Eppinger (2020) mengenai proses pengembangan produk umumnya dapat dilakukan pada 6 tahapan yang dapat diurutkan dari fase ke-0 hingga fase ke-5, sebagai berikut:



Gambar II.5 Tahapan Perancangan dan Pengembangan Produk (Ulrich & Eppinger, 2020)

a. Fase 0

Tahapan yang dilakukan pada fase nol atau yang dikenal dengan *zero fase* ini, merupakan proses dimana *statement* misi dibuat dan disepakati sebelum proses pengembangan produk dimulai.

b. Fase 1

Memasuki konsep fase satu ini, dilakukan suatu pengembangan konsep dimana ditetapkannya *customer* dan target market dengan melalui proses identifikasi. Pada tahap ini juga dilakukan sejumlah uji coba dan pengembangan terhadap beberapa alternatif yang nantinya akan dievaluasi

c. Fase 2

Pada tahap ini proses perancangan di level sistem kegiatan yang dilakukan berupa membangun arsitektur produk, dimana adanya dekomposisi pada produk menjadi sejumlah elemen fungsional dan digambarkannya rakitan akhir dari pembuatan produk.

d. Fase 3

Pada fase ini dilakukan perancangan kegiatan yang lebih rinci dimana segala hal yang mencakup spesifikasi produk seperti material yang digunakan, dan toleransi-toleransi pada komponen yang ada di produk.

e. Fase 4

Di dalam tahapan ini, proses pengujian (*testing*) dan perbaikan dilakukan dengan melibatkan berbagai konstruksi dan evaluasi dari segala versi awal produk yang diproduksi.

f. Fase 5

Pada fase ini, peluncuran produk dilakukan dimana produk tersebut akan mengalami produksi awal. Selama produksi awal berjalan, produk-produk akan mengalami penyesuaian dengan keinginan *customer* dan nantinya diperlukan secara kehati-hatian saat mengevaluasi guna mengidentifikasi kekurangan-kekurangan yang mungkin timbul.

II.1.2.2 Perancangan Rinci pada Fase Pengembangan Produk

Menurut Ulrich dan Eppinger (2020) menyatakan bahwa tahap desain rinci mencakup spesifikasi yang lebih lengkap lengkap mulai dari geometri, bahan yang dilibatkan pada produk, dan toleransi pada semua bagian yang unik dalam produk serta dilakukannya identifikasi terhadap semua suku cadang standar yang akan dibeli dari *supplier*. Pada tahap ini, segala perencanaan yang telah ditetapkan pada awal dibuat dengan detail dan perkakas guna melengkapi rancangan pada setiap *part* yang akan diproduksi. Dari fase ini, diharapkan adanya output yang dihasilkan berupa dokumentasi yang dapat mengontrol produk, baik berupa gambar maupun file komputer yang berisi tentang penjelasan geometri dari setiap bagian yang diproduksi.

Pada perancangan detail, tidak luput dilakukan spesifikasi terhadap kebutuhan suku cadang yang akan dibeli serta mengemukakan rencana terhadap proses yang sesuai untuk fabrikasi dan perakitan produk. Ulrich dan Eppinger (2020) juga menyebutkan pada fase perancangan rinci, terdapat tiga masalah yang dinilai penting untuk dipertimbangkan selama proses pengembangan produk berjalan yang harus selesai pada fase ini, diantaranya adalah pemilihan material, biaya produksi, dan kinerja yang kokoh (*robust performance*).

Dalam prosesnya, desain detail pada komponen merupakan sesuatu yang sangat paralel, dikarenakan banyaknya kelompok pengembangan yang bekerja sama sekaligus yang umumnya secara terpisah. Selain itu, pada perancangan rinci diperlukan pengelolaan interaksi di seluruh komponen dan subsistem. Aktivitas pengujian (*testing*) dan penyempurnaan pada tahap ini tidak hanya mencakup integrasi antar komponen dan sistem, namun juga adanya validasi ekstensif dari seluruh *level*.

II.1.2.3 Arsitektur Produk

Ulrich dan Eppinger (2020) mendefinisikan arsitektur produk sebagai suatu penugasan elemen-elemen fungsional dari sebuah produk ke blok bangunan fisik produk. Sehingga dengan perancangan arsitektur produk, suatu produk dapat ditinjau dari segi fungsional maupun segi fisik. Ulrich dan Eppinger (2020) juga menjelaskan bahwa elemen fungsional dari sebuah produk merupakan suatu operasi dan transformasi secara individu yang memiliki kontribusi pada kinerja produk secara utuh. Dalam sebuah produk, elemen-elemen fisik dapat dikelompokkan ke dalam beberapa bagian blok-blok bangunan, umumnya bagian tersebut disebut sebagai *chunks*. Setiap *chunks* dapat tersusun atas sejumlah kumpulan komponen yang mengimplementasikan fungsi produk. Arsitektur produk sendiri dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis modularitas, sebagaimana yang disebutkan Ulrich (2020) bahwa terdapat tiga jenis, yaitu slot, bus, dan sectional sebagai berikut:

1. Arsitektur slot-modular

Setiap antarmuka pada chunk dalam kategori arsitektur slot-modular memiliki tipe yang berbeda satu sama lain, sehingga setiap jenis chunk dalam produk tidak dapat dipertukarkan.

2. Arsitektur bus-modular

Dalam arsitektur bus-modular, ada bus umum yang menghubungkan potongan lainnya melalui jenis antarmuka yang sama

3. Arsitektur sectional-modular

Dalam arsitektur sectional-modular, semua antarmuka memiliki tipe yang sama, tetapi tidak ada elemen tunggal yang dilampirkan semua potongan lainnya. Perakitan dibangun dengan menghubungkan potongan satu sama lain melalui antarmuka yang identik.

II.2 Ergonomi dalam Perancangan Produk

Istilah Ergonomi berasal dari Bahasa Yunani yang memiliki arti ergos berarti “kerja”, dan nomos berarti “kajian” atau “hukum-hukum” (Karwowski, 2006). Hal ini secara tidak langsung dapat didefinisikan sebagai bentuk hukum-hukum atau kajian ilmu yang diterapkan dalam suatu pekerjaan, dengan memperhatikan aspek psikologi, fisiologi, engineering, dan perancangan yang dapat diterima dalam batas dan keadaan tertentu. Menurut (Bridger, 2003), Penerapan ergonomi dalam desain sistem harus dapat membuat sistem bekerja menjadi lebih baik dengan menghilangkan aspek fungsi sistem yang tidak diinginkan, tidak terkendali, atau tidak diperhitungkan seperti:

1. Inefisiensi, ketika upaya pekerja menghasilkan suatu output yang kurang optimal
2. Fatigue, kelelahan yang dilakukan atau dirasakan saat sistem atau produk digunakan
3. Kecelakaan, cedera, dan kesalahan karena salahnya perancangan yang dapat menyebabkan hal yang tidak diinginkan bagi mental maupun fisik
4. Kesulitan pengguna saat menggunakan sistem atau produk.

Dalam kehidupan sehari-hari, masih banyak ditemukan produk yang tidak sesuai dengan pendekatan yang dilakukan secara ergonomi. Maka dari itu, pendekatan ergonomi sangat penting untuk dilakukan dalam merancang suatu produk agar pengguna dapat memperoleh kenyamanan dan keamanan dalam menggunakan produk tersebut. Pada perancangan produk ini, ergonomi memiliki peran penting. Dalam penelitian, perancangan produk ditujukan untuk mencapai tingkat utilisasi dan nyaman pengguna lengan prostetik yang mana hal ini selaras dengan yang dikemukakan oleh Nurmianto (1996) bahwa, suatu produk yang dirancang dalam desain produk haruslah mudah untuk digunakan oleh penggunanya, tanpa mengakibatkan resiko apapun kepada pengguna.

Dengan demikian, penerapan ergonomi dalam suatu produk maupun stasiun kerja memiliki dampak yang sangat penting dalam mendukung kesehatan dan keselamatan pihak yang terlibat. Dengan ergonomi, upaya meminimalkan resiko kecelakaan kerja dapat dicapai sehingga memberikan keuntungan pada setiap orang untuk dapat terhindar dari ancaman bahaya yang memberikan kerugian yang lebih besar.

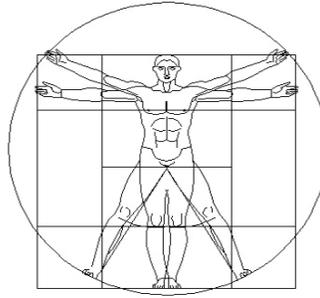
II.3 Prinsip Antropometri dalam Perancangan

Dengan keterlibatan elemen dimensi tubuh manusia dalam perancangan *socket*, maka prinsip antropometri atau pengukuran tubuh perlu diimplementasikan dalam penelitian. Dalam proses perancangan *socket*, peran antropometri memberikan dimensi yang sesuai terhadap ukuran model *socket* yang dibentuk. Model *socket* yang sesuai dengan ukuran antropometri penggunanya akan mereduksi segala faktor penyebab ketidaknyamanan.

Penerapan prinsip antropometri ini, nantinya akan dijadikan penentu struktur geometris *socket* pada saat proses modeling dilakukan. Dalam memahami prinsip antropometri tersebut, pembahasan yang lebih lanjut mengenai definisi antropometri dan faktor yang mempengaruhi pengukurannya akan dijelaskan sebagai berikut.

II.3.1 Definisi Antropometri

Istilah antropometri ini berasal dari kata “*anthropos*” yang berarti manusia dan “*metrikos*” yang berarti pengukuran. Antropometri dapat diartikan sebagai ilmu yang berkaitan dengan pengukuran dimensi tubuh manusia dengan mengaplikasikan karakteristik tertentu dari bentuk tubuh seperti tinggi, lebar, dan ukuran yang berbeda antara satu dengan lainnya (Pheasant & Haslegrave, 2015). Wickens, Becker, Liu, & Lee (2004) juga menyatakan bahwa data antropometri digunakan untuk mengembangkan perancangan dalam dimensi tinggi, ruang, genggam, dan jangkauan untuk stasiun kerja dan peralatan dengan tujuan untuk mengakomodasi dimensi tubuh dari potensi bahaya yang timbul kepada pengguna.



Gambar II.6 Proporsi tubuh manusia menurut Leonardo da Vinci (Panero dan Zelnik, 1979).

Pengukuran terhadap dimensi tubuh manusia sebelumnya telah dilakukan sejak lama yaitu pada awal abad ke-19 yang awalnya ilmu tersebut membahas tentang manusia meliputi aspek ukuran dan proporsi tubuh manusia yang disebut dengan antropologi. Kroemer et al., (1994) menyatakan bahwa antropometri pertama kali diperkenalkan oleh ahli statistik asal Belgia yang bernama Adolphe Quetelet yang melakukan penerapan statistik terhadap data antropologi. Pada saat ini keilmuan antropometri banyak dimanfaatkan dalam berbagai kebutuhan industri seperti rancangan kerja, fasilitas kerja, dan desain produk.

II.3.2 Faktor Penentu Pengukuran Antropometri

Data antropometri pada dasarnya dipengaruhi oleh ukuran tubuh manusia secara umum. Menurut Wignjosoebroto (1995) setidaknya ada beberapa faktor yang sebaiknya diperhatikan dalam mengambil data antropometri, antara lain:

1. Umur

Seiring bertambahnya umur, dimensi tubuh manusia akan tumbuh dan mengalami penambahan ukuran sejak fase kelahirannya hingga kisaran usia dua puluh tahun.

2. Jenis kelamin (*sex*)

Secara umum, perbedaan dimensi berdasarkan *gender* terletak pada ukuran laki-laki akan lebih besar jika dibandingkan dengan perempuan. Namun, adapun beberapa anggota tubuh yang dikecualikan yaitu seperti pinggul, dada dan sebagainya.

3. Ras atau suku bangsa (*ethnic*)

Pengaruh perbedaan etnis terhadap pengukuran antropometri secara luas adalah karakteristik fisik dari setiap ras yang berbeda beda satu dengan yang lainnya.

4. Posisi tubuh (*posture*)

Perubahan posisi atau postur tubuh saat pengukuran menyebabkan perbedaan hasil, sehingga sangat penting untuk menetapkan standar posisi tubuh sebelum pengukuran dilakukan.

II.4 Disabilitas dan Amputasi *Transradial*

Keterbatasan fisik seseorang dalam beraktivitas sehari-hari dikaitkan erat dengan istilah disabilitas, dimana keterbatasan tersebut dapat berupa hambatan dalam menggerakkan fisik maupun hambatan kemampuan kognitif. Salah satu kasus yang menyebabkan terjadinya disabilitas yaitu tindakan amputasi, yang mana jika amputasi tersebut terjadi pada lengan bawah maka disebut dengan istilah *transradial*. Penjelasan lebih lanjut mengenai definisi disabilitas dan kondisi amputasi *transradial* dapat dijelaskan sebagai berikut.

II.4.1 Definisi Disabilitas

Menurut Resolusi PBB Nomor 61/106 (2006), penyandang disabilitas merupakan setiap orang yang memiliki ketidakmampuan dalam menjamin oleh dirinya sendiri, baik secara menyeluruh atau sebagian, ataupun pada kebutuhan individu normal maupun kehidupan sosial sebagai hasil dari kecacatan mereka baik berasal dari bawaan maupun bukan serta dalam hal kemampuan fisik atau mentalnya.

Melalui definisi tentang disabilitas, dapat diartikan bahwa kondisi ini merupakan kelompok orang dengan keterbatasan fisik, intelektual, mental dan sensorik lingkungan dalam jangka waktu yang lama terhadap interaksi dengan lingkungannya, yang mana penyandang disabilitas umumnya mengalami hambatan dan kesulitan untuk dapat melakukan partisipasi secara efektif kepada masyarakat.

Ashar (2019) menyatakan bahwa disabilitas tidak hanya sekedar masalah kesehatan, namun merupakan fenomena kompleks serta mencerminkan interaksi antara seseorang dan masyarakat. Pengelompokan disabilitas menurut Reefani (2013) dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, diantaranya:

1. Disabilitas Mental

Merupakan keterbatasan atau gangguan fungsi pikir seperti kemampuan untuk mengendalikan emosi, berperilaku, dan gangguan pada mental lainnya.

2. Disabilitas Fisik

Keterbatasan yang menyebabkan terjadinya ketidakmampuan untuk bergerak seperti kelumpuhan dan gangguan fungsi alat gerak serta fisik lainnya.

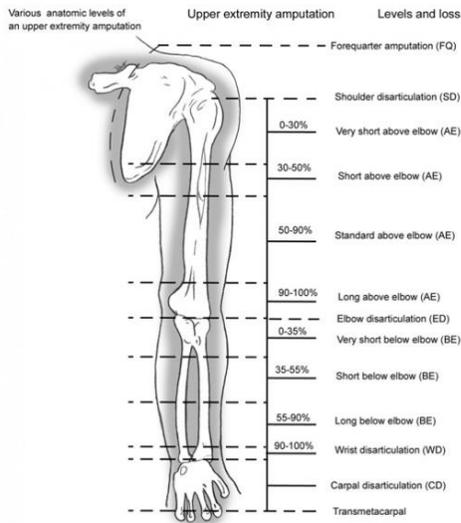
3. Disabilitas Ganda

Dapat didefinisikan sebagai gangguan yang dialami oleh penyandang disabilitas dengan kondisi lebih dari satu.

II.4.2 Tunadaksa Amputasi *Transradial*

Timby & Smith (2010) Menyatakan bahwa Amputasi dapat diartikan sebagai suatu penghilangan bagian dari anggota tubuh. Hal ini, bisa terjadi akibat oleh trauma maupun prosedur yang dilakukan untuk mengendalikan penyakit agar tidak menyebar ataupun kecacatan. Adapun salah satu kasus amputasi yaitu *transradial*, menurut Ouellette (1992) amputasi *transradial* dapat didefinisikan sebagai amputasi yang dilakukan pada tulang radius dan ulna.

Pada kasus *transradial* beberapa organ tubuh dapat dilibatkan, di antaranya adalah tangan dan lengan bawah. Dalam kasus ini, penyandang disabilitas kehilangan fungsi utama pada lengan seperti menggenggam, mengangkat, mendorong, dan interaksi lainnya yang melibatkan fungsi organ tersebut. Oleh sebab itu, pada kasus *transradial*, penggunaan produk prostetik menjadi sangat penting menimbang manfaatnya dalam menggantikan fungsi lengan. Berikut merupakan ilustrasi mengenai tingkat amputasi pada kasus *transradial*



Gambar II.7 Tingkat persentase amputasi pada ekstremitas atas

Dengan istilah yang lebih umum, amputasi *transradial* merupakan pengambilan bagian lengan yang berada pada area bawah siku. Amputasi *transradial* sekurangnya menyisakan 5 cm proksimal dari radius distal. Tindakan tersebut berakibat pasien akan mengalami kehilangan bagian dan fungsi lengan bawahnya. Secara medias, adapun beberapa tindakan yang umumnya dilakukan pada pasien amputasi, antara lain:

1. Penanganan preprostetik (*Preprosthetic management*)
2. Perawatan pasca operasi (*Postoperative care*)
3. Fitting prosthetic dan training (*Prosthetic fitting and training*)
4. Follow-up jangka panjang (*long-term follow-up care*)

Dari beberapa tindakan amputasi tersebut, pada umumnya terdapat kondisi yang memungkinkan dilakukannya suatu prosedur amputasi seperti berikut:

1. Penyakit yang menghambat sirkulasi darah dalam tubuh.
2. Penyakit atau cedera parah yang menyerang otot atau tulang.
3. Infeksi serius yang tidak dapat ditangani dengan antibiotik.
4. Penyakit progresif vaskular perifer
5. Menghentikan penyebaran tumor ganas.

II.5 Definisi Prostetik

Dalam buku *Standards for Prosthetics and Orthotics* yang diterbitkan oleh World Health Organization (2017) menyatakan bahwa pengguna jasa prostetik dan ortotik merupakan orang-orang yang berasal dari semua lapisan masyarakat yang memiliki gangguan atau keterbatasan fisik sebagai berikut:

1. Penyakit yang tidak menular, seperti diabetes, stroke, kanker dan penyakit pembuluh darah perifer.
2. Penyakit menular, seperti tuberkulosis, poliomielitis, dan borok Buruli.
3. Cedera yang disebabkan jatuh, kecelakaan lalu lintas, kecelakaan kerja, bencana alam, perang, dan konflik.
4. Perubahan degeneratif pada tulang belakang, pinggul, lutut, kaki, pergelangan kaki atau tungkai atas.
5. Anomali kongenital atau defisiensi ekstremitas.
6. Penyakit palsi serebral.

Merujuk pada pernyataan Hansen (2010) yang mendefinisikan prostetik sebagai suatu bidang medis yang berisikan ilmu teknik yang membahas tentang pengukuran, pembuatan, dan pemasangan suatu alat yang menggantikan bagian anggota gerak tubuh yang hilang. Definisi yang dipaparkan tersebut tidak mencakup pada pengganti beberapa organ seperti telinga, mata, gigi atau bagian tubuh lainnya, akan tetapi prostetik hanya diperuntukan pada bagian tubuh manusia yang berfungsi sebagai alat gerak.

Sementara itu menurut Sinaki (1993), prostetik dapat didefinisikan sebagai sebuah alat yang digunakan untuk menggantikan suatu bagian tubuh yang hilang. Definisi ini memiliki suatu ruang lingkup yang lebih luas mengenai alat pengganti pada kasus prostetik. Namun beberapa definisi tentang prostetik ini memiliki satu tujuan kepada penggunaannya, yaitu melengkapi fungsi maupun bentuk organ yang hilang.

II.6 Sistem Rekayasa berdasarkan Alurnya

Proses Rekayasa merupakan serangkaian proses perancangan, pembuatan, perakitan, dan pemeliharaan produk dan sistem. Berdasarkan tahapan alurnya, terdapat dua jenis rekayasa, diantaranya rekayasa maju dan rekayasa balik. Rekayasa maju adalah proses tradisional untuk berpindah dari abstraksi tingkat tinggi dan desain logis ke implementasi fisik suatu sistem. Dalam beberapa kondisi, sebuah produk sangat memungkinkan tidak memiliki detail teknis, seperti gambar, *Bill of Material*, atau data teknik.

Proses menduplikasi bagian, sub-rakitan, atau produk yang ada, tanpa gambar, dokumentasi, atau model komputer dikenal sebagai rekayasa balik. Rekayasa terbalik juga dapat didefinisikan sebagai proses memperoleh model geometris dari titik tiga dimensi yang diperoleh dengan proses pemindaian atau mendigitalkan produk yang ada. Proses digitalisasi tersebut menangkap entitas fisik komponen disebut sebagai *reverse engineering*, yang umumnya didefinisikan oleh para peneliti dengan tugas khusus yang berkaitan dengan hal tersebut (Motavalli & Shamsaasef 1996).

II.6.1 Rekayasa Balik (*Reverse Engineering*)

Reverse engineering adalah proses mengumpulkan geometris model ke wujud *CAD* melalui pengukuran yang diperoleh dengan teknik pemindaian kontak maupun non-kontak dari model fisik yang ada (Liang & Grier, 2000). Proses rekayasa balik sangat sering digunakan terhadap objek fisik, diantara penerapannya proses rekayasa balik digunakan jika kondisi desain asli suatu produk tidak mendukung atau tidak adanya dokumen yang memadai.

Rekayasa balik sering pula dijadikan suatu cara jika berkas *CAD* asli tidak dapat digunakan untuk keperluan modifikasi atau tidak memenuhi standar manufaktur. Dalam beberapa kasus, jika pabrik atau tempat produksi produk asli sudah tidak beroperasi atau tidak membuat produk yang sedang dibutuhkan.

Dalam hal pemeliharaan mesin, rekayasa terbalik dapat membantu jika terdapat komponen aus atau rusak, dimana dengan kondisi tidak adanya pemasok bagian mesin yang tersedia, dengan rekonstruksi rekayasa balik pula suatu perusahaan dapat menganalisis fitur produk pesaing, untuk meningkatkan performa atau fitur produk, kekurangan pada suku cadang, ataupun untuk melakukan *improvement* pada material yang usang dan proses manufaktur yang kuno.

Menurut Prasojo (2016) beberapa tahapan pada *reverse engineering* yang dapat diimplementasikan pada perancangan yaitu sebagai berikut:

1. Tahap Pembongkaran Produk (*Disassembly*)

Pada tahapan ini, proses pembongkaran atau *disassembly* pada produk dilakukan guna memperoleh data untuk perancangan kembali. Beberapa hal yang dapat diperoleh dengan melakukan pembongkaran diantaranya adalah:

- a. Memahami prinsip kerja dan mekanisme serta fungsi dari komponen yang ada.
- b. Mengetahui dimensi komponen dengan melakukan pengukuran. Adapun dua metode pengukuran yang umum diterapkan diantaranya, secara metode kontak dan metode non kontak.

2. Tahap penggabungan komponen (*assembling*)

Pada tahap ini dilakukan sejumlah aktivitas berupa menganalisa kemudahan pada saat proses *assembly*. Salah satunya dapat dilakukan kegiatan perakitan kembali yang dapat menjadi suatu penilaian tentang bagaimana sebuah komponen dapat dengan mudah atau tidak jika digabungkan kembali. Dengan demikian, pada tahapan ini merupakan perbandingan pemasangan produk guna meninjau kemudahan dan kesulitan proses pemasangan atau pelepasan, proses tersebut dinamakan studi banding (*benchmarking*).

Benchmarking sendiri merupakan suatu proses membandingkan sejumlah produk yang serupa untuk dapat dinilai mengenai kelebihan dan kelemahannya. Kegiatan membandingkan tersebut terdiri dari tahapan-tahapan sebagai berikut:

- a. Memilih produk dengan jenis yang sama.
- b. Membongkar bagian produk.
- c. Mendata fungsi komponen yang ada dalam produk.
- d. Mendata penggunaan material produk.
- e. Menilai kelebihan dan kekurangan produk.
- f. Menyusun hasil data yang diperoleh dalam bentuk tabel.
- g. Melaksanakan survei pasar dan mencari tahu respon *customer* terhadap produk.

3. Tahap Perancangan Produk Baru

Setelah tahapan sebelumnya telah dilakukan, maka perancangan produk baru dapat dimulai. Perancangan akan melibatkan data-data yang telah diperoleh dari proses sebelumnya. Proses perancangan pada metode reverse engineering dapat dibantu melalui penggunaan *software* desain yang menampilkan display produk dalam rupa tiga dimensi.

II.6.2 Rekayasa Balik dengan Bantuan Komputer (*Computer Aided Reverse Engineering*)

Pada awalnya, *Reverse Engineering* merupakan solusi untuk menyediakan suku cadang yang mengalami kerusakan atau aus tanpa adanya data teknis. Hal tersebut, memungkinkan terjadi apabila suku cadang tersebut diimpor tanpa informasi atau ketika gambar teknis yang dimiliki hilang. Rekayasa ulang atau rekayasa balik suku cadang tersebut menjadi pilihan yang lebih ekonomis jika dibandingkan dengan mengimpor ulang, tidak hanya dapat digantikan dengan cepat, namun juga memungkinkan dapat memproduksi suku cadang tambahan untuk mempertahankan produk dalam jangka waktu yang lebih lama.

