

**APLIKASI *COMPUTER AIDED REVERSE ENGINEERING* MENGGUNAKAN
PHOTOGRAMMETRY UNTUK MEMBUAT DESAIN SOKET KAKI PROSTESIS
PADA PASIEN *TRANSTIBIAL AMPUTATION***

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
mencapai derajat Sarjana Teknik Industri**



Ananda Ferdian Pradana

16 06 08762

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA**

2020

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Berjudul

APLIKASI COMPUTER AIDED REVERSE ENGINEERING MENGGUNAKAN
PHOTOGRAMMETRY UNTUK MEMBUAT DESAIN SOKET KAKI PROSTESIS PADA PASIEN
TRANSTIBIAL AMPUTATION

yang disusun oleh

ANANDA FERDIAN PRADANA

160608762

dinyatakan telah memenuhi syarat pada tanggal 11 Agustus 2020

		Keterangan
Dosen Pembimbing 1	: A. Tonny Yuniarto, ST., M.Eng.	Telah menyetujui
Dosen Pembimbing 2	: A. Tonny Yuniarto, ST., M.Eng.	Telah menyetujui
Tim Penguji		
Penguji 1	: A. Tonny Yuniarto, ST., M.Eng.	Telah menyetujui
Penguji 2	: Dr. T. Paulus Wisnu Anggoro, S.T., MT.	Telah menyetujui
Penguji 3	: Ir. B. Kristyanto, M.Eng., PhD.	Telah menyetujui

Yogyakarta, 11 Agustus 2020

Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Fakultas Teknologi Industri

Dekan

ttd

Dr. A. Teguh Siswanto, M.Sc

PERNYATAAN ORIGINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ananda Ferdian Pradana

NPM : 16 06 08762

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir saya dengan judul “Aplikasi *Computer Aided Reverse Engineering* Menggunakan *Photogrammetry* Untuk Membuat Desain Soket Kaki Prostesis Pada Pasien *Transtibial Amputation*” merupakan hasil penelitian saya pada Tahun Akademik 2019/2020 yang bersifat original dan tidak mengandung plagiasi dari karya manapun.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia untuk dituntut dan diprotes sesuai dengan ketentuan yang berlaku termasuk untuk dicabut gelar Sarjana yang telah diberikan oleh Universitas Atma Jaya Yogyakarta kepada saya.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan dengan sebenar-benarnya.

Yogyakarta

yang menyatakan

Ananda Ferdian Pradana

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas karunia dan kesehatan yang diberikan sehingga tugas akhir yang berjudul “Aplikasi *Computer Aided Reverse Engineering* Menggunakan *Photogrammetry* Untuk Membuat Desain Soket Kaki Protesis Pada Pasien *Transtibial Amputation*” dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu.

Penulisan tugas akhir ini mendapat dukungan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. A. Teguh Siswanto, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
2. Ibu Ririn Diar Astanti, ST., M.MT., Dr.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
3. Bapak A. Tonny Yuniarto, ST., M.Eng., selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan arahan, masukan dan wawasan dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Bapak Dr. T. Paulus Wisnu Anggoro, ST., MT., selaku dosen yang memberikan inspirasi dan topik Tugas Akhir.
5. Bapak Mugiyanto selaku objek bahan untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
6. Ayah, Ibu dan Adik yang selalu mendoakan, memberi motivasi, memberi dukungan dan memberi biaya dalam melaksanakan Tugas Akhir.
7. Sahabat Kuliah Yuk Keep Smile: Aldo, Alpine, Dimas, Heri, Titus dan Benny yang telah menemani, memotivasi dan menyemangati penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
8. Sahabat Soldadu: Raditya Pratama, Gian Mahadika, Noer Gusti dan Rizqi Fathurahman yang selalu memberikan masukan dan solusi selama masa kuliah hingga menyelesaikan Tugas Akhir.
9. Wayan, Cornel, Supit dan Indra yang selalu memberikan hiburan dan motivasi dalam penyelesaian Tugas Akhir.
10. Zahra Kamila dan Gabriel Antoni selaku saudara yang selalu memberikan dukungan moral dan finansial dalam menjalani masa perkuliahan hingga menyelesaikan Tugas Akhir.
11. Nanda Triachdiani selaku sahabat sekolah yang selalu memberikan motivasi dan arahan yang secara tidak langsung membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

12. Teman-teman prodi Teknik Industri angkatan 2016 yang saling memberikan semangat dan memberikan informasi dalam pengerjaan dan penyelesaian Tugas Akhir.

13. Seluruh pihak yang tidak saya sebutkan satu persatu.

Penulis Menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan dan juga kesalahan. Oleh karena itu, saran dan juga kritik untuk memperbaiki atau membangun sangat diharapkan oleh penulis.

Akhir kata, penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya untuk penulis, tapi juga untuk pihak lain kedepannya.

Yogyakarta, 11 Juli 2020

Ananda Ferdian Pradana

DAFTAR ISI

BAB	JUDUL	Hal
	HALAMAN PENGESAHAN	ii
	PERNYATAAN ORIGINALITAS	iii
	KATA PENGANTAR	iv
	DAFTAR ISI	vi
	DAFTAR GAMBAR	ix
	DAFTAR TABEL	xi
	DAFTAR LAMPIRAN	xii
	INTISARI	xiv
1	PENDAHULUAN	1
	1.1. Latar Belakang	1
	1.2. Rumusan Masalah	3
	1.3. Tujuan Penelitian	3
	1.4. Batasan Masalah	3
2	TINJAUAN PUSTAKA DAN TEORI	4
	2.1. Tinjauan Pustaka	4
	2.1.1. Penelitian Terdahulu	4
	2.1.2. Penelitian Sekarang	6
	2.2. Dasar Teori	7
	2.2.1. <i>Transtibial Amputaion</i>	7
	2.2.2. Kaki Protesis	9
	2.2.3. Soket Protesis	10
	2.2.4. <i>Reverse Engineering</i>	12
	2.2.5. <i>Photogrammetry</i>	15
	2.2.6. <i>PowerShape</i>	16
		vi

	2.2.7. <i>PhotoScan</i>	18
	2.2.8. <i>Netfabb</i>	20
3	METDOLOGI PENELITIAN	22
	3.1. Data	22
	3.2. Pengambilan Data	22
	3.3. Bahan dan Alat	23
	3.4. Langkah Penelitian	24
4	DATA PENELITIAN	28
	4.1. Data Penelitian	28
	4.2. Data Hasil Scanning	29
	4.3. Scaling Model 3D STL	32
5	DESAIN SOKET	35
	5.1. Penggunaan Teknologi CARES	35
	5.2. <i>PowerShape</i>	35
	5.3. Analisis 5M 2E 1I Dalam Desain Soket Kaki Protesis	36
	5.4. Membuat Garis Bantu	38
	5.5. Desain Inner Socket	39
	5.6. Desain Outer Socket	40
	5.7. Membangkitkan Surface	43
	5.8. Membuat Ventilasi	44
	5.9. Membuat Sambungan	49
	5.10. Verifikasi Ukuran	54
6	KESIMPULAN DAN SARAN	61
	6.1. Kesimpulan	61

6.2. Saran	61
Daftar Pustaka	62
LAMPIRAN	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Amputasi Transtibial dengan flap kulit posterior panjang.	8
Gambar 2.2. Fungsi Prostetis	11
Gambar 2.3. Tahapan <i>Reverse Engineering</i>	14
Gambar 2.4. Pendekatan Sistem <i>Photogrammetry</i>	15
Gambar 2.5. <i>User Interface PowerShape</i>	16
Gambar 2.6. <i>User Interface PhotoScan</i>	18
Gambar 2.7. <i>User Interface Netfabb</i>	20
Gambar 3.1. DSLR Sony A55	23
Gambar 3.2. <i>Flowchart</i> langkah penelitian	24
Gambar 4.1. Kaki Mugiyanto	28
Gambar 4.2. Model 3D STL Pada <i>PhotoScan</i>	29
Gambar 4.3. Model 3D STL Objek Pada 3D Viewer Windows 10	29
Gambar 4.4. Model 3D STL Objek Pada <i>PowerShape</i>	30
Gambar 4.5. model 3D STL Pada <i>Netfabb</i>	30
Gambar 4.6. Ukuran model 3D STL Pada <i>Netfabb</i>	31
Gambar 4.7. <i>Platform Overview</i>	31
Gambar 4.8. <i>Scale Parts Box</i>	32
Gambar 4.9. Hasil <i>Scaling</i>	33
Gambar 4.10. <i>Platform Overview</i> Hasil <i>Scaling</i>	33
Gambar 4.11. <i>Export FABBPROJECT</i> Menjadi STL	34
Gambar 5.1. model 3D STL Dengan <i>Workplane</i>	38
Gambar 5.2. Tahapan Membuat <i>Wireframe</i> Soket Bagian Dalam	39
Gambar 5.3. Tahapan Membuat <i>Wireframe</i> Soket Bagian Luar	41
Gambar 5.4. <i>Wireframe Socket</i> Bagian Dalam Dan Luar	42
Gambar 5.5. Tahapan Pembangkitan <i>Surface</i>	43
Gambar 5.6. Tahapan Membuat Ventilasi	45
Gambar 5.7. Tahapan Pembuatan Cekungan Pada Soket	47

Gambar 5.8. <i>Solid Fillet</i> Bagian Bawah Soket	48
Gambar 5.9. <i>Solid Fillet</i> Bagian Atas Soket	48
Gambar 5.10. Hasil Desain Soket 3 mm	48
Gambar 5.11. Hasil Desain Soket 4 mm	49
Gambar 5.12. Hasil Desain Soket 5 mm	49
Gambar 5.13. Ukuran Sambungan	50
Gambar 5.14. Penempatan Sambungan	50
Gambar 5.15. Tahapan Membuat Sambungan	51
Gambar 5.16. Ukuran Dan Posisi Lubang	52
Gambar 5.17. <i>Substract</i> Untuk Membuat Lubang	53
Gambar 5.18. Soket 3 mm	53
Gambar 5.19. Soket 4 mm	53
Gambar 5.20. Soket 5 mm	54
Gambar 5.21. <i>Export Box</i>	54
Gambar 5.22. Soket 3 mm Pada <i>Netfabb</i>	55
Gambar 5.23. Soket 4 mm Pada <i>Netfabb</i>	55
Gambar 5.24. Soket 5 mm Pada <i>Netfabb</i>	56
Gambar 5.25. Ukuran Soket 3 mm Pada <i>Information Box</i>	56
Gambar 5.26. Ukuran Soket 4 mm Pada <i>Information Box</i>	57
Gambar 5.27. Ukuran Soket 5 mm Pada <i>Information Box</i>	57
Gambar 5.28. Ukuran Soket 3 mm Pada <i>Platform Overview</i>	58
Gambar 5.29. Ukuran Soket 4 mm Pada <i>Platform Overview</i>	58
Gambar 5.30. Ukuran Soket 5 mm Pada <i>Platform Overview</i>	59

DAFTAR TABEL

Tabel 5.1.	Tabel Ukuran Soket Pada <i>Information Box</i>	59
Tabel 5.2.	Tabel Ukuran Soket Pada <i>Platform Overview</i>	60

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Diagram Keterkaitan	64
Lampiran 2.	Pengambilan Data Kaki Pak Mugiyanto	65
Lampiran 3.	Pengambilan Data kaki Pak Mugiyanto (Lanjutan)	65
Lampiran 4.	Pengambilan Data Kaki Pak Mugiyanto (Lanjutan)	66
Lampiran 5.	Pengambilan Data Kaki Pak Mugiyanto (Lanjutan)	66
Lampiran 6.	Pembentukan <i>Point Cloud</i> Pada <i>PhotoScan</i> (Lanjutan)	67
Lampiran 7.	Pembentukan <i>Point Cloud</i> Pada <i>PhotoScan</i> (Lanjutan)	67
Lampiran 8.	3D <i>Mesh</i> Kaki Pak Mugiyanto Pada <i>PowerShape</i>	68
Lampiran 9.	Pembuatan <i>Wireframe</i> Soket 3 mm Pandangan Isometris	68
Lampiran 10.	<i>Surface</i> Soket 3 mm Pandangan Y+	69
Lampiran 11.	<i>Surface</i> Soket 3 mm Pandangan Isometris	69
Lampiran 12.	<i>Solid</i> Soket 3 mm Pandangan Y+	70
Lampiran 13.	<i>Solid</i> Soket 3 mm Pandangan Isometris	70
Lampiran 14.	Desain Soket 3 mm Pandangan Z+	71
Lampiran 15.	Desain Soket 3 mm Pandangan X+	71
Lampiran 16.	Desain Soket 3 mm Pandang Y+	72
Lampiran 17.	Desain Soket 3 mm Pandangan Isometris	72
Lampiran 18.	Soket 3 mm Pandangan Z+	73
Lampiran 19.	Soket 3 mm Pandangan X+	73
Lampiran 20.	Soket 3 mm Pandangan Y+	74
Lampiran 21.	Soket 3 mm Pandangan Isometris	74
Lampiran 22.	Pembuatan <i>Wireframe</i> Soket 4 mm Pandangan Isometris	75
Lampiran 23.	<i>Surface</i> Soket 4 mm Pandangan Y+	75
Lampiran 24.	<i>Surface</i> Soket 4 mm Pandangan Isometris	76
Lampiran 25.	<i>Solid</i> Soket 4 mm Pandangan Y+	76
Lampiran 26.	<i>Solid</i> Soket 4 mm Pandangan Isometris	77
Lampiran 27.	Desain Soket 4 mm Pandangan Z+	77

Lampiran 28.	Desain Soket 4 mm Pandangan X+	78
Lampiran 29.	Desain Soket 4 mm Pandangan Y+	78
Lampiran 30.	Desain Soket 4 mm Pandangan Isometris	79
Lampiran 31.	Soket 4 mm Pandangan Z+	79
Lampiran 32.	Soket 4 mm Pandangan X+	80
Lampiran 33.	Soket 4 mm Pandangan Y+	80
Lampiran 34.	Soket 4 mm Pandangan Isometris	81
Lampiran 35.	Pembuatan <i>Wireframe</i> Soket 5 mm Pandangan Isometris	81
Lampiran 36.	<i>Surface</i> Soket 4 mm Pandangan Y+	82
Lampiran 37.	<i>Surface</i> Soket 4 mm Pandangan Isometris	82
Lampiran 38.	<i>Solid</i> Soket 4 mm Pandangan Y+	83
Lampiran 39.	<i>Solid</i> Soket 4 mm Pandangan Isometris	83
Lampiran 40.	Desain Soket 5 mm Pandangan Z+	84
Lampiran 41.	Desain Soket 5 mm Pandangan X+	84
Lampiran 42.	Desain Soket 5 mm Pandangan Y+	85
Lampiran 43.	Desain Soket 5 mm Pandangan Isometris	85
Lampiran 44.	Soket 5 mm Pandangan Z+	86
Lampiran 45.	Soket 5 mm Pandangan X+	86
Lampiran 46.	Soket 5 mm Pandangan Y+	87
Lampiran 47.	Soket 5 mm Pandangan Isometris	87
Lampiran 48.	<i>Triangle Mesh</i> Soket 3 mm	88
Lampiran 49.	<i>Triangle Mesh</i> Soket 4 mm	88
Lampiran 50.	<i>Triangle Mesh</i> Soket 5 mm	89

INTISARI

Transtibial Amputation atau amputasi kaki pada bagian bawah lutut merupakan kegiatan medis yang bertujuan untuk memotong atau menghilangkan anggota bagian tubuh khususnya pada bagian dibawah lutut. Hal ini dapat disebabkan oleh penyakit, kecelakaan ataupun kondisi tertentu. Bapak Mugiyanto merupakan seorang penderita *Transtibial Amputasi* karena kecelakaan saat bekerja. Tim SIBAD UNDIP yang dibantu ATMI Surakarta mencoba membuat kaki palsu untuk mempermudah Bapak Mugiyanto dalam melakukan aktivitas sehari-hari.

Penelitian ini bertujuan untuk mendesain dan mengukur soket untuk kaki palsu sebanyak tiga macam varian dengan ketebalan yang berbeda. Desain soket yang dibuat berdasarkan data kaki Bapak Mugiyanto yang didapatkan dengan metode *Reverse Engineering* teknik *Photogrammetry* dari penelitian sebelumnya. Soket didesain menggunakan *PowerShape* dari *Wireframe* secara akurat hingga menjadi bentuk *Solid Mesh*. Soket yang didesain akan diukur menggunakan *Netfabb* untuk pengukuran yang akurat dan detail.

Kata Kunci : Transtibial Amputation, Soket, Desain, Pengukuran.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Medical Device atau Alat kesehatan menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1191/MENKES/PER/VIII/2010 adalah instrumen, aparatus, mesin dan atau implan yang tidak mengandung obat yang digunakan untuk mencegah, mendiagnosis, menyembuhkan dan meringankan penyakit, merawat orang sakit, memulihkan kesehatan pada manusia, dan/atau membentuk struktur dan memperbaiki fungsi tubuh. *Medical Device* dapat tersedia di rumah sakit umum maupun khusus. Fungsi dari *Medical Device* cukup beragam berdasarkan penggunaannya. Kualitas *Medical Device* juga beragam berdasarkan teknologi dan metode yang digunakan dalam pengambilan data, perancangan dan pembuatan.

Medical Device dapat terus berkembang dan diperbarui karena adanya *Computer Aided and Reverse Engineering System* atau CARES, yaitu sistem yang digunakan untuk produk dalam proses desain atau desain ulang, ketika dokumentasi teknis tidak tersedia. Setiap sistem CARES menggunakan berbagai jenis perangkat lunak, teknologi, dan peralatan yang bergantung pada bentuk produk. Sistem ini digunakan kepada pasien yang membutuhkan oleh berbagai pihak seperti *World Health Organization* atau WHO lalu badan perseorangan profit maupun non-profit. Dari dalam negeri, layanan ini dapat diberikan oleh rumah sakit, departemen kesehatan ataupun instansi perguruan tinggi yang melakukan riset peralatan medis. Layanan didukung dengan adanya kebutuhan pasar terhadap peralatan medis dan tingkat kecelakaan kerja yang memiliki jaminan peralatan medis. Layanan ini juga didukung dengan adanya riset peralatan medis baik dari pemerintah, sektor swasta seperti perusahaan yang bergerak di bidang medis dan juga oleh instansi atau perguruan tinggi.

Kaki Prostetis merupakan sedikit alat atau produk dari sekian banyaknya *Medical Device* yang ada. Kaki Prostetis secara keseluruhan dibagi menjadi tiga jenis, yaitu diatas lutut, dibawah lutut dan pergelangan kaki. Di Indonesia, kaki prostetis cukup banyak digunakan oleh pasien yang kakinya mengalami amputasi dan juga cacat secara alami. Harga kaki prostetis di Indonesia masih tergolong cukup mahal dikarenakan kurangnya penelitian atau riset terhadap kaki prostetis dan kurangnya teknologi yang mendukung, baik dalam perancangan, pengembangan dan juga

pembuatannya. Kurangnya teknologi dikarenakan harganya kurang terjangkau dan juga kurangnya keahlian perusahaan dalam memanfaatkan teknologi yang ada.

Perancangan Kaki Prostetis terbagi menjadi beberapa macam seperti desain, material, dan manufaktur. Perancangan desain memfokuskan pada gambar 3D kaki prostetis, perancangan yang difokuskan desain telapak kaki, desain pergelangan kaki, desain tumpuan kaki dan ada juga desain penghubung kaki prostetis dengan bagian kaki yang teramputasi atau dinamakan soket. Perancangan kaki prostetis yang lain berupa perancangan material, yaitu perancangan yang fokus pada kemampuan dan kegunaan material yang akan digunakan untuk membuat kaki prostetis seperti plastik atau PVC, komponen *fishbone*, serat *nylon*, silikon ataupun baja ringan. Ada pula perancangan kaki prostetis yang lain berupa perancangan tahap manufaktur dan fabrikasi, yaitu perancangan tahap pembuatan kaki prostetis sehingga proses pembuatan menjadi efisien dan efektif. Ketiga perancangan tersebut menggunakan beberapa metode seperti *Computer Aided Design* atau CAD, lalu dengan *Reverse Engineering* dan juga *3D Scanning*.

Kaki Prostesis terbagi menjadi beberapa bagian, salah satunya yaitu soket. Soket merupakan bagian penghubung antara kaki teramputasi dengan kaki prostetis. Dalam dunia medis, soket setiap penyandang kaki teramputasi memiliki bentuk yang berbeda-beda dan masing-masing sesuai dengan bentuk, ukuran hingga kebutuhan penyandang. Dengan kenyataan bahwa soket memiliki bentuk yang berbeda-beda, soket menjadi produk yang tidak dapat diproduksi secara massal karena soket merupakan produk "*Custom*" dan harus didesain sesuai dengan penyandang kaki teramputasi. Hal ini menjadi tantangan dalam mendesain soket kaki palsu.