Dengan adanya model permukaan berbasis komputer beberapa bidang sains dan teknik dapat terbantu, seperti pada desain dan produksi kendaraan, mobil dan pesawat terbang. Rekayasa balik juga menunjang pembuatan CAD guna pengujian dan simulasi yang lebih canggih serta mampu memprediksi perilaku produk. Umumnya, proses akuisisi secara *cloud* pada rekayasa balik dilakukan oleh perangkat pemindaian stasioner, seperti pemindai laser atau komputer tomografi. Setelah pengambilan beberapa data scan dari berbagai sisi atau dengan mengitari objek, titik sampel digabungkan menjadi satu titik *cloud*, yang mana permukaan akan direkonstruksi kembali. Metode rekonstruksi adaptif yang dihasilkan didasarkan oleh proses pengulangan sebagai berikut berikut (Pal et al., 2005):

1. Adanya batas awal yang melampirkan *cloud* titik asli partisi ruang, kemudian *set* dibentuk guna membagi setiap titik menjadi subtitik.
2. Membagi *mesh* yang lebih kasar dan mengadaptasi topologinya pada lokasi dimana titik telah dihapus.
3. Terakhir, pemetaan data secara lokal yang membatasi *mesh* menuju titik *cloud*, dimana semua simpul diproyeksikan ke bidang singgung lokal yang ditentukan oleh titik individu.

II.6.3 Penggunaan Perangkat Lunak SolidWorks 2022

SolidWorks adalah perangkat lunak yang berfungsi dalam pembuatan *computer-aided design* (CAD) dan *computer-aided engineering* (CAE) yang diterbitkan oleh Dassault Systèmes. SolidWorks 2022 merupakan *software* yang dikembangkan guna mempercepat proses pengembangan produk dari tahap pembuatan konsep hingga pada tahap proses manufaktur. Parameter pada perangkat lunak ini mengacu pada *constraint* yang nilainya menentukan bentuk atau geometri model. Parameter tersebut dapat berupa parameter numerik, seperti panjang garis atau diameter lingkaran, maupun parameter geometris, seperti garis singgung, paralel, konsentris, horizontal, vertikal, dan lainnya. Dalam penelitian ini SolidWorks 2022 memiliki keunggulan dalam proses penyelesaian desain sebagai berikut:

1. Proses kerja yang lebih cerdas.

SolidWorks 2022 berfungsi dalam menciptakan produk melalui langkah yang lebih singkat dan alur kerja yang lebih baik. Perangkat lunak SolidWorks memiliki sejumlah fitur dalam pembuatan rancangan dan perakitan suku cadang, gambar detail, simulasi, dan manajemen data produk. Selain itu, proses desain dapat didukung dengan beberapa *tools* seperti manajemen konfigurasi, pesan terintegrasi, toleransi geometrik, dan fitur pendukung lainnya.

2. Durasi kerja yang lebih cepat.

Perancangan melalui SolidWorks 2022 memungkinkan proses perancangan memerlukan waktu yang lebih cepat dalam pengerjaan desain pada rakitan besar, mengimpor file STEP, IFC, dan DXF/DWG, merinci gambar teknis, dan mengelola data produk. SolidWorks 2022 mengoptimalkan kinerja perakitan secara otomatis tanpa mengkhawatirkan mode dan pengaturan serta grafik dan lebih leluasa dengan respons kualitas tampilan.

II.7 Peran Implementasi Metode *Reverse Engineering* dalam Perancangan

Pemanfaatan alur rekayasa balik dalam proses perancangan *socket* lengan prostetik ditujukan guna tercapainya solusi terhadap permasalahan pada sejumlah aspek fisik penggunaan produk. Metodologi rekayasa balik dinilai sesuai dengan kriteria dan *output* perancangan melalui proses reka ulang pada bagian lengan bawah pengguna. Pemilihan metode ini mencakup sejumlah aspek perancangan sebagai berikut:

1. *Reverse Engineering* sebagai penunjang *design recovery*.

Dalam penelitian ini, proses *design recovery* merupakan salah satu cakupan rekayasa balik yang diadopsi guna memperoleh informasi mengenai bagaimana suatu objek dapat berkerja, yang kemudian informasi tersebut dapat dijadikan suatu tolak ukur dalam perancangan. Proses *recovery* memungkinkan terkumpulnya informasi fungsional mengenai suatu produk.

2. *Reverse Engineering* sebagai konversi data fisik menjadi data digital.

Adapun peran lainnya dari metode rekayasa balik, yaitu berupa proses perubahan data guna dilakukannya proses perancangan secara digital. Pengambilan ukuran fisik baik secara kontak maupun non kontak dilakukan guna diperolehnya data yang dapat diproses pada *software* CAD. Proses konversi ditujukan guna merubah ukuran fisik tersebut menjadi suatu ukuran diskrit yang dapat dimodifikasi dalam suatu platform perancangan digital.

BAB III METODOLOGI PERANCANGAN

III.1 Sistematika Perancangan

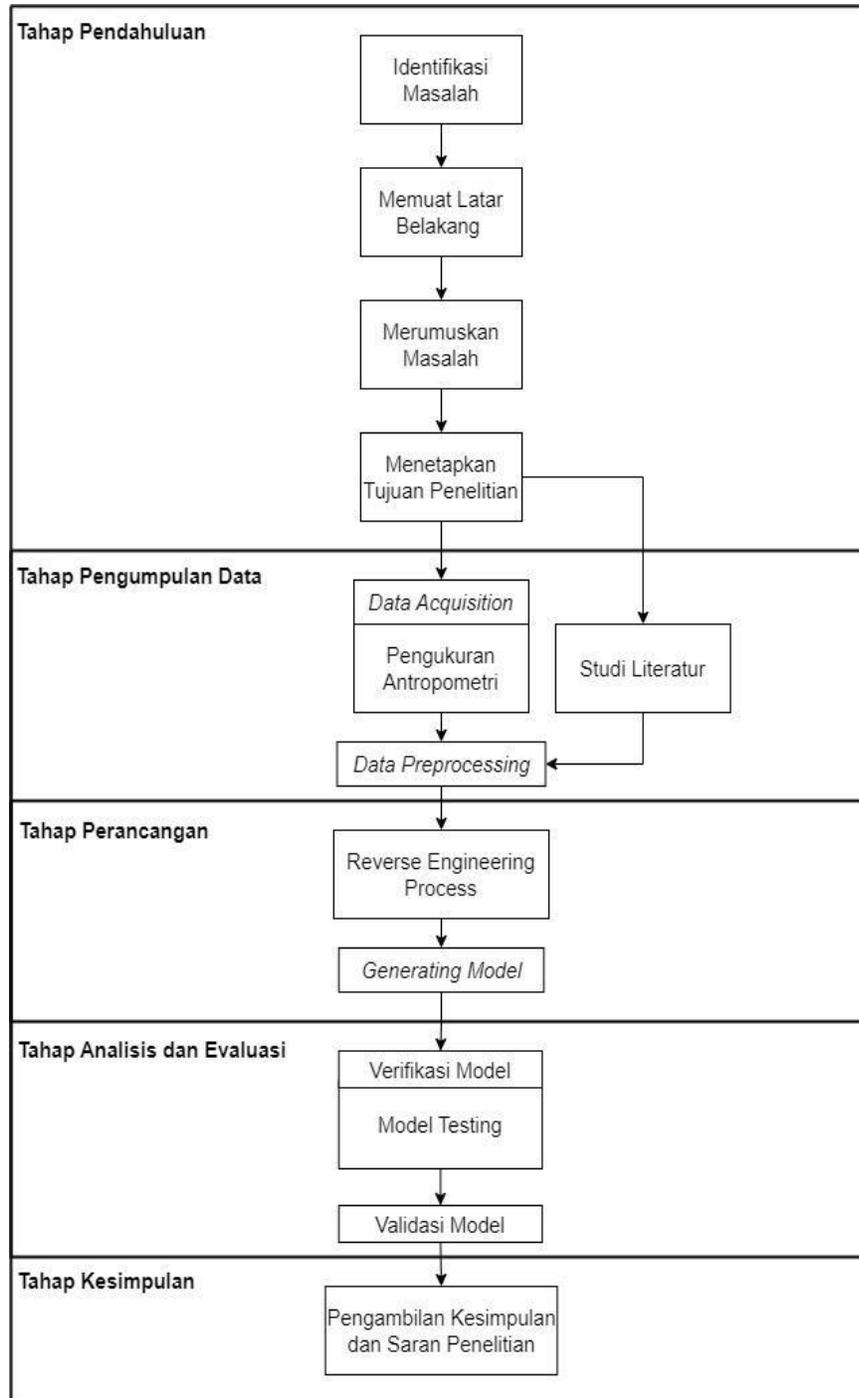
Dalam sistematika perancangan, bagian ini menjelaskan tentang alur dan proses yang dilibatkan dalam penelitian. Proses perancangan *socket* dalam penelitian ini melibatkan lima tahapan yang menyusun kerangka penulisan dalam penelitian ini. Lima tahapan tersebut meliputi sebagai berikut:

3. Tahap Pendahuluan
4. Tahap Pengumpulan Data
5. Tahap Perancangan
6. Tahap Analisis dan Evaluasi
7. Tahap Penarikan Kesimpulan

Pada tahap awal, merupakan pendahuluan penelitian yang merupakan penjelasan fundamental mengenai dilakukannya perancangan pada objek penelitian. Dilanjutkan pada tahap kedua, yang berisikan tentang keterlibatan teori yang terdapat pada proses perancangan. Setelah teori landasan dijelaskan, pada tahap berikutnya model dan kerangka penelitian disusun guna membangun alur penyelesaian masalah. Setelah segala teori yang berkaitan dikemukakan, berikutnya merupakan proses inti dari penelitian yaitu berupa perancangan *socket* melalui metode rekayasa balik guna membangun ulang bentuk *socket*.

Dengan diperolehnya hasil rancangan *socket*, maka selanjutnya merupakan tahap evaluasi yang ditujukan untuk meninjau kinerja pada hasil rancangan. Hasil evaluasi tersebut akan menjadi suatu penentu terhadap kelayakan rancangan *socket* yang telah diperoleh. Sebagai bagian penyelesaian pada penelitian, maka pada tahap terakhir merupakan pengambilan kesimpulan terhadap pembahasan dan analisis yang telah dilakukan selama proses perancangan berlangsung.

Dalam memahami secara detail mengenai penjabaran tahapan-tahapan penelitian, selanjutnya akan ditampilkan diagram alir penelitian.



Gambar III.8 Diagram Alir Penelitian

III.1.1 Tahap Pendahuluan

Tahap pendahuluan merupakan bagian dimana masalah dalam penelitian diidentifikasi yang dijelaskan melalui pemaparan latar belakang guna mengetahui sebab akibat dilakukan penelitian. Sebagai bagian pengantar penelitian yang bertujuan untuk memahami maksud dilaksanakannya perancangan, maka pada bagian ini terdapat rumusan masalah sebagai suatu acuan dan pemberi arah terhadap bagaimana solusi permasalahan harus diselesaikan.

Selain itu, adapun tujuan penelitian yang mengungkapkan target yang hendak dicapai dalam penelitian dan memberikan kejelasan mengenai maksud dari dilakukannya penelitian ini. Adapun dampak implementasi dari tujuan penelitian ini pada pihak-pihak yang terlibat, yang mana hal tersebut dijelaskan pada bagian manfaat penelitian.

III.1.2 Tahap Pengumpulan Data

Kegiatan pada tahap pengumpulan data meliputi aktivitas *data acquisition* yang berkaitan dengan observasi dan pengukuran lengan pasien ataupun penyandang tuna daksa guna memperoleh parameter dimensi model *socket* saat data dikonversi ke dalam format CAD. Tahap ini melibatkan beberapa proses *Data Acquisition* sebagai berikut:

1. Persiapan Instrumen dan Alat Ukur.

Kegiatan pengukuran memiliki peran yang sangat penting dalam menentukan dimensi pada perancangan model *socket*. Dengan demikian diperlukan beberapa persiapan dalam memperoleh data pengukuran tersebut, diantaranya adalah pemilihan instrumen ukur. Dalam lingkup pengukuran yang berfokus pada tubuh manusia, maka sejumlah instrumen seperti *tape measurment*, *vernier calipers*, dan penggaris dimanfaatkan guna memperoleh data antropometri.

Beberapa instrumen tersebut dipilih dengan alasan, bahwa *tape measurment* mampu mengikuti kontur dari permukaan badan sehingga memudahkan proses pengambilan data. Proses pengukuran meliputi beberapa tahap seperti membersihkan instrumen ukur dan residual lengan dengan lap antiseptik. Kemudian, responden diminta untuk memposisikan lengan guna memudahkan alat ukur seperti *tape measurment* untuk dapat menyesuaikan lingkaran lengan. Alat ukur lainnya yang digunakan adalah *vernier calipers* yang bertujuan untuk mengetahui ukuran diameter terbesar dan terkecil pada lengan. Pejelasan detail mengenai alat dan instrument serta nilai ketidakpastian pada hasil pengukurannya dapat dilihat di lampiran pertama pada lembar bagian belakang tugas akhir.

2. Pelaksanaan Pengambilan Data

Pengambilan data pengukuran antropometri dilakukan pada penyandang disabilitas *transradial* yang memenuhi kondisi adanya amputasi pada bagian lengan bawah. Pengukuran dilakukan pada salah satu organisasi amal yang bergerak pada bidang peduli disabilitas di Kota Batam dengan latar pelaksanaan sebagai berikut:

Alamat : Kompleks Mega Legenda, Ruko C6.18, Batam
Tanggal : Jumat, 16 September 2022.
Waktu : 15.50 WIB
Usia Responden : 43 tahun

Penentuan lokasi pengambilan data didasari oleh kemudahan akses tempat dan faktor transportasi yang memadai, selain itu adapun pertimbangan lainnya yaitu berupa proses perizinan yang lebih mudah. Pelaksanaan pengukuran diawali melalui proses persiapan alat ukur, yang selanjutnya responden diberikan instruksi untuk mengatur posisi duduk dan menyesuaikan penempatan residual lengan sesuai bagian yang akan diukur (posisi residual lengan lurus ke depan dan posisi lengan dalam keadaan lateral). Kemudian, sejumlah data berupa ukuran lengan diambil sesuai keperluan input pada proses pemodelan, setelah keperluan data tersebut sudah kolektif maka akan dilanjutkan ke tahap berikutnya yaitu *preprocessing*.

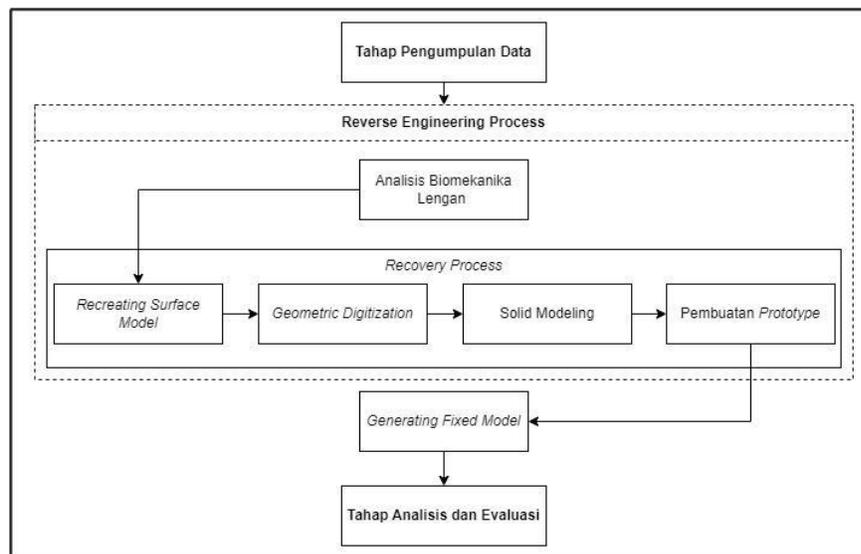
3. *Preprocessing* Hasil Pengukuran

Data antropometri yang telah diperoleh akan mengalami *preprocessing* sebelum nantinya dapat dijadikan input pada perangkat lunak saat proses perancangan sebagai berikut:

- a. Menyeleksi data yang akan diinput ke dalam *software* perancangan.
- b. Mengklasifikasikan data antropometri ke dalam bentuk tabel/matriks yang menyusun data pengukuran berdasarkan bagian anatomi lengan.
- c. Transformasi data pengukuran menjadi dimensi-dimensi pada *software* perancangan yang digunakan.

III.1.3 Tahap Perancangan

Di tahap ini, data antropometri yang telah didapatkan pada tahap sebelumnya akan mengalami proses translasi menjadi menjadi model tiga dimensi melalui CAD. Dalam tahap ini pula pendekatan *reverse engineering* dilakukan dengan tujuan tercapainya model *socket* alternatif yang sesuai pada kasus prostetik *transradial* dalam penelitian ini.



Gambar III.9 Diagram alir *reverse engineering* pada tahap perancangan

Perancangan yang dilakukan pada penelitian ini mengarah pada rekayasa balik yang berfokus pada *design recovery*, sehingga ruang lingkup rancangan akan lebih banyak membahas bagaimana sebuah *socket* dihasilkan melalui proses pemulihan desain guna menggantikan peran lengan bawah pengguna produk prostetik. Dengan demikian, tahap perancangan ini melibatkan beberapa praktis pada rekayasa balik yang umum dilakukan untuk merekonstruksi kembali lengan bawah sebagai berikut.

1. *Recreating Surface Model*

Proses pertama yang dilakukan dalam merubah bentuk *socket* berupa merancang ulang bentuk permukaan *socket*. Sebagai bagian terbesar dan terluar dari *socket* maka sejumlah desain permukaan harus dipertimbangkan yang kemungkinan akan terdapat beberapa iterasi dalam menemukan desain yang sesuai. Pada proses awal perubahan bentuk ini akan diilustrasikan melalui sketsa sebelum *solid modeling* dilakukan guna menghindari pengulangan modeling pada *software* yang dinilai tidak efisien.

2. *Geometric Digitization*

Dalam metodologi *reverse engineering software* memainkan peran penting dalam proses perancangan, sehingga pada proses *geometric digitization* model fisik akan dikonversi menjadi model digital melalui proses digitalisasi. Sehingga nantinya, proses rekayasa dan manipulasi bentuk dapat dengan mudah diubah secara digital.

3. *Solid Modeling*

Solid modeling merupakan proses dimana dilakukannya rekayasa pembuatan bentuk objek, proses ini adalah bagian dari metode *reverse engineering* yang memanfaatkan CAD maupun *software* desain tiga dimensi lainnya guna mendapatkan model atau desain yang diinginkan. Pada penelitian ini, *solid modeling* akan dilakukan dengan bantuan *software* SolidWorks 2022 guna

membangun bentuk *socket* yang telah diilustrasikan melalui sketsa pada tahap pembuatan *surface model*.

4. Pembuatan *Prototype*

Selama proses perancangan berlangsung *prototype* digunakan sebagai model sementara untuk melihat jika masih ada perbaikan yang perlu dilakukan. Dengan adanya *prototype*, visual dari hasil rancangan akan terlihat lebih jelas dan dapat berinteraksi guna uji coba sebelum rancangan akhir ditetapkan. *Prototype* juga memudahkan proses perubahan rancangan sebagaimana jika suatu saat model perlu direvisi, adapun manfaat pembuatan *prototype* menurut Bohmer et al. (2017) menyatakan bahwa ketidakpastian dapat berkurang secara berulang dan perubahan yang mungkin terjadi dapat dipertimbangkan selama perancangan berlangsung. Oleh sebab itu, dengan adanya *prototype* adaptasi perbaikan lebih mudah diimplementasikan meskipun dalam proses yang iteratif.

III.1.4 Tahap Analisis Evaluasi

Memasuki tahap ketika produk telah melalui proses perancangan, maka selanjutnya proses evaluasi dilakukan guna memastikan bahwa *socket* yang telah dirancang memenuhi beberapa kriteria verifikasi yang menjadi capaian dalam proses perancangan. Dalam tahap evaluasi, performa *socket* yang telah mengalami proses perbaikan akan ditinjau melalui serangkaian pengujian model (*model testing*). Pengujian tersebut bertujuan guna meninjau bagaimana *behavior socket* terhadap pengaruh fisik yang diberikan baik oleh penggunanya maupun faktor eksternal lainnya.

Proses pengujian ini didasari oleh beberapa kriteria perancangan *socket* yang berkaitan dengan beberapa aspek fisik pada penggunaan produk yang secara langsung berasal dari pemakai *socket*, seperti tegangan geser, tekanan, temperatur, dan fluktuasi volume. Sejumlah aspek itu merupakan faktor umum yang menyebabkan pengguna *socket* mengalami ketidaknyamanan saat menggunakan

produk tersebut. Dengan proses evaluasi ini, diharapkan tinjauan terhadap kelayakan hasil rancangan dapat dikemukakan.

III.1.5 Tahap Penarikan Kesimpulan

Tahap terakhir yang dilakukan dalam penelitian ini berupa pengambilan kesimpulan akhir terkait masalah dan solusi yang telah diuraikan pada tahap-tahap sebelumnya, sehingga pada tahap ini akan dibentuk suatu paragraf yang mampu menjawab tujuan penelitian yang memaparkan solusi dan penyelesaian masalah. Dengan demikian, solusi perancangan *socket* pada lengan prostetik yang diangkat sebagai masalah dalam tahap pendahuluan dapat dijawab melalui pemaparan ikhtisar di bagian akhir penelitian.

Sebagai tahap penutup, adapun paragraf saran penelitian yang merupakan pandangan dan rekomendasi dari penulis tentang penelitian ini terhadap perancangan produk prostetik di masa yang mendatang. Melalui saran penelitian, rujukan tentang cara dalam menangani masalah pada proses perancangan dapat dikemukakan. Alhasil, hal tersebut dapat menjadi suatu masukan untuk perbaikan terhadap penelitian lainnya yang memiliki pembahasan yang serupa.

III.2. Batasan dan Asumsi Tugas Akhir

Sejumlah batasan dan penggunaan asumsi dalam proses perancangan diperlukan untuk memperjelas cakupan penelitian. Dalam proses perancangan *socket* pada produk lengan prostetik ini, ruang lingkup pembahasan akan dispesifikasi pada *scoop* permasalahan yang diangkat serta batasan pada penggunaan metode rekayasa balik yang digunakan, sebagai berikut:

1. Ruang lingkup masalah yang diadopsi dalam penelitian.

Dalam identifikasi masalah yang diangkat pada penelitian ini, proses perancangan lengan prostetik hanya diperuntukan pada kondisi pasien amputasi ataupun penyandang disabilitas ekstremitas atas, pada kasus *transradial*. Secara spesifik penelitian ini memuat perancangan lengan

prostetik yang tidak ditujukan pada kasus dimana pasien mengalami amputasi akibat kanker, diabetes, atau kondisi lainnya yang memerlukan tindakan lebih lanjut oleh ahli medis.

2. Batasan pada pendekatan penyelesaian masalah dan metode.

Pemilihan metode pada kerangka kerja *Reverse Engineering* yang digunakan dalam perancangan lengan prostetik dalam penelitian ini berfokus pada proses *design recovery* yang bertujuan untuk memulihkan dan mengembalikan fungsi lengan pasien *transradial* melalui pembuatan *socket* prostetik. *Reverse engineering* dalam penelitian ini, tidak menspesifikasikan secara detail pada proses studi banding/*benchmarking* dan *disassembly* secara fisik produk.

Pembatasan pada metode tersebut, disebabkan oleh adanya kriteria pengukuran data antropometri yang lebih *rigid* terhadap proses pembuatan *prototype*. Meskipun demikian, sejumlah perbandingan sederhana terhadap bentuk geometris maupun mekanisme *socket* masih dilakukan tanpa adanya pendekatan yang lebih spesifik terhadap metode penelitian lainnya. Dengan begitu, penggunaan metode dalam perancangan *socket* dapat dispesifikan dengan jelas dan terarah.

3. Asumsi dalam Proses Pengujian dan *Testing*

Selain batasan tersebut, terdapat asumsi yang digunakan pada saat evaluasi rancangan, yaitu dengan memanfaatkan perangkat lunak desain tiga dimensi Solidwork 2022. *Software* tersebut berguna dalam analisis pengujian terhadap pemilihan material dan kinerja *socket* pada kondisi pemakaian melalui simulasi seperti analisis faktor beban, tekanan, dan temperatur. Dengan adanya *software* tersebut, proses evaluasi dan pengujian pada *socket* lengan prostetik akan sepenuhnya mengandalkan algoritma pada perangkat lunak, menimbang manfaatnya dalam memberikan informasi secara aktual.

III.3. Identifikasi Komponen Sistem Terintegrasi

Dalam tinjauan sistem terintegrasi, implementasi *Reverse engineering* dalam penelitian ini diperkirakan dapat memberikan solusi perancangan *socket* melalui proses reka ulang bagian lengan bawah dengan efisien. Adapun pemaparan deskripsi dari komponen sistem terintegrasi dalam penelitian ini sebagai berikut.

Tabel III.1 Identifikasi Elemen Sistem Terintegrasi dalam penelitian

Komponen Sistem Terintegrasi	Deskripsi
Machine	<i>Reverse engineering</i> pada proses perbaikan <i>socket</i> memanfaatkan <i>software</i> CAD yang mampu memberikan informasi mengenai bagaimana formasi objek yang akan dimanufaktur, sehingga proses produksi dapat terencana dengan baik. Dengan begitu, perancang dapat mengetahui peralatan dan proses permesinan yang tepat dalam merealisasikan produk guna terciptanya efisiensi waktu dan biaya.
Material	<i>Solid Modeling</i> melalui <i>software</i> 3D pada tahapan perancangan mampu merekayasa material secara <i>real</i> yang disertai atribut dari sifat/ <i>properties</i> material tersebut. Dengan demikian, material yang akan digunakan dapat dengan jelas terencana, sehingga mampu mereduksi pemborosan material fisik dalam proses pengembangan.
Method	Pemanfaatan teknologi CAD dalam pembuatan <i>prototype</i> memudahkan perancang dalam membentuk, merubah, dan merevisi model selama pada fase pengembangan. Fleksibilitas tersebut tentunya memberikan efisiensi proses jika dibandingkan dengan pengembangan yang tidak menyertakan teknologi serupa. Alhasil, output dapat diperoleh dengan perkiraan waktu yang lebih singkat.
Money	Minimasi biaya pengembangan dapat diperoleh pemanfaatan teknologi CAD dalam pembuatan <i>prototype</i> serta pengujian material yang terkomputasi sehingga dapat menghemat biaya perancangan dan pengujian produk ketika fase <i>testing</i> .

Pada iklim industri kesehatan sangat kompetitif, cara dan metode baru semakin berkembang untuk mempersingkat total waktu guna memasarkan produk baru. Efektivitas metode rekayasa balik dinilai dapat mengoptimasi proses rancangan *socket* melalui rekayasa pemodelan dan geometris bentuk produk dengan bantuan CAD.

Digitalisasi rancangan dengan *software* CAD mampu mengubah dan merevisi desain secara fleksibel. Namun, pengembangan produk secara *rapid* ini, masih melibatkan pada pemanfaatan sumber daya manusia, perkembangan teknologi, dan manajemen pengetahuan guna membantu perancang dalam memenuhi tuntutan waktu pengembangan produk. Dari segi waktu pengembangan, penerapan rekayasa balik mampu mempercepat durasi perancangan pada produk, sehingga hal tersebut berdampak pada singkatnya estimasi waktu penyelesaian produk.

BAB IV PERANCANGAN SISTEM TERINTEGRASI

IV.1 Deskripsi Data

Dalam proses perancangan melalui bantuan komputer atau CAD pada penelitian ini memerlukan beberapa parameter ukuran lengan guna membangun wujud digital dari *socket*. Dalam membentuk wujud *socket* tersebut, dibutuhkan setidaknya tiga rangka penampang yang membangun wujud *socket*. Ketiga penampang tersebut merupakan irisan melintang yang akan disusun kembali menjadi model *socket* pada saat proses perancangan. Diantara tiga irisan tersebut, yaitu sebagai berikut:

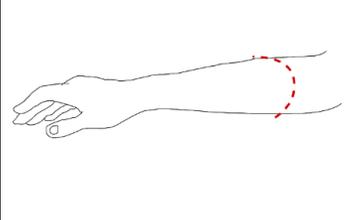
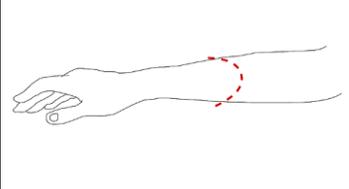
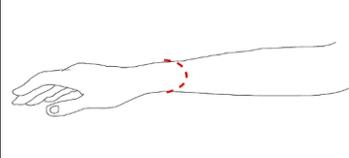
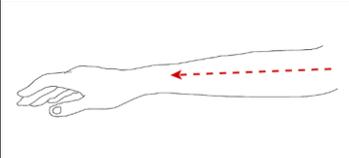
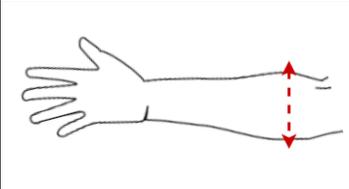
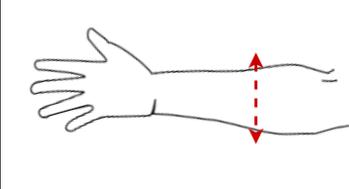
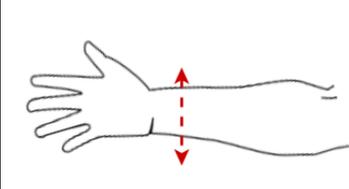
Tabel IV.2 Deskripsi Sectioning pada Pengukuran

<i>Cross Section</i>	Deskripsi
1	Irisan lengan bawah, dengan jarak 3 cm dari garis siku bagian dalam
2	Irisan pada bagian tengah lengan bawah
3	Irisan lengan bawah, dengan jarak 6 cm dari pangkal tangan

Dengan melakukan *sectioning* terhadap bagian lengan bawah, maka rekonstruksi terhadap bentuk utama *socket* dapat lebih mudah ditinjau. Penentuan area penampang pada lengan bawah tersebut juga memudahkan proses pengukuran, dimana area rekonstruksi pada lengan dapat diketahui dengan cara mengukur diameter terbesar dan terkecil pada lengan bawah guna membangun bentuk awal struktur *socket*. Terdefinisinya ukuran juga memudahkan proses *modeling* yang nantinya akan dilakukan pada perangkat lunak.

Dalam rangka memenuhi kelengkapan data lainnya, sejumlah aktivitas pengukuran antropometri pada bagian lengan bawah pasien dilakukan guna membangun model geometris yang mampu menyesuaikan *surface fitting* pada *socket*. Dalam proses perancangan, adapun data primer sebagai hasil pengukuran yang digunakan sebagai input pada proses pemodelan melalui *software* CAD.

Tabel IV.3 Deskripsi Data Pengukuran

No.	Bagian Tubuh	Keterangan
1.		Lingkar Lengan Bawah 1 Lingkar lengan bawah, yang diambil dengan jarak 3 cm dari garis siku bagian dalam. Pengambilan ukuran ini bertujuan untuk memperoleh data pada bagian <i>cross section-1</i> . Ukuran diambil secara manual dengan <i>tape measure</i>
2.		Lingkar Lengan Bawah 2 Lingkar lengan bawah pada bagian tengah lengan. Pengambilan ukuran ini bertujuan untuk memperoleh data pada bagian <i>cross section-2</i> . Ukuran diambil secara manual dengan <i>tape measure</i>
3.		Lingkar Lengan Bawah 3 Lingkar pergelangan tangan yang diambil dengan jarak 6 cm dari pangkal tangan. Ukuran diambil secara manual dengan <i>tape measure</i>
4.		Panjang Lengan Bawah (residual) Panjang lengan residual. pengukuran diambil ketika tangan dalam posisi lateral
5.		Lebar Lengan Bawah 1 Lebar lengan, pada jarak 3 cm dari garis siku bagian dalam. pengukuran ini ditujukan untuk mendapatkan diameter terbesar pada <i>cross-section 1</i> . Pengambilan ukuran dilakukan menggunakan jangka sorong.
6.		Lebar Lengan Bawah 2 Lebar bagian tengah pada lengan bawah. pengukuran ditujukan untuk mendapatkan diameter tengah pada <i>cross-section 2</i> . Pengambilan ukuran dilakukan menggunakan jangka sorong
7.		Lebar Lengan Bawah 3 Lebar lengan, pada jarak 6 cm dari pangkal tangan. Pengukuran ditujukan untuk mendapatkan diameter terbesar pada <i>cross-section 3</i> . Pengambilan ukuran dilakukan menggunakan jangka sorong

Dalam proses rekonstruksi *socket*, setidaknya selain data primer adapun data sekunder yang merupakan sumber eksternal guna melengkapi dan meminimasi kesenjangan yang memungkinkan terjadi selama proses perancangan berlangsung. Di antara data sekunder tersebut dijelaskan sebagai berikut.

1. Ukuran antropometri tambahan.

Sebagai ukuran tambahan yang merinci perancangan, beberapa spesifikasi ukuran antropometri tambahan dari basis data antropometri Indonesia pada usia 43 tahun dicantumkan seperti berikut.

- a. Panjang lengan bawah : 26,66 cm
- b. Panjang rentang tangan : 48,36 cm
- c. Panjang tangan : 11,64 cm
- d. Lebar tangan : 3,69 cm

2. Data antropometri yang berkorelasi dengan lengan.

Beberapa ukuran antropometri tubuh yang memiliki keterkaitan terhadap lengan dari basis data antropometri Indonesia pada usia 43 tahun dapat dicantumkan sebagai pertimbangan rancangan seperti berikut.

- a. Tinggi gengaman saat berdiri : 208,3 cm
- b. Panjang rentang siku : 84 cm
- c. Panjang gengaman ke depan : 78 cm

3. Penyesuaian penggunaan pada rancangan terhadap ukuran lengan.

Dalam pemakaian hasil rancangan, terdapat beberapa ukuran pengguna yang memungkinkan dapat menyesuaikan pemasangan *socket* dengan detail rentang ukuran sebagai berikut.

- a. *Allowance* regangan *socket* : ± 5 cm (mengikuti panjang *belt*)
- b. *Allowance* panjang residual lengan : ± 3 cm (mengikuti ketebalan *padding*)

IV.2 Spesifikasi Rancangan

Menentukan spesifikasi dalam proses perancangan ditujukan untuk memperjelas acuan parameter rancangan, batasan yang pada lingkup perancangan, maupun standarisasi yang diimplementasikan dalam rancangan. Sehingga, kriteria dan acuan yang digunakan dalam standarisasi pada perancangan perlu dideskripsikan guna mengarahkan proses dan tercapainya hasil rancangan yang sesuai dengan kualitas standar yang diterapkan. Adapun dua hal yang dispesifikasikan pada proses perancangan ini, yaitu sebagai berikut.

1. Rancangan *Socket* yang Memenuhi Standarisasi Alat Prostetik dan Ortotik.

Produk prostetik memiliki sejumlah kriteria standar yang perlu diterapkan dalam menunjang keselamatan dan kesehatan penggunaannya. Standarisasi tersebut dapat mengikuti beberapa acuan yang telah ditetapkan oleh suatu badan atau organisasi standar yang memiliki cakupan pada bidang prostetik. Di antara beberapa badan standarisasi tersebut, yaitu ISO (*International Standardization Organization*) dipilih sebagai acuan standar yang akan diimplementasikan dalam hasil rancangan.

2. Kriteria Hasil Rancangan yang Disesuaikan dengan Aspek Fisik pada Penggunaan *Socket*.

Dengan tujuan dicapainya hasil rancangan *socket* yang memenuhi aspek fisik penggunaannya, beberapa faktor fisik tersebut perlu diperinci guna mengetahui hal-hal yang perlu diimplementasikan pada rancangan *socket*. Dengan mengetahui kriteria tersebut, maka spesifikasi teknis mengenai hal-hal perlu diterapkan pada rancangan *socket* dapat didefinisikan dan diterapkan dalam rancangan *socket*. Kriteria ini dapat diidentifikasi dari bagaimana elemen fisik produk berkerja, di antaranya seperti dorongan yang berasal dari pengguna, faktor lingkungan dan aktivitas pengguna, maupun faktor lainnya yang terjadi selama interaksi pada *socket* berlangsung.

IV.2.1 Acuan Standar Rancangan

Guna mencapai kelayakan pada hasil rancangan, spesifikasi terkait acuan standar pada produk perlu diterapkan dalam proses perancangan. Hal tersebut ditujukan demi tercapainya keselamatan, kesehatan, keamanan, dan memastikan bahwa hasil rancangan memiliki kelayakan dalam penggunaannya. Dengan Alasan tersebut, proses pembuatan desain *socket* prostetik pada penelitian ini mengacu pada beberapa kriteria standarisasi internasional yaitu ISO 13405-3 tahun 2015 tentang prostetik dan ortotik pada perancangan *socket* untuk alat gerak atas, yaitu lengan atas dan lengan bawah.

Tabel IV.4 Spesifikasi Standarisasi pada Rancangan

Standar Rancangan		
Acuan Standar		ISO 13405-3:2015(E)
Lingkup Standarisasi		Prostetik dan Ortotik pada Alat Gerak Atas
No.	Atribut Rancangan	Deskripsi
1.	Stabilisasi Aksial	<ol style="list-style-type: none">1. Gaya stabilisasi utama dihasilkan oleh pembentukan daerah proksimal soket.2. Gaya stabilisasi utama dihasilkan oleh pembentukan bagian ujung dan seluruh permukaan soket.
2.	Stabilisasi Transversal	<ol style="list-style-type: none">1. Stabilisasi transversal diperlukan untuk meminimalkan gerakan sudut antara lengan residual dan <i>socket</i> selama penggunaan prostetik.
3.	Suspensi	<ol style="list-style-type: none">1. Adanya sifat suspensi yang diperoleh dengan membentuk <i>socket</i> ke anatomi yang mendasarinya (seperti fitur yang mampu untuk dibuka dan dilepas, pembuatan belahan, atau cara lainnya untuk memudahkan pemasangan dan pelepasan).2. Suspensi diferensial tekanan hisap, di mana sifat suspensi diperoleh dengan menggunakan <i>socket</i> dengan kedap udara, yang menahan pelepasan berdasarkan perbedaan tekanan yang dihasilkan dari tindakan tersebut.3. Penggunaan liner, yang menciptakan perbedaan tekanan berdasarkan kontak pada lengan residual dan mekanis lainnya yang terhubung ke soket.

IV.2.2 Kriteria Rancangan

Penggunaan *socket* sangat berkaitan dengan interaksi fisik oleh penggunanya. beberapa faktor fisik yang mempengaruhi pemakaian *socket* seperti tegangan geser, temperatur, tekanan udara, dan fluktuasi volume. Dengan faktor-faktor tersebut, keempat acuan fisik rancangan dapat dispesifikasi menjadi kriteria rancangan yang digunakan sebagai target rancangan yang dicapai.

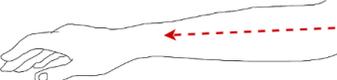
Tabel IV.5 Spesifikasi Kriteria Perancangan dalam Penelitian

No.	Acuan Aspek Fisik	Spesifikasi Kriteria Rancangan
1.	Tegangan Geser	<ol style="list-style-type: none">1. <i>Socket</i> mampu menahan gaya dorong dari residu lengan pengguna saat dipakai.2. Struktur <i>socket</i> dapat bertahan terhadap deformasi yang disebabkan oleh tegangan geser.
2.	Temperatur	<ol style="list-style-type: none">1. <i>Socket</i> memiliki kemampuan penyerapan panas sehingga menghindari pergerakan panas terkunci pada bagian rongga <i>socket</i>.
3.	Tekanan Udara	<ol style="list-style-type: none">1. <i>Socket</i> dapat dengan mudah dipasang ataupun dilepas tanpa adanya tekanan negatif yang mengganggu pemakaian.2. <i>Socket</i> mampu memberikan kenyamanan ketika digunakan dengan adanya sirkulasi pada rongga <i>socket</i>.
4.	Fluktuasi Volume	<ol style="list-style-type: none">1. Struktur <i>socket</i> mampu bertahan terhadap dorongan dan tekanan statis yang tersebar pada bagian badan <i>socket</i>.

IV.3 Proses Perancangan

Sebelum dilakukannya proses perancangan, informasi mengenai data hasil pengukuran ditampilkan. Pada pemaparan data, terdapat dimensi pengukuran yang akan dijadikan parameter ukuran model yang dibentuk pada proses *solid modeling*. Hasil pengukuran tersebut ditampilkan dalam matriks yang menampilkan gambar bagian tubuh dan ukuran yang diperoleh. Berikut merupakan hasil pengukuran antropometri terhadap responden.

Tabel IV.6 Data Hasil Pengukuran

Data Pengukuran Antropometri			
Umur Responden		43 tahun	
Jenis Kelamin		Laki-laki	
No.	Bagian Tubuh		Dimensi
1.		Lingkar Lengan Bawah 1	24.5±0.05 cm
2.		Lingkar Lengan Bawah 2	18.8±0.05 cm
3.		Lingkar Lengan Bawah 3	13.6±0.05 cm
4.		Panjang Lengan Bawah (residual)	18,4 ±0.05 cm
5.		Lebar Lengan Bawah 1	8,3±0.001 cm 7,2±0.001 cm
6.		Lebar Lengan Bawah 2	6,4±0.001 cm 5.5±0.001 cm
7.		Lebar Lengan Bawah 3	4,9±0.001 cm 3,8±0.001 cm

IV.3.1. Pertimbangan Sifat Mekanis Tulang dan Kesesuaian Material

IV.3.1.1 Tinjauan Sifat Mekanis Tulang Lengan Bawah

Karakteristik mekanik lengan bawah dipengaruhi oleh peran tulang *radius* dan *ulna* sebagai dua rangka yang menyusun bentuk dan fungsi lengan bawah. Kedua rangka tersebut memiliki beberapa karakteristik yang menentukan bagaimana perilaku dan kapasitas fisik lengan bawah. Pada penelitian, sifat mekanis tulang yang ditinjau berada pada rentang usia 40 sampai 49 tahun mengikuti latar belakang usia responden yang telah diukur pada proses pengambilan data.

Dengan mengetahui sifat mekanis dan karakteristik tulang yang menyusun lengan bawah, maka unsur mekanika pada perancangan *socket* dapat dipertimbangkan melalui pembuatan struktur yang mampu menopang gaya, seleksi material, dan implementasi fitur tambahan lainnya. Berikut merupakan parameter mekanis sifat mekanik tulang manusia pada rentang usia 40 sampai 49 tahun menurut Karpiński, Jaworski, dan Czubacka (2017)

Tabel IV.7 *Mechanical Properties* pada Tulang

No.	Parameter Mekanis	Nilai	Satuan
1.	Tensile strength limit	114±2,5	Mpa
2.	Percentage of elongation limit	1,31	%
3.	Compressive strength limit	158±4,4	Mpa
4.	Shortening percentage limit	1,8	%
5.	Bending strength limit	1 157±20	Mpa
6.	Compressive deformation limit	0,062	Mpa
7.	Torsional strength limit	53,7±0,5	Mpa
8.	Torsional deformation limit	0,025	Mpa
9.	Modulus of torsion	3200	Mpa

IV.3.1.2 Seleksi Material *Socket*

Menindaklanjuti beberapa kriteria, standar, dan tinjauan pada pembahasan sebelumnya, pada proses perancangan *socket* diperlukan suatu seleksi terhadap alternatif material yang umumnya digunakan secara luas pada pembuatan *socket*. Pemilihan material tersebut, perlu dilakukan spesifikasi terkait sifat mekanis yang mendasari karakteristik material tersebut seperti keterangan tentang nilai kapasitas dan ketahanan material. Dengan demikian, karakteristik fisik dari hasil rancangan dapat diprediksi dan diketahui mengenai respon rancangan terhadap sejumlah kondisi yang mempengaruhi karakter material. Alhasil dengan proses ini, seleksi terhadap kebutuhan material dapat disesuaikan secara komprehensif dan terklasifikasi berdasarkan kriteria hasil akhir rancangan.

Dari banyaknya pilihan material yang tersedia, hanya terdapat beberapa material yang secara umum digunakan dalam proses pembuatan *socket*. Hal ini diakibatkan oleh pertimbangan sejumlah faktor seperti *mechanical properties*, kemudahan proses pembuatan, dan kelayakan terhadap dampak kesehatan pengguna. Faktor resiko kesehatan dari paparan material merupakan hal penting yang memainkan peran besar terhadap seleksi material tersebut, yang mana diantara material yang memiliki sifat ketahanan beban yang mendukung belum tentu memiliki sifat yang aman terhadap kontak pada tubuh manusia.

Merespon pentingnya seleksi material tersebut, maka perlu dilakukan suatu pemaparan tentang spesifikasi dan sifat mekanis pada kandidat material *socket*. Hal tersebut diperlukan guna memahami analisis terkait kekurangan dan kelebihan material serta mengetahui bagaimana dampak implementasi material terhadap rancangan *socket*. Dengan adanya pertimbangan tentang kekurangan dan kelebihan material, diharapkan mampu mengungkap *behavior* material pada *socket* terhadap proses pengujian. Maka, selanjutnya akan ditampilkan tabel yang berisikan *mechanical properties* dan tabel pertimbangan kelebihan dan kekurangan dari pilihan material yang memungkinkan untuk diterapkan pada rancangan *socket*.

Tabel IV.8 *Mechanical Properties* Material pada Socket

No.	Pilihan Material	<i>Mechanical Properties</i> SolidWorks 2022																																	
1.	Resin dan Fiberglass	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Property</th> <th>Value</th> <th>Units</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Elastic Modulus</td> <td>193744.9</td> <td>kgf/cm²</td> </tr> <tr> <td>Poisson's Ratio</td> <td></td> <td>N/A</td> </tr> <tr> <td>Shear Modulus</td> <td></td> <td>kgf/cm²</td> </tr> <tr> <td>Mass Density</td> <td>0.00116</td> <td>kg/cm³</td> </tr> <tr> <td>Tensile Strength</td> <td>1937.449</td> <td>kgf/cm²</td> </tr> <tr> <td>Compressive Strength</td> <td>2345.333</td> <td>kgf/cm²</td> </tr> <tr> <td>Yield Strength</td> <td></td> <td>kgf/cm²</td> </tr> <tr> <td>Thermal Expansion Coefficient</td> <td></td> <td>/°C</td> </tr> <tr> <td>Thermal Conductivity</td> <td>0.00040631</td> <td>cal/(cm-sec-°C)</td> </tr> </tbody> </table>	Property	Value	Units	Elastic Modulus	193744.9	kgf/cm ²	Poisson's Ratio		N/A	Shear Modulus		kgf/cm ²	Mass Density	0.00116	kg/cm ³	Tensile Strength	1937.449	kgf/cm ²	Compressive Strength	2345.333	kgf/cm ²	Yield Strength		kgf/cm ²	Thermal Expansion Coefficient		/°C	Thermal Conductivity	0.00040631	cal/(cm-sec-°C)			
Property	Value	Units																																	
Elastic Modulus	193744.9	kgf/cm ²																																	
Poisson's Ratio		N/A																																	
Shear Modulus		kgf/cm ²																																	
Mass Density	0.00116	kg/cm ³																																	
Tensile Strength	1937.449	kgf/cm ²																																	
Compressive Strength	2345.333	kgf/cm ²																																	
Yield Strength		kgf/cm ²																																	
Thermal Expansion Coefficient		/°C																																	
Thermal Conductivity	0.00040631	cal/(cm-sec-°C)																																	
2.	PP (<i>Polypropylene</i>)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Property</th> <th>Value</th> <th>Units</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Elastic Modulus</td> <td>18252.809</td> <td>kgf/cm²</td> </tr> <tr> <td>Poisson's Ratio</td> <td></td> <td>N/A</td> </tr> <tr> <td>Shear Modulus</td> <td></td> <td>kgf/cm²</td> </tr> <tr> <td>Mass Density</td> <td>0.000933</td> <td>kg/cm³</td> </tr> <tr> <td>Tensile Strength</td> <td>336.5043</td> <td>kgf/cm²</td> </tr> <tr> <td>Compressive Strength</td> <td>400.74603</td> <td>kgf/cm²</td> </tr> <tr> <td>Yield Strength</td> <td></td> <td>kgf/cm²</td> </tr> <tr> <td>Thermal Expansion Coefficient</td> <td></td> <td>/°C</td> </tr> <tr> <td>Thermal Conductivity</td> <td>0.000279637</td> <td>cal/(cm-sec-°C)</td> </tr> </tbody> </table>	Property	Value	Units	Elastic Modulus	18252.809	kgf/cm ²	Poisson's Ratio		N/A	Shear Modulus		kgf/cm ²	Mass Density	0.000933	kg/cm ³	Tensile Strength	336.5043	kgf/cm ²	Compressive Strength	400.74603	kgf/cm ²	Yield Strength		kgf/cm ²	Thermal Expansion Coefficient		/°C	Thermal Conductivity	0.000279637	cal/(cm-sec-°C)			
Property	Value	Units																																	
Elastic Modulus	18252.809	kgf/cm ²																																	
Poisson's Ratio		N/A																																	
Shear Modulus		kgf/cm ²																																	
Mass Density	0.000933	kg/cm ³																																	
Tensile Strength	336.5043	kgf/cm ²																																	
Compressive Strength	400.74603	kgf/cm ²																																	
Yield Strength		kgf/cm ²																																	
Thermal Expansion Coefficient		/°C																																	
Thermal Conductivity	0.000279637	cal/(cm-sec-°C)																																	
3.	PETG (<i>Polyethylene terephthalate glycol</i>) Thermoplastic	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Property</th> <th>Value</th> <th>Units</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Elastic Modulus</td> <td>30183.416</td> <td>kgf/cm²</td> </tr> <tr> <td>Poisson's Ratio</td> <td>0.37</td> <td>N/A</td> </tr> <tr> <td>Shear Modulus</td> <td>14021.0125</td> <td>kgf/cm²</td> </tr> <tr> <td>Mass Density</td> <td>0.00142</td> <td>kg/cm³</td> </tr> <tr> <td>Tensile Strength</td> <td>584.29383</td> <td>kgf/cm²</td> </tr> <tr> <td>Compressive Strength</td> <td>947.31059</td> <td>kgf/cm²</td> </tr> <tr> <td>Yield Strength</td> <td></td> <td>kgf/cm²</td> </tr> <tr> <td>Thermal Expansion Coefficient</td> <td>3.8e-05</td> <td>/°C</td> </tr> <tr> <td>Thermal Conductivity</td> <td>0.000623805</td> <td>cal/(cm-sec-°C)</td> </tr> <tr> <td>Specific Heat</td> <td>272.467</td> <td>cal/(kg-°C)</td> </tr> </tbody> </table>	Property	Value	Units	Elastic Modulus	30183.416	kgf/cm ²	Poisson's Ratio	0.37	N/A	Shear Modulus	14021.0125	kgf/cm ²	Mass Density	0.00142	kg/cm ³	Tensile Strength	584.29383	kgf/cm ²	Compressive Strength	947.31059	kgf/cm ²	Yield Strength		kgf/cm ²	Thermal Expansion Coefficient	3.8e-05	/°C	Thermal Conductivity	0.000623805	cal/(cm-sec-°C)	Specific Heat	272.467	cal/(kg-°C)
Property	Value	Units																																	
Elastic Modulus	30183.416	kgf/cm ²																																	
Poisson's Ratio	0.37	N/A																																	
Shear Modulus	14021.0125	kgf/cm ²																																	
Mass Density	0.00142	kg/cm ³																																	
Tensile Strength	584.29383	kgf/cm ²																																	
Compressive Strength	947.31059	kgf/cm ²																																	
Yield Strength		kgf/cm ²																																	
Thermal Expansion Coefficient	3.8e-05	/°C																																	
Thermal Conductivity	0.000623805	cal/(cm-sec-°C)																																	
Specific Heat	272.467	cal/(kg-°C)																																	
4.	ABS (<i>Acrylonitrile butadiene styrene</i>)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Property</th> <th>Value</th> <th>Units</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Elastic Modulus</td> <td>20394.2</td> <td>kgf/cm²</td> </tr> <tr> <td>Poisson's Ratio</td> <td>0.394</td> <td>N/A</td> </tr> <tr> <td>Shear Modulus</td> <td>3251.85519</td> <td>kgf/cm²</td> </tr> <tr> <td>Mass Density</td> <td>0.00102</td> <td>kg/cm³</td> </tr> <tr> <td>Tensile Strength</td> <td>305.913</td> <td>kgf/cm²</td> </tr> <tr> <td>Compressive Strength</td> <td></td> <td>kgf/cm²</td> </tr> <tr> <td>Yield Strength</td> <td></td> <td>kgf/cm²</td> </tr> <tr> <td>Thermal Expansion Coefficient</td> <td></td> <td>/°C</td> </tr> <tr> <td>Thermal Conductivity</td> <td>0.000539197</td> <td>cal/(cm-sec-°C)</td> </tr> <tr> <td>Specific Heat</td> <td>331.262</td> <td>cal/(kg-°C)</td> </tr> </tbody> </table>	Property	Value	Units	Elastic Modulus	20394.2	kgf/cm ²	Poisson's Ratio	0.394	N/A	Shear Modulus	3251.85519	kgf/cm ²	Mass Density	0.00102	kg/cm ³	Tensile Strength	305.913	kgf/cm ²	Compressive Strength		kgf/cm ²	Yield Strength		kgf/cm ²	Thermal Expansion Coefficient		/°C	Thermal Conductivity	0.000539197	cal/(cm-sec-°C)	Specific Heat	331.262	cal/(kg-°C)
Property	Value	Units																																	
Elastic Modulus	20394.2	kgf/cm ²																																	
Poisson's Ratio	0.394	N/A																																	
Shear Modulus	3251.85519	kgf/cm ²																																	
Mass Density	0.00102	kg/cm ³																																	
Tensile Strength	305.913	kgf/cm ²																																	
Compressive Strength		kgf/cm ²																																	
Yield Strength		kgf/cm ²																																	
Thermal Expansion Coefficient		/°C																																	
Thermal Conductivity	0.000539197	cal/(cm-sec-°C)																																	
Specific Heat	331.262	cal/(kg-°C)																																	
5.	Aluminium 6061 T6	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Property</th> <th>Value</th> <th>Units</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Elastic Modulus</td> <td>703599.9068</td> <td>kgf/cm²</td> </tr> <tr> <td>Poisson's Ratio</td> <td>0.33</td> <td>N/A</td> </tr> <tr> <td>Tensile Strength</td> <td>3161.101021</td> <td>kgf/cm²</td> </tr> <tr> <td>Yield Strength</td> <td>2804.202509</td> <td>kgf/cm²</td> </tr> <tr> <td>Tangent Modulus</td> <td></td> <td>kgf/cm²</td> </tr> <tr> <td>Thermal Expansion Coefficient</td> <td>2.4e-05</td> <td>/°C</td> </tr> <tr> <td>Mass Density</td> <td>0.0027</td> <td>kg/cm³</td> </tr> <tr> <td>Hardening Factor</td> <td>0.85</td> <td>N/A</td> </tr> </tbody> </table>	Property	Value	Units	Elastic Modulus	703599.9068	kgf/cm ²	Poisson's Ratio	0.33	N/A	Tensile Strength	3161.101021	kgf/cm ²	Yield Strength	2804.202509	kgf/cm ²	Tangent Modulus		kgf/cm ²	Thermal Expansion Coefficient	2.4e-05	/°C	Mass Density	0.0027	kg/cm ³	Hardening Factor	0.85	N/A						
Property	Value	Units																																	
Elastic Modulus	703599.9068	kgf/cm ²																																	
Poisson's Ratio	0.33	N/A																																	
Tensile Strength	3161.101021	kgf/cm ²																																	
Yield Strength	2804.202509	kgf/cm ²																																	
Tangent Modulus		kgf/cm ²																																	
Thermal Expansion Coefficient	2.4e-05	/°C																																	
Mass Density	0.0027	kg/cm ³																																	
Hardening Factor	0.85	N/A																																	