Dalam mendesain soket, diperlukan objek kaki dari penyandang kaki teramputasi. Tujuannya sebagai acuan agar soket yang didesain sesuai dengan kaki dari penyandang. Untuk mendapatkan acuan, perlu didapat melalui proses *scanning*. Untuk melakukan proses *scanning* diperlukan alat *scanning* yang tidak murah meskipun hasilnya berkualitas tinggi. Untuk meminimalisir biaya *scanning*, perlu adanya *scanning* dengan alternatif lain menggunakan metode *Photogrammetry*. Metode ini dapat menguraikan biaya untuk proses *scanning* meskipun hasil yang didapat mendekati hasil *scanning* menggunakan alat *scanning* yang tidak murah.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan Latar Belakang tersebut, dapat disimpulkan menjadi beberapa poin masalah, yaitu bagaimana *Computer Aided Reverse Engineering System* atau CARES dengan menggunakan metode *scanning* dengan metode *Photogrammetry* dapat membantu dalam mendesain socket pasien penderita amputasi dapat memiliki socket kaki prostetis yang sesuai dengan bentuk kaki yang teramputasi.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat desain socket berdasarkan data hasil *scanning* dengan metode *Photogrammetry*.
2. Mengukur desain socket dengan 3 macam variasi ketebalan.

1.4. Batasan Masalah

Dengan fakta bahwa permasalahan ini yang sangat luas, perlu adanya batasan-batasan masalah sehingga hasil dari penelitian ini dapat terfokus pada tujuan yang telah ditentukan, batasan-batasan tersebut yaitu:

1. Objek penelitian berupa pasien yang memiliki kaki yang teramputasi di bawah lutut (*Transtibial Amputation*).
2. Data objek penelitian berdasarkan hasil dari penelitian sebelumnya berupa 3D *Scanning* menggunakan teknik *Photogrammetry* yang diproses menggunakan *Agisoft PhotoScan* dengan format *.stl*.
3. Software yang digunakan untuk mendesain socket adalah *PowerShape*.
4. Bagian socket yang didesain yaitu dalam dan luar (*Inner Socket* dan *Outer Socket*).
5. Metode penelitian yang digunakan berupa metode eksperimental yang dilakukan seiring dengan berjalannya observasi pada objek penelitian.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Pada sub-bab tinjauan pustaka akan menjelaskan pustaka yang memuat penelitian terdahulu dan penelitian sekarang.

2.1.1. Penelitian Terdahulu

Frillici dan Rotini (2013) dalam *Prosthesis Socket Design through Shape Optimization* menjelaskan permasalahan berupa sulitnya dalam desain dan pembuatan soket dikarenakan berbagai persyaratan yang harus dipenuhi. Dalam penelitiannya (Frillici dan Rotini (2013)) menjelaskan pendekatan untuk merancang soket prosthesis dengan *Shape Optimization* yaitu model *digital* dan teknik *prototyping virtual* yang telah diintegrasikan dalam proses pengembangan soket untuk mencapai peningkatan hasil yang radikal. Pendekatan yang dilakukan (Frillici dan Rotini (2013)) memungkinkan untuk mengurangi penggunaan *prototype* fisik dan tes eksperimen pada pasien, tetapi hasil optimasi bentuk soket masih kurang mendukung. Dalam hal ini, fitur teknik optimasi desain merupakan peluang untuk mengatasi masalah yang sering terjadi yaitu eksperimen fisik kepada pasien karena merupakan aktivitas yang membosankan. Optimasi desain berguna karena membantu desainer dalam mencari solusi optimal yang didedikasikan untuk sistem prostetik. Penelitian (Frillici dan Rotini (2013)) ini juga memperhatikan persyaratan fungsional dan ergonomis dari soket yang didesain. Selanjutnya soket dianalisis dan diterjemahkan ke dalam *driver* pengoptimalan. Hasil dan pengalaman yang diperoleh dari penelitian (Frillici dan Rotini (2013)) ini berupa penyajian potensi dan penerapan pendekatan yang telah dilakukan.

Dalam penelitian dengan judul *Computer-manufactured inserts for prosthetic Sockets* oleh Sanders dkk (2016) menjelaskan permasalahan berupa sisipan plastik khusus untuk penderita amputasi trans-tibial (amputasi di bawah lutut) pada soket yang setelah selama empat minggu pemakaian mengalami perubahan, dari 0,11 mm (sekitar 55% dari ketebalan selubung nilon) menjadi 0,03 mm (sekitar 15% dari ketebalan selubung nilon). Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitain (Sanders dkk (2016)) ini bertujuan untuk menggunakan perangkat lunak desain berbantuan komputer dan sistem manufaktur aditif 3D untuk merancang dan membuat sisipan plastik khusus tersebut. Penulis menjelaskan bahwa terdapat 3 tahap metode dalam penyelesaian masalah ini yang saling berkaitan,

metode pertama berupa pemindaian dan medigitalkan permukaan yang akan dijadikan soket, tahap kedua berupa mendesain sisipan dengan menggunakan aplikasi CAD dan tahap ketiga berupa fabrikasi dan penilaian kualitas bentuk sisipan. Peralatan yang digunakan dalam penelitian (Sanders dkk (2016)) berupa *Digitizer (FARO) Data Aquisition Software (Geomagic Design X), Commercial Prosthetics Software Package (TracerCAD), Inventor software (Autodesk)*. Hasil dari penelitian ini berupa sisipan dengan volume rata-rata -0,09% dan rata-rata kesalahan radial -0,03 mm, distribusi perbedaan bentuk cukup seragam di atas permukaan, tidak ada masalah keausan yang terlihat selama inspeksi setelah penggunaan sisipan secara teratur dan tidak ada cacat perekat pada sisipan.

Pada penelitian Gattamalata dkk (2007) yaitu *Accurate geometrical constraints for the computer aided modelling of the human upper limb* menjelaskan permasalahan berupa batasan geometris yang meniru gerakan tubuh bagian atas. Permasalahan tersebut menjadi kendala di dunia medis dalam membantu dokter, teknisi dan *engineer* baik pengobatan, operasi dan biomekanik bagian tubuh. Dalam pengaplikasiannya, tubuh manusia dibuat menjadi model dan disimulasikan secara akurat dan realistis mengikuti pergerakan geometris tubuh. Metode penyelesaian masalah yang digunakan Gattamalata berupa membangun model virtual yang gerakannya menyerupai tubuh manusia dengan bantuan komputer menggunakan sambungan yang diperkirakan dapat didukung oleh setiap perangkat lunak CAD komersial. Pada pengerjaannya, Gattamalata membuat model virtual dari lengan sehingga perlu mendefinisikan *Euler's angles* (sudut yang menggambarkan orientasi benda kaku sehubungan dengan sistem koordinat tetap) yang menentukan *Carrying angle* (sudut yang menentukan lengan berayun tanpa memukul pinggul) dan *Flexion angle* (sudut gerakan lentur yang mengurangi sudut antara segmen). Penelitian (Gattamalata (2007)) juga menentukan derajat kelengkungan dan perpanjangan (HAFE, *Hand Axis of Flexion/Extention*) dan juga HAD atau derajat pergerakan tangan (*Hand Axis of Deviation*). Hasil penelitian (Gattamalata (2007)) ini berupa kesimpulan dari *Movement, Body segment, Rotation axis, Translation axis, dan Remarks* dari lengan berdasarkan simulasi model virtual pada aplikasi CAD.

Pada jurnal yang ditulis oleh Ryniewicz dkk (2017) dengan judul *The use of laser scanning in the procedures replacing lower limbs with prosthesis* menjelaskan permasalahan pengukuran tanpa kontak langsung pada bagian tubuh teramputasi. Tujuan dari penelitian ini berupa penjabaran dari prosedur yang mendukung

persiapan kaki bagian bawah prostesis setelah amputasi menggunakan pemindai laser dan pemodelan numerik. Penelitian (Ryniewicz dkk (2017)) ini dikhususkan pada kaki yang teramputasi akibat penyakit seperti arteri koroner, gangren gas, osteoarthritis kronis, perubahan kanker, radang dingin dan amputasi pasca-trauma. Pengukuran ini memperhatikan beberapa hal seperti panjang tunggul, jarak dari dasar ke sumbu sendi lutut, ukuran kaki dan lain-lainnya. Metode pengukuran pada penelitian ini berupa pengukuran kaki tanpa kontak langsung (menyentuh kaki) menggunakan *tools* berupa pengukuran dengan koordinat *Romer Absolute Arm 7320SI* oleh *Hexagon Metrology* dengan pemindai laser HP-L-20.8. Strategi penelitian ini berupa melakukan pengukuran kaki normal dan kaki teramputasi sebanyak 20 kali yang memungkinkan mendapatkan gambar hasil pindaian secara utuh. Hasil pindaian berupa *Cloudpoint* yang akan disatukan pada aplikasi CAD 3D *Reshaper software*. Gambar kedua kaki dalam bentuk format .csv yang dapat dilanjutkan untuk membuat kaki prostesis dengan cara *me-mirror* atau menduplikat kaki utuh ke kaki teramputasi. Hasil dari penelitian (Ryniewicz dkk (2017)) ini berupa *sofffile* kaki prostesis yang dapat dijadikan model matematika yang dapat digunakan pada 3D *Printer*.

Reljic dkk (2019) dalam penelitiannya yang berjudul *Photogrammetric 3D Scanning of Physical Objects: Tools and Workflow* menjelaskan kemudahan akses dan rendahnya biaya perangkat keras dan perangkat lunak untuk pemindaian 3D telah membuat teknologi 3D semakin populer dalam penelitian terbaru. Salah satu pendekatan pemindaian 3D yang mungkin adalah fotogrametri yang mengandalkan penggunaan kumpulan data. Reljic dkk (2019) menggunakan data berupa kumpulan foto-foto dari objek fisik yang sama. Dalam penelitian (Reljic dkk (2019)) dilakukan evaluasi berbagai model 3D yang dihasilkan dari input data yang sama dengan paket perangkat lunak khusus untuk fotogrametri. Atribut utama model 3D dalam penelitian (Reljic dkk (2019)) diperiksa dalam analisis komparatif dan perbedaannya disorot. Selanjutnya, inspeksi visual dilakukan pada model dan hasilnya dibandingkan.

2.1.2. Penelitian Sekarang

Penelitian ini terkait dengan desain soket dengan teknologi CARES pada kaki teramputasi. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data hasil dari penelitian sebelumnya, yaitu menggunakan data hasil penelitian Teknologi Digital Untuk Mempemudah Proses *Reverse Engineering* dan dilanjutkan dengan desain

socket kaki prostetis untuk kaki teramputasi yang telah di-scan. Pada penelitian sebelumnya dilakukan kepada 2 pasien tentara yang mengalami amputasi di bawah lutut (*transtibial amputation*). Pasien pertama mengalami amputasi karena diabetes dan pasien kedua karena terkena ledakan ranjau personel. Kedua pasien mengalami amputasi di waktu yang berbeda, pasien yang memiliki penyakit diabetes mengalami amputasi pada waktu yang dekat sehingga kondisi kaki teramputasi masih perlu perawatan rutin. Pasien dengan amputasi karena ledakan ranjau personel mengalami amputasi sudah lama sehingga kondisi kaki teramputasi sudah dapat dipasangkan kaki prostetis. Permasalahan yang ditemukan pada kaki prostetis pasien teramputasi yang terkena ranjau personel berupa ketidaknyamanan socket kaki prostetis. Kaki prostetis yang digunakan merupakan pemberian dari pemerintah dan memiliki ukuran yang *general* sehingga tidak dikhususkan pada ukuran individu pasien.

Penelitian ini menggunakan *Reverse Engineering* pada tahap desain. Desain dilakukan dengan menggunakan *software Computer Aided Design (CAD)*. Proses desain menggunakan data hasil *scan* penelitian sebelumnya yang telah memiliki format *Stereolithographic (STL)* sehingga dapat didesain menggunakan *software CAD* berupa *PowerShape*. Hasil desain berupa model CAD dari socket pasien yang dapat diproses manufaktur.

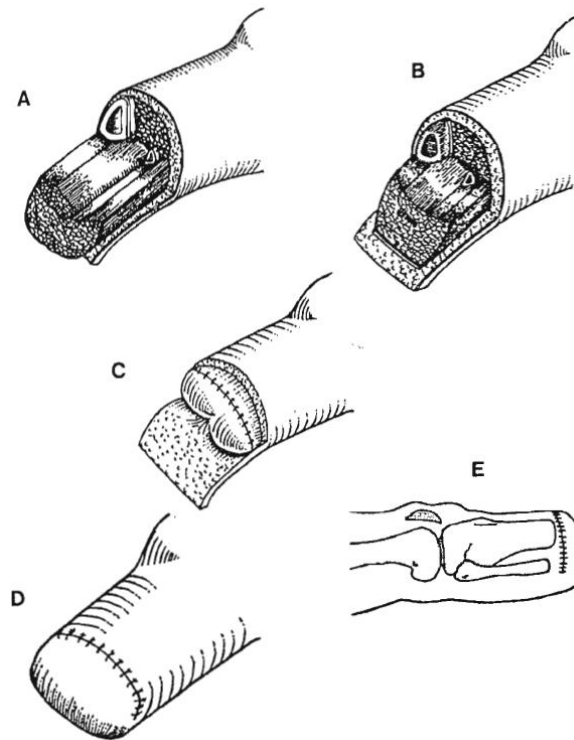
2.2. Dasar Teori

Dalam menjalankan penelitian ini, perlu adanya teori-teori yang mendukung penyelesaian penelitian. Sub-bab ini berisi kumpulan dari teori yang mendukung dalam desain socket kaki prostetis.

2.2.1. *Transtibial Amputaion*

May (2004) dalam bukunya yang berjudul *Amputation and Prosthetics: A Case Study Approach* menjelaskan bahwa Amputasi *Transtibial* adalah tingkat amputasi yang paling umum untuk penyakit pembuluh darah perifer. Beberapa studi mengkonfirmasi bahwa tingkat kematian terjadi setelah amputasi sebesar 9,5% dibandingkan dengan amputasi transemoral yang hanya sebesar 29,5%. Tingkat amputasi transtibial ditentukan oleh beberapa faktor. Pada amputasi setelah trauma, sisa jaringan yang layak menentukan levelnya. Pada tekanan penyakit disvaskular dengan infeksi, levelnya ditentukan oleh jaringan bebas infeksi dan kondisi pembuluh darah kulit dan jaringan lunak. Pantensi tidak selalu menjadi kriteria untuk memilih level. Amputasi secara konsisten sembuh terutama dengan

tidak adanya sirkulasi melalui pembuluh darah utam jika ada pendarahan melalui flap kulit. Panjang yang diinginkan untuk amputasi *Transtibial* adalah masalah kontroversi. Beberapa ahli bedah menganjurkan meninggalkan sebanyak mungkin panjang tulang, mempercayai bahwa lengan tuas yang lebih lama akan mengurangi energi yang dibutuhkan untuk amputasi yang efektif. Keadaan lain bahwa individu dengan anggota tubuh yang sangat lama mengembangkan masalah kulit distal karena kurangnya lapisan subkutan. Beberapa ahli bedah menyarankan bahwa sekitar 15cm adalah panjang yang optimal. Tuberkulum adalah tingkat terpendek yang kompatibel dengan fungsi lutut.



Gambar 2.1. Amputasi Transtibial dengan flap kulit posterior panjang.

(sumber: May, Bella J, 2004)

Proses amputasi *Transtibial* pada gambar (Gambar 2.1.) diatas, (A) dokter bedah meninggalkan lipatan kulit posterior yang panjang. Selanjutnya (B) dokter bedah memiringkan dan membentuk *flap* untuk mendapatkan ujung yang halus. (C) setelah tahap mioplasti, jaringan lunak akan diperkiriakan. (D) pada jahitan terakhir melewati bagian anterior dari sisa anggota tubuh. (E) tibia dan fibula dihungukan.

Murphy (2014) di dalam bukunya yang berjudul *Fundamental of Amputation Care and Prosthetics* menjelaskan bahwa *Transtibial Amputation* atau amputasi dibawah lutut merupakan *level* amputasi yang umumnya dilakukan 5 hingga 7 inci di bawah garis sendi melalui tibia dan fibula. Pada proses amputasi, tulang tibia dan fibula distal pada pergelangan kaki biasanya diangkat atau dibuang. Pada proses amputasi juga mempertahankan atau tidak membuang tulang tibia dan fibula proksimal, kecuali untuk anggota tubuh yang sangat pendek ketika fibula dapat dieksisi. Secara umum, fibula dipotong 1 cm (3/8 inci) proksimal ke tibia distal. Teknik pemotongan atau bedah dengan cara Miodesis atau bisa juga dengan Mioplasti. Teknik bedah Miodesis dilakukan dengan cara membuat lubang dengan bor melalui tibia sekitar 1 cm proksimal menuju distal, flap posterior dan anterior dijahit ke rongga sumsum. Sedangkan teknik bedah Mioplasti dilakukan dengan cara menjahit bersama otot fleksor dan ekstensor ke periosteum tibia untuk memungkinkan otot berkontraksi melawan resistensi, dan menjaga darah dan limfatik kembali, serta massa otot dan aksi sekaligus mendorong stabilisasi otot.

2.2.2. Kaki Protesis

Alat protesis dalam pembuatannya harus memiliki beberapa ketentuan, yaitu harus nyaman, fungsional dan kosmetik. Jika protesis tidak nyaman, pasien tidak akan memakainya, rasa sakit atau ketidaknyamanan dapat menjadi hambatan terbesar untuk keberhasilan rehabilitasi protesis. Protesis harus juga fungsional. Ini harus memungkinkan individu untuk melakukan kegiatan yang diinginkan sehingga ia tidak akan dapat melakukannya tanpa tumpuan pro dan melakukannya dengan pengeluaran energi serendah mungkin. Bagi kebanyakan orang, protesis yang pas akan memungkinkan mereka untuk melakukan berbagai aktivitas mobilitas yang lebih besar daripada yang mereka lakukan pada *crutches* atau dengan kursi roda. Ini mungkin tidak berlaku untuk orang tua dengan amputasi transfemoral atau mereka yang mengalami amputasi bilateral. Ketika tuntutan energi untuk mobilitas protesis lebih besar daripada mobilitas tanpa protesis, protesis jarang dikenakan. Akhirnya, protesis harus se-kosmetik mungkin. Pentingnya kosmetik bervariasi pada setiap orang dan setiap situasi. Tidak jarang bagi individu untuk memakai protesis tanpa kosmetik tertutup, lebih memilih respons kaki yang lebih baik terhadap peningkatan kosmetik. Banyak orang tidak kesulitan mengenakan celana pendek dengan protesis, sementara bagi orang lain,

penampilan adalah hal yang lebih penting. Kebutuhan dan keinginan pasien harus dieksplorasi dalam beberapa detail sebelum memilih masing-masing komponen.

Banyak faktor yang harus diperhatikan dalam memilih prostesis yang optimal untuk setiap pasien. Pada waktu dahulu, pilihan prostesis terbatas. Teknologi dan material yang lebih menghasilkan sejumlah besar komponen prostetis, beberapa sangat canggih dan sangat mahal. Seorang individu yang aktif dapat memiliki prostesis yang berbeda untuk olahraga untuk penggunaan sehari-hari. Setiap kebutuhan pasien memiliki kebutuhan komponen dan material yang berbeda-beda. Berikut adalah beberapa faktor yang harus diperhatikan:

1. Faktor pasien:

Kesehatan umum, berat badan, level aktivitas, motivasi dan kemampuan untuk menentukan tujuan.

2. Faktor sisa anggota tubuh:

Panjang, bentuk, kondisi kulit, sirkulasi, jarak jangkauan gerakan dan kematangan.

3. Faktor biaya:

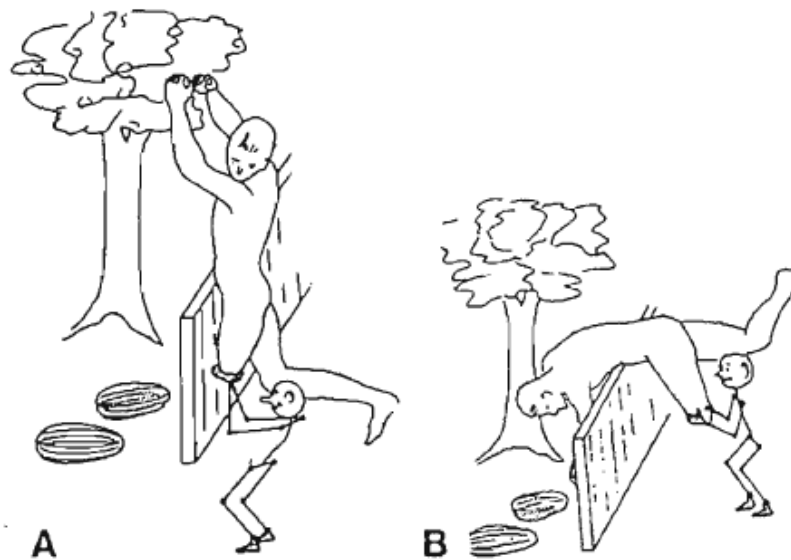
Harga komponen, biaya pihak ketiga, keuangan pasien.

2.2.3. Soket Prostesis

Soket prostetis adalah fondasi dari alat prostetis. Soket merupakan antarmuka antara pasien dan alat prostetis. Keterampilan ahli dalam membuat penyesuaian kecil yang diperlukan untuk mengindividualisasikan soket dapat sangat penting bagi keberhasilan rehabilitasi prostetis. Desain soket bervariasi berdasarkan tingkat amputasi dan konfigurasi tungkai residual individu. Pertimbangan desain khusus dibahas dalam bagian berikut yang dikhususkan untuk setiap prostesis utama. Beberapa prinsip umum desain soket berlaku untuk semua tesis. Perancang harus memahami prinsip-prinsip desain dasar untuk secara tepat mengevaluasi kecocokan prostesis dan untuk melakukan pemecahan masalah awal ketika klien atau pasien merasa sakit atau menunjukkan penyimpangan.

Soket Prostetis harus menopang berat badan dan menahan sisa anggota tubuh dengan kuat dan nyaman selama semua kegiatan. Setiap area residu ekstrem mentoleransi tekanan secara berbeda, oleh karena itu, jaringan dimuat secara selektif sehingga sebagian besar beban ditanggung oleh jaringan yang toleran terhadap tekanan, seperti area atau tendon yang lebar dan rata, dan paling tidak oleh jaringan yang peka terhadap tekanan seperti saraf yang dekat dengan kulit

dan menonjol tulang yang tajam. Hal ini dicapai dengan bantuan (konkavitas soket) pada area yang peka terhadap tekanan dan cembung soket pada area yang toleran terhadap tekanan. Selain itu, soket perlu menggenggam sisa anggota tubuh dengan kuat untuk mengurangi atau menghilangkan gerakan antara soket dan kulit. Peningkatan pergerakan antara sisa tungkai dan soket menciptakan peningkatan ketidakstabilan bagi pasien selama aktivitas dan resiko yang lebih besar untuk lecet kulit. Kontak total antara sisa tungkai dan soket diperlukan untuk membantu dalam umpan balik propriosptif dan untuk mencegah edema dan masalah kulit yang tergantung.



Gambar 2.2. Fungsi Prostetis

(Sumber: May, Bella J, 2004)

Prostetis harus (A) menopang berat badan dan (B) memegang sisa anggota tubuh dengan kuat selama semua kegiatan.

Terdapa beragam cara untuk membuat soket individu. Ahli prostetis mencatat karakteristik individu dari sisa tungkai, mengambil pengukuran spesifik dari tungkai sisa dan tungkai lainnya dan dapat membuang tungkai sisa sesuai dengan konstruksi yang ditetapkan atau melengkapi bentuk komputer khusus yang mencatat pengukuran spesifik. Pada titik ini, soket mungkin dibuat di tempat atau pengukuran (dan cetakan) dapat dikirim ke salah satu perusahaan fabrikasi pusat.

Perusahaan fabrikasi pusat dapat membuat hanya soket atau dapat menyatukan seluruh alat prosthesis. Soket dapat difabrikasi menggunakan komputer (CAD/CAM) atau dengan mesin yang mencetak lembar plastik secara langsung dari model anggota tubuh yang digunakan. Dalam pemasangannya, soket harus terhubung secara langsung ke instrumen atau *part* yang ada diantara soket dengan mekanisme alat prostesis. Soket PTB (*Patellar Tendon Bearing*) adalah soket *transtibial* yang standar dan merupakan soket plastik berlapis.

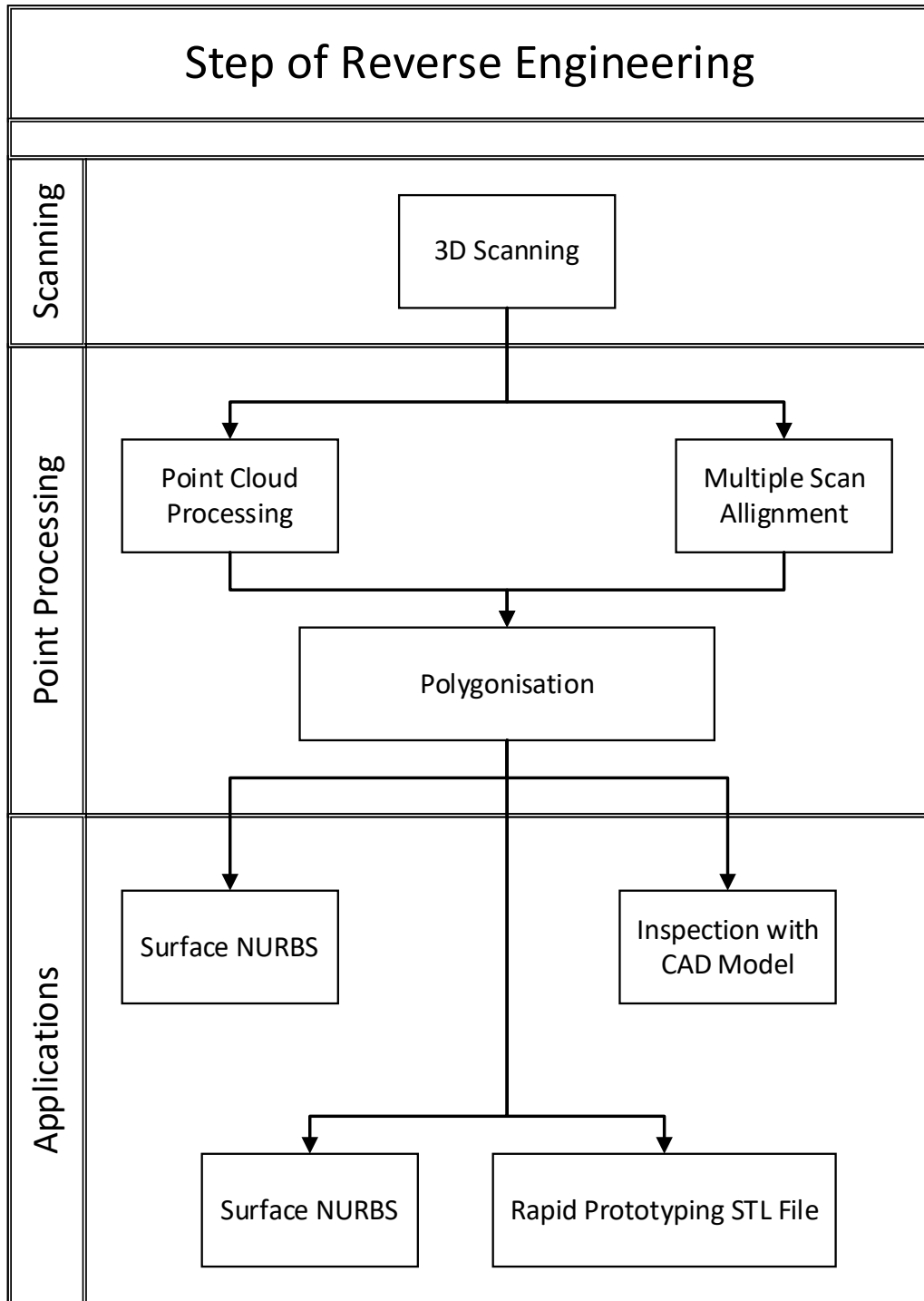
2.2.4. Reverse Engineering

Dalam buku *Reverse Engineering. Springer Series in Advanced Manufacturing* yang ditulis oleh Raja, V (2008) menjelaskan bahwa *Engineering* atau rekayasa adalah proses merancang, membuat, merakit dan memelihara produk dan sistem. Terdapat 2 tipe *Engineering*, yaitu *Forward Engineering* dan *Reverse Engineering*. *Forward Engineering* merupakan rekayasa dengan proses tradisional untuk berpindah dari abstraksi tingkat tinggi dan desain logis ke implementasi fisik suatu sistem. Dalam beberapa situasi, mungkin ada bagian / produk fisik tanpa rincian teknis, seperti gambar, tagihan bahan, atau tanpa data teknik. Proses menduplikasi bagian yang ada, *subassembly*, atau produk, tanpa gambar, dokumentasi, atau model komputer dikenal sebagai *Reverse Engineering*. *Reverse Engineering* juga didefinisikan sebagai proses mendapatkan model CAD geometris dari titik 3D yang diperoleh dengan memindai / mendigitalkan bagian / produk yang ada. Proses menangkap entitas fisik secara digital dari suatu komponen, yang disebut sebagai *Reverse Engineering* (RE), sering didefinisikan oleh para peneliti sehubungan dengan tugas spesifik mereka (Motavalli & Shamsaasef 1996). Abella et al. (1994) menggambarkan RE sebagai, "konsep dasar menghasilkan bagian berdasarkan pada model asli atau fisik tanpa menggunakan gambar teknik". Yau et al. (1993) mendefinisikan RE sebagai "proses pengambilan geometri baru dari bagian yang diproduksi dengan mendigitalkan dan memodifikasi model CAD yang ada".

Reverse Engineering sekarang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti manufaktur, desain industri, dan desain dan reproduksi perhiasan. Sebagai contoh ketika sebuah mobil baru diluncurkan di pasar, pabrikan yang bersaing dapat membeli satu dan membongkarnya untuk mempelajari bagaimana ia dibangun dan bagaimana itu bekerja. Dalam *Software Engineering*, kode sumber yang baik sering merupakan variasi dari kode sumber lain yang baik.

Dalam beberapa situasi, seperti gaya otomotif, desainer memberikan bentuk pada ide-ide mereka dengan menggunakan tanah liat, plester, kayu, atau karet busa, tetapi model CAD diperlukan untuk membuat bagian itu. Ketika produk menjadi lebih organik dalam bentuk, mendesain dalam CAD menjadi lebih menantang dan tidak ada jaminan bahwa representasi CAD akan mereplikasi model pahatan dengan tepat.

Reverse Engineering memberikan solusi untuk masalah ini karena model fisik adalah sumber informasi untuk model CAD. Ini juga disebut sebagai proses fisik-ke-digital. Alasan lain untuk *Reverse Engineering* adalah untuk menekan waktu siklus pengembangan produk. Di pasar global yang kompetitif, produsen terus mencari cara baru untuk mempersingkat waktu tunggu untuk memasarkan produk baru. Pengembangan Produk Cepat / *Rapid Prototyping Development* (RPD) mengacu pada teknologi dan teknik yang baru dikembangkan yang membantu produsen dan perancang dalam memenuhi tuntutan waktu pengembangan produk yang lebih singkat. Dengan penggunaan *Reverse Engineering*, produk fisik 3D atau *mock-up* tanah liat dapat dengan cepat ditangkap dalam bentuk digital, direnovasi, dan diekspor untuk pembuatan *prototype* / perkakas cepat atau pembuaatn cepat menggunakan teknik permesinan *multi-axis* CNC.



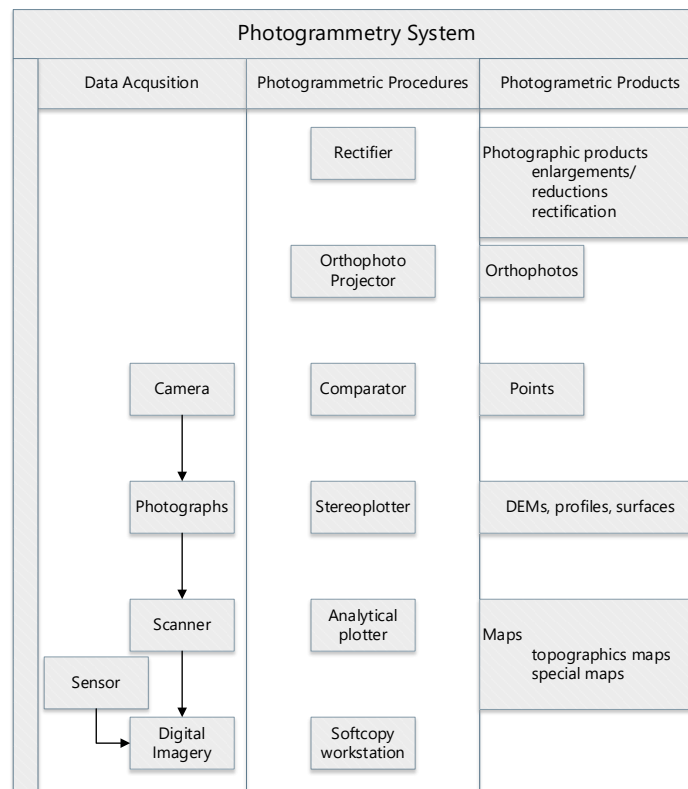
Gambar 2.3. Tahapan Reverse Engineering

(Sumber: Raja, V, 2008)

2.2.5. Photogrammetry

Dalam buku *Introduction to Photogrammetry* yang ditulis oleh Schenk, T. (2005) menjelaskan bahwa tidak ada definisi fotogrametri yang diterima secara universal. Definisi yang diberikan menangkap gagasan paling penting tentang fotogrametri. Fotogrametri adalah ilmu untuk memperoleh informasi yang dapat dipercaya tentang sifat-sifat permukaan dan benda-benda tanpa kontak fisik dengan benda-benda tersebut, dan untuk mengukur dan menafsirkan informasi ini. Nama "*Photogrammetry*" berasal dari tiga kata Yunani yaitu *Phos* atau *Fot* yang berarti cahaya, *Gramma* yang berarti huruf atau sesuatu yang ditarik, dan *Mertein* yaitu kata benda ukuran.

Untuk menyederhanakan pemahaman definisi abstrak dan untuk memahami secara cepat bidang fotogrametri yang kompleks, kami (Schenk, T. (2005)) mengadopsi pendekatan system. Gambar 2.4. mengilustrasikan ide tersebut.



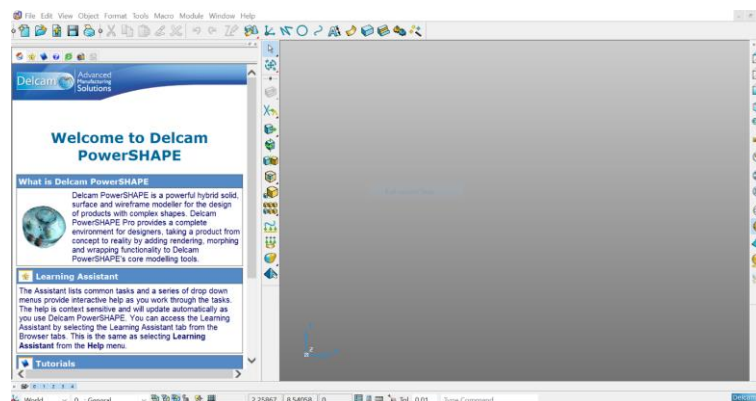
Gambar 2.4. Pendekatan Sistem *Photogrammetry*

(Sumber : Schenk, T., 2005)

Input ditandai dengan memperoleh informasi yang dapat diandalkan melalui proses pola perekaman energi radiasi elektromagnetik, terutama dalam bentuk gambar foto. *Input* biasanya disebut sebagai akuisisi data. *Output*-nya disisi lain, terdiri dari produk fotogrametri yang dihasilkan dalam bentuk kotak hitam. Kotak hitam melibatkan prosedur dan instrumen fotogrametri.

2.2.6. *PowerShape*

PowerShape merupakan paket desain yang lengkap untuk membawa konsep desain menuju proses manufaktur. Keunggulan dari *PowerShape* adalah sesuai dengan filosofi “sederhana dalam mencipta, mudah dalam mengubah” (*simple to create, easy to modify*) untuk bentuk permukaan yang rumit sekalipun, sehingga membuat para perancang produktif dan kreatif. *PowerShape* juga cepat dan mudah dipelajari, efisien dalam pemakaian sehingga memungkinkan mendesain model yang kompleks dalam waktu yang tidak lama.



Gambar 2.5. User Interface PowerShape

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2019)

PowerShape adalah produk *software* dari Delcam yang digunakan untuk pemodelan CAD. Model CAD dibentuk dengan cara menggambar 2D dan 3D seperti *Wireframe*, *Solid*, *Surface*. *Software* ini dapat membuka gambar 3D dengan format *Stereolithographic* (STL).

1. *Workplanes*

Workplanes merupakan titik acuan dari sumbu XYZ yang dapat diletakkan dimanapun sesuai dengan kebutuhan dalam membuat model 2D dan 3D.

Dalam pemodelan, *Workplanes* dapat berjumlah lebih dari satu tetapi hanya satu *Workplanes* saja yang dapat diaktifkan.

2. *Wireframe Modelling*

PowerShape menghasilkan gambar seperti titik, garis, busur, dan kurva dalam bentuk 2D atau 3D menyerupai jaring-jaring yang dikenal sebagai *Wireframe* atau gambar rangka. *Wireframe* ini memiliki beberapa fungsi seperti sebagai kerangka dasar untuk membuat *Surface* ataupun *Solid*, dan dijadikan sebagai entitas gambar dalam *Delcam Draft*. *Wireframe* dapat diekspor dalam bentuk perangkat lunak lain.

3. *Solid Modelling*

Dibandingkan dengan *Surface Modelling*, *Solid Modelling* menggunakan pendekatan yang berbeda dalam membuat model 3D CAD. Perbedaannya berupa *Surface Modelling* menggunakan gambar 3D yang berongga dan memiliki ketebalan sebesar 0, sedangkan *Solid Modelling* memiliki ketebalan massa material pada model 3D yang dihasilkan. Keuntungan dari *Solid Modelling* berupa kecepatan pembuatan model 3D. Pengguna dapat merubah model menggunakan hierarki dari pohon sejarah

4. *Surface Modelling*

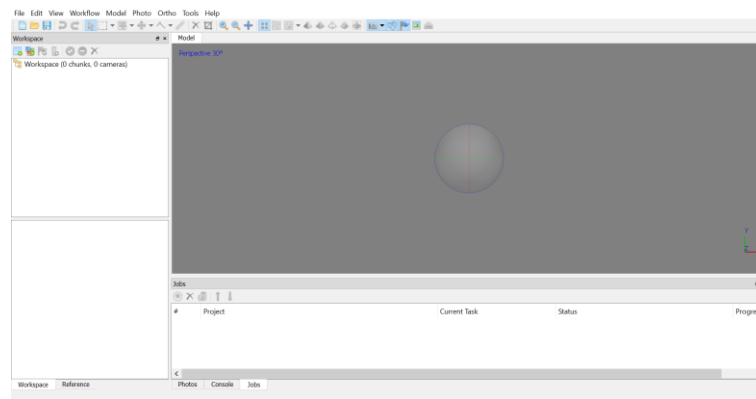
Surface merupakan gambar 3D CAD dengan bentuk berupa permukaan saja (bagian dalam kosong). *Surface* merupakan permukaan atau kulit yang dengan ketebalan yang dapat diabaikan dan dapat digunakan untuk membuat gambar 2D atau 3D.

5. *Surface From Network of Curves*

Surface From Network of Curves atau *Surface Network* merupakan permukaan yang terbuat dari satu atau lebih tambalan melalui jaringan *Wireframe*. *Surface Network* dibuat dengan bantuan *tools Composite Curve* yang fungsinya menyatukan *Wireframe* yang telah dibuat dengan *men-Tracing* atau menyatukan jejak *Wireframe* satu per satu sehingga membentuk *Surface Network*.