Tabel IV.9 Pertimbangan Kelebihan dan Kekurangan Material

No.	Material	Kelebihan Material	Kekurangan Material
1.	Resin dan Fiberglass	Material mudah ditemukan dan tidak sulit untuk dibentuk melalui proses <i>casting</i> . Relatif lebih ekonomis dan .	<i>Fiberglass</i> dapat menjadi penyebab iritasi kulit jika tidak diberi lapisan tambahan setelah campuran resin sudah kering.
2.	PP (<i>Polypropylene</i>)	Bahan baku memiliki kekuatan fleksibilitas yang tinggi, relatif lebih ekonomis dan memiliki koefisien gesek yang cukup rendah.	<i>Polypropylene</i> memiliki koefisien regangan akibat kenaikan suhu yang cukup tinggi, sehingga cukup sensitif terhadap panas. Namun ketahanan material ini tidak cukup kuat terhadap korosi oleh zat klorin dan senyawa aromatik lainnya. Selain itu, material tidak dianjurkan untuk terpapar oleh pancaran ultraviolet dalam jangka waktu yang lama.
3.	PETG (<i>Polyethylene terephthalate glycol</i>) Thermoplastic	Material dapat dilunakan dengan udara panas, yang memudahkan proses pencetakan ke bagian lengan residual pengguna serta material sangat mudah ditemukan pada pemasok bahan baku industri polimer.	<i>Thermoplastic</i> memiliki sifat yang tidak tahan korosi terhadap pelarut hidrokarbon. Sehingga material tidak dianjurkan untuk digunakan pada pengguna prostetik yang bekerja atau berhadapan dengan radiasi ultraviolet dalam jangka waktu yang lama.
4.	ABS (<i>Acrylonitrile butadiene styrene</i>)	Material berbahan ABS memiliki ketahanan terhadap jamur dan korosi serta memiliki massa yang lebih ringan. Material ini juga memiliki titik lebur yang relatif rendah sehingga mudah untuk dibentuk dengan proses pencetakan.	Proses pembentukan produk dengan material ini menghasilkan uap gas yang perlu dibuang melalui ventilasi saat proses produksi. Mudah terdeformasi jika tidak diproses dengan permukaan yang telah dipanaskan.
5.	Aluminium 6061 T6	Aluminium 6061 merupakan material dengan tingkat kekuatan yang cukup tinggi dan tahan terhadap korosi. Serial aluminium 6000 memiliki ketahanan yang tangguh serta lebih ringan jika dibandingkan dengan serial aluminium lainnya.	Meskipun di antara material logam lainnya aluminium terbilang mudah dibentuk dalam proses permesinan, aluminium sulit dibentuk mengikuti penyesuaian permukaan pada residu lengan pengguna prostetik. massa material dapat lebih berat jika dibandingkan dengan material polimer maupun komposit lainnya.

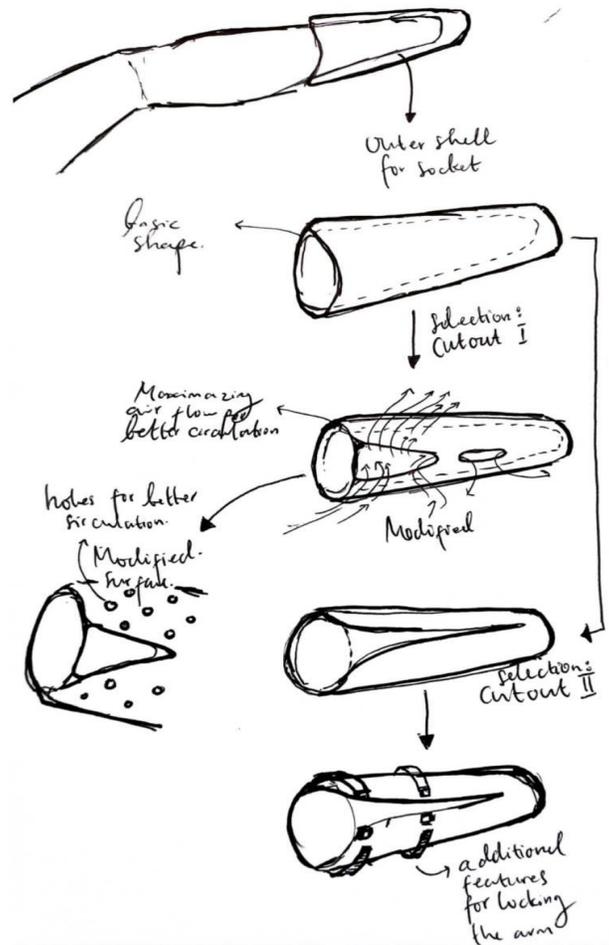
Berdasarkan pertimbangan dari beberapa alternatif material, PETG Thermoplastic merupakan material yang dipilih dengan sejumlah alasan sebagai berikut:

1. PETG Thermoplastic memiliki sifat fleksibilitas yang lebih tinggi daripada material komposit maupun logam lainnya, dimana karakteristik tersebut mendukung salah satu aspek standar dari *socket* untuk dapat memberikan suspensi yang lebih stabil terhadap posisi lengan residual pengguna.
2. Lebih ringan daripada logam, namun juga memiliki ketahanan yang cukup kuat untuk menopang gaya beban dari lengan pemakai, sehingga memudahkan mobilisasi dan aktivitas pengguna lengan prostetik.
3. Memiliki ketahanan terhadap senyawa kimia kecuali pada sejumlah zat pelarut hidrokarbon. Meskipun demikian, pada umumnya alternatif material lainnya memiliki kesamaan terhadap kerentanan pada zat pelarut hidrokarbon. Namun jika dibandingkan dengan alternatif material yang diklasifikasikan sebagai polimer, PETG Thermoplastic memiliki ketahanan yang lebih baik.

Penggunaan Thermoplastic memiliki manfaat yang cukup luas di kehidupan sehari-hari. Material ini merupakan bahan yang membentuk hampir segala peralatan yang berinteraksi dengan manusia. Diantara implementasi material ini yaitu pada industri peralatan makan, industri *furniture*, perabotan rumah tangga, industri garmen, dan berbagai bidang produksi lainnya. Dengan pertimbangan ini, material PETG Thermoplastic dinilai layak untuk diimplementasikan pada rancangan atas dasar berikut:

1. Kecocokan terhadap aspek keselamatan dan kesehatan pengguna.
2. Kekuatan dan ketahanan material dari lingkungan eksternal.
3. Sifat material yang ringan dan fleksibel.
4. Kemudahan proses pembuatan atau produksi pada produk yang diimplementasikan.
5. Kemudahan dalam menjangkau dan membeli material.

IV.3.2 Proses Sketsa dan Iterasi Perancangan *Surface Model*



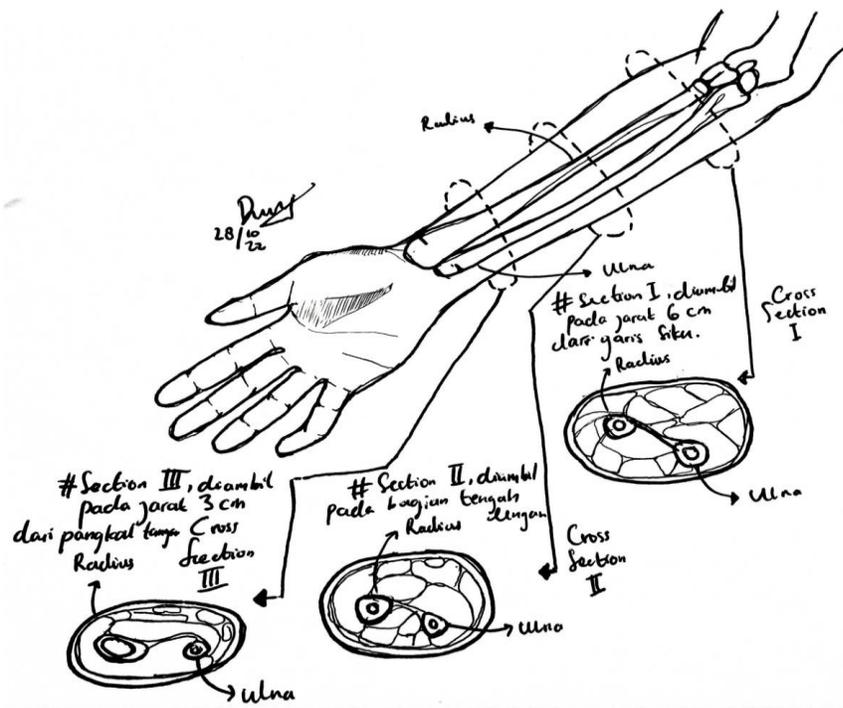
Gambar IV.10 Sketsa rencana rancangan dan penyesuaian *socket*

Sketsa *socket* dalam memperoleh visual rancangan sebelum proses dilakukannya digitasi akan melewati beberapa tahap iterasi sebagai berikut, diantaranya:

1. Iterasi pertama yang ditujukan untuk pembuatan bentuk utama (*basic shape*) yang menampang wujud *socket* secara utuh.
2. Iterasi kedua yang diperuntukan pada pembuatan *detail* dan tambahan yang lebih rinci pada *socket*.
3. Iterasi ketiga yang bertujuan untuk menyempurnakan *socket* dengan adanya fitur tambahan.

IV.3.2.1 Iterasi-1 : *Basic Shape Reconstruction*

Pada iterasi rancangan tahap pertama, dilakukan rekonstruksi pada struktur tulang radius dan ulna pada bagian lengan bawah. Dengan dilakukannya proses sketsa secara manual sebagai acuan awal penentuan posisi *sectioning*, maka bentuk irisan lengan akan mudah terlihat sehingga memudahkan proses rekonstruksi bentuk geometris dasar *socket*.

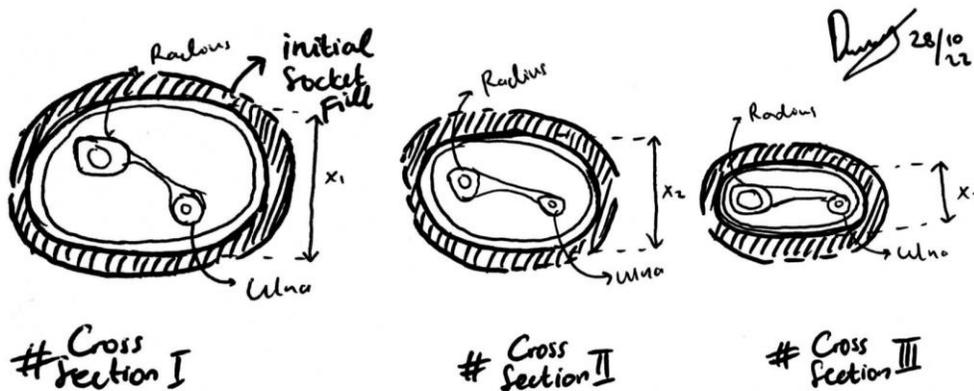


Gambar IV.11 Sketsa pembagian area irisan guna memperoleh bentuk basis *socket*. Sebelum bentuk basis pada *socket* dibuat, terdapat tiga area lengan bawah yang akan dijadikan sebagai parameter bentuk *socket* saat dirancang melalui *software* CAD diantaranya yaitu:

- a. *Cross section-1*, yang merupakan lingkaran lengan yang diambil pada jarak 3 cm dari garis siku bagian dalam. Bagian tersebut merupakan area lingkaran terbesar lengan bawah, yang mana pada bagian ini akan menjadi lubang *socket* untuk memasukan lengan residu pengguna.

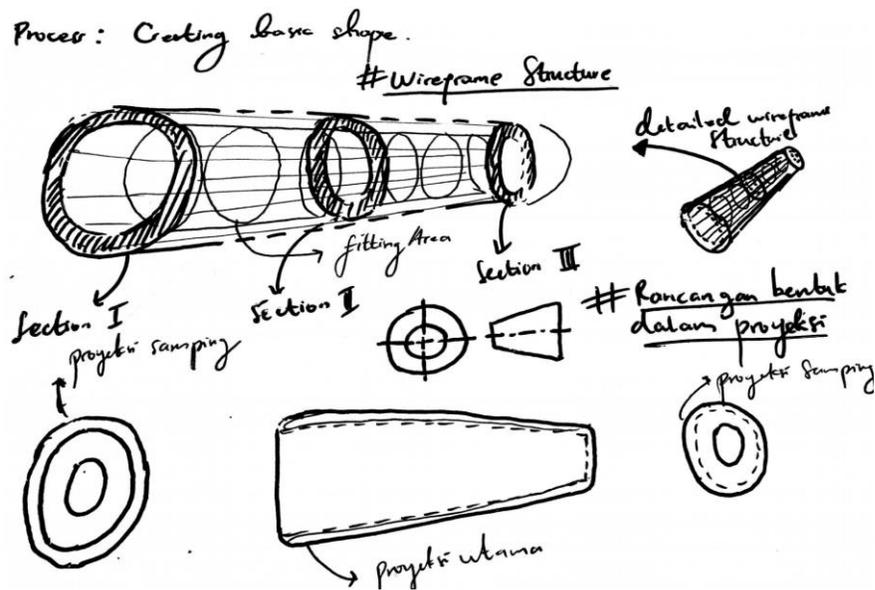
- b. *Cross section-2*, yang merupakan lingkaran lengan yang diambil pada bagian tengah lengan bawah. Bagian ini merupakan titik tengah dari tangan yang membagi dua dari panjang lengan bawah secara rata.
- c. *Cross section-3*, yang merupakan lingkaran lengan yang diambil pada jarak 6 cm dari pangkal tangan. Nantinya *section* ini akan menjadi bagian terdalam pada rongga *socket*.

Proses *sectioning* ini bertujuan untuk memberikan bentuk dasar dari rongga *socket* yang akan dibentuk melalui rekonstruksi lengan pasien. Ketiga bagian *section* tersebut dipilih sebagai kerangka yang akan menyusun rongga pada *socket* dengan susunan yang secara berurutan, *cross section-1* menjadi bagian lubang rongga memasukan residu lengan, *cross section-2* menjadi rangka tengah, dan *cross section-3* menjadi dasar terdalam serta penutup rongga *socket*.



Gambar IV.12 Hasil *sectioning* dari lengah bawah yang akan direkonstruksi menjadi rangka pada rongga *socket*

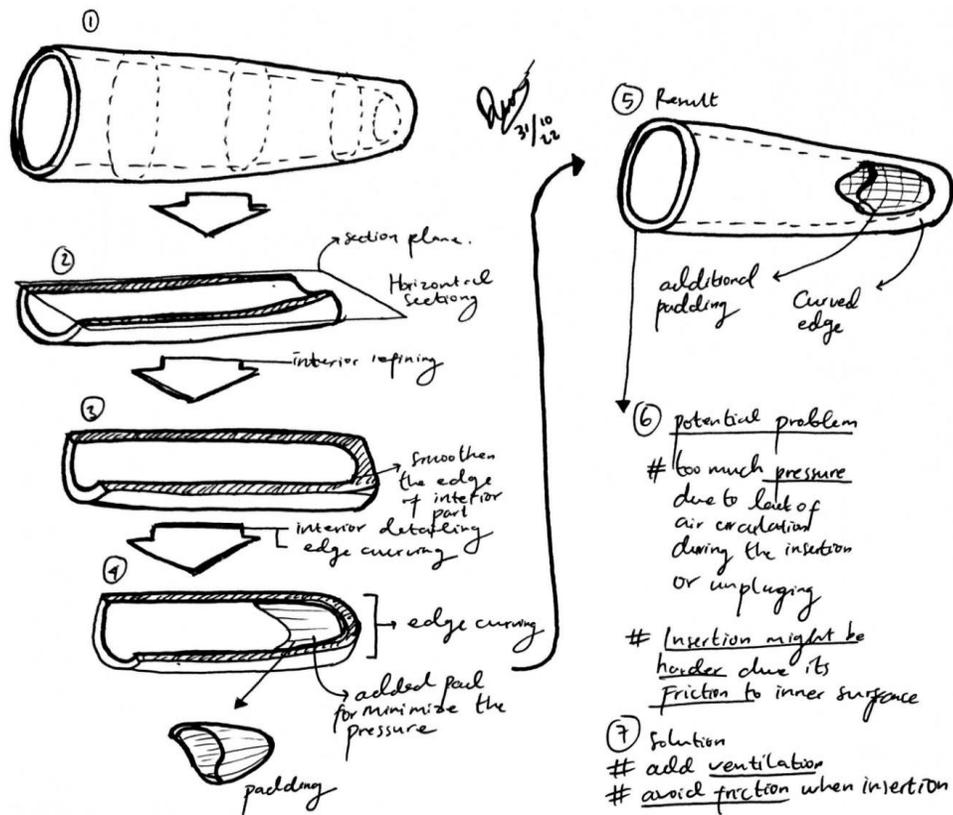
Setelah bentuk dasar dari rongga *socket* sudah ditentukan, kemudian hasil irisan atau *sectioning* tersebut disusun melalui bangun rangka (*wireframe*) guna memberikan tampilan visual tentang bagaimana rongga *socket* saat direkonstruksi. Dengan adanya rekonstruksi melalui *wireframe*, wujud geometris *socket* dapat direpresentasikan dengan jelas, sehingga konseptual dari struktur *socket* mudah dibentuk pada saat memasuki tahapan *Solid Modeling*.



Gambar IV.13 Struktur *wireframe* sebagai wujud fisik awal tampilan bentuk *socket*

Dalam tahap ini pembentukan *basic shape* ini peran struktur *wireframe* cukup memudahkan proses visualisasi bentuk *socket*. Setelah sketsa kerangka *wireframe* telah dibentuk, terlihat wujud geometris awal *socket* berupa formasi silinder mengerucut tanpa tutup. Bentuk tersebut mengikuti struktur lengan pada bagian radius dan ulna pada anggota gerak atas manusia yang membangun wujud fisik lengan bawah. Bentuk tersebut nantinya akan diekstraksi menjadi bentuk geometris tiga dimensi pada tahap *solid modeling* melalui CAD. Dengan begitu, *basic shape* dapat dimodelkan dan diberi fitur guna membangun fungsionalitas pada *socket*.

Setelah formasi silinder pada kerangka *wireframe* dirancang, maka pada proses sketsa berikutnya akan dilakukan pembentukan ruang pada *basic shape socket*. Pada sketsa tersebut, *model socket* diasumsikan sebagai ruang silindris yang memiliki ketebalan 5 mm, dimana pada bagian ujungnya diperhalus sehingga memberi cekungan di bagian pinggirannya. Berikutnya, ditambahkan suatu alas yang membatasi antar kontak permukaan kulit dengan permukaan dalam *socket*, yaitu dengan menambahkan lapisan *padding* guna menghindari bentukan pada residual lengan pengguna. Penjelasan detail pada proses ini ditampilkan pada sketsa berikut.



Gambar IV.14 Pembuatan *basic shape* pada iterasi pertama

Adapun penjelasan tahap pembuatan badan *socket* pada sketsa di atas sebagai berikut:

1. Bentuk kerucut yang disintesis dari struktur *wireframe* dibentuk menjadi bangun ruang berongga sebagai bentuk awal.
2. Tampilan potongan bidang yang memperlihatkan rongga dalam *socket*.
3. Bagian ujung rongga dalam dalam *socket* dilengkungkan dan guna menyesuaikan ujung residu lengan pengguna.
4. Ujung permukaan luar pada *socket* ditumpulkan dan adanya pemberian *part* tambahan berupa *padding* pada bagian dalam *socket*.
5. Tampilan hasil rancangan dasar dari tahap iterasi pertama.
6. Potensi masalah rancangan pada tahap iterasi pertama.
7. Solusi potensial pada hasil rancangan dasar iterasi pertama.

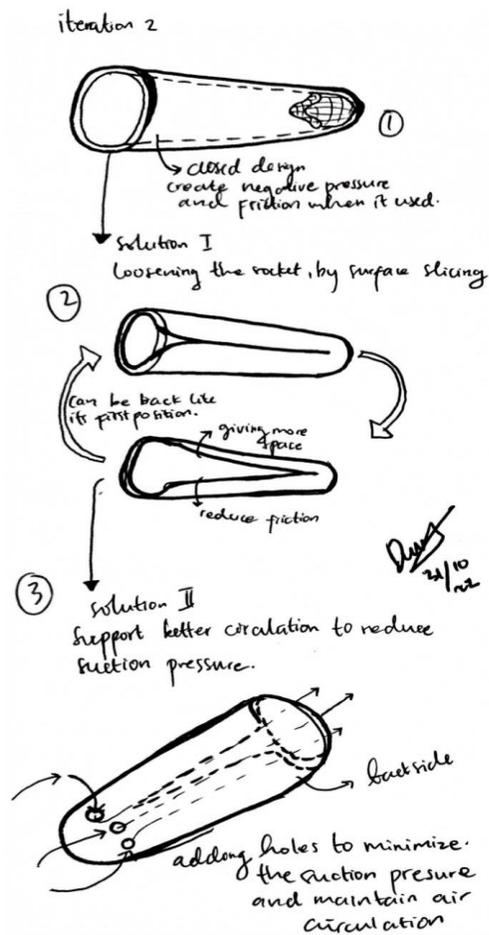
Meskipun hasil iterasi pertama, yaitu pembuatan bentuk dasar atau *basic shape* telah dirancang, namun dari hasil proses desain tersebut menghasilkan beberapa permasalahan yang kemungkinan akan timbul ketika *socket* akan digunakan. Diantara masalah tersebut pertama, rongga *socket* dengan ukuran yang hampir sama dengan ukuran residual lengan menjadikannya harus mengalami dorongan atau paksaan ketika dipasangkan pada lengan pengguna. Masalah kedua, yaitu ruang *socket* yang terisi oleh residual lengan saat sedang digunakan, akan menciptakan tekanan negatif yang menyulitkan pengguna dalam melepas pemakaian *socket*.

Menanggapi dua permasalahan tersebut, dibutuhkan solusi yang mampu menyelesaikan masalah pada hasil pembuatan *basic shape* pada *socket*. Pada masalah pertama, secara teknis gesekan hanya akan terjadi jika kedua permukaan saling berkontak, sehingga diperlukan cara guna menghindari kontak tersebut terjadi. Sementara itu pada masalah kedua, tekanan negatif kemungkinan besar dapat terjadi jika tidak terdapat aliran udara masuk dan keluar, yang mana disebabkan oleh rongga *socket* yang tertutup residual lengan. Berikut merupakan penjabaran tabel mengenai residu permasalahan dan solusi yang diterapkan pada iterasi pertama.

Tabel IV.10 Proses Iterasi Pertama Rancangan

Iterasi-1 : Basic Shape Construction		
No.	Residu Rancangan	Solusi
1.	Gesekan lengan pada rongga dalam <i>socket</i> kemungkinan dapat terjadi ketika lengan residu pengguna memasuki <i>socket</i> .	Gesekan hanya terjadi jika kedua permukaan dari rongga dalam <i>socket</i> dan lengan pengguna mengalami kontak. Sehingga, jika <i>socket</i> dapat dilonggarkan ketika lengan pengguna masuk dan dapat dirapatkan kembali, maka gesekan tidak terjadi. Alhasil perlu adanya <i>slicing</i> pada permukaan <i>socket</i> .
2.	Bentuk rongga <i>socket</i> yang tertutup memicu tekanan yang menghisap lengan residu pengguna ketika pengguna ingin mengeluarkan tangannya.	Pembuatan celah atau lubang kecil dapat dilakukan guna mendukung sirkulasi udara dan mencegah tekanan hisap saat lengan pengguna dikeluarkan.

IV.3.2.2 Iterasi-2: Detailing



Gambar IV.15 Iterasi kedua berupa perancangan secara detail residu dari iterasi pertama

Pada iterasi kedua, solusi pada residu permasalahan pada iterasi pertama diimplementasikan, dan berikut merupakan penjelasan sketsa pada iterasi kedua:

1. Tampilan *socket* yang telah dibentuk pada iterasi pertama.
2. Pembuatan *slicing* yang membelah secara parsial badan *socket* sehingga dapat dilonggarkan ketika pengguna ingin memakainya.
3. Pembuatan celah atau lubang kecil guna menghindari adanya tekanan yang menghalangi lengan residu pengguna ketika ingin melepas lengannya dari *socket*.

Setelah sejumlah implementasi diterapkan pada iterasi kedua rancangan, maka dengan adanya *slicing* pada badan *socket*, diharapkan dapat memudahkan proses melepas dan memasang oleh pengguna. Namun, *slicing* dapat menjadikan *socket* renggang sepenuhnya yang berakibat hilangnya fungsi utama *socket* dalam menggenggam lengan pasien. Sehingga, perlu adanya suatu fitur tambahan yang mampu mengikat *slicing* pada badan *socket* tersebut. Pada tahap ini masih terdapat residu rancangan sebagai berikut.

Tabel IV.11 Proses Iterasi Kedua Rancangan

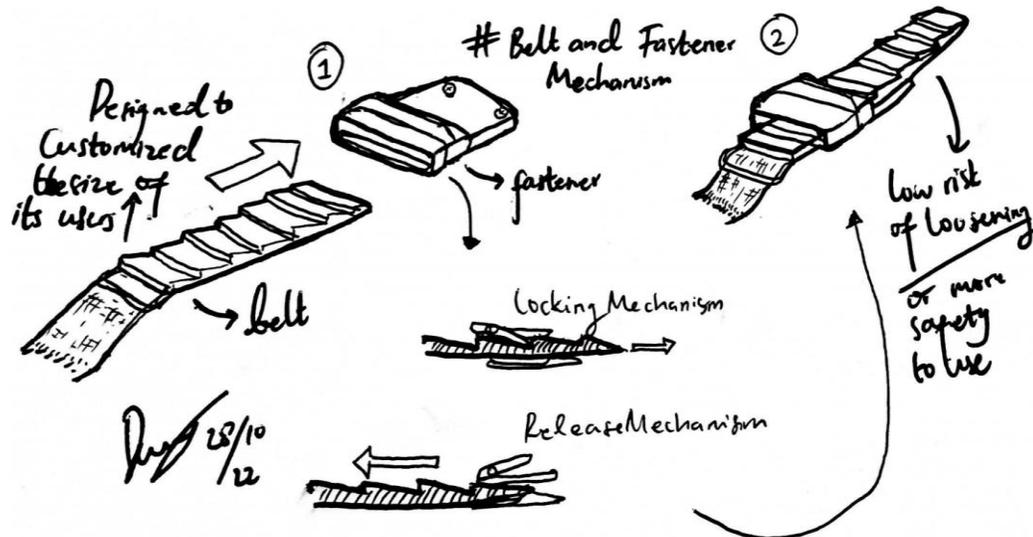
Iterasi-2 : <i>Detailing</i>		
No.	Residu Hasil Rancangan	Solusi
1.	<i>Slicing</i> pada badan <i>socket</i> dapat melonggarkan hingga melepas <i>socket</i> dari lengan residu penggunaannya secara tiba-tiba atau tidak sengaja.	Penambahan fitur <i>belt</i> dan <i>buckle</i> yang mengunci kuat <i>slicing</i> pada badan <i>socket</i> .

IV.3.2.3 Iterasi-3: *Additional Features*

Setelah proses *Detailing* telah dilakukan pada iterasi sebelumnya, selanjutnya adalah mengimplementasikan solusi dari residu rancangan pada iterasi kedua yang berupa penambahan fitur pelengkap *socket* berupa *belt* dan *buckle*. Penambahan fitur *belt* dan *buckle* tersebut bertujuan dalam mengunci *slicing* atau potongan permukaan yang terdapat pada *socket*.

Pembuatan *slicing* sendiri memiliki fungsi dalam merenggangkan *socket* ketika hendak dipasangkan pada residu lengan pengguna, dimana perlu dilakukan pengikatan kembali untuk mengencangkan *socket* ketika dipasangkan. Menanggapi persoalan tersebut, *buckle* dan *belt* dapat ditambahkan sebagai pengencang yang pada *socket* sehingga tidak terlepas ketika sedang dipakai oleh pengguna.

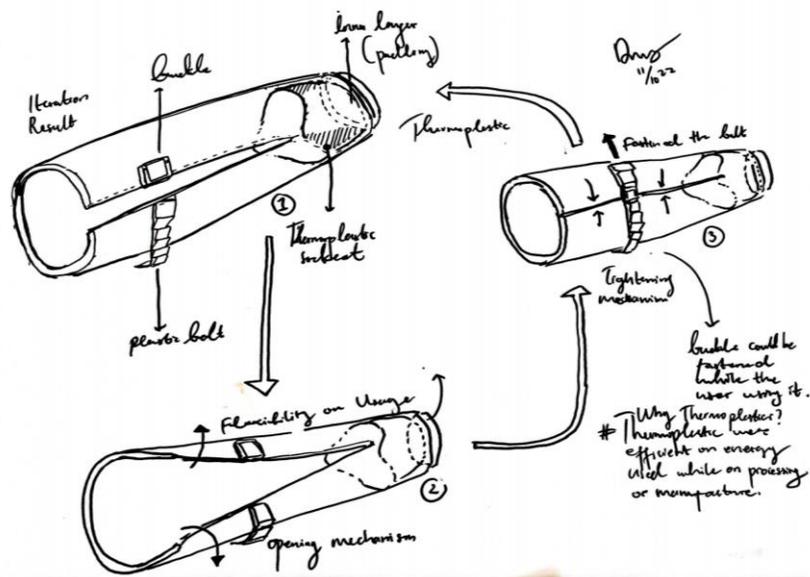
Dalam rancangan ini, fitur *buckle* dan *belt* dikategorikan sebagai suku cadang yang menyempurnakan fungsi dari hasil rancangan *socket*. Pada halaman selanjutnya, akan ditampilkan sketsa dari mekanisme *buckle* dan *belt* sebagai ilustrasi terhadap proses memasang dan melepas fitur tersebut.



Gambar IV.16 Mekanisme *belt* dan *buckle* yang berfungsi mengencangkan *socket*

Jenis pengencang yang digunakan untuk mengikat *socket* tersebut adalah *belt* dengan tipe bergerigi sementara untuk jenis *buckle* yang dipilih berupa tipe *auto buckle*. Kedua mekanisme *belt* dan *buckle* tersebut umum ditemui pada produk helm dan sepatu roda. Jenis pengencang tersebut mampu menahan dorongan gaya dan sangat kecil kemungkinan untuk merenggang. Selain itu, cara pemasangan dan pelepasannya yang cukup sederhana juga menjadi pilihan yang tepat guna memudahkan pengguna lengan prostetik. Penambahan *belt* dan *buckle* juga bermanfaat mengamankan *socket* untuk tetap mengikat secara stabil pada residu lengan pengguna, dimana hal tersebut dapat mencegah jika suatu saat *socket* dapat terlepas ketika terdapat gaya tarik dari eksternal tubuh pengguna.

Dengan ditambahkannya fitur tersebut, maka proses iterasi rancangan pada *socket* dapat diselesaikan, menimbang fitur tersebut merupakan bagian terakhir yang melengkapi proses rekonstruksi *socket*. Setelah mekanisme pengencang telah dijelaskan, maka selanjutnya merupakan penggambaran sketsa akhir dari mekanisme pemasangan *socket*. Dalam sketsa ini, semua hasil perbaikan dari setiap iterasi sebelumnya diterapkan pada rancangan, sehingga sketsa tersebut dapat menggambarkan penggunaan *socket* secara utuh.



Gambar IV.17 Penambahan fitur belt dalam mekanisme lepas dan pasang *socket*

Berikut merupakan penjelasan mekanisme pengencang *socket* pada sketsa di atas:

1. Posisi awal *socket*.
2. *Slicing* dibuka dengan menarik kedua sisi belahan pada *socket* sehingga *socket* dapat dilonggarkan. Dengan begitu, residu lengan pengguna dapat dipasangkan dengan mudah tanpa adanya gesekan.
3. *Socket* ditutup kembali dan dikencangkan melalui *belt* dan *buckle* yang telah ditambahkan.

Tabel IV.12 Proses Iterasi Ketiga pada Rancangan

Iterasi-3 : <i>Additional Features</i>		
No.	Hasil Rancangan	Keterangan
1.	Adanya tekanan negatif pada rongga <i>socket</i> telah diatasi dengan menambahkan celah kecil guna mendukung sirkulasi udara.	tidak ada permasalahan yang tersisa pada iterasi ini.
2.	<i>Slicing</i> pada badan <i>socket</i> telah diterapkan sehingga memudahkan pemasangan <i>socket</i> pada residu lengan pengguna.	tidak ada permasalahan yang tersisa pada iterasi ini.
3.	mekanisme melepas dan memasang sudah dilengkapi <i>belt</i> dan <i>buckle</i> .	tidak ada permasalahan yang tersisa pada iterasi ini.

IV.3.3 Geometric Digitization

Digitalisasi data antropometri merupakan proses dimana konversi data dilakukan guna merubah dimensi hasil pengukuran menjadi dimensi yang diskrit. Pada perancangan *socket* dalam penelitian ini, tidak banyak perubahan digital yang mengalami konversi pada hasil pengukuran yang telah didapatkan. Hal ini disebabkan oleh, adanya standar satuan pada dimensi dalam perangkat lunak CAD yang sama terhadap standar pengukuran yang telah dilakukan. Namun, terdapat dua elemen lainnya berupa bilangan pada pengukuran dan sketsa rancangan yang harus dikonversi terlebih dahulu sebelum proses pemodelan dilakukan.

Berdasarkan sifatnya, bilangan yang merupakan hasil pengukuran memiliki sifat kontinu dan disertai dengan nilai ketidakpastian pengukurannya. Sementara itu, pemodelan solid membutuhkan nilai diskrit sebagai inputnya guna mendefinisikan ukuran model tersebut. Selain itu, adapun elemen berupa sketsa rancangan yang akan dikonversi menjadi sketsa digital pada CAD. Sketsa digital memungkinkan proses modifikasi model menjadi lebih mudah dengan memanfaatkan sejumlah fitur menggambar pada SolidWorks 2022 untuk menambahkan perubahan pada rancangan *socket* sesuai rencana yang telah ditetapkan.

Berikut merupakan tabel yang memaparkan proses konversi digital yang dilakukan selama perancangan dilakukan.

Tabel IV.13 Proses Digitalisasi Geometris

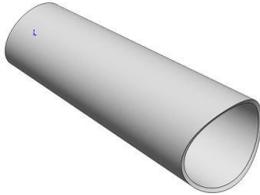
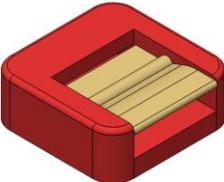
Geometric Digitization			
No.	Elemen yang Dikonversi	Proses Konversi	Hasil Konversi
1.	Bilangan hasil pengukuran	Pembulatan terhadap desimal dengan menyisakan hanya 1 angka di belakang koma	Dimensi yang lebih diskrit
2.	Sketsa rancangan	Duplikasi bidang pada sketsa dengan fitur <i>sketch</i> yang dilanjutkan dengan pemodelan solid melalui CAD	3D <i>part</i> dan <i>drawing</i> yang dapat dimodifikasi

IV.3.4 Solid Modeling melalui Perangkat Lunak SolidWorks 2022

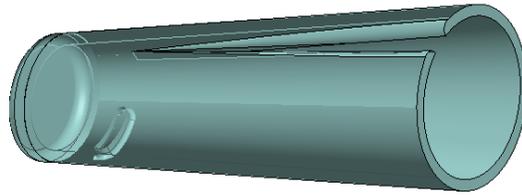
Dalam tahap pemodelan secara solid, dilakukan perancangan digital terhadap seluruh komponen produk yang telah disketsa pada tahap sebelumnya. Dalam proses ini, input berupa dimensi yang telah dikonversi akan digunakan dalam mendefinisikan ukuran pada model. Dengan memanfaatkan sejumlah fitur pada SolidWorks 2022 seperti *sketch*, *extrude*, *cut-extrude*, *emboss*, dan fitur pemodelan lainnya, rancangan dapat dihasilkan dan dianalisis mengenai bentuk, ukuran, dan karakteristiknya.

Hasil pemodelan juga dapat memberikan sejumlah atribut rancangan, seperti warna, material, dan sifat mekanis material. Dengan demikian, melalui proses pemodelan solid, hasil pengujian pada proses verifikasi dapat disajikan secara *real*. Dalam perancangan ini, adapun beberapa part mengalami pemodelan solid yaitu Badan *Socket*, *Padding*, *Buckle*, dan *Belt*. Penjelasan lebih rinci mengenai pemodelan solid akan ditampilkan dengan pemaparan sebagai berikut.

Tabel IV.14 Daftar *Part* pada Pemodelan Solid

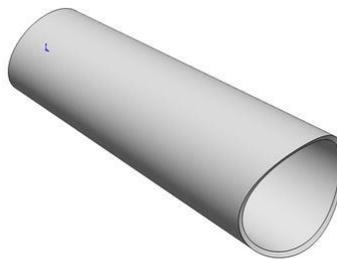
No.	Nama Part	Gambar	Keterangan
1.	Badan <i>Socket</i>		Material : PETG (<i>Polyethylene Terephthalate Glycol</i>) Thermoplastic
			<i>Bagian Socket</i> merupakan bagian utama pada proses perancangan yang berfungsi dalam merekatkan lengan residual pengguna pada alat prostetik
2.	<i>Padding</i>		Material : <i>Polyurethane Foam</i>
			Sebagai bagian yang melapisi lengan residual di dalam rongga <i>socket</i> , <i>padding</i> merupakan foam yang berperan melindungi ujung lengan residual pengguna selama pemakaian <i>socket</i> berlangsung.
3.	<i>Buckle</i>		Material : POM (<i>PolyOxyMethylene</i>) Acetyl
			<i>Buckle</i> pada permukaan <i>socket</i> , difungsikan untuk menahan ikatan belt guna mengencangkan pemasangan <i>socket</i> pada lengan residual pengguna
4.	<i>Belt</i>		Material: POM (<i>PolyOxyMethylene</i>) Acetyl
			Bagian <i>belt</i> difungsikan secara bersamaan dengan penggunaan <i>buckle</i> , dimana kedua bagian tersebut berguna dalam mengencangkan <i>socket</i> pada lengan residual pengguna.

Pada tahap Dalam tahap ini, seluruh komponen rancangan pada *socket* dimodelkan pada perangkat lunak SolidWorks 2022. Proses *solid modeling* merupakan tahap dimana hasil rancangan pada sketsa yang telah diilustrasikan pada pembahasan sebelumnya direalisasikan dalam bentuk digital.



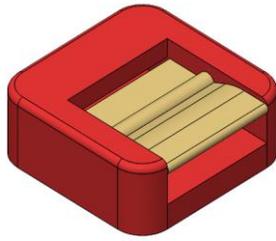
Gambar IV.18 Model *socket*

Pemodelan *socket* dibentuk oleh geometris elips yang terletak pada bagian ujung-ujungnya, kemudian elips tersebut ditarik menggunakan fitur *extrusion* yang terdapat pada SolidWorks 2022. Selanjutnya, dilakukan *cut extrude* pada bagian *slice* yang melintang di sepanjang permukaan luar dan bagian *notch* di bagian ujung *socket*. Bentuk elips tersebut merupakan perpotongan pada *sectioning* lengan yang telah dibagi menjadi tiga area pada saat proses perancangan *basic shape* pada *socket*. Bentuk elips tersebut tersusun atas diameter besar dan kecil sehingga dihasilkan bangun silindris yang menyesuaikan bentuk lengan bawah.



Gambar IV.19 Model *padding*

Pada rongga dalam *socket*, terdapat lapisan yang membatasi antara lengan residual dan permukaan dalam *socket*. Bagian tersebut merupakan *padding*, dimana *part* ini berfungsi melindungi ujung lengan residual pengguna dari dorongan. Dalam proses pemodelannya, *padding* dibentuk melalui dua buah elips yang saling dihadapkan, yang mana ukuran diameter elips mengikuti diameter pada rongga dalam *socket*. Kemudian, elips tersebut akan dibentuk timbul melalui fitur *extrusion* yang ada pada SolidWorks 2022.



Gambar IV.20 Model *buckle*

Adanya fitur *buckle* ditujukan guna mengeratkan pemasangan *socket* pada residual lengan pengguna. Pada bagian *socket*, *buckle* digolongkan sebagai suku cadang yang melengkapi produk. Pada proses pemodelannya, *buckle* merupakan bentuk persegi yang keempat sudutnya dilengkungkan serta pada permukaannya ditimbulkan keatas melalui fitur *extrusion*. Langkah selanjutnya, pada bagian tengah *buckle* diberikan slot yang yang menjadi jalur masuknya *belt*.



Gambar IV.21 Model *belt*

Pada bagian terakhir merupakan *belt*, yang mana bagian ini berfungsi mengikat bagian *slice* pada *socket*. Bagian *belt* merupakan kesatuan fungsi dari *buckle*, yang mana kedua *part* tersebut dikategorikan sebagai suku cadang. Pada pemodelannya, *belt* dibentuk dari bidang datar dengan menarik garis lurus yang diberi pola gerigi, dimana gerigi tersebut nantinya akan digunakan sebagai penahan ikatan pada *buckle*. Kemudian, bidang tersebut ditarik dengan fitur *extrusion* untuk memberikan efek timbul pada *belt*. Lalu, bagian sudut dan pinggiran *belt* dilakukan pelengkungan dengan fitur *fillet* guna memudahkan *belt* melewati celah pada *buckle*.

IV.3.5 Pembuatan *Prototype*

Pembuatan *prototype* pada perancangan *socket* dilakukan guna memberikan tinjauan awal terhadap penggabungan produk. Adapun dua hal yang diperhatikan ketika pengerjaan *prototype* berlangsung yaitu meninjau kesesuaian ukuran part pada proses *assembly* dan memastikan penempatan *part* tidak memotong bidang atau ruang dari *part* lainnya. Pada tahap ini, dilakukan penggabungan pada *part* yang telah dimodelkan melalui CAD. Proses penggabungan *part* pada hasil *modeling* melalui SolidWorks 2022, mampu memperlihatkan bagian atau area yang mengalami konflik terhadap bagian lainnya.

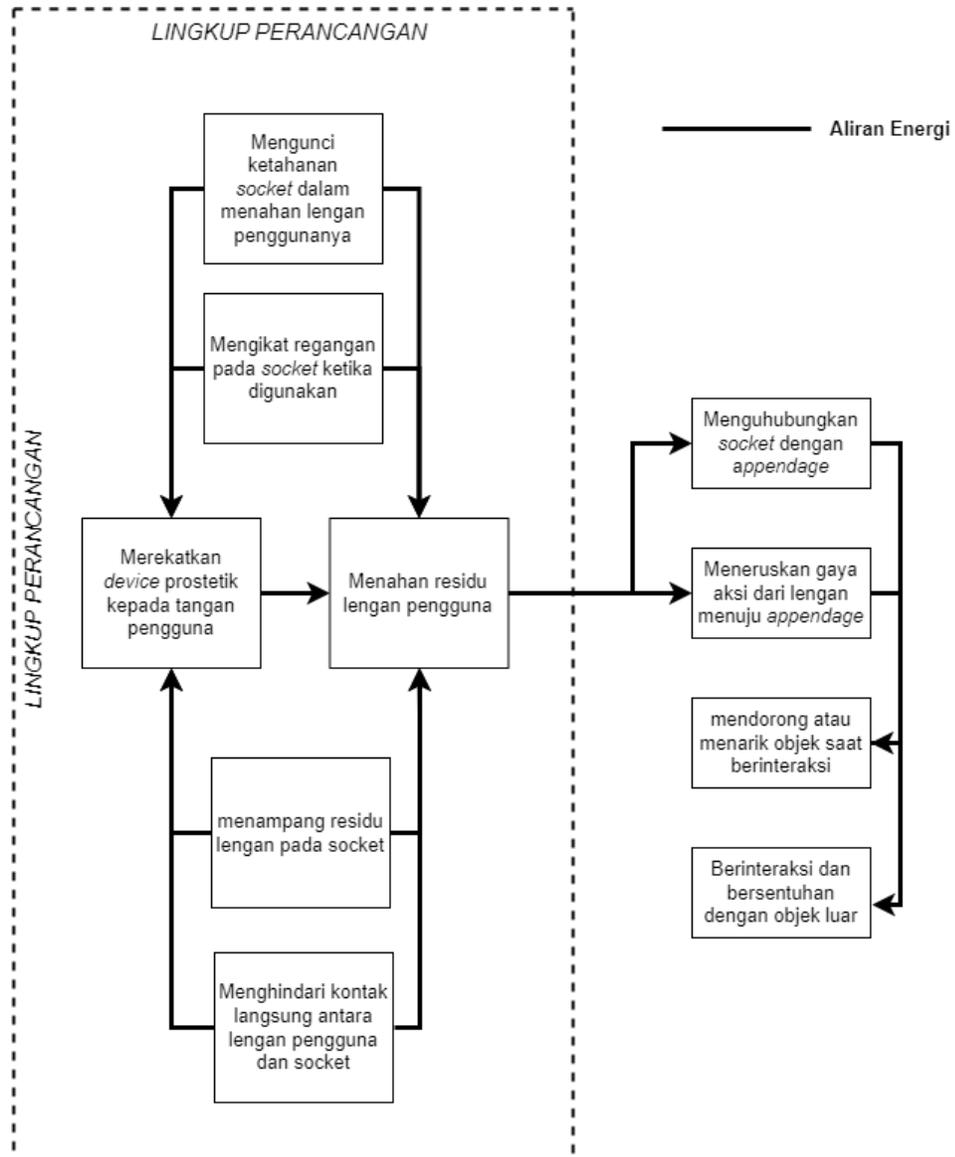
Dalam perancangan ini, penempatan *padding* beberapa kali mengalami *misadjust* terhadap *socket*. Posisi *part* tersebut yang terletak pada bagian rongga *socket* menjadikan program pada CAD sulit mendefinisikan lokasi penempatan *part*. Menanggapi hal tersebut, maka pada proses penggabungan dilakukan dengan cara merubah tampilan *interface* pada model *part* menjadi struktur *wireframe*, sehingga bidang pada rongga *socket* dapat terlihat dan proses penggabungan *part* dapat dilakukan dengan mudah. Tampilan hasil penggabungan *part* dapat dilihat pada pembahasan berikutnya di bagian hasil rancangan.

IV.3.6 Pertimbangan Perubahan Desain terhadap Arsitektur Produk

Setelah perancangan pada *socket* dilakukan, pertimbangan pada struktur produk secara utuh perlu dievaluasi guna melihat dampak ataupun implikasi yang terjadi terhadap elemen yang terdapat pada produk lengan prostetik. Melalui perancangan ulang pada arsitektur produk, interaksi yang terjadi dalam produk dapat ditampilkan dan dianalisis kembali guna meninjau hasil rancangan yang telah diperoleh. Tahapan arsitektur produk pada perancangan ini dijelaskan sebagai berikut.

1. Skema Produk

Skema produk merupakan elemen-elemen yang menyusun fungsi dan fisik produk. Penjabaran elemen-elemen tersebut ditujukan guna memperlihatkan struktur fungsi pada produk yang dirancang. Berikut merupakan penggambaran dari skema produk *socket* yang dirancang.