2.2.7. PhotoScan

PhotoScan adalah solusi pemodelan 3D berbasis gambar canggih yang bertujuan untuk menciptakan konten 3D dengan kualitas profesional berdasar gambar diam (2D). *PhotoScan* berdasar pada teknologi rekonstruksi 3D *multi-view* terbaru yang beroperasi dengan bermacam-macam gambar dan efisien dalam kondisi terkendail maupun tidak terkendali. Foto yang digunakan untuk merekonstruksi dapat diambil dari posisi apapun, asalkan objek yang akan direkonstruksi terlihat pada setidaknya dua foto. Pada *PhotoScan*, penyelarasan gambar dan rekonstruksi model 3D dilakukan sepenuhnya secara otomatis (*PhotoScan User Manual, Standard Edition, Version 1.4*). berikut adalah *workflow* dari *Software* ini:



Gambar 2.6. User Interface PhotoScan

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

1. *Loading photos into Photoscan*

Sebelum memulai operasi apapun, pengguna perlu menunjukkan foto apa yang akan digunakan sebagai sumber untuk rekonstruksi 3D. Bahkan, foto-foto itu sendiri tidak dimuat ke dalam *PhotoScan* sampai pengguna menunjukkannya terlebih dahulu. Jadi, Ketika pengguna "*load photos*", pengguna hanya akan menunjukkan foto-foto yang akan digunakan untuk diproses lebih lanjut.

2. *Inspecting loaded images*

Foto yang telah dimuat akan ditampilkan di pada panel *Workspace* Bersama dengan bendera yang menunjukkan status foto tersebut, seperti NC (*Not Calibrated*) yang memberitahu bahwa data yang tersedia tidak cukup untuk memperkirakan Panjang focus kamera. Bendera status yang

selanjutnya yaitu NA (*Not Aligned*) yang memberitahu bahwa parameter orientasi kamera eksternal belum diperkirakan untuk foto saat ini.

3. *Aligning photos*

Setelah foto dimuat ke dalam *PhotoScan*, foto-foto harus disejajarkan. Pada tahap ini *PhotoScan* menemukan posisi kamera dan orientasi untuk setiap foto dan membangun model *Point Cloud*.

4. *Building dense point cloud*

PhotoScan memungkinkan untuk menghasilkan dan memvisualisasikan model *point cloud*. Berdasarkan perkiraan posisi kamera, program ini dapat menghitung informasi kedalaman untuk setiap kamera yang akan digabungkan menjadi *Dense Cloud*. *PhotoScan* cenderung menghasilkan *dense point cloud* dengan kepadatan yang hamper sama (tidak lebih rapat) dengan LIDAR *Point Cloud*. *Dense Cloud* dapat di-*edit* dalam lingkungan *PhotoScan* dan digunakan sebagai dasar untuk tahapan pemrosesan seperti *Build Mesh*, *Build DEM*, *Build Tiled Model*. *Dense Cloud* juga dapat diekspor ke alat eksternal untuk analisis lebih lanjut.

5. *Building mesh (3D polygonal model)*

PhotoScan dapat merekonstruksi *point cloud* (*Dense Cloud*, *Sparse Cloud* ataupun *Point Cloud* dari sumber eksternal) menjadi 3D *polygonal model*.

6. *Generating texture*

Pembangkitan tekstur bersumber dari *Mesh* yang sebelumnya telah direkonstruksi atau diimpor dari sumber eksternal. Pembangkitan tekstur pada *PhotoScan* terdapat beberapa *mode*, seperti *Generic* yaitu pembangkitan tekstur secara seragam. Lalu ada *Adaptive Orthophoto* yaitu pembangkitan tekstur datar dan vertical pada *mesh*. Dan ada juga *Orthophoto* yang secara keseluruhan sama dengan sebelumnya, hanya saja tekstur yang dibangkitkan lebih padat.

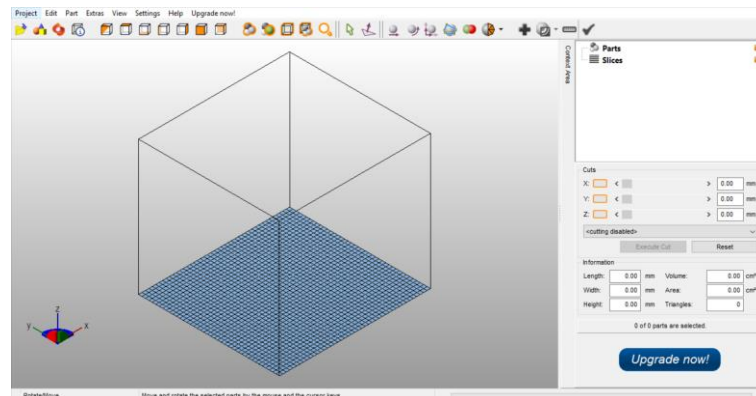
7. *Exporting result*

PhotoScan menyimpan hasil proses *Align Photo* hingga *Generating Textue* foto-foto seperti *Point Cloud*, *Dense Cloud*, kalibrasi dan orientasi kamera dalam dokumen dengan format *.PSZ* sebagai dokumen arsip dan *.PSX* sebagai dokumen yang dapat dibuka dan di-*edit* Kembali. Data *PhotoScan* juga dapat diekspor ke bentuk format lainnya, seperti Wavefront OBJ, 3DS, VRML, COLLADA, Alembic, Stanford PLY, STL, Autodesk FBX, Autodesk DFX, U3D dan Adobe PDF.

2.2.8. Netfabb

Netfabb merupakan perangkat lunak yang dirancang untuk *Additive Manufacturing*, *Rapid Prototyping* dan *3D Printing*. *Netfabb* mempersiapkan *file* 3 dimensi untuk dicetak dan mengkovernya menjadi *file* irisan 2,5 dimensi yang terdiri dari lapisan-lapisan 2 dimensi. Untuk membantu pengguna menyiapkan cetakan, *Netfabb* memiliki fitur-fitur untuk melihat, mengedit, memperbaiki dan menganalisis *file* 3D dengan format STL ataupun dengan format lainnya.

Semua operasi dilakukan dalam proyek, yang dapat mencakup sejumlah bagian tiga dimensi atau *file* irisan. Desain modular dari perangkat lunak ini memungkinkan penggunaan berbagai *Module* dalam suatu proyek, seperti *Repair Module* atau *Slice Comander*, yang menghubungkan dengan *interface* pengguna lain. Namun, mereka dapat beralih anatar modul tanpa kehilangan informasi. *Netfabb* memiliki beberapa fitur utama, seperti:



Gambar 2.7. User Interface Netfabb

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

1. *Part Management*

Yaitu fitur *Netfabb* meliputi pembuatan *part* primitive, duplikasi *part*, atribut *part*, penentuan posisi dan *scaling*, *Platform Overview* dan deteksi tabrakan. Untuk mengelola dan mengedit bagian, mereka harus dipilih terlebih dahulu.

2. *Part Edit*

Bagian tiga dimensi dapat diedit dengan berbagai cara. Fitur ini mencakup analisis bagian, fungsi pengeditan sederhana seperti *mirroring*,

membalikkan dan mengkonversi ukuran sesuai dengan satuan panjang dan melakukan pemotongan sederhana. Selain itu, sejumlah *part* dapat digabung menjadi satu *part*.

3. *Part Repair*

Setiap kali ada bagian yang rusak dan karena tidak dapat digunakan untuk pencetakan 3D, tanda peringatan besar dengan tanda seru ditampilkan di kanan bawah layer tampilan dan pada *project tree*. *Netfabb* dapat memperbaiki *part* yang rusak secara otomatis ataupun manual (*Customized*) sesuai keperluan pengguna.

BAB 4 DATA PENELITIAN

4.1. Data Penelitian

Kaki Teramputasi *Transtibial* merupakan kaki yang mengalami pemotongan secara prosedur operasi pada bagian bawah lutut. Amputasi pada dasarnya dilakukan karena berbagai penyebab seperti kecelakaan, penyakit, luka atau cacat sehingga perlu dilakukan pemotongan. Bagian tubuh yang teramputasi setiap pasien memiliki bentuk dan ukuran yang berbeda – beda.

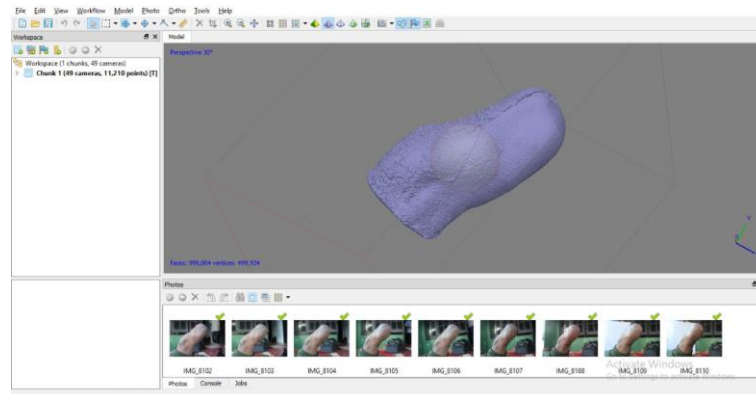
Objek yang digunakan dalam penelitian ini berupa kaki Teramputasi *Transtibial* pada pasien Kopral Kepala Mugiyanto. Mugiyanto merupakan anggota Koramil Borobudur Tentara Nasional Indonesia Angkatan Darat (TNI AD). Kaki kanan Mugiyanto diamputasi karena mengalami kecelakaan terkena ledakan ranjau personel saat melakukan tugas operasi pengamanan daerah rawan di Maluku pada tahun 2000. Dalam tahap pengambilan data perlu dilakukan pengukuran secara manual terlebih dahulu menggunakan mistar atau alat ukur lainnya. Hasil pengukuran objek yang dilakukan menggunakan mistar dari ujung kaki hingga ke area lutut (hingga ujung lipatan celana) yaitu panjang 12,7 cm, lebar 14,9 cm dan tinggi 23,1 cm.



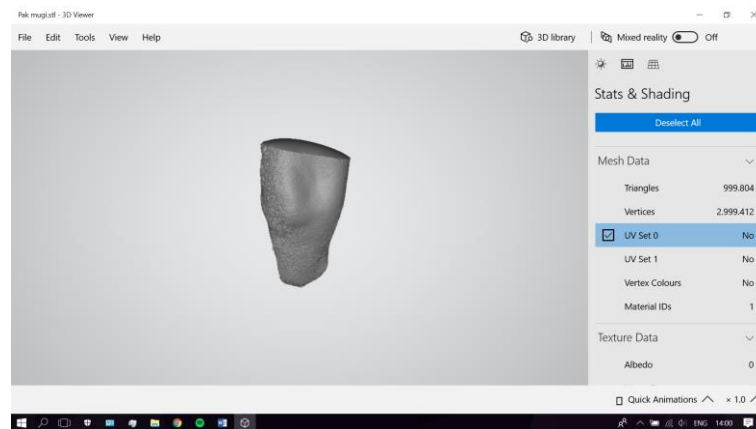
Gambar 4.1. Kaki Mugiyanto
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2019)

4.2. Data Hasil Scanning

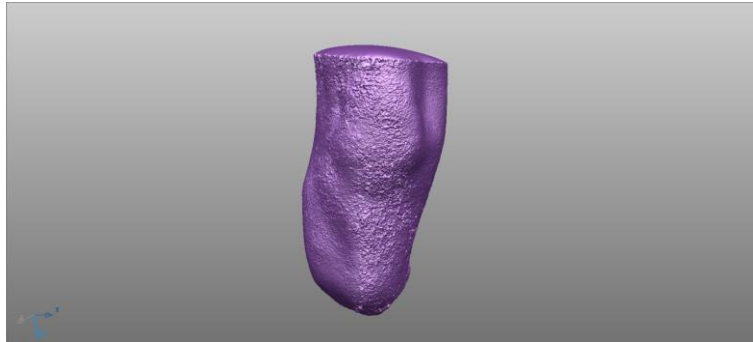
Berikut merupakan data hasil 3D *Scanning* dengan *Photogrammetry* pada objek menggunakan kamera dan *Software PhotoScan* yang telah dilakukan dalam penelitian lain. Data yang akan ditampilkan berupa dokumen 3D dengan format STL yang dibaca menggunakan *PhotoScan*, *3D Viewer Windows 10* dan *PowerShape*.



Gambar 4.2. Model 3D STL Pada *PhotoScan*



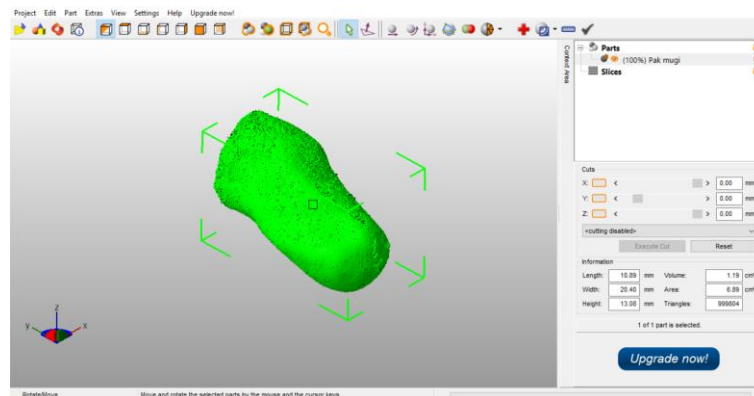
Gambar 4.3. Model 3D STL Objek Pada 3D Viewer Windows 10
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)



Gambar 4.4. Model 3D STL Objek Pada *PowerShape*

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

Model 3D STL pada gambar (Gambar 4.2., Gambar 4.3., Gambar 4.4.) dapat dibuktikan bahwa pembangkitan model 3D STL Objek menggunakan *Software PhotoScan* pada penelitian lain dapat dibaca menggunakan 3 aplikasi yang berbeda. Selanjutnya dilakukan pengukuran Objek yang didapat menggunakan *Netfabb*. Pengukuran pada *Netfabb* dimulai dengan memasukkan dokumen model 3D STL dengan cara *Project > Open >* pilih dokumen yang akan dimasukkan.

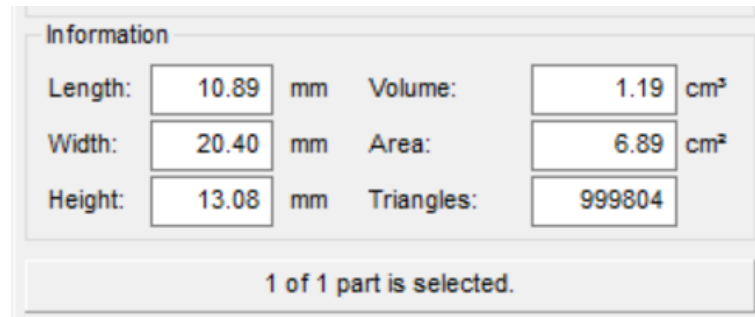


Gambar 4.5. model 3D STL Pada *Netfabb*

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

Dokumen model 3D STL yang dimasukkan akan terbaca dan ditampilkan pada *Workplane Netfabb*. Ukuran sudah dapat dilihat pada bagian kanan *Workplane* atau *Context Area* pada *Information Box* yang menampilkan *Length, Width, Height,*

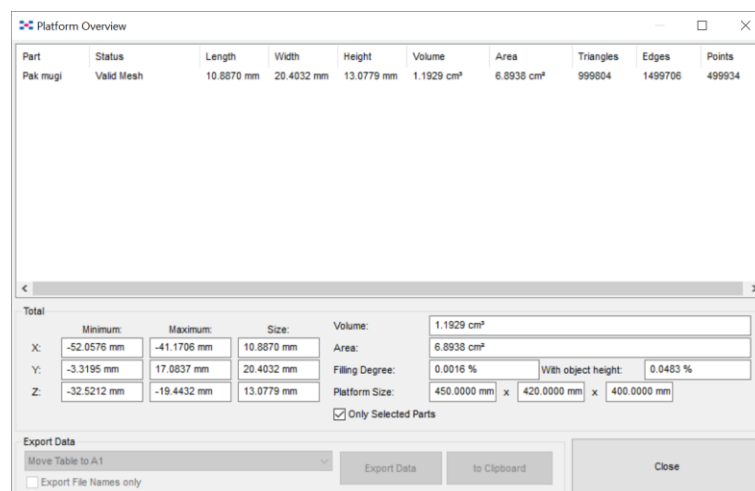
Volume, Area dan Triangle. Ukuran (LxWxH) yang ditampilkan pada *Information Box* yaitu 10,89 mm x 20,40 mm x 13,08 mm.



Gambar 4.6. Ukuran model 3D STL Pada Netfabb

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

Alternatif lain dalam melihat ukuran model 3D STL dengan lebih detil yaitu membuka *Platform Overview* dengan cara *Edit > Platform Overview* atau dengan menekan tombol F5 pada *Keyboard*.



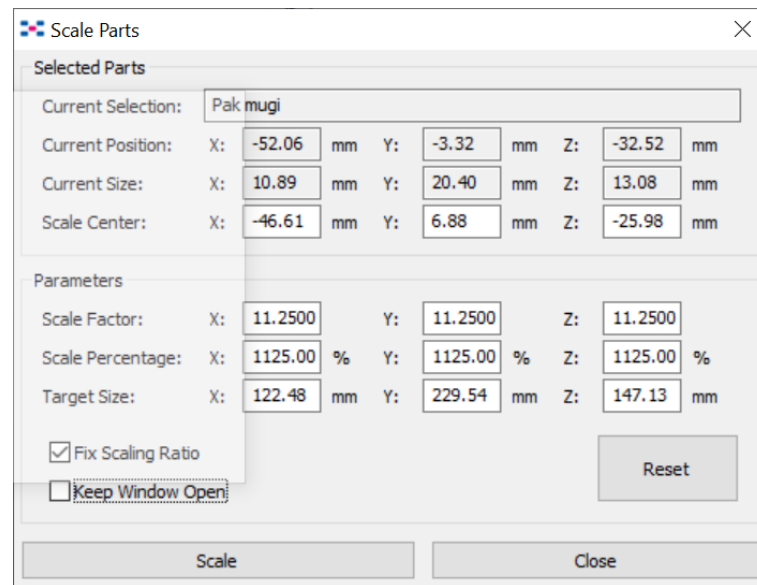
Gambar 4.7. Platform Overview

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

Ukuran model 3D STL yang ditampilkan melalui *Platform Overview* lebih detil dibandingkan pada kotak *Informasi* sebelumnya. Ukuran model 3D STL pada *Platform Overview* yaitu 10,8870 mm x 20,4032 mm x 13,0779 mm.

4.3. Scaling Model 3D STL

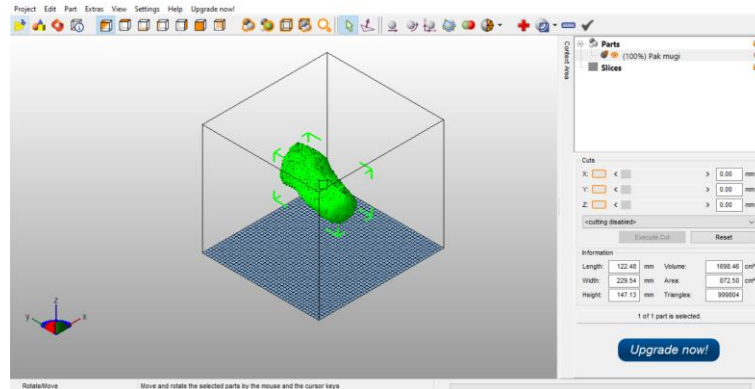
Ukuran model 3D STL yang ditampilkan belum sesuai dengan ukuran asli dari objek sehingga perlu dilakukan *Scaling*. *Scaling* dilakukan agar ukuran model 3D STL hasil *Scanning* dapat sesuai atau setidaknya mendekati ukuran asli objek. *Scaling* dilakukan pada *Netfabb* dengan cara *Part > Scale* dan akan ditampilkan kotak *Scale Parts*.



Gambar 4.8. Scale Parts Box

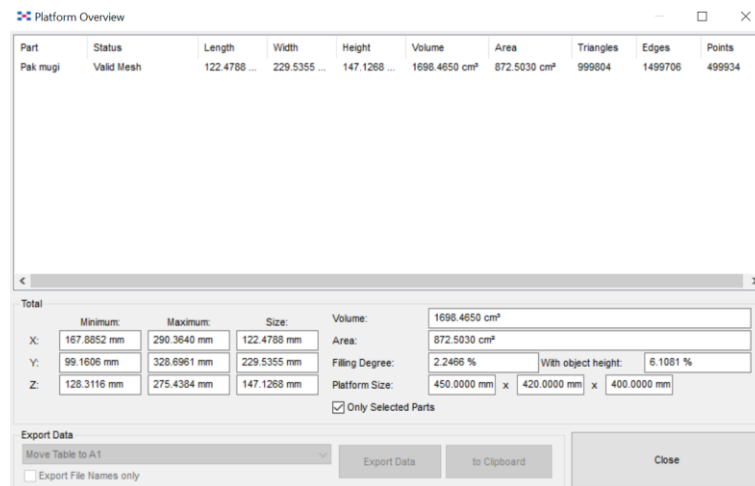
(Dokumentasi Pribadi, 2020)

Pada kotak *Scale Parts*, ubah *Scale Percentage* pada bagian *Parameters* dari 100% menjadi 1125% agar ukuran model 3D STL menjadi lebih besar dan mendekati ukuran objek. Kotak *Fix Scaling Ratio* juga perlu dicentang agar perubahan ukuran menjadi menyeluruh. Setelah itu klik tombol “*Scale*” untuk merubah ukuran model 3D STL dan kotak akan tertutup.



Gambar 4.9. Hasil *Scaling*
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

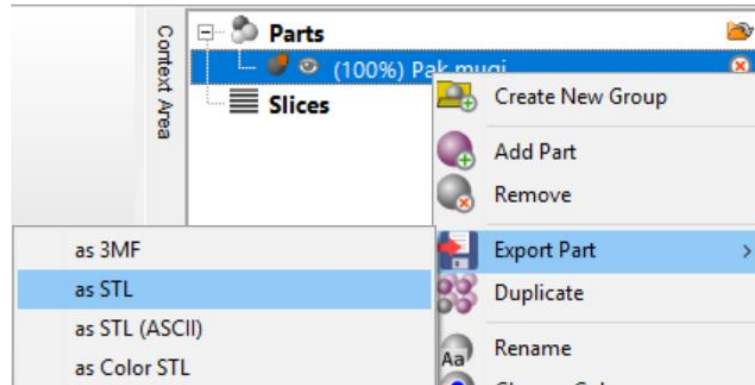
Hasil *Scaling* akan ditampilkan dengan ukuran yang berbeda. Ukuran hasil *Scaling* lebih besar dari ukuran sebelumnya, ukuran dapat dilihat pada *Information Box* atau *Platform Overview* yaitu 122,48 mm x 229,54 mm x 147,13 mm atau setara dengan 12,2 cm x 22,9 cm x 14,7 cm.



Gambar 4.10. *Platform Overview* Hasil *Scaling*
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

Model 3D STL yang telah di-*Scaling* dapat disimpan dengan format FABBPROJECT dan dapat diekspor kedalam bentuk STL dengan cara mengklik kanan model 3D STL pada *History Tree* yang terletak di bagian *Context Area* lalu

Export Part > *as STL*. Dokumen model 3D STL tersebut dapat dibuka pada *PowerShape* dan dapat digunakan sebagai acuan desain soket.



Gambar 4.11. *Export FABBPROJECT* Menjadi STL

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

BAB 5

DESAIN SOKET

5.1. Penggunaan Teknologi CARES

Teknologi *Computer Aided Reverse Engineering System* merupakan teknologi yang digunakan untuk mendesain suatu produk. Seperti yang dijelaskan oleh Oancea dkk (2013) dalam artikelnya yang berjudul *Computer Aided Reverse Engineering system used for customized products* bahwa CARES digunakan untuk produk dalam proses desain atau desain ulang, jika dokumentasi teknis tidak tersedia. Semua CARES menggunakan berbagai jenis alat perangkat lunak, teknologi, dan perlengkapan yang bergantung pada bentuk produk. Teknologi ini juga mengaplikasikan kegunaan dari *Computer Aided Design (CAD)* dan *Reverse Engineering (RE)*. *Computer Aided Design* digunakan dalam penelitian ini karena memiliki beberapa keunggulan seperti mengurangi penggunaan *prototype* atau tes fisik ataupun eksperimen pada objek. CAD juga memiliki keunggulan berupa analisis produk yang didesain dan juga dapat menyimpan desain dalam berbagai format manufaktur. *Reverse Engineering* digunakan dalam penelitian ini karena memiliki beberapa keunggulan seperti merubah model fisik objek menjadi informasi atau data dengan bentuk digital. RE juga mempercepat waktu pengambilan data dan juga waktu pengembangan produk.

5.2. PowerShape

PowerShape digunakan dalam penelitian ini karena *PowerShape* merupakan aplikasi atau *software* khusus yang memberikan kemudahan kepada penggunanya dalam proses perancangan suatu produk baik dalam bentuk kompleks 3D (tiga dimensi) maupun 2D (dua dimensi) dengan hasil kualitas yang tinggi. *PowerShape* juga menyiapkan model yang dapat diproduksi menggunakan proses mesin CNC dengan mentransfer data-data dan parameter model atau produk. *PowerShape* juga memiliki keunggulan dibanding *software* 3D lainnya dalam hal *edit surface* sesuai model yang diinginkan dari bentuk format STL, IGES, DWG, JPEG dan sebagainya.

5.3. Analisis 5M 2E 1I Dalam Desain Soket Kaki Prostesis

Sebelum mendesain soket kaki prostesis, perlu diketahui dan dimengerti prinsip dalam keilmuan Teknik Industri untuk mengatasi resiko dan juga merupakan kunci dalam membuat kualitas produk yang lebih baik. Prinsip dalam Teknik Industri biasa dikenal dengan istilah 5M 2E dan 1I, yaitu *Manpower* (Tenaga Kerja), *Machine* (Mesin), *Method* (Metode), *Material* (Bahan), *Money* (Anggaran), *Energy* (Energi), *Environment* (Lingkungan) dan *Information* (Informasi). Prinsip Teknik Industri dalam penelitian ini yaitu:

1. *Manpower* (Tenaga Kerja)

Tenaga Kerja dalam penelitian desain soket kaki prostesis ini dilakukan oleh mahasiswa program studi Teknik Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta menggunakan komputer untuk mendesain. Dalam penelitian ini penulis bekerja sama dengan penelitian lain khususnya pada proses pengambilan data dengan menggunakan kamera DSLR dan penulis juga membantu mengkalibrasi pengambilan data. Desain soket dilakukan oleh penulis menggunakan komputer. Penulis juga menggunakan referensi berupa jurnal dan buku dalam mendesain soket. Penulis mendesain soket berdasarkan data hasil dari penelitian lain sebagai acuan untuk mendesain soket.

2. *Machine* (Mesin)

Mesin yang digunakan dalam penelitian desain soket kaki prostesis terbagi menjadi dua, yaitu *Hardware* dan *Software*. *Hardware* yang digunakan penulis untuk mendesain soket dalam penelitian ini berupa komputer Lenovo Z40-75 dengan spesifikasi *processor* AMD A10-7300, kartu grafis AMD Radeon R6 dan RAM (*Random Access Memory*) 8192MB. *Software* yang penulis gunakan dalam penelitian ini yaitu, *PowerShape Ultimate 2021* untuk mendesain soket dan *Netfabb Basic* untuk memproses data, *re-construct* data dan mengukur data dan soket.

3. *Method* (Metode)

Metode yang digunakan dalam penelitian desain soket kaki prostesis yaitu *Computer Aided Reverse Engineering*. Metode ini meniru atau mencocok bentuk objek dengan bantuan computer. Dalam penelitian ini, data yang digunakan berupa data hasil 3D *Scanning* menggunakan *Photogrammetry* yang dilakukan dalam penelitian lain. Dalam mendesain soket, penulis membuat *Wireframe* yang mengikuti kontur objek 3D dan kemudian

merubah *Wirframe* tersebut menjadi bentuk *Solid* melalui *Surface*. Setelah soket didesain, dilakukan analisis berupa verifikasi ukuran dimensi, luas permukaan, volume, hingga jumlah *Triangle* pada soket.

4. *Material* (Bahan)

Bahan yang digunakan dalam penelitian desain soket kaki prostesis sebagai alat atau media yang membantu dalam mengerjakan penelitian ini. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa model 3D dengan format .stl. dalam mendesain soket, penulis menggunakan *mouse* Logitech M185 untuk mempermudah proses desain.

5. *Money* (Anggaran)

Anggaran yang dikeluarkan dalam penelitian desain soket kaki prostesis berdasarkan harga peralatan atau mesin dan material yang digunakan. Anggaran dalam penelitian ini berupa komputer Lenovo Z40-75 yang pada tahun 2020 memiliki harga sebesar Rp 5.699.000,00 yang sudah termasuk baterai dan *charger*. Lalu anggaran juga dibutuhkan untuk *mouse* Logitech M185 dengan harga sebesar Rp 86.000,00 yang sudah termasuk dengan baterai dan *Nano Bluetooth*. Anggaran yang dikeluarkan untuk *Software PowerShape Ultimate 2021* dan *Netfabb Basic* tidak ada karena kedua *Software* tersebut tidak berbayar. Penulis menggunakan *PowerShape Ultimate 2021* secara *Free Trial* dan *Netfabb Basic* secara gratis.

6. *Energy* (Energi)

Energi dalam penelitian desain soket kaki prostesis terdapat pada penggunaan baterai dan *charger*. Energi yang digunakan komputer Z40-75 dalam mendesain soket berupa baterai dengan kapasitas 2600 mAh. komputer Z40-75 menggunakan *charger* 20 V dan 3,25 A.

7. *Environment* (Lingkungan)

Lingkungan dalam penelitian desain soket kaki prostesis berada pada lingkungan virtual seperti *Workplane* pada *PowerShape* dan *Netfabb*. Selain lingkungan virtual, penulis melakukan desain di dalam lingkungan yang mendukung dengan adanya sumber daya listrik. Penulis juga mendesain soket kaki prostetis pada lingkungan kerja yang kondusif yaitu didalam ruangan yang memiliki fasilitas seperti meja dan kursi.

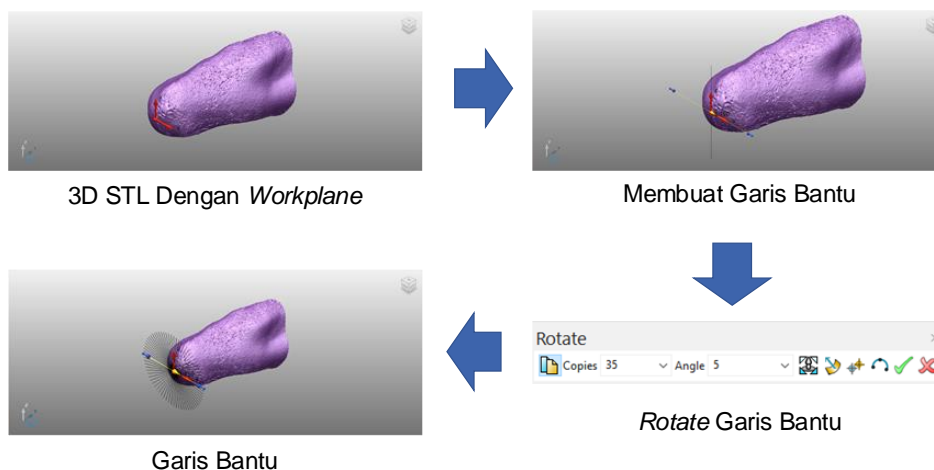
8. *Information* (Informasi)

Informasi yang terdapat pada penelitian ini berupa informasi data pasien, dan informasi ukuran kaki teramputasi. Selain itu, informasi data yang lain

berupa informasi pada model 3D objek dengan format .stl. Dalam mendesain soket terdapat informasi yang lain berupa informasi koordinat dalam *PowerShape*, informasi ukuran dan jumlah *Triangle* dalam *Netfabb*. Soket yang telah didesain juga dapat dijadikan informasi dengan format standar dari *PowerShape* berupa .psmodel dan dapat diubah menjadi format lain standar manufaktur seperti .dgc, .dmt ataupun .iges.

5.4. Membuat Garis Bantu

Dokumen STL yang telah didapatkan dari tahap *Scaling* akan digunakan dalam tahap desain soket. Dalam penelitian ini penulis menggunakan *PowerShape* sebagai *tool* dalam mendesain soket. Soket yang didesain berupa bentuk 3D *Wireframe* dan diubah menjadi 3D *Surface*. Tahapan desain soket dibagi menjadi empat bagian, yaitu desain *Inner Socket*, desain *Outer Socket*, membangkitkan *Surface*, membuat ventilasi dan terakhir membuat sambungan soket ke kaki protesis. Desain soket dimulai dengan memasukkan dokumen STL yang telah di-*scaling* ke dalam *PowerShape* dan menempatkan *Workplane* pada bagian bawah kaki.



Gambar 5.1. model 3D STL Dengan Workplane

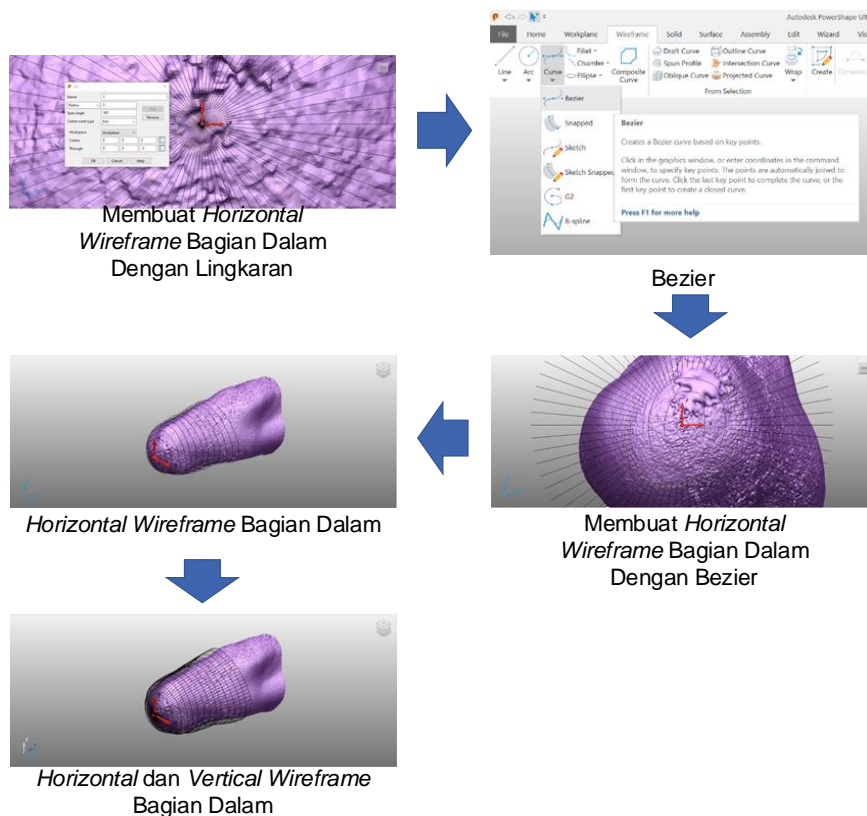
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

Sebelum memulai desain, penulis terlebih dahulu membuat garis bantu untuk memudahkan penulis dalam mendesain bagian dalam soket yang jaraknya harus seminimum mungkin dengan permukaan kaki. Penulis membuat garis bantu pada *Workplane* sepanjang 150 mm dan me-rotate sebesar 5° sekaligus meng-copy

sebanyak 35. Tujuannya adalah agar garis bantu mengelilingi seluruh bagian kaki sehingga membantu penulis dalam mendesain secara presisi dan akurat. Dapat dilihat pada tahapan dalam gambar 5.1. bahwa garis bantu telah mengelilingi gambar kaki (model 3D STL).

5.5. Desain Inner Socket

Desain *Inner Socket* merupakan tahapan desain pada bagian dalam soket. Bagian dalam berarti bagian dari soket yang memiliki kontak atau bersentuhan langsung dengan permukaan kaki. Desain pada tahap ini dimulai dengan membuat *Wireframe* yang jaraknya seminimal mungkin dengan model 3D STL (permukaan kaki).



Gambar 5.2. Tahapan Membuat *Wireframe* Soket Bagian Dalam

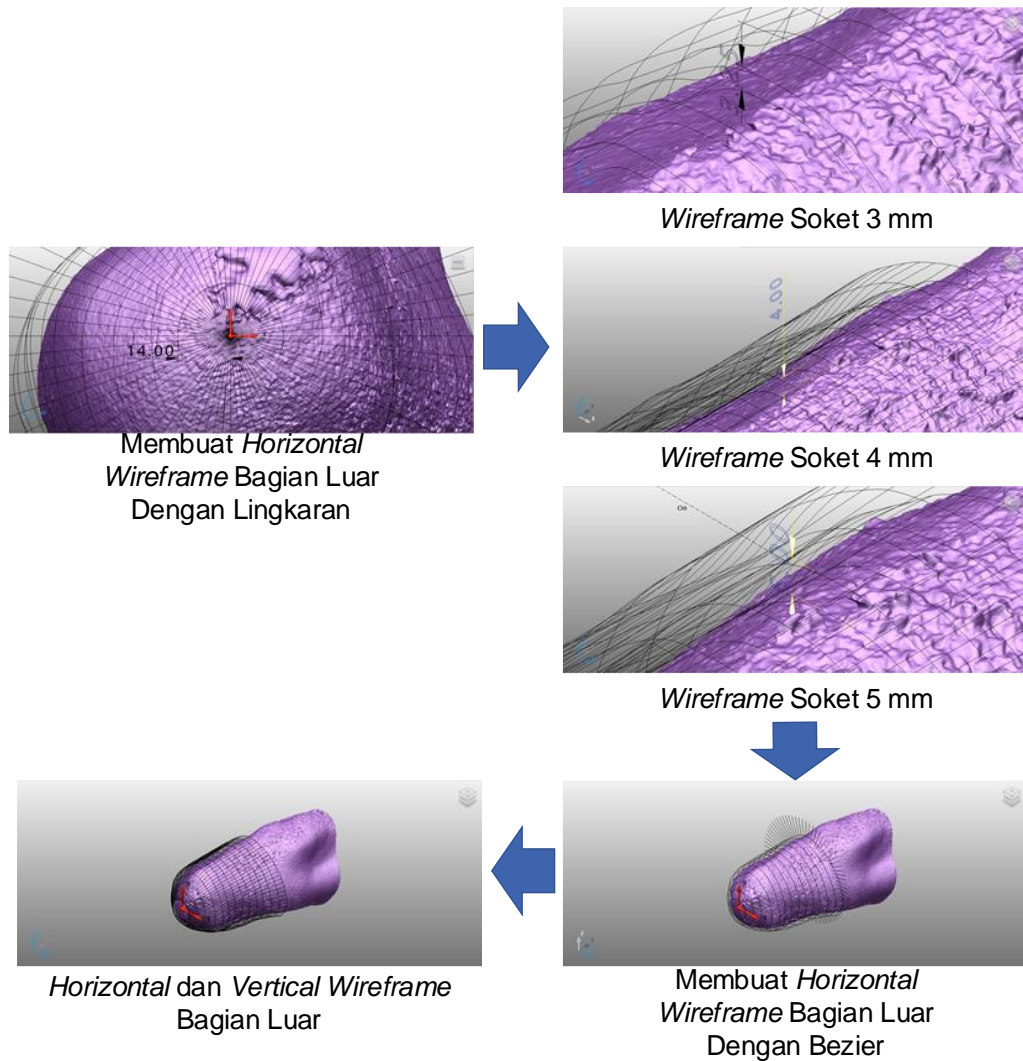
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

Desain dimulai dengan membuat *Wireframe* secara *horizontal*. *Wireframe* pertama dibuat pada bagian bawah kaki dengan bentuk lingkaran. Lingkaran dibuat tepat pada *Workplane* dengan radius 3 mm. penulis menggunakan lingkaran karena

bentuknya yang tidak kaku dan desain soket yang mengikuti bentuk kaki harus berbentuk silindris. Setelah bagian dasar telah dibuat, selanjutnya membuat *Horizontal Wireframe* yang berjarak masing-masing dari *Workplane* yaitu 2 mm dan 5 mm. penulis menggunakan jarak tersebut karena dirasa dapat memberikan desain yang sesuai pada bagian bawah kaki yang bentuknya lebih cekung atau menyerupai mangkuk. Agar menyerupai kontur kaki, desain pada bagian ini menggunakan *Bezier* yang berada pada *Toolbar Wireframe*. *Bezier* merupakan salah satu fitur untuk membuat kurva pada *tool Wireframe*. *Bezier* digunakan dengan cara menaruh *Key Point* pada titik tertentu dan dapat disambungkan kembali ke titik awal. Penulis menaruh *Key Point* pada garis bantu dan menyerupai kontur kaki. Setelah membuat *Horizontal Wireframe* yang berjarak 2 mm dan 5 mm dari *Workplane*, penulis membuat *Horizontal Wireframe* yang berjarak 10 mm dari *Workplane*. *Horizontal Wireframe* dibuat hingga mendekati bagian lutut dengan jarak masing-masing 10 mm dari *Horizontal Wireframe* sebelumnya (mulai dari 10 mm dari *Workplane*). Setelah membuat *Horizontal Wireframe* hingga mendekati bagian lutut, selanjutnya membuat *Vertical Wireframe*. *Vertical Wireframe* dibuat menggunakan *Bezier* dengan cara menempatkan *Key Point Bezier* tepat pada *Key Point Horizontal Wireframe* sehingga *Horizontal* dan *Vertical Wireframe* dapat terhubung dengan sejajar. *Vertical Wireframe* dibuat mengelilingi kaki sehingga setiap *Key Point* menjadi terhubung. Pada Gambar 5.9. dapat dilihat bahwa *Wireframe* bagian dalam soket dibuat sesuai dengan kontur kaki.