Gambar IV.22 Skema elemen fungsional produk

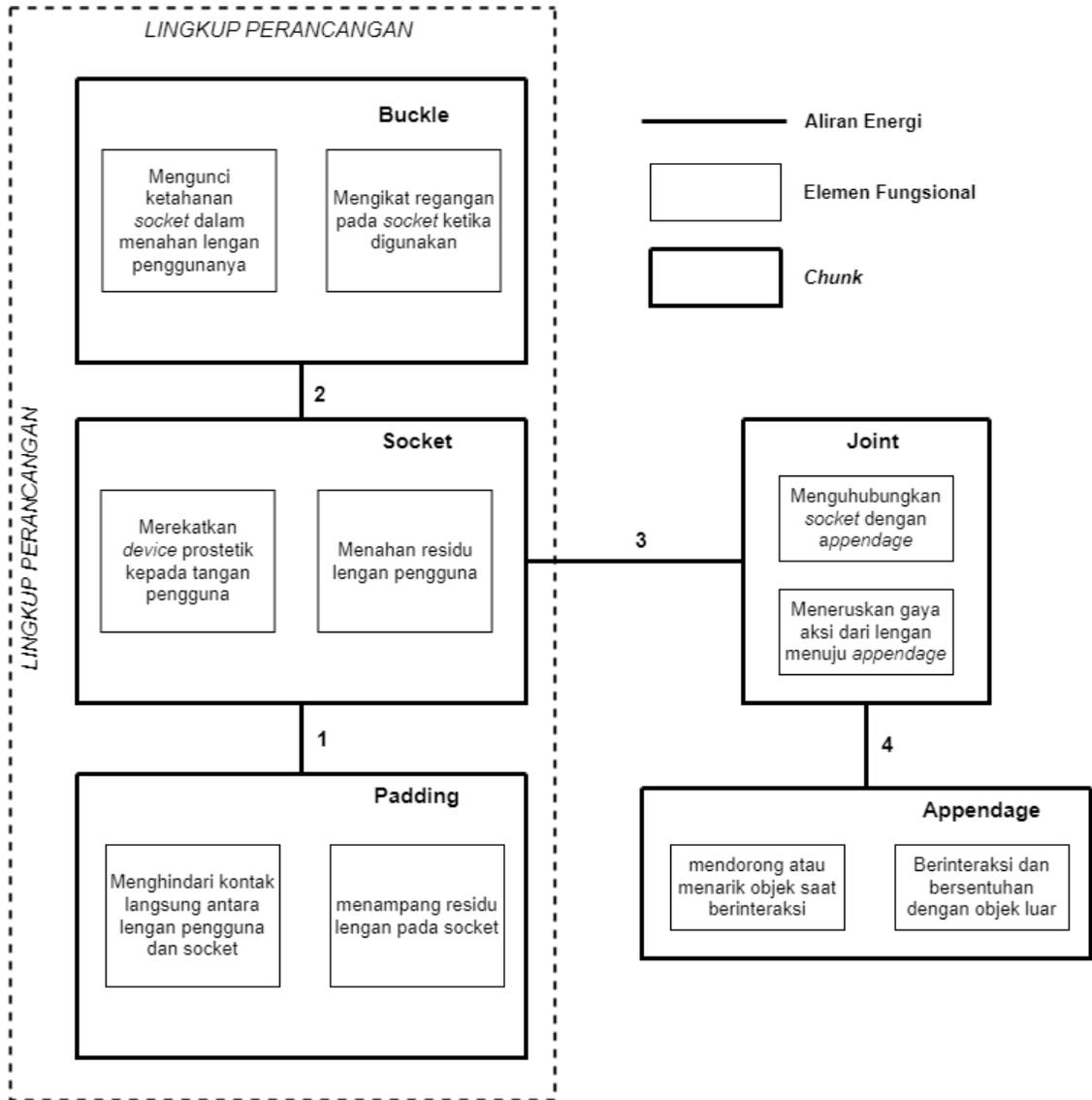
2. Klasterisasi Elemen

Tahap klasterisasi merupakan proses pengelompokan elemen-elemen fungsional menjadi menjadi satu kesatuan yang memiliki karakteristik yang sama. Klasterisasi pada elemen produk memungkinkan terciptanya interaksi elemen yang lebih efektif dan efisien. Dengan klasterisasi pula, hubungan dan interaksi pada setiap elemen dapat dianalisis. Beberapa faktor pada proses perancangan dan produksi dapat dijadikan suatu pertimbangan dalam klasterisasi elemen.

Tabel IV.15 Faktor Pertimbangan Klasterisasi

No.	Pertimbangan Klasterisasi Elemen Produk	Keterangan
1.	Integrasi geometris	Tidak ada keterkaitan faktor klasterisasi terhadap elemen produk yang memungkinkan untuk dikelompokan
2.	Kesamaan fungsi	elemen dapat dikelompokan
3.	Kemampuan vendor dalam memproduksi	Tidak ada keterkaitan faktor klasterisasi terhadap elemen produk yang memungkinkan untuk dikelompokan
4.	Kesamaan dalam proses desain atau produksi	elemen dapat dikelompokan
5.	Lokalisasi dan kemampuan untuk menerapkan perubahan	elemen dapat dikelompokan
6.	Akomodasi variasi	elemen dapat dikelompokan
7.	Standarisasi komponen	Tidak ada keterkaitan faktor klasterisasi terhadap elemen produk yang memungkinkan untuk dikelompokan
8.	Portabilitas pada <i>interface</i>	Tidak ada keterkaitan faktor klasterisasi terhadap elemen produk yang memungkinkan untuk dikelompokan

Pada sebagian faktor dalam pertimbangan klasterisasi elemen produk tidak memungkinkan untuk diklasterkan. Hal tersebut, disebabkan tidak ada kesamaan yang memungkinkan untuk menggabung elemen fisik atau fungsional tersebut menjadi satu *chunk*. Dengan demikian, berikut merupakan tampilan klasterisasi pada elemen lengan prostetik yang telah dikelompokkan.



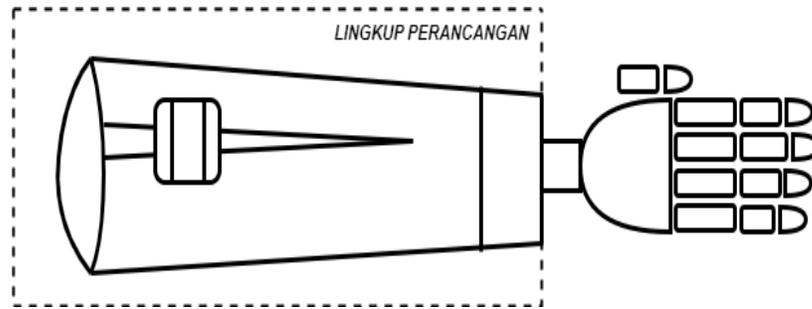
Gambar IV.23 Klasterisasi elemen-elemen produk

Pada arsitektur produk *socket*, klasterisasi hanya dilakukan pada faktor seperti kesamaan fungsi dan desain, serta lokalisasi dan akomodasi perubahan pada komponen produk. Dari tampilan klasterisasi pada elemen lengan prostetik tersebut, menunjukkan bahwa hasil klasterisasi terdapat empat interaksi pada setiap *chunk* yang memungkinkan untuk dianalisis lebih lanjut guna meninjau interaksi yang terjadi pada komponen produk. Setelah proses klasterisasi dilakukan, peninjauan berikutnya akan dilakukan dengan membentuk geometris kasar dua dimensi guna memperlihatkan bagaimana tampilan utuh produk setelah pengelompokan elemen-elemen dilakukan.

3. Geometris Kasar Dua Dimensi

Setelah proses klasterisasi terhadap *socket* telah dikelompokkan, maka pembuatan geometris kasar dapat dikerjakan guna memperlihatkan penempatan *chunk*. Geometris kasar yang terbentuk merupakan penyusunan secara mentah terhadap *chunk* yang telah diklasterisasikan. Pada awalnya *chunk* tersebut merupakan sekumpulan elemen fisik dan elemen fungsional, namun dengan disusunnya geometris kasar, maka setiap posisi *chunk* tersebut dapat ditinjau berdasarkan penempatannya.

Peninjauan itu meliputi, pertimbangan apakah posisi *chunk* tersebut telah dikatakan telah sesuai terhadap susunan *chunk* lainnya dalam sebuah produk. Sehingga dalam pembuatan geometris kasar, ilustrasi akan menyertakan garis dan bidang yang menggambarkan rupa dari *part* yang dirancang. Pada gambaran yang dihasilkan, tidak sepenuhnya mewakili bentuk akhir hasil rancangan, namun sangat berpengaruh terhadap penempatan *part* pada produk. Pada perancangan *socket* ini, dapat diperlihatkan struktur geometris kasar sebagai berikut, dimana terdapat pembagian oleh garis yang membatasi antara lingkup penelitian dengan *part* lainnya pada *socket* yang sedang dirancang.



Gambar IV.24 Geometris kasar *socket*

Melalui pemetaan *chunk* dengan geometris kasar, kelayakan pada penempatan *part* produk dapat dipertimbangkan kembali dengan memperhatikan interaksi *part* ketika produk sedang beroperasi. Dalam perancangan *socket* ini, posisi *socket*, *padding*, *buckle*, dan *belt* dinilai telah sesuai antara posisi penempatan dengan fungsinya, sehingga tidak ditemukannya implikasi yang negatif terhadap penempatan *chunk* yang telah disusun.

Penyusunan geometris kasar, menandakan bahwa pada tahap selanjutnya diperlukan suatu identifikasi terhadap interaksi setiap *chunk* dalam produk. Dengan demikian, maka proses pertimbangan arsitektur produk dapat dilanjutkan ke tahapan selanjutnya, yaitu berupa analisis interaksi fundamental dan insidental antar *chunk*.

4. Analisis Interaksi *Part* dalam Produk

Melakukan identifikasi interaksi pada *chunk* diperlukan guna melihat reaksi yang terjadi pada setiap *chunk*. Dalam mengidentifikasinya, terdapat dua klasifikasi interaksi, diantaranya yaitu interaksi fundamental yang merupakan interaksi dasar, dan adapun interaksi insidental yang merupakan interaksi yang timbul karena adanya implikasi. Umumnya implikasi ini merupakan sesuatu yang tidak diinginkan terjadi, dan dalam beberapa kasus dapat membahayakan fungsi utama dari sebuah produk. Dalam penelitian, dapat dikemukakan beberapa interaksi sebagai berikut.

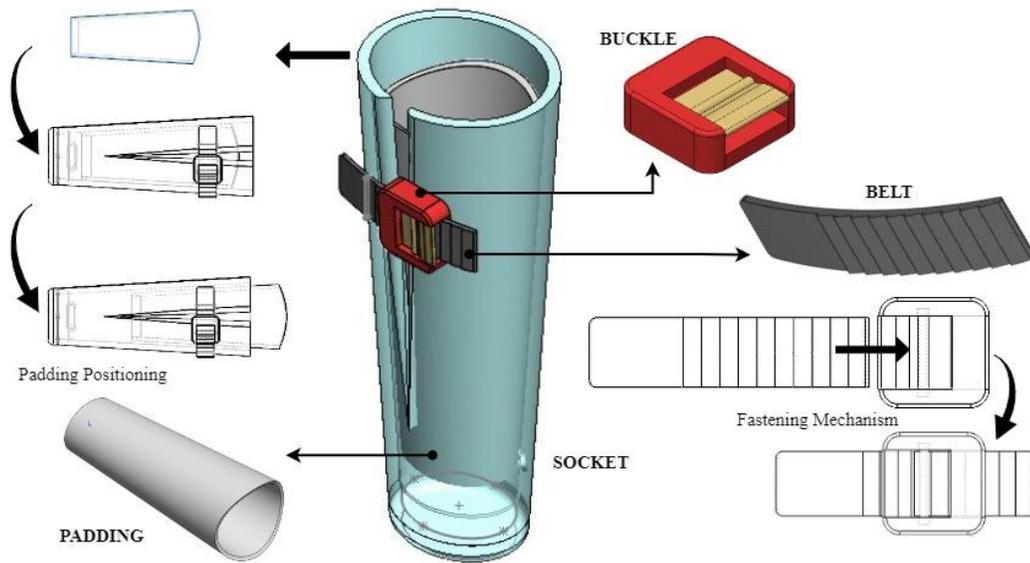
Tabel IV.16 Analisis Interaksi pada *Chunk*

Nomor Interaksi	Interaksi Fundamental	Interaksi Insidental
1.	Bagian <i>padding</i> mereduksi gesekan antara lengan residu dan <i>socket</i>	Tidak ada reaksi insidental antara <i>padding</i> dan <i>socket</i>
2.	<i>Buckle</i> mengikat tekanan statis residu lengan pengguna pada <i>socket</i>	Tekanan yang terlalu besar dapat memutus <i>belt</i> atau merusak <i>buckle</i> .
3.	<i>Socket</i> meneruskan gaya dorong ke <i>joint</i> .	Tidak ada reaksi insidental antara <i>socket</i> dan <i>joint</i>
4.	<i>joint</i> menerus gaya dorong ke <i>appendage</i>	Tidak ada reaksi insidental antara <i>joint</i> dan <i>appendage</i>

Menimbang pengaruh perbaikan *socket* pada arsitektur produk, tidak ditemukan kondisi yang menghalangi proses perancangan *socket* secara modular. Begitu pula reaksi yang ada antara komponen di dalamnya, namun pada interaksi insidental terlihat terdapat kendala kecil antara *socket* dan *joint* yang dapat diatasi dengan pemilihan material *buckle* maupun *belt* yang kuat terhadap tekanan statis yang timbul pada bagian dalam *socket*. Dengan hasil analisis interaksi part, tidak ditemukan reaksi antagonis pada setiap *chunk* yang berelasi, maka dapat disimpulkan bahwa adanya perancangan pada *socket* tidak menimbulkan ketidaksesuaian pada produk lengan prostetik secara keseluruhan.

IV.4 Hasil Rancangan

Setelah proses perancangan dilakukan, pada tahap ini merupakan pemaparan terhadap output desain *socket*. Hasil rancangan *socket* memiliki bentuk rongga silindris dengan fitur *slicing* yang direkatkan oleh *buckle* yang guna mengencangkan pemasangan *socket* pada residual lengan pengguna. Pemilihan material *thermoplastic*, diterapkan dengan pertimbangan kelebihanannya yang cukup kuat menahan gaya dorong dan lebih ringan jika dibandingkan dengan material komposit maupun logam lainnya.



Gambar IV.25 Pemaparan hasil rancangan *socket*

Struktur produk *socket* pada hasil perancangan terdiri dari badan *socket*, *padding*, *buckle*, dan *belt* yang menyusun kesatuan produk guna memberikan fungsi dalam menopang dan merekatkan lengan residual pada produk prostetik. Pada hasil rancangan ini, dilengkapi oleh lapisan *padding* pada rongga dalam *socket*, guna menghindari gesekan dan dorongan pada residual lengan.

Dengan diposisikannya *padding* pada lapisan dalam, dapat memberikan kenyamanan dan penyesuaian yang lebih baik kepada pengguna saat memakai *socket* dalam jangka waktu panjang. Fitur lainnya yang ditempatkan pada bagian *socket* yaitu *buckle* dan *belt*, dimana penggunaannya dapat membantu menunjang pasien dalam memasang *socket* dengan lebih mudah.

Pemasangan *buckle* dan *belt* tersebut dapat dilakukan dengan memasukan *belt* ke dalam rongga *buckle*, dimana *buckle* akan menahan gerigi *belt* dan mempertahankan posisi *socket*. Dengan demikian, *socket* tidak akan lepas ketika pengguna menggerakannya, yang mana *buckle* akan selalu mengunci *belt* dengan erat kecuali jika pengguna menarik tuas kecil pada *buckle*.

IV.5 Verifikasi Hasil Rancangan

Tahap verifikasi pada penelitian ini berisikan sejumlah pengujian atau *testing* pada produk *socket* yang telah dirancang pada tahap sebelumnya. Proses verifikasi dilakukan guna memeriksa kembali apakah hasil rancangan telah sesuai dengan kriteria pemakaian produk. Dengan proses ini pula produk dapat ditinjau apakah hasil dari rancangan *socket* sudah sesuai dengan tujuan perancangan. Beberapa kriteria pengujian seperti aspek fisik dari *socket* maupun lingkungan yang berinteraksi akan menjadi tinjauan dalam proses verifikasi guna memperlihatkan performa hasil rancangan terhadap reaksi dari elemen fisik yang mempengaruhinya, diantara kriteria-kriteria tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah sebagai berikut.

Tabel IV.17 Verifikasi Rancangan melalui *Testing*

No.	Kriteria Perancangan	Pengujian yang Dilakukan	Parameter Peninjauan dalam Pengujian
1.	Tegangan Geser	Shear Test	<ol style="list-style-type: none">1. Gaya dorong terhadap rongga <i>socket</i>.2. Area penampang tetap.3. Area yang mengalami deformasi.
2.	Temperatur	Thermal Analysis	<ol style="list-style-type: none">1. Rata-rata temperatur normal manusia dewasa.2. Temperatur normal ruangan.3. Persebaran temperatur.
3.	Tekanan Udara	Air Flow Test	<ol style="list-style-type: none">1. Kecepatan gerak udara.2. Tekanan normal atmosfer bumi.3. Sirkulasi gerakan fluida.
4.	Fluktuasi Volume	Static Pressure Test	<ol style="list-style-type: none">1. Tekanan statis pada rongga dalam <i>socket</i>.2. Perubahan posisi <i>socket</i>.

IV.5.1 Tinjauan pada Kondisi Pemakaian

Dari hal tersebut, sejumlah alasan pengujian perlu diungkap guna memastikan hasil rancangan mampu menghadapi faktor-faktor fisik sebagai berikut.

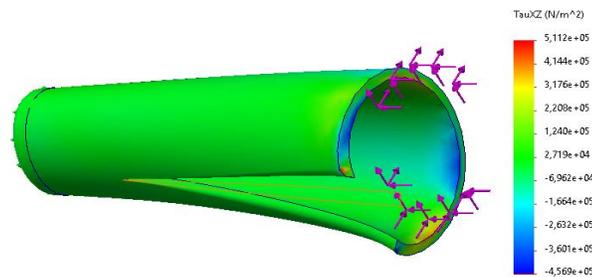
Tabel IV.18 Pertimbangan *Testing* terhadap Kondisi Pemakaian *Socket*

No.	Alasan Pengujian terhadap Kondisi Pemakaian	Jenis Pengujian (<i>testing</i>)	Ekspektasi Pengujian
1.	Dorongan dan tekanan dari objek luar yang mengenai permukaan <i>socket</i> .	Shear Test	Mengevaluasi dampak adanya tegangan geser dan deformasi struktur <i>socket</i> terhadap dorongan atau gaya dari objek luar.
2.	Peningkatan temperatur pada pemakaian jangka waktu yang cukup lama.	Thermal Analysis (Thermodynamic)	Mengetahui karakteristik persebaran suhu yang terjadi ketika <i>socket</i> digunakan pada residu lengan pengguna.
3.	Sirkulasi udara di dalam rongga <i>socket</i> ketika <i>socket</i> dipasangkan pada residu lengan pengguna. Sirkulasi udara juga diperlukan untuk mengurangi tekanan negatif ketika pengguna melepas pemakaian <i>socket</i> serta menurunkan suhu yang membendung pada bagian rongga <i>socket</i> ketika dipakai.	Air Flow Simulation (Aerodynamic)	Menampilkan visual aliran udara dalam <i>socket</i> ketika dipakai oleh pengguna guna memastikan fungsi ventilasi pada pembuangan celah kecil di ujung <i>socket</i> mampu berfungsi dengan baik..
4.	Tekanan pada permukaan rongga dalam <i>socket</i> ketika, pengguna memakai <i>socket</i> yang disebabkan oleh dorongan lengan pengguna <i>socket</i> .	Statics Pressure Test	Mengevaluasi persebaran area tekanan yang kemungkinan terjadi ketika <i>socket</i> digunakan.

IV.5.2 Pengujian Kondisi Pemakaian

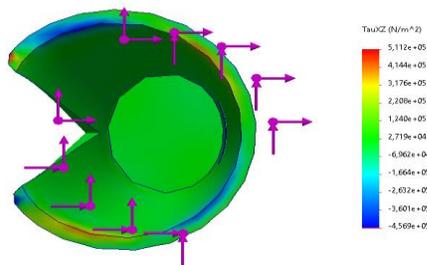
IV.5.2.1 Shear Testing

Pemakaian *socket* pada lengan tidak luput dengan tegangan geser yang berasal dari tubuh penggunanya. Kekuatan geser sendiri merupakan tahanan maksimum yang mampu diterima oleh suatu material ketika pergeseran terjadi. Dengan begitu untuk mengetahui seberapa besar kekuatan tegangan geser pada bagian *socket*, maka diperlukan suatu pengujian guna mengetahui letak persebarannya melalui *shear test*. *Shear test* merupakan metode yang sangat sering digunakan untuk menentukan kekuatan kohesif material melalui pemberian tekanan atau beban terhadap pemadatan pada suatu objek atau material.



Gambar IV.26 Visual *shear stress* pada *socket*

Gaya dorong pada saat pengujian diberikan pada ujung rongga dalam, sementara itu gaya geser diberikan pada pinggiran *socket*. Besaran massa yang diberikan senilai 25 Kg, dengan pertimbangan bahwa nilai tersebut merupakan berat rata-rata yang diangkat manusia selama menjalankan aktivitas sehari-hari

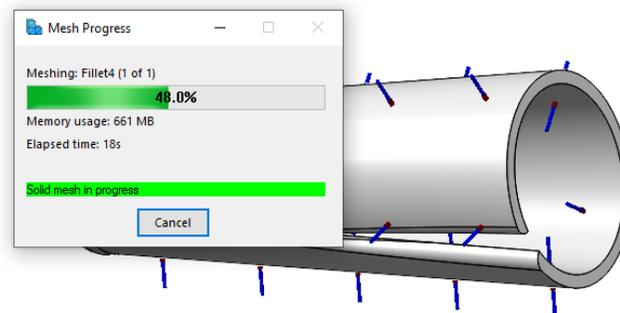


Gambar IV.27 Visual *shear stress* pada hadapan depan

Hasil pengujian pada proses ini ditampilkan dengan indeks warna yang merepresentasikan perbesaran gaya yang berpengaruh pada struktur *socket* secara keseluruhan. Perubahan struktur pada hasil rancangan *socket* terlihat mendominasi pada area pemberian beban yang merupakan area dimana *socket* menerima dorongan dan geseran pada residual lengan pengguna.

IV.5.1.2 Pengujian Temperatur melalui *Thermal Analysis*

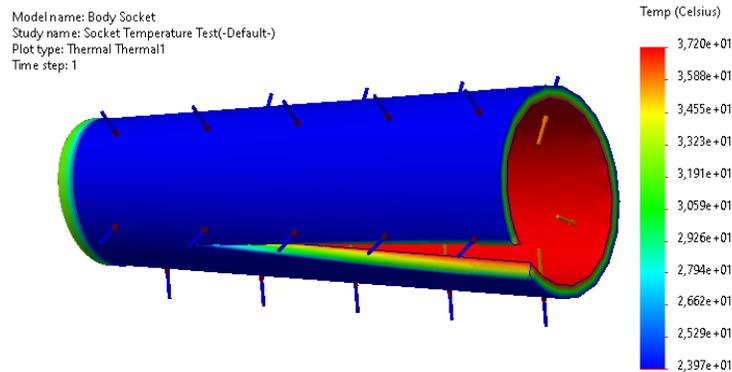
Analisis persebaran suhu pada saat ketika lengan pengguna bertujuan untuk menilai titik-titik tertentu pada *socket* yang kemungkinan masih menahan panas yang menjadikan pengguna merasa tidak nyaman. Selain dalam perihal kenyamanan, analisis suhu yang terkomputasi pada produk juga dapat memprediksi perilaku material ketika produk tersebut digunakan dengan tampilan persebaran suhu yang mudah dipahami melalui indeks warna. Berkenaan dengan hal itu, Hope dan Mason (2019) menyatakan Termodinamika komputasi memungkinkan prediksi sifat termodinamika dan stabilitas fasa paduan dibawah kondisi stabil dan metastabil.



Gambar IV.28 Proses pembuatan *mesh* rekayasa temperatur

Tabel IV.19 Interaksi Temperatur pada *Socket*

	Temperatur Aksi	Temperatur Reaksi
Nilai	37,20°C	24°C
Parameter	Suhu badan rata-rata orang dewasa normal	Suhu ruang pada kondisi normal



Gambar IV.29 Visualisasi simulasi persebaran temperatur aksi dan reaksi pada *socket*

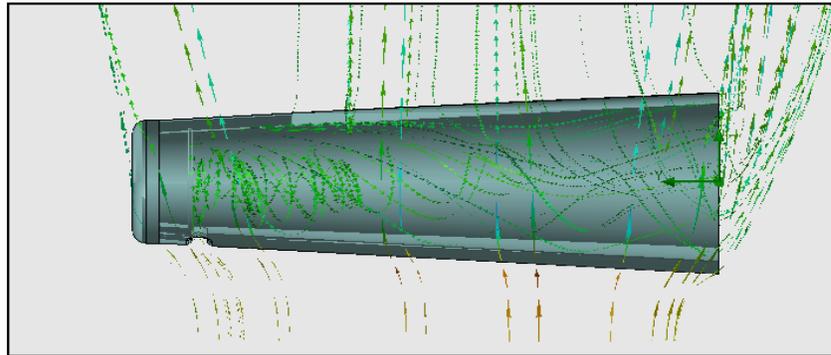
Dalam proses pengujian thermal, bagian *socket* dihadapkan dengan dua perbedaan suhu yaitu dengan mensimulasikan suhu 24°C pada permukaan luar *socket* sebagai representasi kondisi suhu ruang dalam keadaan normal, dan direaksikan dengan suhu 37,20°C pada rongga dalam *socket* yang mana suhu tersebut merupakan kondisi panas tubuh normal pada orang dewasa. Output dari pengujian ini dapat dilihat pada pola persebaran termal yang terjadi pada *socket*. Pada tampilan visual memperlihatkan temperatur

IV.5.1.3 Analisis Sirkulasi Udara dengan *Air Flow Simulation*

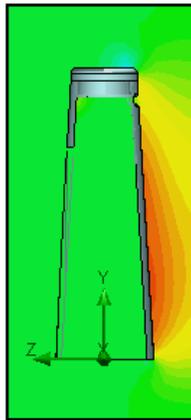
Pengujian aliran udara merupakan pemetaan pergerakan udara yang melewati bagian dalam menuju luar komponen atau suatu produk guna mengukur karakteristik produk saat adanya udara yang bergerak. Dengan *Air Flow Simulation* pada proses *testing*, dapat dipahami bagaimana pergerakan sirkulasi fluida pada bagian dalam *socket*.