5.6. Desain Outer Socket

Desain *Outer Socket* merupakan tahapan desain pada bagian luar soket. Bagian luar berarti bagian yang tidak bersentuhan dengan permukaan kaki. Bagian luar didesain tidak terlalu mengikuti kontur kaki dan lebih silindris dibandingkan bagian dalam. Hal ini dilakukan agar soket memiliki tampilan yang estetis tetapi tidak mengurangi fungsi dari soket itu sendiri. Desain soket bagian luar juga menentukan ketebalan soket. Penulis dalam tahap ini membuat 3 variasi ketebalan soket, yaitu 3 mm, 4 mm dan 5 mm sebagai variasi untuk menyesuaikan berat badan pasien dan tingkat aktivitas pada pasien, sehingga perlu dibuat variasi agar pasien nantinya dapat memilih variasi mana yang cocok dengan kebutuhan pasien. Tahapan desain bagian luar sama seperti desain bagian dalam.

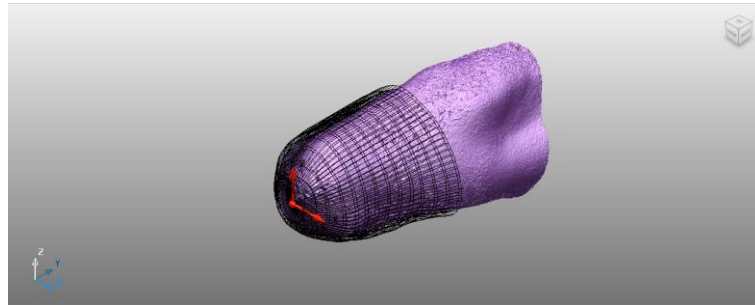


Gambar 5.3. Tahapan Membuat *Wireframe* Soket Bagian Luar

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

Desain bagian luar dimulai dengan membuat lingkaran pada bagian dasar, cara ini sama seperti desain bagian dalam. Lingkaran dibuat dengan radius 14 mm dan jarak 3 mm dibawah *Workplane* untuk memberikan ketebalan pada soket. Pemberian jarak juga dilakukan pada ketebalan 4 mm dan 5 mm. setelah bagian dasar dibuat, selanjutnya membuat *Horizontal Wireframe* bagian luar hingga mendekati bagian lutut dengan *tool Bezier*. *Horizontal Wireframe* bagian luar dibuat sesuai dengan posisi *Horizontal Wireframe* bagian dalam dengan jarak 3 mm sebagai ketebalan soket. Hal yang sama juga dilakukan pada ketebalan 4 mm dan 5 mm tanpa kurang atau melebihi ketentuan jarak (missal untuk ketebalan 3mm tidak boleh kurang dari 3 mm dan tidak boleh lebih dari 3,99 m). Setelah

Horizontal Wireframe dibuat. Selanjutnya yaitu membuat *Vertical Wireframe* dengan menggunakan *tool Bezier* agar setiap *Key Point* pada *Horizontal Wireframe* terhubung. Pada tahapan dalam gambar (Gambar 5.3.). dapat dilihat bahwa desain soket bagian luar telah dilakukan. Bentuk yang dibuat sedikit mengikuti kontur kaki tetapi juga berbentuk silindri untuk menghasilkan bentuk yang estetik.



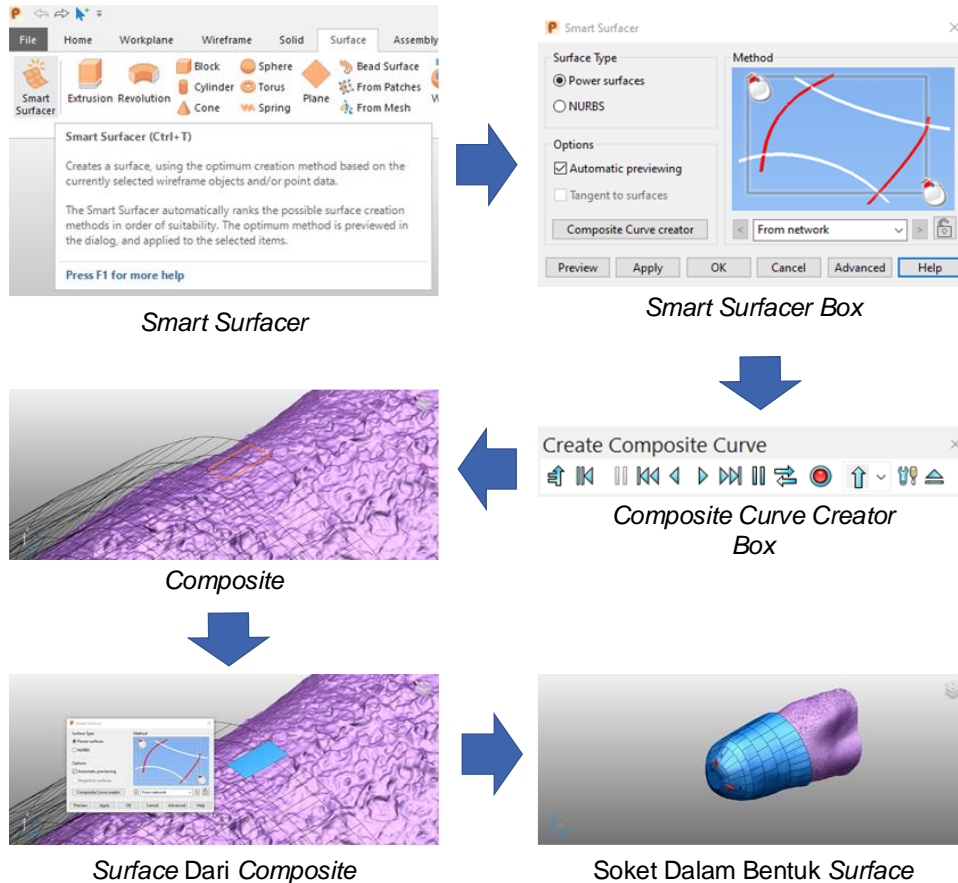
Gambar 5.4. Wireframe Soket Bagian Dalam Dan Luar

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

Hasil desain *Wireframe* soket bagian dalam dan bagian luar dapat dilihat seperti pada gambar di atas (Gambar 5.4.). Desain *Wireframe* pada bagian dalam dapat dilihat lebih menyerupai bentuk kaki sedangkan pada *Wireframe* bagian luar kurang menyerupai bentuk kaki. Jarak dari bagian dalam dengan luar juga bervariasi, mulai dari 3 mm, 4 mm hingga 5 mm. setelah desain bagian dalam dan luar selesai, tahapan selanjutnya berupa membangkitkan *Surface* pada bagian dalam dan luar soket.

5.7. Membangkitkan Surface

Surface pada bagian dalam dan luar soket dibangkitkan setelah *Wireframe* soket bagian dalam dan luar didesain. Pembangkitan *Surface* dilakukan dengan menggunakan fitur *Smart Surfacer* pada *Toolbar Surface*.



Gambar 5.5. Tahapan Pembangkitan Surface

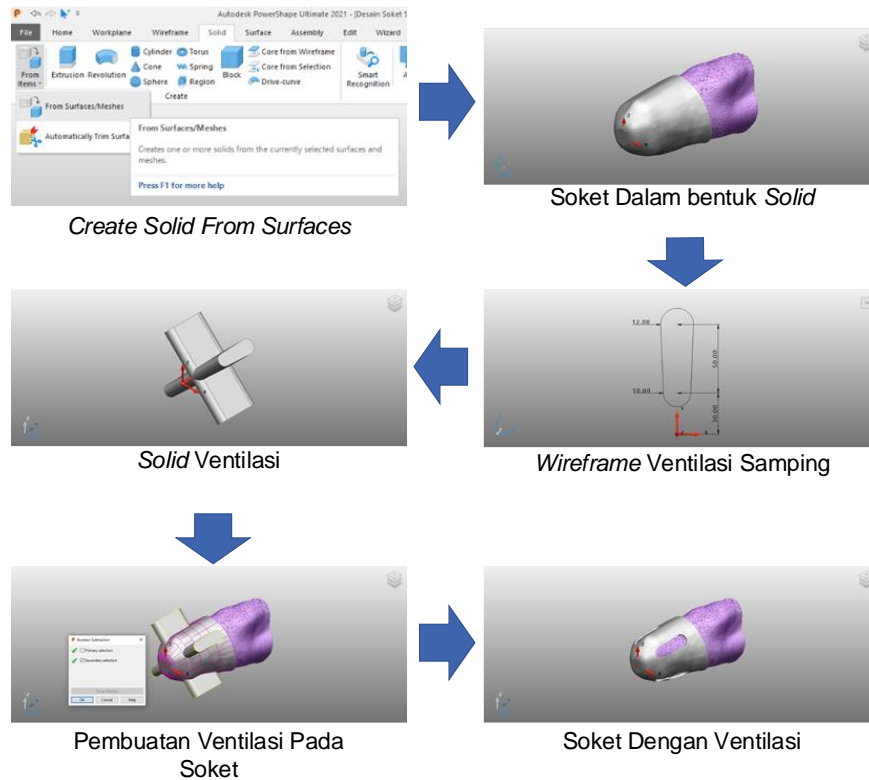
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

Smart Surfacer merupakan fitur pembangkitan *Surface* yang secara otomatis membangkitkan *Surface* dengan beberapa metode yang optimum. Untuk membangkitkan *Surface*, penulis menggunakan *Create Composite Curve* untuk menentukan bagian dari soket yang akan dibangkitkan *Surface*-nya. Untuk menggunakan *Create Composite Curve* yaitu dengan klik *Smart Surfacer* lalu klik *Composite Curve Creator* pada *Smart Surfacer Box*. Setelah itu buat bagian yang akan dibuat menjadi *Composite* dan klik tombol merah untuk men-save *Composite* yang telah dibuat. Bila *Composite* telah di-save maka akan ditampilkan dengan warna oranye seperti pada gambar diatas (Gambar 5.5.). Untuk membangkitkan

Surface, klik *eject* pada *Create Composite Creator Box* dan kembali ke *Smart Surfacer Box*. *Surface* dibangkitkan dengan memilih metode yang akan digunakan. Penulis menggunakan metode *From Network* karena *Composite* yang dibuat mengikuti *Wireframe* yang telah dibuat sebelumnya sehingga bentuk *Surface* yang dibangkitkan lebih sesuai dengan *Wireframe*. Setelah metode yang akan digunakan dipilih, klik tombol *Apply* atau *Ok* untuk membangkitkan *Surface*. *Surface* pada seluruh bagian dalam maupun luar soket yang telah dibangkitkan dapat dilihat pada Gambar 5.5.

5.8. Membuat Ventilasi

Tahap membuat ventilasi dilakukan setelah pembangkitan *Surface* dilakukan. Ventilasi pada soket bertujuan untuk mencegah akumulasi kelembaban yang dapat menyebabkan maserasi atau kerusakan pada kulit (*Open Bionics*, 2018). Ventilasi juga dapat meningkatkan kenyamanan soket (Murphy, Eugene F., 1984). Untuk membuat ventilasi, soket yang masih dalam bentuk *Surface* harus diubah menjadi bentuk *Solid*. Untuk membangkitkan *Solid*, pertama-tama seluruh *Surface* harus terpilih dahulu yaitu dengan *Home > All Surfaces*. Setelah seluruh *Surface* terpilih, ubah *Surface* menjadi bentuk *Solid* dengan *Solid > From Items > From Surface/Meshes*. Dengan begitu *Surface* yang telah dipilih akan berubah menjadi bentuk *Solid*.

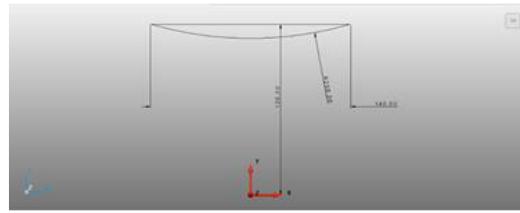


Gambar 5.6. Tahapan Membuat Ventilasi

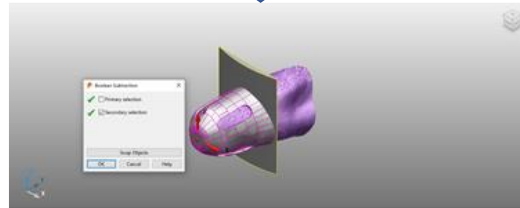
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

Soket yang sebelumnya berbentuk *Surface* telah berubah menjadi bentuk *Solid* berdasarkan warnanya yang berbeda seperti pada tahapan dalam gambar (Gambar 5.6.). Soket yang telah menjadi *Solid* akan diproses ke tahap selanjutnya yaitu membuat ventilasi pada soket, ventilasi dibuat pada bagian samping soket dengan membuat *Wireframe* ventilasi dan membangkitkannya menjadi *Solid* dengan fitur *Extrusion* sehingga dapat di-*Subtract*. Ventilasi bagian samping soket dibuat pertama dengan menggunakan *Wireframe*. Spesifikasi atau ukuran dari ventilasi yang dibuat dapat dilihat pada tahapan dalam gambar (Gambar 5.6.) yaitu 2 lingkaran dengan radius 10 mm dan 12 mm dengan jarak 50 mm yang dihubungkan dengan garis pada bagian *tangent* kedua lingkaran. Jarak lingkaran 10 mm dengan *Workplane* yaitu sebesar 30 mm. *Wireframe* ventilasi kemudian dibuat menjadi *Composite* dengan fitur *Composite Curve* agar nanti dapat dibangkitkan dalam bentuk *Solid*. Sebelum membangkitkan *Solid*, *Wireframe* ventilasi perlu di-*rotate* sebesar 45° terhadap sumbu XY dan me-*mirror* terhadap sumbu YZ. Dengan begitu terdapat 2 *Wireframe* Ventilasi yang sudah dapat

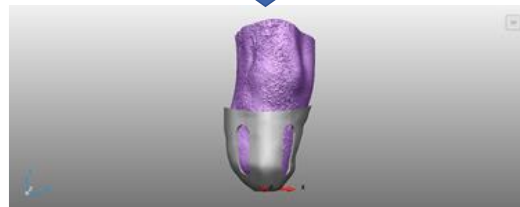
dibangkitkan ke bentuk *Solid*. *Solid* Ventilasi dibangkitkan dengan menggunakan fitur *Extrusion*. Fitur ini membangkitkan *Solid* berdasar *Wireframe* yang telah dijadikan *Composite*. *Solid* yang dibangkitkan dengan fitur ini dapat diatur jaraknya. Penulis menggunakan jarak *Extrusion* sebesar 200 mm untuk mempermudah proses selanjutnya. Selanjutnya untuk membuat ventilasi, penulis menggunakan fitur *Subtract* pada *Toolbar Solid*. Untuk menggunakan fitur ini, soket utama harus dalam kondisi *Active* dengan cara klik kanan pada *Solid* soket dan pilih *Active*. Dengan begitu *Solid* soket sudah dapat digunakan untuk *Subtract*. Untuk memulai *Subtract* klik tombol *Subtract* untuk membuka *Subtract Box*. Dalam *Subtract Box* dua kotak kecil yang masing-masing bertuliskan *Primary Selection* dan *Secondary Selection*. Untuk *Primary Selection* pilih *Solid* soket dan pilih kedua *Solid* ventilasi sebagai *Secondary Selection*. Setelah *Primary Selection* dan *Secondary Selection* dipilih, klik tombol OK untuk memulai proses *Subtract*. Bentuk dari soket yang memiliki ventilasi pada bagian samping dapat dilihat pada tahapan dalam Gambar 5.6. Penulis mempercekung soket pada bagian lutut dengan menggunakan cara seperti membuat ventilasi yaitu dengan fitur *Subtract*. Soket dipercekung setelah ventilasi dibuat.



Wireframe Pemotong



Pembuatan Cekungan Dengan
Subtract

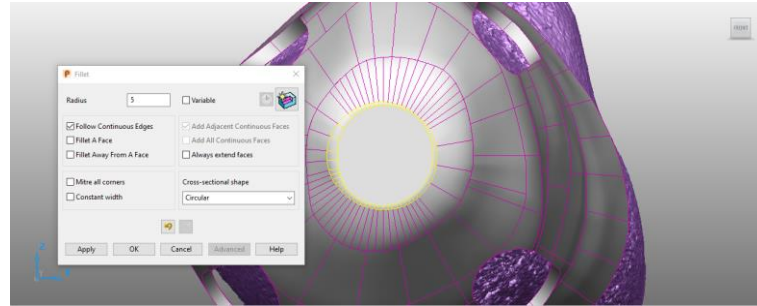


Soket Dengan Cekungan

Gambar 5.7. Tahapan Pembuatan Cekungan Pada Soket

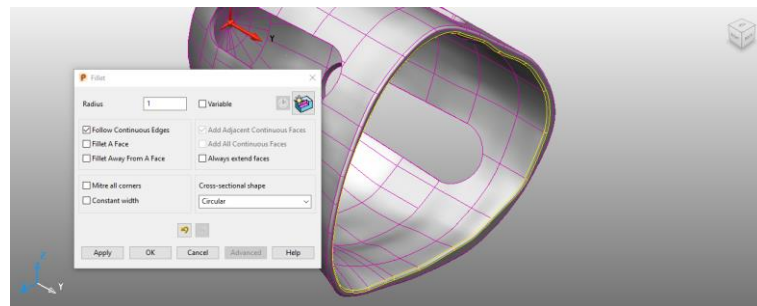
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

Cekungan pada soket dibuat dengan cara membuat *Wireframe* untuk memotong bagian atas soket yang dekat dengan bagian lutut. Penulis membuat *Wireframe* seperti pada tahapan dalam gambar (Gambar 5.7.) dengan spesifikasi ukuran yaitu, panjang 140 mm, radius 250 mm. *Wireframe* tersebut berjarak 120 mm dari *Workplane*. Setelah *Wireframe* pemotong dibuat, *Wireframe* kemudian dibuat menjadi *Composite* dan dibangkitkan menjadi *Solid* dengan fitur *Extrusion*. Setelah *Solid* dibangkitkan, penulis menggunakan fitur *Subtract* untuk memotong soket seperti pada tahapan dalam gambar 5.7. Pada tahapan dalam gambar (Gambar 5.7.) dapat dilihat bahwa bagian atas soket telah menjadi cekung karena pemotongan dengan fitur *Subtract*. Tahapan selanjutnya yaitu merapikan bagian dari soket yang terlalu tajam. Pada soket yang didesain, penulis merasa bagian yang tajam pada desain terdapat pada bagian bawah dan atas soket.



Gambar 5.8. Solid Fillet Bagian Bawah Soket

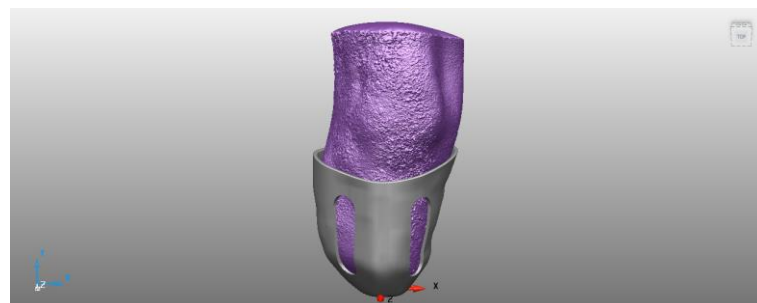
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)



Gambar 5.9. Solid Fillet Bagian Atas Soket

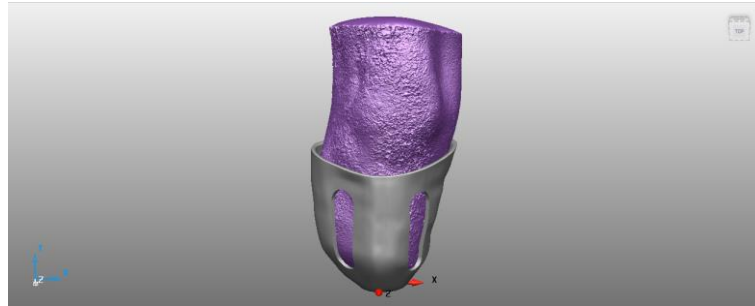
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

Solid Fillet digunakan oleh penulis untuk merapikan desain pada bagian bawah dan atas soket. Pada bagian bawah, *Fillet* dilakukan pada bagian dasar yang berbentuk lingkaran. *Fillet* pada bagian bawah berupa *Continuous Line* dengan radius 5. Untuk bagian atas, *Fillet* dilakukan pada bagian cekungan. *Fillet* pada bagian ini berupa *Continuous Line* dengan radius 1.



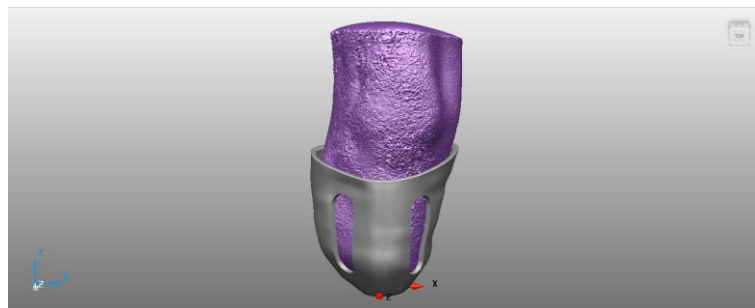
Gambar 5.10. Hasil Desain Soket 3 mm

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)



Gambar 5.11. Hasil Desain Soket 4 mm

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

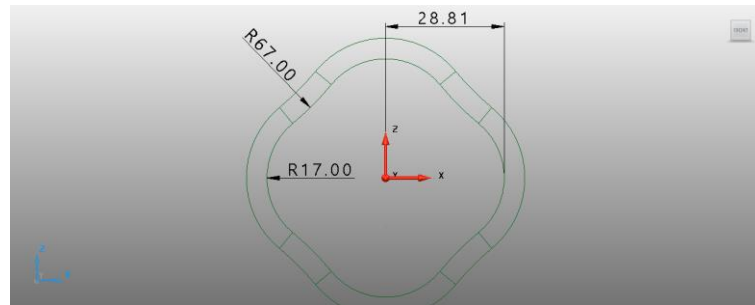


Gambar 5.12. Hasil Desain Soket 5 mm

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

5.9. Membuat Sambungan

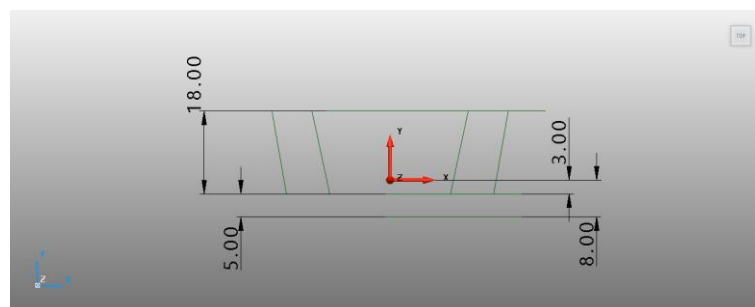
Setelah membuat ventilasi pada soket, tahap selanjutnya yaitu membuat sambungan soket. Sambungan ini terletak pada bagian bawah yang berguna untuk menyambungkan soket dengan bagian kaki prosthesis yang lain. Sambungan yang dibuat menyesuaikan bentuk soket yang didesain tetapi memiliki bentuk yang sesuai standar. Sambungan dibuat dengan menggabungkan sambungan dalam bentuk *Solid* dengan soket yang telah didesain menggunakan fitur *Add* pada *Toolbar Solid*. Sebelum digabungkan, sambungan dibuat menggunakan *Wireframe* untuk menyesuaikannya dengan soket.



Gambar 5.13. Ukuran Sambungan

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

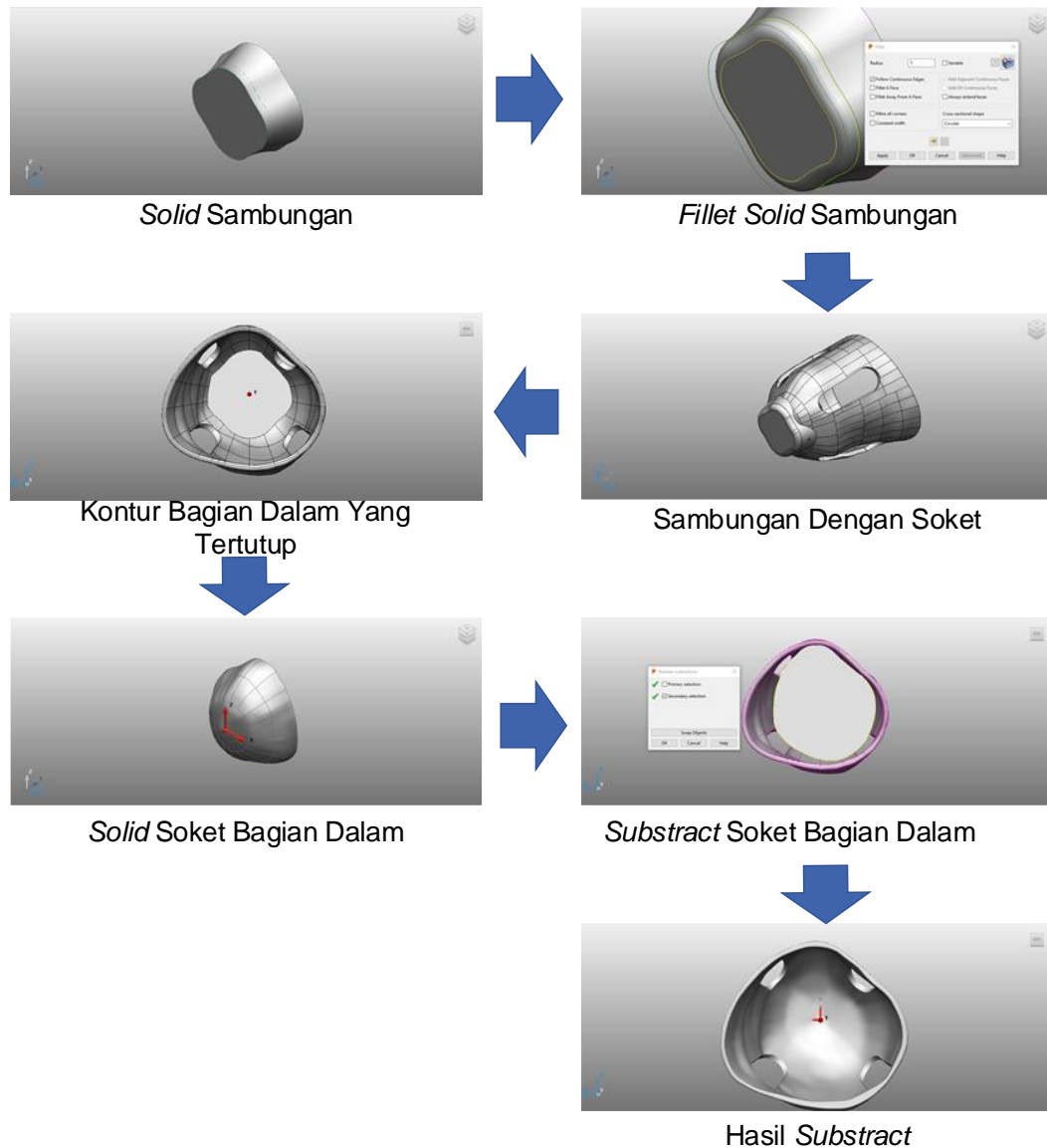
Ukuran sambungan soket dapat dilihat pada Gambar 5.13. Sambungan dibuat dengan menggunakan *Wireframe* dan dijadikan *Composite*. Untuk bagian dari sambungan yang paling besar dibuat dengan cara *me-Offset* sambungan terkecil sebesar 5 mm.



Gambar 5.14. Penempatan Sambungan

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

Untuk penempatan *Wireframe* sambungan dapat dilihat pada gambar (Gambar 5.14.), terdapat dua *Wireframe* sambungan dengan ukuran kecil dengan jarak 3 mm dan 8 mm dari *Workplane*. Lalu untuk *Wireframe* sambungan dengan ukuran besar terletak 23 mm dari *Wireframe* sambungan yang paling bawah. Setelah *Wireframe* sambungan dibuat, *Wireframe* sambungan dibangkitkan menjadi *Solid*. Pembangkitan *Solid* dilakukan melalui pembangkitan *Surface* yang yang diubah menjadi *Solid*.

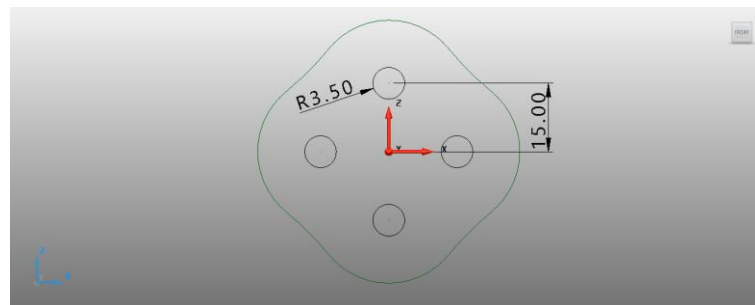


Gambar 5.15. Tahapan Membuat Sambungan

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

Solid sambungan telah dibangkitkan seperti pada tahapan dalam Gambar 5.15. *Solid sambungan* yang telah dibangkitkan perlu di-*Fillet* pada bagian bawah sambungan agar tidak terlalu tajam. *Fillet* yang dilakukan pada bagian bawah sambungan sebesar 5 mm. Sambungan digabung dengan soket dengan fitur *Add* pada *Toolbar Solid* setelah sambungan dilakukan *Fillet*,. Dengan menggabungkan kedua *Solid* maka terjadi perubahan pada soket. Perubahan terjadi pada soket bagian dalam yang tidak lagi mengikuti kontur kaki dan menjadi datar. Hal ini terjadi karena penggabungan dua *Solid* dan bagian yang menutupi kontur kaki

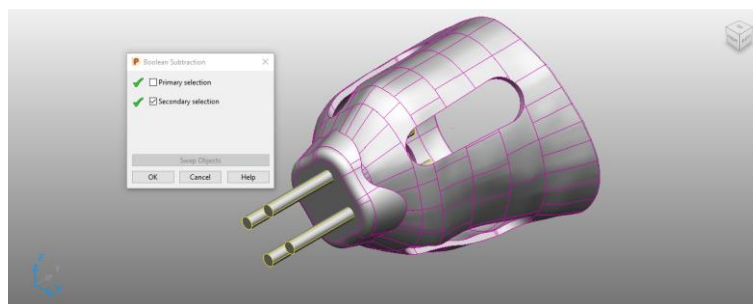
merupakan bagian dari *Solid* sambungan. Untuk mengembalikan kontur bagian dalam, bagian dari sambungan yang menutupi kontur perlu dihilangkan dengan *Solid* lain menggunakan fitur *Subtract* pada *Toolbar Solid*. *Solid* yang digunakan untuk menghilangkan bagian sambungan berasal dari Sebagian *Wireframe* soket bagian dalam yang dibangkitkan menjadi *Solid*. *Solid* dibangkitkan dengan merubah *Surface* yang telah dibangkitkan menjadi bentuk *Solid*. *Solid* soket bagian dalam hanya sebagian karena bagian dalam yang tertutupi oleh *Solid* sambungan tidaklah banyak. Setelah *Solid* soket bagian dalam dibangkitkan, *Solid* yang menutupi soket bagian dalam dapat dihilangkan menggunakan fitur *Subtract*. *Subtract Solid* dilakukan dengan memilih soket sebagai bagian *Primary* dan *Solid* soket bagian dalam sebagai *Secondary* sebagai pemotong.



Gambar 5.16. Ukuran Dan Posisi Lubang

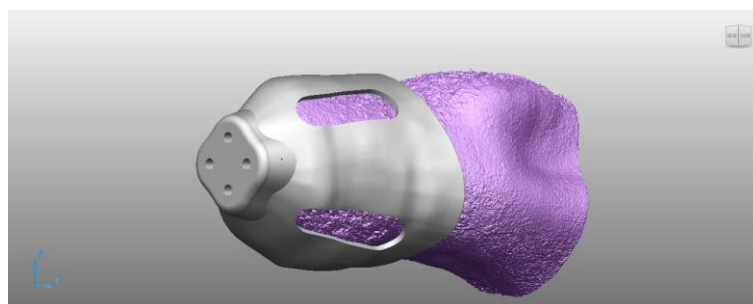
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

Untuk melengkapi sambungan soket, perlu dibuat lubang yang fungsinya untuk menempatkan, mengencangkan dan mengunci bagian lain dari kaki prosthesis. Lubang dibuat dengan radius 3,5 mm dan 15 mm dari *Workplane* seperti pada gambar 5.16.

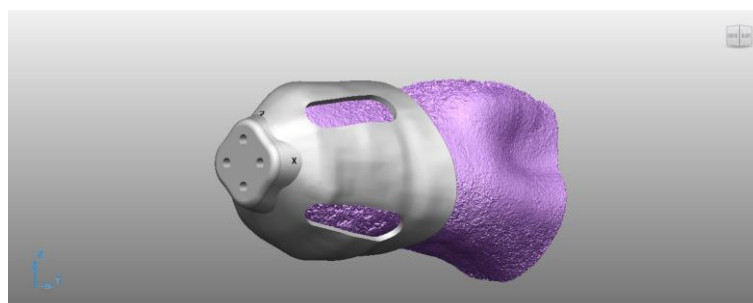


Gambar 5.17. *Subtract* Untuk Membuat Lubang
 (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

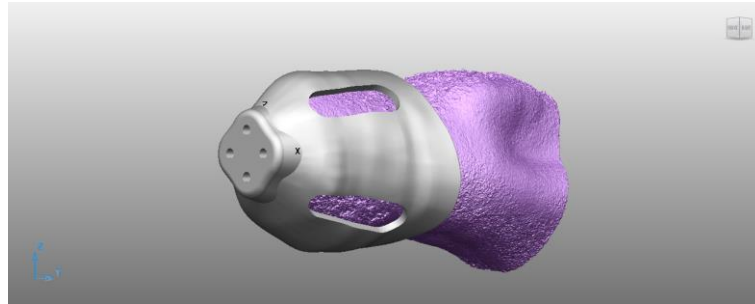
Lubang pada sambungan dibuat dengan bantuan fitur *Subtract* dengan *Solid* soket sebagai *Primary* dan *Solid* lubang sebagai *Secondary* untuk memotong soket. Hasil dari pemotongan dengan *Substact* dapat dilihat pada gambar 5.17. Pembuatan sambungan beserta lubangnya dilakukan juga terhadap soket 4 mm dan 5 mm dengan tahapan yang sama.



Gambar 5.18. Soket 3 mm
 (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)



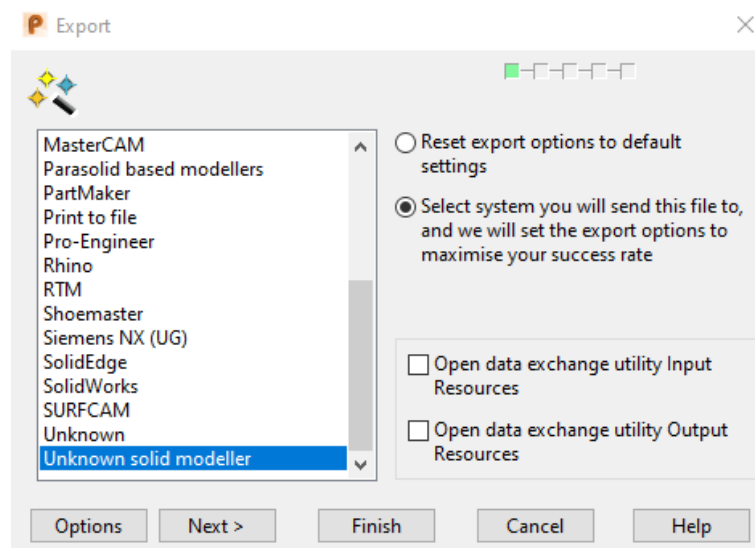
Gambar 5.19. Soket 4 mm
 (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)



Gambar 5.20. Soket 5 mm
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

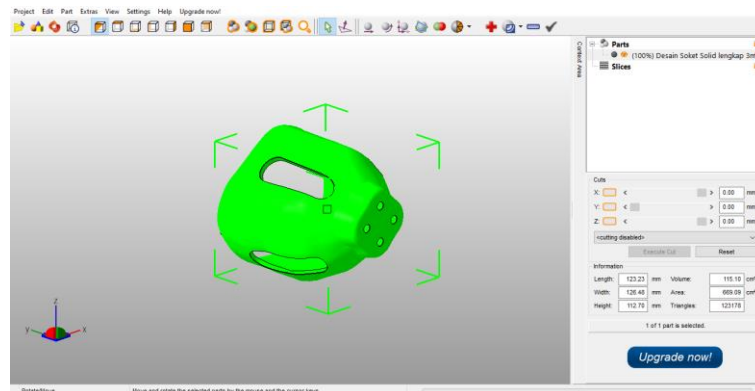
5.10. Verifikasi Ukuran

Soket yang telah didesain dilanjutkan ke tahap selanjutnya, yaitu memverifikasi ukuran soket. Penulis melakukan verifikasi dengan menggunakan *Netfabb* karena dirasa dapat memberikan pengukuran yang akurat dan detil dibandingkan pengukuran menggunakan *PowerShape*. Sebelum melakukan pengukuran di dalam *Netfabb*, desain soket pada *PowerShape* diekspor terlebih dahulu dari format *.psmodel* menjadi format *.stl*.



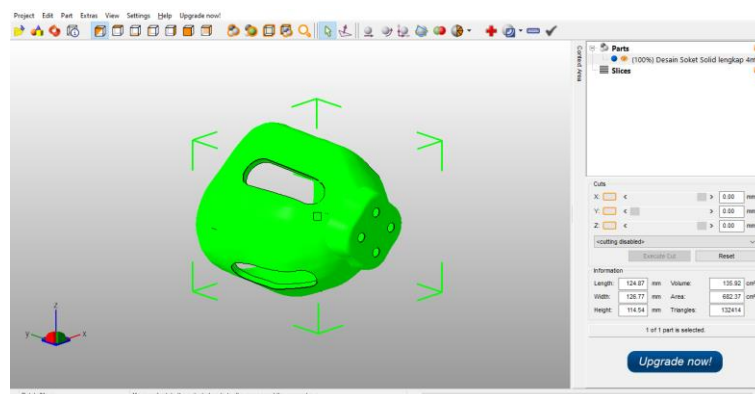
Gambar 5.21. Export Box
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

Ekspor pada *PowerShape* dilakukan dengan membuka *Export Box* terlebih dahulu melalui *File > Export*. Setelah *Export Box* ditampilkan, pilih *Unknown Solid Modeller* lalu klik *Next*. Setelah itu akan ditampilkan pilihan format penyimpanan dan pilih format *Stereolithographic* atau *.stl*. Setelah format penyimpanan dipilih, klik *Finish* untuk mengekspor dokumen dari *.psmodel* menjadi *.stl*. Untuk memulai verifikasi ukuran desain, dokumen socket dengan format *.stl* harus dibuka terlebih dahulu pada *Netfabb*. Dokumen dapat dibuka dengan mengklik *Project > Open >* dokumen socket dengan format *.stl* yang akan digunakan. Dokumen juga dapat dibuka dengan men-*drag* dokumen ke dalam *Netfabb*.