Sirkulasi udara pada pengujian ini bertujuan untuk melihat dinamika pergerakan udara pada saat lengan pengguna melepaskan pemasangan *socket*. Pada kondisi tersebut, tekanan negatif terjadi pada ujung rongga dalam *socket*, yang mana pada pengujian *Air Flow* akan memperlihatkan pergerakan udara secara dinamis terhadap bagian celah kecil yang berada pada ujung *socket*.

Simulasi *Air Flow* membantu memetakan pergerakan udara melalui visual *mesh* yang menggambarkan aliran fluida yang terjadi di dalam *socket*. Dengan dilakukannya pengujian *air flow* pada SolidWorks 2022, berikut merupakan hasil visual pengujian yang didapatkan.



Gambar IV.30 Visualisasi simulasi aliran udara yang melewati ventilasi pada *socket*

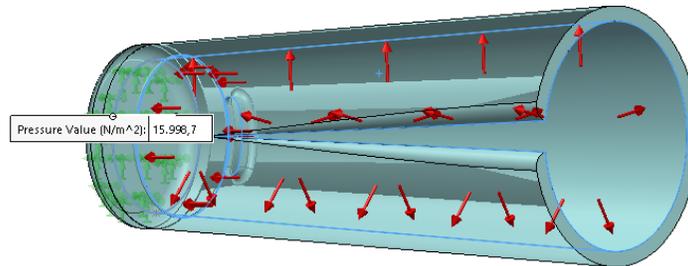


Gambar IV.31 *Heatmap* tekanan udara pada pengujian

Dalam simulasi *air flow* yang dijalankan pada *socket*, adapun input kecepatan angin sebesar 0,15 m/s yang merupakan rata-rata kecepatan angin di dalam ruangan serta penyesuaian tekanan atmosfer yang diatur normal. Pada pengujian ini, asumsi ditambahkan dengan mengatur posisi datangnya angin yang bergerak pada sumbu X, dimana penampang tersebut merupakan sumbu yang berhadapan langsung dengan posisi celah kecil yang terdapat pada bagian belakang *socket*.

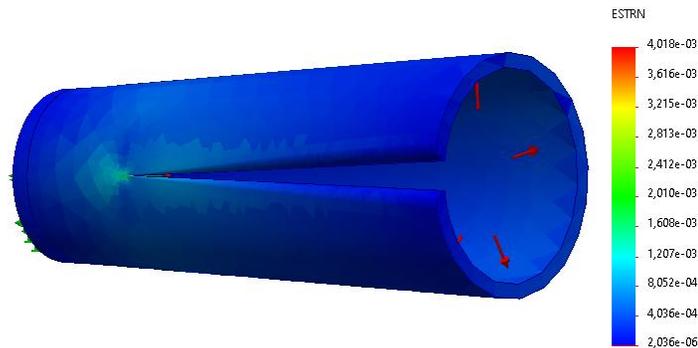
Pengaturan arah angin tersebut dapat memperlihatkan gerakan *mesh* angin yang masuk ke dalam celah, yang mana di dalam pengujian berhasil menampilkan bahwa udara dapat bersirkulasi di dalam rongga *socket* yang terlihat pada pembauran arah angin.

IV.5.1.4 Static Pressure Test



Gambar IV.32 Visualisasi arah tekanan statis pada rongga dalam *socket*

Dengan pengujian tekanan statis dapat ditampilkan sejumlah area yang berpotensi mengalami pergerakan. Pengujian ini umumnya dilakukan pada saat proses *testing* pengembangan produk dengan mengimplementasikan gaya melalui dorongan fluida pada suatu area tertentu sehingga dapat dilihat kemampuan objek dalam menahan tekanan tersebut. Proses rekayasa tekanan statis pada penelitian ini dilakukan secara terkomputasi melalui *software* SolidWorks 2022.



Gambar IV.33 Visualisasi pergerakan *socket* terhadap tekanan statis

Sebelum pengujian dilakukan, posisi awal *socket* diatur pada sudut pandang diagonal atau dapat dilakukan dapat pula dilakukan dalam perspektif isometri, namun pada pengujian ini perspektif objek dipilih dalam hadapan diagonal kanan guna memperjelas bagian *slice* yang terdapat pada permukaan *socket*. Selanjutnya merupakan pemberian tekanan dorong secara non linier pada area rongga dalam *socket*, dan diarahkan menuju ke luar permukaan.

BAB V VALIDASI DAN EVALUASI HASIL RANCANGAN

V.1 Validasi Hasil Rancangan

Menindak lanjuti hasil rancangan pada *socket*, dengan proses evaluasi eksternal oleh pemangku kepentingan diperlukan guna memastikan hasil rancangan telah sesuai dengan apa yang dibutuhkan oleh pemangku kepentingan. Pemberian umpan balik dilakukan secara daring melalui salah satu platform komunikasi dengan mengirimkan gambar produk yang disertai deskripsi fungsi dan fitur.

Tabel V.20 Validasi Hasil Rancangan

No.	Solusi Permasalahan yang Dilampirkan	Keterangan Umpan Balik
1.	Gambar desain <i>socket</i> yang dilengkapi dengan mekanisme cara pemasangan.	Respon positif dan tidak disertai permintaan untuk melakukan perubahan rancangan
2.	Gambar produk dan penjabaran <i>part</i> disertai fungsinya	Respon positif dan tidak disertai permintaan untuk melakukan perubahan rancangan

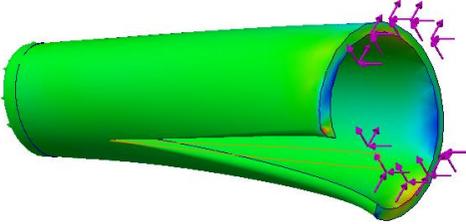
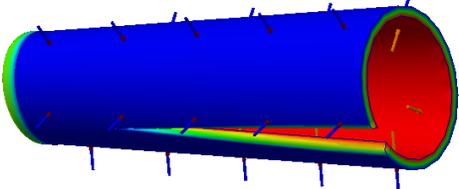
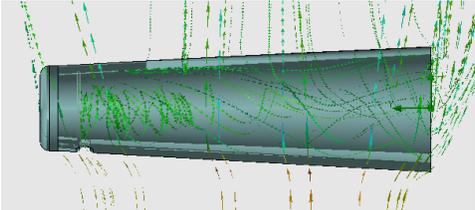
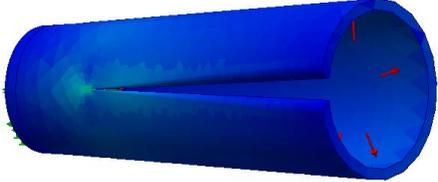
Umpan balik pada hasil rancangan secara keseluruhan mendapatkan respon yang positif dari stakeholder dan tidak terdapat *request* perubahan hasil rancangan. Respon tersebut dapat diinterpretasikan bahwa hasil rancangan dapat diterima dengan baik.

V.2 Evaluasi Hasil Rancangan

Dalam tahap evaluasi, peninjauan akan dilakukan pada hasil rancangan terhadap kinerjanya dalam menghadapi masalah yang menjadi alasan dilakukannya proses perancangan. Pada tahap sebelumnya, verifikasi telah dilakukan guna memastikan rancangan telah memenuhi kriteria penggunaan *socket*, namun peninjauan lebih lanjut perlu dilakukan guna melihat hasil rancangan terhadap *gap* dari kriteria pengujian yang telah ditetapkan sebelumnya.

V.2.1. Evaluasi Kinerja Rancangan *Socket* terhadap Proses Testing

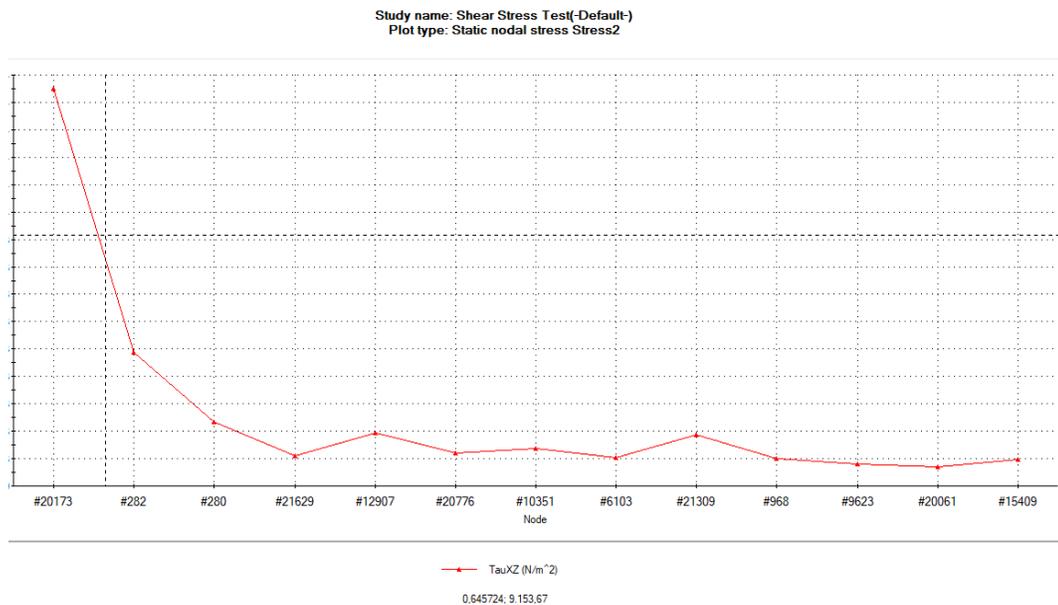
Tabel V.21 Evaluasi *Testing Result*

No.	Jenis Pengujian	Visual Pengujian	<i>Testing Result</i>
1.	Shear Stress		Deformasi yang terjadi berada pada rentang: $2,7 \times 10 \text{ N/m}^2$ hingga $1,2 \times 10 \text{ N/m}^2$. hasil test memperlihatkan deformasi tidak merusak <i>part</i> atau menimbulkan perubahan fisik yang ekstrim terhadap struktur <i>socket</i> .
2.	Thermal Analysis		Titik setimbang pada simulasi termal berada pada suhu $30,59 \text{ }^\circ\text{C}$, yang mana temperatur tersebut merupakan hasil dari konduksi termal antara suhu tubuh pengguna, dan suhu ruang.
3.	<i>Air Flow</i> Testing		Pembuatan celah kecil pada bagian ujung <i>socket</i> mungkin udara untuk bergerak menciptakan sirkulasi yang menghindari adanya tekanan tarik atau <i>suction pressure</i> .
4.	<i>Static</i> Pressure Testing		Pemberian tekanan statis pada rongga <i>socket</i> dalam <i>socket</i> , tidak memberikan pengaruh yang besar pada perubahan posisi <i>socket</i> , dimana terlihat hasil pengujian menunjukkan bahwa sebagian besar area <i>socket</i> hanya mengalami pelonggaran senilai 2,0 mm.

Dalam evaluasi ini pula, sejumlah investigasi dilakukan terhadap hasil pengujian guna mempertimbangkan ketahanan *socket* terhadap beberapa parameter *testing* pada hasil rancangan. Sehingga dengan adanya tahapan ini, kelayakan terhadap hasil rancangan *socket* dapat diketahui sejauh mana kinerja hasil rancangan dapat menghadapi faktor fisik dari kriteria pengujian.

1. Evaluasi Proses *Shear Test* pada *Socket*

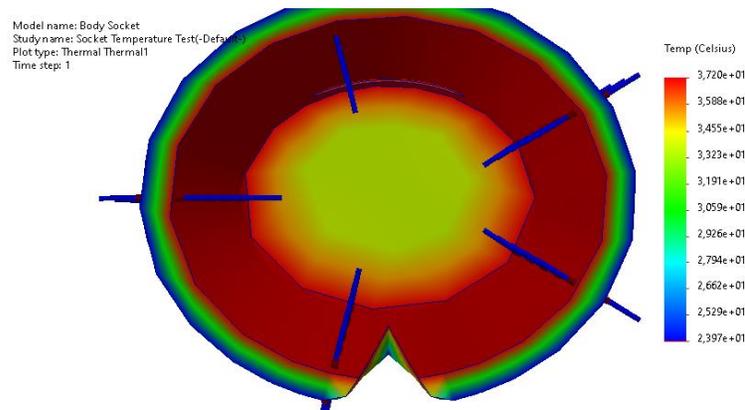
Proses *shear test* yang telah dilakukan pada tahap pengujian, memperlihatkan deformasi yang telah terjadi pada *socket* melalui pemberian gaya dorong. Evaluasi pengujian dilakukan melalui menempatkan sejumlah titik-titik plot secara linier pada *slice* yang terletak pada badan *socket*. Penempatan plot ini merupakan cara dalam mengetahui besaran dorongan yang merambat dari pinggiran *socket* hingga bagian ujung *socket*. Dengan demikian, dapat ditampilkan grafik yang mengilustrasikan rambatan dorongan yang dialami pada struktur *socket*.



Gambar V.34 Grafik *static nodal stress*

Hasil evaluasi, menunjukkan bahwa besaran dorongan yang diterima oleh *socket* mengalami penurunan pada ketika plot mengarah menuju area ujung *socket*. Hal ini menandakan bahwa, *socket* menunjukkan kestabilan struktur yang mampu menahan dorongan maupun regangan yang berpotensi menyebabkan kerusakan struktur secara plastis. Hasil evaluasi tersebut mewakili suatu kondisi pemakaian pada saat pengguna menggerakkan residual lengan ketika *socket* baik secara vertikal maupun horizontal yang menyebabkan adanya tegangan geser pada badan *socket*. Alhasil, evaluasi ini menandakan bahwa struktur *socket* cukup stabil dalam menerima pergeseran.

2. Evaluasi Pengujian Thermal pada *Socket*



Gambar V.35 Visualisasi simulasi persebaran temperatur pada rongga dan lapisan *socket*

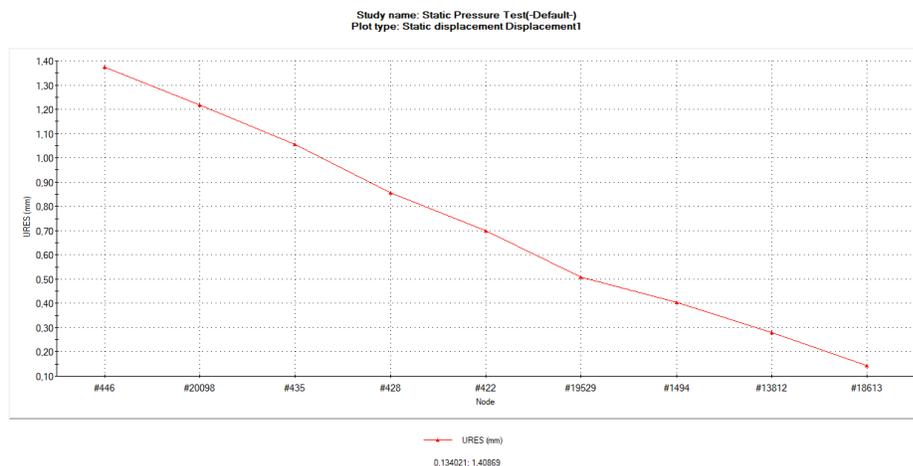
Evaluasi pada pengujian thermal ditujukan untuk meninjau bagaimana kinerja rancangan menghadapi dua kondisi temperatur selama *socket* dipakai oleh pengguna. Pada evaluasi analisis termal, menunjukkan bahwa proses penyebaran termal terhenti pada lapisan tengah *socket* yang terbuat dari material *thermoplastic*. Dapat disimpulkan bahwa konduktivitas *thermoplastic*, mampu menghantarkan thermal ke lapisan terluar tanpa mengisolasi panas pada bagian dalam rongga, sehingga panas dapat mencapai kesetimbangan termal pada suhu 30,59°C lapisan dinding *socket*.

3. Evaluasi *Air Flow Simulation* pada *Socket*

Hasil pengujian setelah dilakukannya pengaliran udara melewati permukaan luar *socket* pada penampang sumbu X pada *socket*. Dengan gerak partikel fluida yang diatur dalam keadaan normal, aliran udara dapat dengan leluasa berkontak dengan permukaan luar *socket*, yang mana gerak fluida tersebut divisualkan dengan *mesh* berupa garis arah angin. Pada visual *mesh* pengujian terlihat dengan jelas bahwa pembuatan celah pada ujung *socket* mampu membawa udara bersirkulasi dalam *socket*.

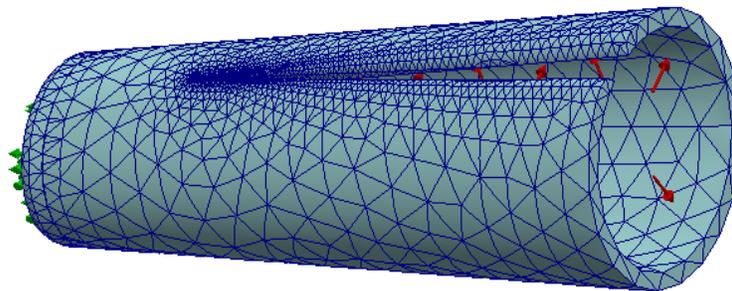
Sehingga dengan demikian, dalam evaluasi pengujian ini dapat disimpulkan bahwa tekanan negatif dapat sepenuhnya tereduksi ketika *socket* sedang dilepas dari residu tangan pengguna melalui penempatan *notch* atau celah pada *socket*. Dalam evaluasi *air flow simulation* ini, *socket* sudah mampu memenuhi kriteria rancangan terhadap aspek fisik berupa faktor tekanan dengan menghilangkan tekanan negatif tersebut guna terciptanya kenyamanan kepada pengguna lengan prostetik baik itu saat proses pemasangan, pemakaian, maupun saat pelepasan *socket*.

4. Evaluasi *Static Pressure* pada *Socket*



Gambar V.36 Plot distribusi pergeseran *socket* terhadap tekanan statis

Dalam pengujian tekanan statis pada *socket*, dilakukan sejumlah pengambilan titik *plotting* yang bertujuan untuk melihat besaran nilai regangan yang terjadi pada struktur *socket*. Pengambilan *plotting* dilakukan secara lurus sepanjang bagian *slice* yang terdapat pada permukaan *socket*. Terdapat sembilan plot yang telah dipilih, dimana kemudian dapat ditampilkan grafik *displacement* yang menunjukkan bahwa regangan yang terjadi pada bagian pangkal hingga bagian ujung *socket* mengalami penurunan. Hasil evaluasi ini, dapat diartikan bahwa regangan pada struktur *socket* cenderung stabil, dimana dapat dibuktikan pada nilai *displacement* terbesar hanya berkisar mendekati angka 1,4 mm.



Gambar V.37 Tampilan *mesh* pada *socket* terhadap tekanan statis

Selain mengevaluasi besar regangan yang terjadi pada struktur *socket*, visualisasi dari tekanan statis dapat diperlihatkan dalam bentuk *mesh* yang di-*breakdown* dalam susunan poligon-poligon. Setiap poligon berbentuk segitiga dengan luas yang berbeda-beda, segitiga yang lebih luas dapat diartikan memiliki nilai *displacement* yang lebih besar daripada segitiga yang berukuran lebih kecil. Pada visual regangan terdapat pula dua tanda panah yaitu hijau dan merah. Pada panah hijau menandakan *fixed area* atau area tetap yang berperan menahan posisi *socket* sementara panah merah menunjukkan arah sebaran beban statis yang tersebar pada permukaan dalam *socket*.

Pembentukan area poligonal dalam hasil analisis membantu proses pengamatan terhadap observasi area tekanan yang dapat terjadi pada *socket*, baik secara menyeluruh maupun secara lokal. Pada tampilan *mesh socket* di atas, dapat diartikan bahwa regangan struktur akibat tekanan statis tidak banyak terjadi area *slicing* dimana poligon yang terbentuk relatif lebih kecil daripada poligon yang berada pada permukaan lainnya. Pada permukaan yang bertolak belakang pada area *slice*, umumnya dipenuhi dengan poligon yang relatif lebih besar dengan formasi segitiga yang memiliki area yang lebih luas.

Hal itu, menunjukkan bahwa tekanan statis yang kemungkinan besar terjadi ketika *socket* sedang dipasangkan pada residual pengguna dapat ditahan sepenuhnya oleh struktur *socket* dengan penyebaran beban yang tidak merusak area belahan permukaan atau *slicing*, yang mana berdampak terhadap kerusakan struktur *socket*. Alhasil dari proses evaluasi ini, dapat dikatakan bahwa *socket* mampu memenuhi salah satu kriteria aspek fisik rancangan yaitu ketahanan terhadap dorongan dan tekanan statis.

V.2.2. Hasil Evaluasi

Pada tahapan terakhir pada proses evaluasi, berikut merupakan hasil evaluasi yang telah dipertimbangkan melalui melalui proses peninjauan yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya. Hasil evaluasi ini menyangkut informasi tentang kelayakan rancangan *socket* yang sudah mengalami proses pengujian. Berikut merupakan hasil evaluasi yang telah diperoleh.

Hasil evaluasi pengujian pada *socket* tidak menunjukkan adanya masalah terkait pemilihan material, rancang struktur, maupun desain alat. Hal tersebut menandakan bahwa, kinerja *socket* telah memenuhi keempat kriteria hasil rancangan yang telah direncanakan sebelum proses perancangan dilakukan. Dengan demikian, hasil rancangan *socket* dapat dinilai layak untuk diimplementasikan terhadap pengguna.

Tabel V.22 Hasil Akhir Evaluasi

No.	Jenis Pengujian	Hasil Evaluasi	Keterangan
1.	Shear Stress	Deformasi yang terlihat pada <i>socket</i> akibat dorongan lengan pengguna, tidak memberikan dampak yang signifikan pada <i>socket</i> . Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa struktur dan seleksi material <i>thermoplastic</i> mampu bertahan pada kondisi tekanan dari gaya dorong dan geser pada residu lengan tanpa mengalami perubahan permanen atau deformasi plastis.	<i>Socket</i> sudah memenuhi kriteria perancangan..
2.	Thermal Analysis	Panas dari lengan pengguna pada lapisan dalam <i>socket</i> tidak menembus lapisan material menuju permukaan terluar dari <i>socket</i> . Hal tersebut, menunjukkan bahwa sifat konduktivitas material yang digunakan sudah sesuai dalam menyebarkan panas dari lengan pengguna, namun tidak mengisolasi panas pada permukaan dalam <i>socket</i> .	<i>Socket</i> sudah memenuhi kriteria perancangan.
3.	Air Flow Testing	Dari proses pengujian dinamika udara, hasil pemetaan visual <i>mesh</i> pergerakan udara telah memperlihatkan bahwa udara mampu untuk bersirkulasi di dalam <i>socket</i> . Dengan kondisi tersebut, tekanan negatif yang menarik lengan residu pasien dapat dihilangkan sehingga memudahkan proses pemasangan dan pelepasan <i>socket</i> pada pasien.	<i>Socket</i> sudah memenuhi kriteria perancangan.
4.	Static Pressure Testing	Peregangan pada <i>socket</i> yang diakibatkan oleh tekanan statis pada residu lengan pasien tidak menyebabkan perubahan struktur pada <i>socket</i> yang signifikan. Longgaran kecil terlihat terjadi pada <i>socket</i> , namun tidak memberikan dampak yang berarti, yang mana struktur <i>socket</i> mampu untuk menahan tekanan statis. Hal tersebut tidak luput dari peran dari <i>slicing</i> yang terdapat pada permukaan <i>socket</i> sehingga struktur <i>socket</i> mampu lebih fleksibel dalam merespon tekanan statis.	<i>Socket</i> sudah memenuhi kriteria perancangan.

V.3 Pertimbangan Pemasangan *Socket* terhadap Pengguna

Meninjau hasil rancangan *socket*, adapun beberapa kondisi pada fase persiapan pra pemasangan yang perlu diperhatikan sehingga kemungkinan-kemungkinan yang tidak diinginkan dapat dihindari pada saat *socket* dipasangkan pada penggunanya. Beberapa persiapan tersebut setidaknya perlu dipahami oleh sejumlah pihak yang terlibat seperti perancang, pengguna, dan wali maupun keluarga pasien guna mengantisipasi jika kondisi-kondisi berikut terjadi.

Tabel V.23 Pertimbangan Pemasangan *Socket*

No.	Pihak yang Terlibat	Langkah Persiapan
1.	Perancang	<ol style="list-style-type: none">1. Memastikan kembali produk yang dirancang sudah sesuai dengan kriteria awal perancangan.2. Memeriksa kembali detail kecil dari setiap bagian <i>socket</i> seperti rongga, pinggiran, dan ujung-ujung permukaan <i>socket</i> guna menghindari resiko iritasi maupun bahaya seperti serpihan atau sisa material yang masih menempel pada badan <i>socket</i> ketika <i>socket</i> mengalami proses produksi.
2.	Pengguna	<ol style="list-style-type: none">1. Melaporkan apabila ada rasa nyeri, iritasi ataupun rasa tidak nyaman pada saat <i>socket</i> digunakan.2. Menghentikan penggunaan jika terjadi tekanan dari <i>socket</i> yang tidak merata, yang mana berpotensi menimbulkan lecet, memar, ataupun <i>callus</i>.3. Melepas pemasangan jika pengguna ternyata memiliki alergi atau ketidakcocokan pada material yang digunakan.
3.	Keluarga atau Wali Pengguna	<ol style="list-style-type: none">1. Memonitor gerakan lengan pengguna pada masa awal pemasangan dan percobaan.2. Menanyakan pengguna secara rutin, apakah terdapat rasa nyeri atau tidak nyaman pada masa percobaan <i>socket</i>.3. Membawa pengguna ke dokter atau tenaga medis ahli jika ternyata <i>socket</i> menimbulkan bengkak, inflamasi, atau luka.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

VI.1 Kesimpulan

Penerapan metode rekayasa balik dalam proses *design recovery* mampu merekonstruksi rancangan *socket* melalui proses digitalisasi geometris dan *solid modeling*. Proses digitalisasi geometri rancangan *socket* diperoleh dari hasil pengukuran manual yang dikonversi menjadi berkas digital yang dapat dilakukan modifikasi bentuk melalui *solid modeling*. Dengan modifikasi tersebut, proses *reverse engineering* berkontribusi besar terhadap ekstraksi desain *socket* dengan dihasilkannya *surface fitting* yang menunjang lengan bawah penggunanya.

Basic shape sebagai penampang utama *socket* dapat dimuat ulang oleh susunan-susunan *section* dari anatomi lengan bawah pengguna. Dengan dilakukannya proses tersebut, hasil rancangan *socket* dapat menyesuaikan struktur fisik lengan bawah dan mendukung aspek biomekanis pada penggunanya. Pada tahap berikutnya, rancangan dilanjutkan dengan proses iterasi desain *socket*, yang dilakukan guna mereduksi masalah pada rancangan. Alhasil, pada akhir proses perancangan, wujud fisik *socket* yang menyesuaikan lengan penggunanya dapat diidentifikasi.

Pada proses pengujian, hasil rancangan mampu memperlihatkan kinerja produk terhadap beberapa kondisi pemakaian yang kemungkinan dapat terjadi. Kondisi pemakaian tersebut dipengaruhi oleh sejumlah aspek fisik seperti gaya dorong, tekanan, dan temperatur yang terjadi selama *socket* dipasangkan pada residual lengan pengguna. Jenis pengujian seperti, *shear test*, *thermodynamic test*, *air flow simulation*, dan *static pressure test* dapat menunjukkan visualisasi dari perubahan struktur, deformasi, dan persebaran temperatur pada *socket*. Dalam penelitian ini, proses *testing* menunjukkan performa rancangan mampu melewati sejumlah parameter pengujian tersebut.

VI.2 Saran Penelitian

Setelah penelitian dilakukan, terdapat beberapa saran yang bertujuan untuk memberikan tinjauan, rujukan, maupun rekomendasi terhadap proses perancangan sehingga tercapainya penelitian yang lebih baik, yang mana bagian ini juga merupakan tahapan yang menutup penelitian. Saran penelitian tersebut meliputi penelitian di masa mendatang dan rekomendasi *software*.

Beberapa saran penelitian ini, merupakan pandangan penulis terhadap proses perancangan yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya. Berikut merupakan saran penelitian tersebut.

A. Saran Penelitian terhadap *Future Research and Development*.

1. Teknologi pemindaian objek fisik dan proses modeling dengan CAD menjadi faktor utama yang menentukan keberhasilan perancangan pada metode rekayasa balik. Sehingga, perlu diperhatikan kesesuaian antara spesifikasi *software* yang digunakan dengan kriteria rancangan yang diperlukan.
2. Proses testing memerlukan parameter ruang maupun bidang yang nantinya akan berinteraksi pada objek atau model yang dibuat. Dengan demikian, penentuan area pengujian tersebut perlu diperhatikan kembali agar tercapainya *result* pengujian yang representatif.

B. Rekomendasi Penggunaan *Software* Perancangan

1. Proses perancangan dapat diselesaikan dengan waktu yang lebih cepat dengan *software* modeling yang menyediakan fitur *modeling* dan *testing* pada satu platform yang sama, yang mana desain dapat dievaluasi berkala seiring proses *modeling* dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrew H. Hansen & Dudley S. Childress (2010) Investigations of roll-over shape: implications for design, alignment, and evaluation of ankle-foot prostheses and orthoses, *Disability and Rehabilitation*, 32:26, 2201–2209, DOI: 10.3109/09638288.2010.502586
- Amini, G. H. . (2017). Process of Technology Transfer and Reverse Engineering. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 45(2), 76–79. <https://doi.org/10.14445/22315381/ijett-v45p217>
- Bridger, R. (2003). *Introduction to Ergonomic* 2nd Edition. London and New York: Taylor & Francis.
- Böhmer A. I., S. Sheppard, L. Kayser and U. Lindemann (2017), "Prototyping as a thinking approach in design Insights of problem-solving activities while designing a product," 2017 *International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, doi: 10.1109/ICE.2017.8279985.
- Chen, Liang-Chia & Lin, Grier. (2000). Reverse engineering in the design of turbine blades – a case study in applying the MAMDP. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 16. 161-167. 10.1016/S0736-5845(99)00044-7.
- Dio Ashar, Bestha Inatsan Ashila, G. N. P. (2019). *DISABILITAS BERHADAPAN DENGAN HUKUM Dalam Lingkup Pengadilan*. 1–113.
- Elders, G. C. (1999). *An Introduction to Human Factors Engineering* by Christopher D. Wickens, Sallie E. Gordon, & Yili liu 1998, 636 pages, \$80.63 New York: Longman ISBN 0-321-01229-1. *Ergonomics in Design*, 7(2), 37–37. <https://doi.org/10.1177/106480469900700209>
- Ulrich, Karl T., Eppinger, Steve D., and Yang, Maria C., *Product Design and Development*. 7th ed., McGraw-Hill Education, 2020.
- Ginting, Rosnani. (2010.). *Perancangan produk / oleh Rosnani Ginting*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Górski, F., Wichniarek, R., Kuczko, W., Żukowska, M., & Suszek, E. (2020). Rapid Manufacturing of Individualized Prosthetic Sockets. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 14(1), 42–49. <https://doi.org/10.12913/22998624/113425>

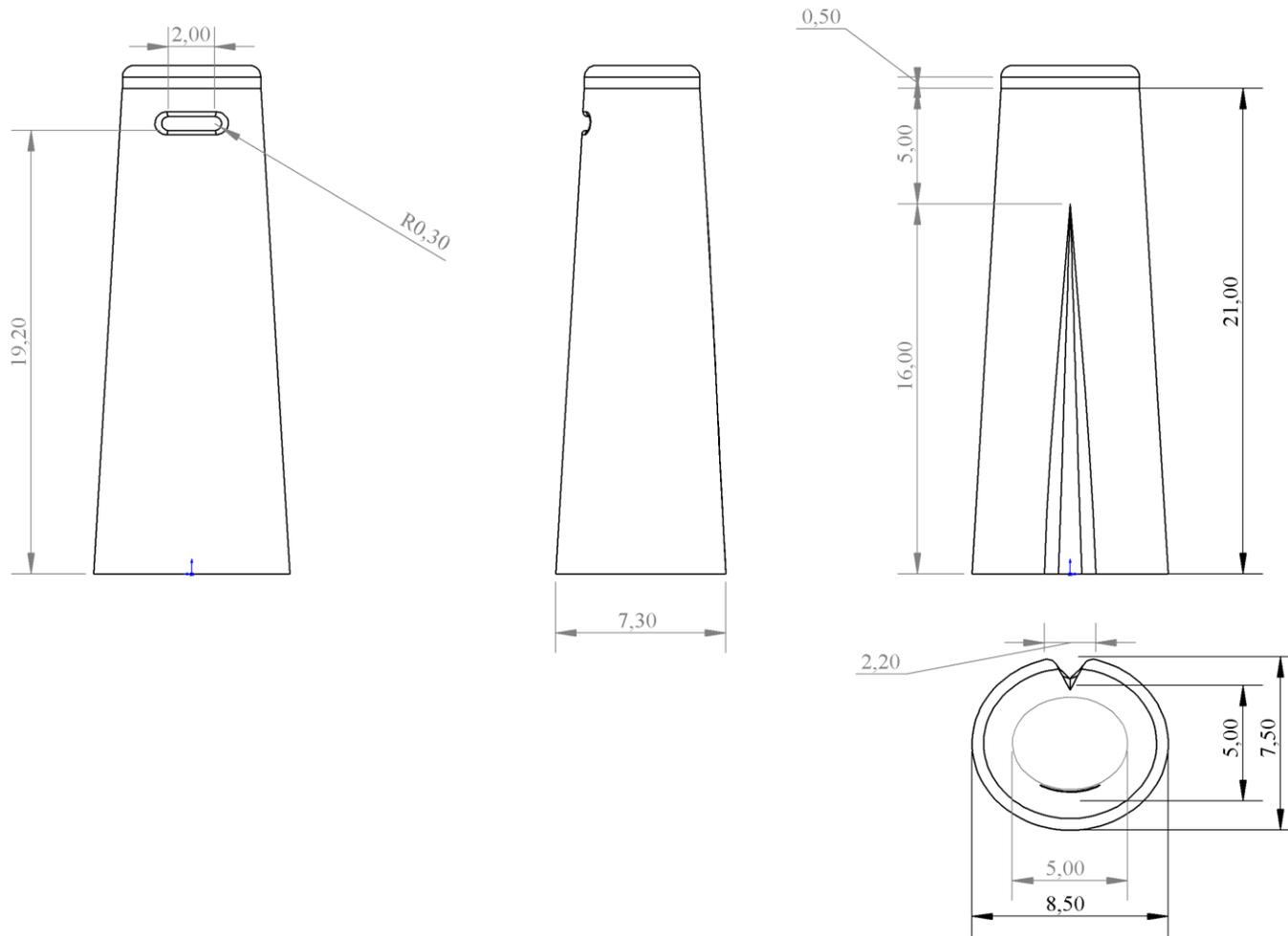
- Hope, A., & Mason, P. (2019). Applying computational thermodynamics to additive manufacturing. *MRS Bulletin*, 44(3), 156–157. <https://doi.org/10.1557/mrs.2019.48>
- Karpiński, R., Jaworski, Ł., & Czubačka, P. (2017). *Karpiński R, Jaworski Ł, Czubačka P. The structural and mechanical properties of the bone. Journal of Technology and Exploitation in Mechanical Engineering 2017; 3 (1): 43-50.* 3(1), 43–50.
- Karwowski, W. (Ed.). (2006). *Handbook of standards and guidelines in ergonomics and human factors*. Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Kroemer, Anne & Kroemer, Karl. (2016). *Office Ergonomics: Ease and Efficiency at Work, Second Edition*. 10.1201/9781315368603.
- Kumar, A., Jain, P. K., & Pathak, P. M. (2013). *Reverse Engineering in Product Manufacturing: An Overview*. 665–678. <https://doi.org/10.2507/daaam.scibook.2013.39>
- Nurmianto, Eko. 1996. *Ergonomi, Konsep Dasar dan Aplikasinya*. PT. Guna Widya. Surabaya.
- Ouellette EA, McAuliffe JA, Carneiro R (2002). Partial-hand amputations: surgical principles. In: Bowker JH, Michael JW, editors. *Atlas of limb prosthetics: surgical, prosthetic, and rehabilitation principles*, 2nd ed. Rosemont, IL: American Academy of Orthopaedic Surgeons. pp. 199–216
- Paternò, L., Ibrahimi, M., Gruppioni, E., Menciassi, A., & Ricotti, L. (2018). *Sockets for limb prostheses: A review of existing technologies and open challenges. IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 65(9), 1996–2010. <https://doi.org/10.1109/TBME.2017.2775100>
- Pheasant, S., & Steenbekkers, B. (2005). Anthropometry and the design of workspaces. In J. Wilson & N. Corlett (Eds.), *Evaluation of Human Work* (Third, pp. 706–754). Boca Raton: Taylor & Francis.
- Quintero-Quiroz, C., & Pérez, V. Z. (2019). Materials for lower limb prosthetic and orthotic interfaces and *sockets*: Evolution and associated skin problems. *Revista Facultad de Medicina*, 67(1), 117–126. <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v67n1.64470>

- Sang, Y., Li, X., & Luo, Y. (2016). Biomechanical design considerations for *transradial* prosthetic interface: A review. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, 230(3), 239–250. <https://doi.org/10.1177/0954411915624452>
- Schofield, J. S., Schoepp, K. R., Williams, H. E., Carey, J. P., Marasco, P. D., & Hebert, J. S. (2017). Characterization of interfacial *socket* pressure in transhumeral prostheses: A case series. *PLoS ONE*, 12(6), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178517>
- Setiawan A., D. Fakultas, T. Universitas, and S. Semarang, “Transformasi Fitur Budaya ke Produk Desain Modern,” *Din. Tek.*, vol. 5, no. 2, pp. 1–11, 2011.
- Smidt KP, Bicknell R. Prosthetics In Orthopedics (2022). In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK570628/>
- Standards, P. (2017). *WHO standards for prosthetics and orthotics*.
- Timby B. K. & Smith N. E. (2014). *Introductory medical-surgical nursing* (Edition 11). Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins.
- Wang, W. (2011). *Engineering Reverse of Reinvention Technology*. <https://www.routledge.com/Reverse-Engineering-Technology-of-Reinvention/Wang/p/book/9781439806302>
- Wignjosuebrotto, Sritomo. 1995.”Ergonomi, Studi Gerak Dan Waktu. Teknik Analisis Untuk Peningkatan Produktivitas kerja, Edisi Pertama”. PT. Guna Widya : Jakarta.

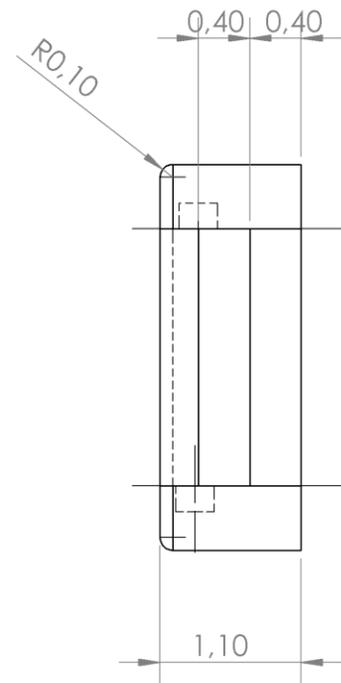
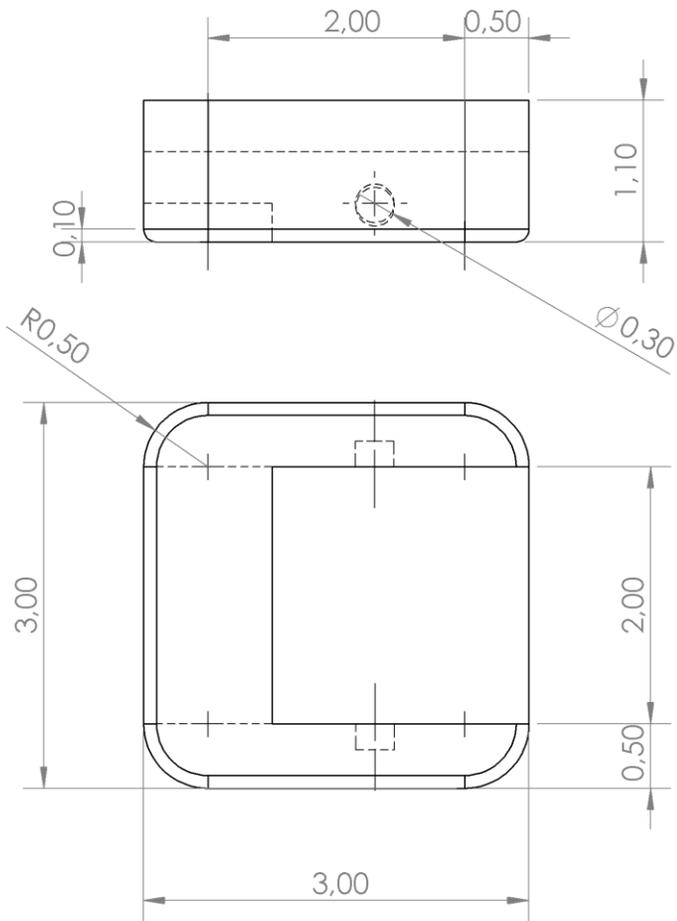
Lampiran A - Detail Instrumen Pengukuran

Detail Instrument Pengukuran				
No.	Jenis Alat Ukur	Output Alat Ukur	Tingkat Presisi	Peran Alat Ukur
1.	<i>Measurement Tape</i>	dimensi jarak	± 0.05 cm	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pengukuran diameter lingkaran lengan bawah. 2. Pengukuran pada panjang residu lengan bawah. 3. Memberikan hasil pengukuran terhadap permukaan yang tidak rata maupun lengkungan.
2.	Jangka Sorong (<i>Vernier Calipers</i>)	dimensi jarak	$\pm 0,001$ mm	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pengukuran diameter pada lebar lengan bawah. 2. Memberikan hasil pengukuran antara bentang dua permukaan sejajar yang sulit ditentukan oleh alat penggaris atau meteran.
3.	Penggaris	dimensi jarak	± 0.05 cm	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pengukuran lengan bawah pada permukaan yang lurus.

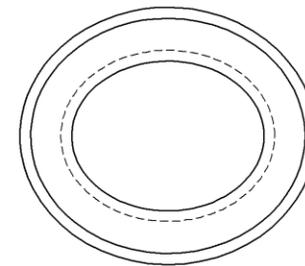
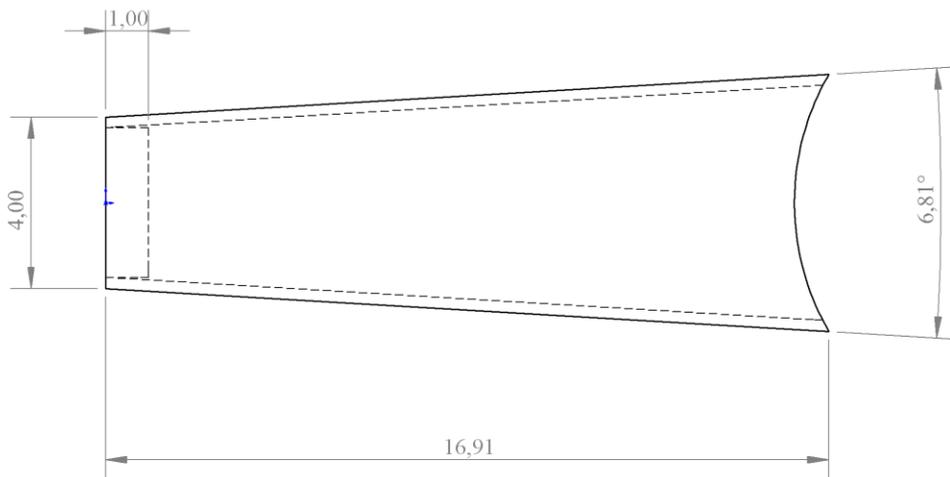
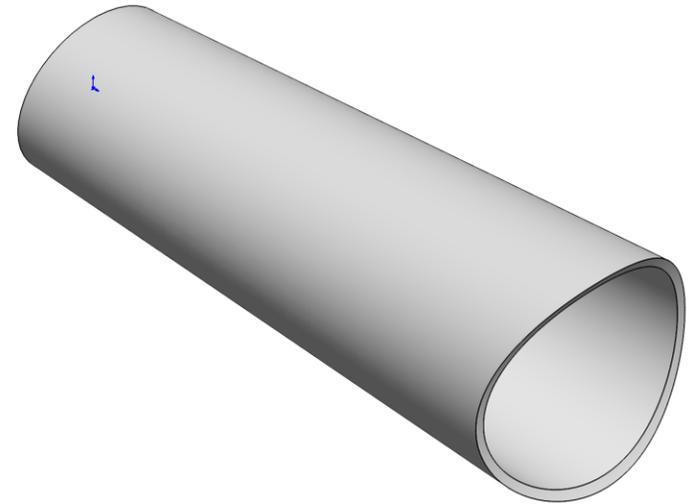
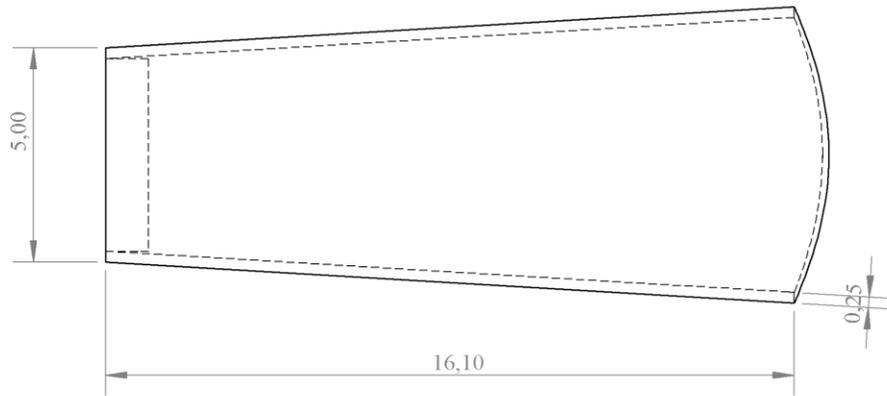
Lampiran B - *Technical Drawing*



	SKALA : 1:2.7	DIGAMBAR : M DIPONEGORO S	Keterangan :	
	SATUAN : cm	NIM : 1201180390		
	TANGGAL: 11-12-22	DILIHAT :		
UNIV. TELKOM	SOCKET		No.	A4



	SKALA : 2:1	DIGAMBAR : M DIPONEGORO S	Keterangan :	
	SATUAN : cm	NIM : 1201180390		
	TANGGAL: 11-12-22	DILIHAT :		
UNIV. TELKOM	BUCKLE		No.	A4



SKALA : 1:1.5
 SATUAN : cm
 TANGGAL: 11-12-22

DIGAMBAR : M DIPONEGORO S
 NIM : 1201180390
 DILIHAT :

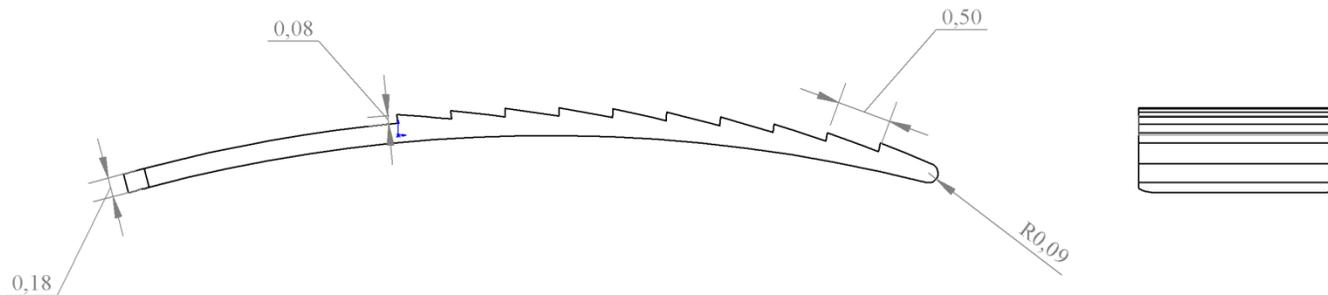
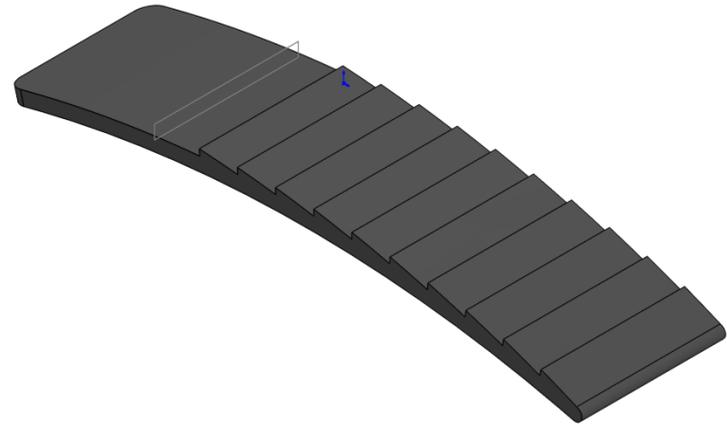
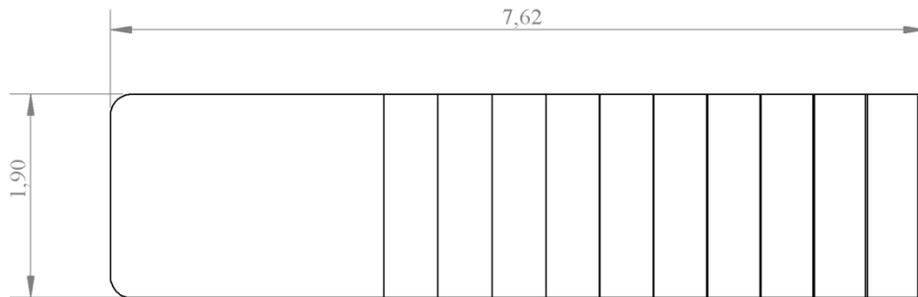
Keterangan :

UNIV. TELKOM

PADDING

No.

A4



	SKALA : 1:0.6	DIGAMBAR : M DIPONEGORO S	Keterangan :	
	SATUAN : cm	NIM : 1201180390		
	TANGGAL: 11-12-22	DILIHAT :		
UNIV. TELKOM	BELT		No.	A4