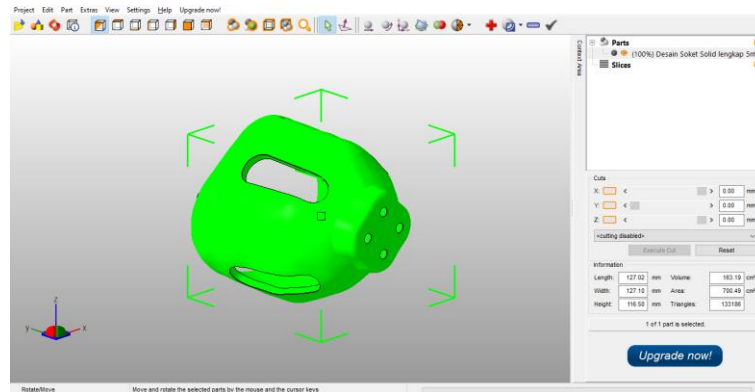
Gambar 5.22. Soket 3 mm Pada Netfabb

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)



Gambar 5.23. Soket 4 mm Pada Netfabb

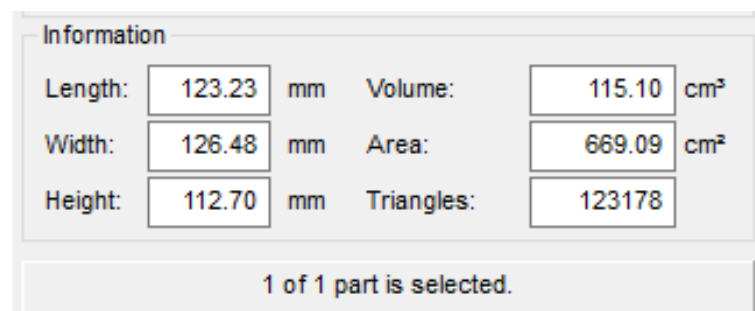
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)



Gambar 5.24. Soket 5 mm Pada Netfabb

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

Dokumen soket .stl sudah dapat dibaca dan ditampilkan oleh *Workplane Netfabb* seperti yang ditampilkan pada Gambar 5.22. Verifikasi ukuran soket sudah dapat dilakukan setelah dokumen sudah dapat ditampilkan di dalam *Workplane*. Verifikasi ukuran dilakukan dengan cara melihat ukuran soket pada *Information Box* pada sebelah kanan *Workplane*. Ukuran juga dapat dilihat pada *Platform Overview* untuk pengukuran yang lebih detail. *Platform Overview* dapat dibuka dengan cara *Edit > Platform Overview*.



Gambar 5.25. Ukuran Soket 3 mm Pada Information Box

(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

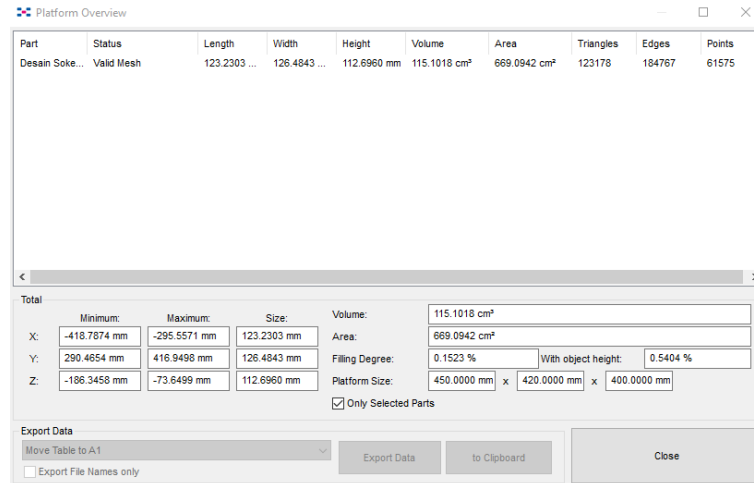
Information					
Length:	124.87	mm	Volume:	135.92	cm ³
Width:	126.77	mm	Area:	682.37	cm ²
Height:	114.54	mm	Triangles:	132414	
1 of 1 part is selected.					

Gambar 5.26. Ukuran Soket 4 mm Pada *Information Box*
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

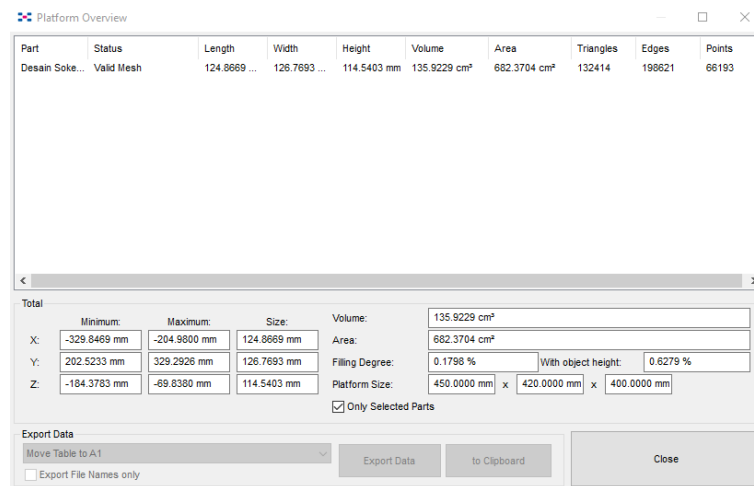
Information					
Length:	127.02	mm	Volume:	163.19	cm ³
Width:	127.10	mm	Area:	700.49	cm ²
Height:	116.50	mm	Triangles:	133186	
1 of 1 part is selected.					

Gambar 5.27. Ukuran Soket 5 mm Pada *Information Box*
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

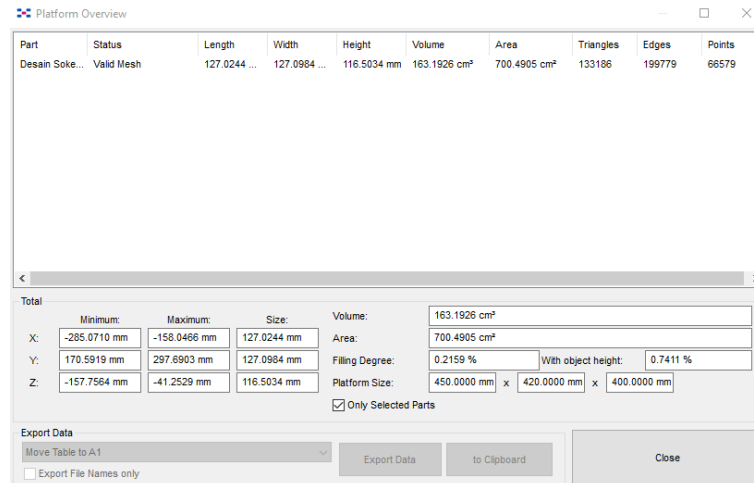
Ukuran soket yang ditampilkan pada *Information Box* dan *Platform Overview* tidak berbeda jauh ukuran pada *Information Box* hanya sampai dengan dua angka dibelakang koma. Ukuran soket 3 mm (LxWxH) yang ditampilkan yaitu 123,23 mm x 126,48 mm x 112,70 mm. Sedangkan untuk ukuran soket 4 mm (LxWxH) yang ditampilkan yaitu 124,87 mm x 126,77 mm x 114,54 mm. Dan untuk ukuran soket 5 mm (LxWxH) yang ditampilkan yaitu 127,02 mm x 127,10 mm x 116, 50 mm.



Gambar 5.28. Ukuran Soket 3 mm Pada Platform Overview
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)



Gambar 5.29. Ukuran Soket 4 mm Pada Platform Overview
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)



Gambar 5.30. Ukuran Soket 5 mm Pada Platform Overview
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020)

Ukuran soket yang ditampilkan pada *Platform Overview* lebih detail karena menampilkan ukuran dengan empat angka dibelakang koma. Ukuran soket 3 mm (LxWxH) yang ditampilkan yaitu 123,2303 mm x 126,4843 mm x 112,6960 mm. Lalu ukuran soket 4 mm (LxWxH) yang ditampilkan yaitu 124,8669 mm x 126,7693 mm x 114,5403 mm. Dan untuk ukuran soket 5 mm (LxWxH) yang ditampilkan yaitu 127,0244 mm x 127,0984 x 116,5034 mm. Berikut akan ditampilkan tabel ukuran hasil pengukuran desain soket dengan *Netfabb*.

Tabel 5.1. Tabel Ukuran Soket Pada Information Box

<i>Information Box</i>			
Soket	3 mm	4 mm	5 mm
<i>Length (mm)</i>	123.23	124.87	127.02
<i>Width (mm)</i>	126.48	126.77	127.1
<i>Height (mm)</i>	112.7	114.54	116.5
<i>Volume (cm²)</i>	115.1	135.92	163.19
<i>Area (cm²)</i>	669.09	682.37	700.49
<i>Triangles</i>	123178	132414	133186

Tabel 5.2. Tabel Ukuran Soket Pada *Platform Overview*

<i>Platform Overview</i>			
Soket	3 mm	4 mm	5 mm
<i>Length (mm)</i>	123.2303	124.8669	127.0244
<i>Width (mm)</i>	126.4843	126.7693	127.0984
<i>Height (mm)</i>	112.696	114.5403	116.5034
<i>Volume (cm²)</i>	115.1018	135.9229	163.1926
<i>Area (cm²)</i>	669.0942	682.3704	700.4905
<i>Triangles</i>	123178	132414	133186

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini yaitu:

1. soket yang didesain menggunakan data model .stl dari hasil 3D *Scanning* dengan metode *Photogrammetry* sebagai alternatif menghasilkan desain soket yang cukup mirip dengan model dari objek kaki yang telah di-*scan* terutama pada permukaan bagian dalam soket. Soket didesain menggunakan *software PowerShape* karena memiliki keunggulan berupa desain *surface* STL. Desain pada *PowerShape* dilakukan dengan membuat *Wireframe* dan meniru bentuk dan kontur permukaan kaki semirip mungkin terutama pada permukaan bagian dalam soket. Dalam proses desain terdapat kendala berupa ukuran model 3D objek hasil 3D *Scanning* yang tidak sesuai dengan ukuran aktual objek sehingga perlu dilakukan *Scaling* agar ukuran model 3D objek sesuai atau mendekati dengan ukuran aktual objek.
2. Soket yang didesain terbagi menjadi 3 variasi yang tujuannya sebagai opsi untuk pasien dan menyesuaikan berat badan pasien. Variasi tersebut berupa ketebalan 3 mm, 4 mm dan 5 mm. masing-masing variasi memiliki tingkat kesulitan yang berbeda-beda sehingga hasil desain tiap variasi memiliki bentuk hasil akhir yang sedikit berbeda. Hasil desain dapat dilihat pada tabel (Tabel 5.2. dan Tabel 5.3.).

6.2. Saran

Saran dari penulis dalam pembuatan soket yaitu peneliti harus memiliki hasil 3D *Scanning* dengan kualitas yang bagus sehingga acuan untuk menggambar soket lebih jelas dan soket memiliki tingkat keakuratan yang tinggi. Soket yang didesain juga memiliki ketebalan yang beragam dan tidak terpaku dalam satu ukuran ketebalan sehingga bentuk soket dapat lebih estetik.

Bagi yang berminat untuk melanjutkan atau mengembangkan desain soket dapat mencoba desain dengan aplikasi atau *software* desain 3D seperti *Autodesk Meshmixer*, *Vorum Canfit* dan *software* desain 3D lainnya.

Daftar Pustaka

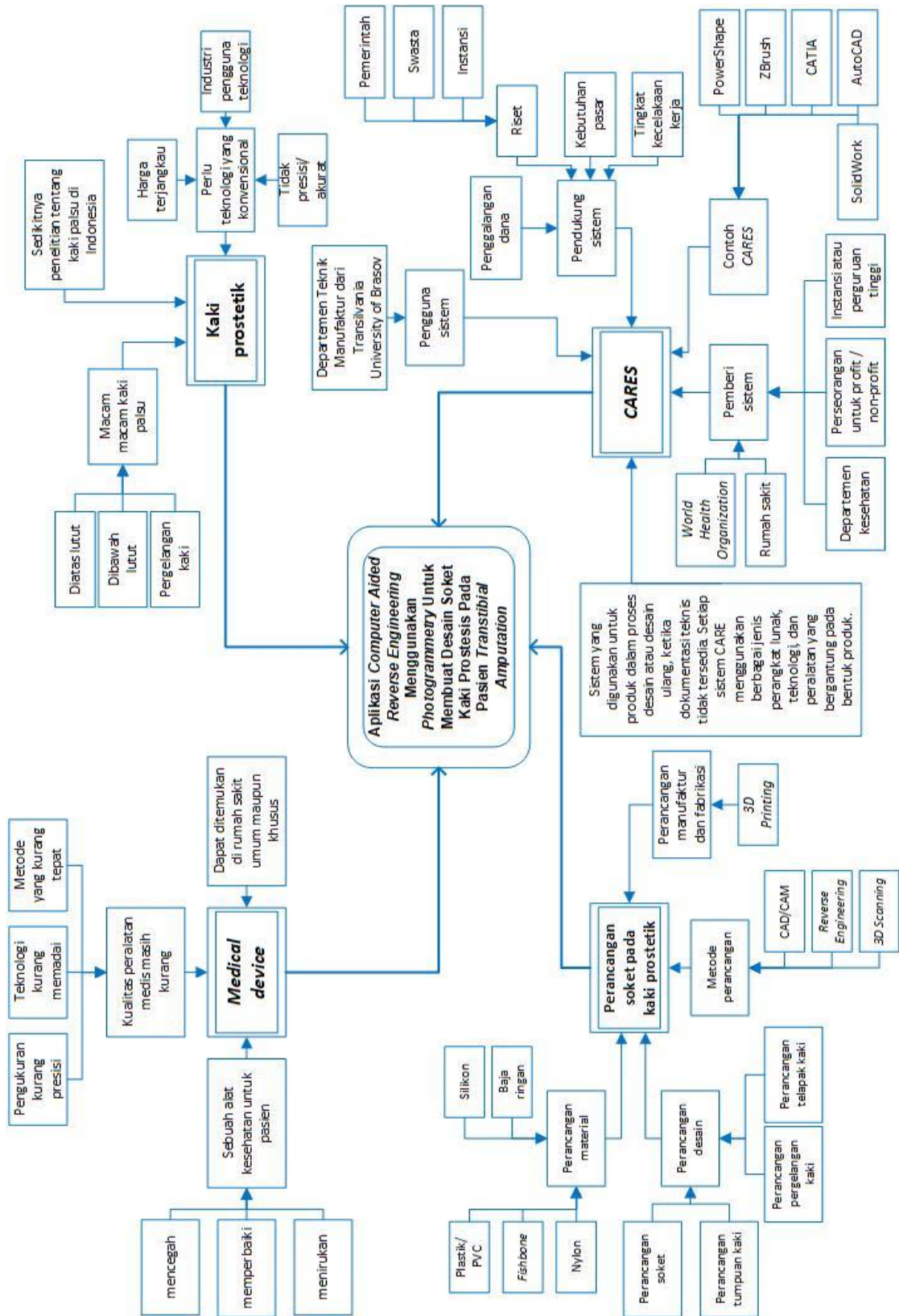
- Agisoft. (2018). *Agisoft photoscan user manual: standard edition, version 1.4*.
https://www.agisoft.com/pdf/PhotoScan-pro_1_4_en.pdf
- Frillici, F. S., Rotini, F. (2013). *Prothesissocket design through shape optimization. Computer-Aided Design and Applications*. DOI :
<http://dx.doi.org/10.3722/cadaps.2013.863-876>
- Gattamalata, D. (2007). *Accurate geometrical constraints for the computer aided modelling of the human upper limb. Computer Aided Design*. 540 – 547. DOI : 10.1016/j.cad.2007.01.009
- May, B. J. (2004). *Amputation and prosthetics: a case study approach*. 62 – 63.
- May, B. J. (2004). *Amputation and prosthetics: a case study approach*. 119 – 120.
- May, B. J. (2004). *Amputation and prosthetics: a case study approach*. 121 – 124.
- Murphy, D. (2014). *Fundamental of amputation care and prosthetics*. 17.
- Murphy, E. F. *Sockets, linings, and interfaces, clinical prosthetic & orthotics*. 4 – 10. http://www.oandplibrary.org/cpo/1984_03_004.asp
- Netfabb GmbH. (2010). *Netfabb basic 7 user manual*. 5 – 98.
<https://docplayer.net/98572082-Netfabb-basic-7-user-manual.html>
- Oancea, G., Ivan, N. V., Pescaru, R. (2013). *Computer aided reverse engineering system used for customized products. Academic Journal of Manufacturing Engineering* 11 (4).
- Open bionics. Hero arm*. (2018). <https://openbionics.com/hero-arm/>
- Raja, V. (2008). *Reverse engineering. Springer series in advanced manufacturing*. 1. 2-5. <https://www.springer.com/gp/book/9781846288555>
- Reljic, I., Dunder, I., Seljan, S. (2019). *Photogrammetric 3D scanning of physical objects: tools and workflow*. TEM Journal. DOI : 10.18421/TEM82-09
- Ryniewicz, M. (2017). *The use of laser scanning in the procedures replacing lower limbs with prosthesis. Measurement*. DOI : 0.1016/j.measurement.2017.07.041

Sanders, J . E. (2016). *Computer-manufactured inserts for prosthetic sockets*.
Medical Engineering and Physics. 1-6. DOI :
10.1016/j.medengphy.2016.04.019

Schenk, T. (2005) *Introduction to Photogrammetry*. 2 – 3.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Keterkaitan



Lampiran 2. Pengambilan Data Kaki Pak Mugiyanto



Lampiran 3. Pengambilan Data kaki Pak Mugiyanto (Lanjutan)



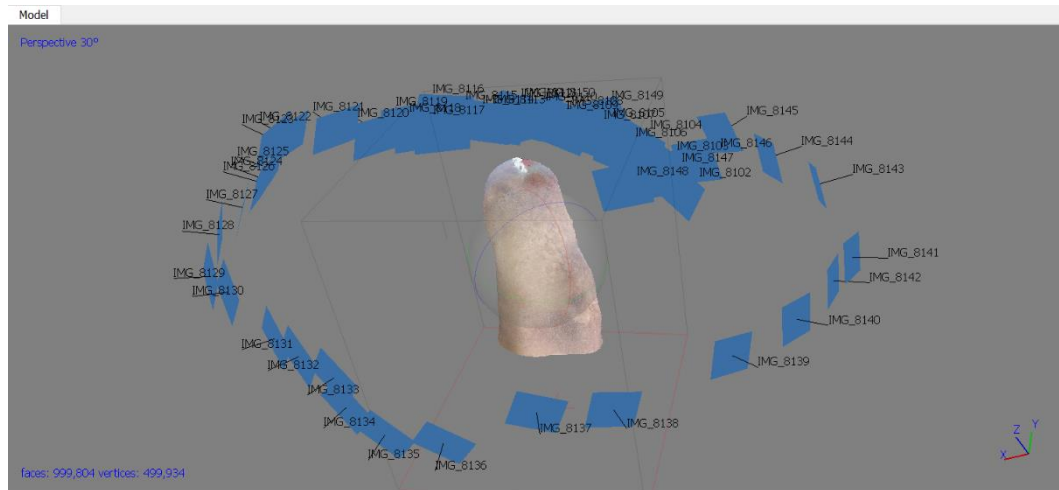
Lampiran 4. Pengambilan Data Kaki Pak Mugiyanto (Lanjutan)



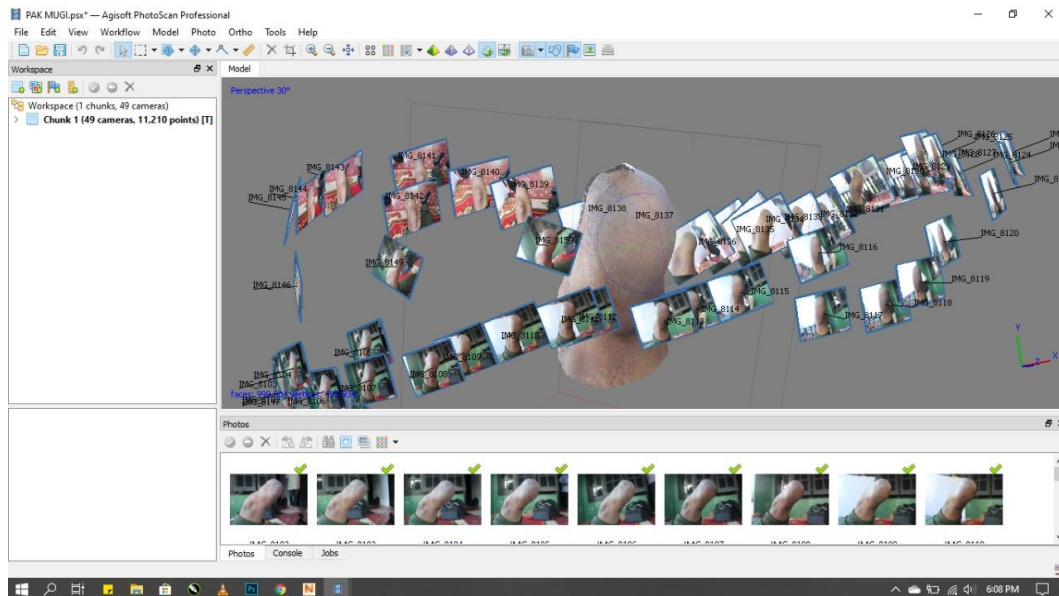
Lampiran 5. Pengambilan Data Kaki Pak Mugiyanto (Lanjutan)



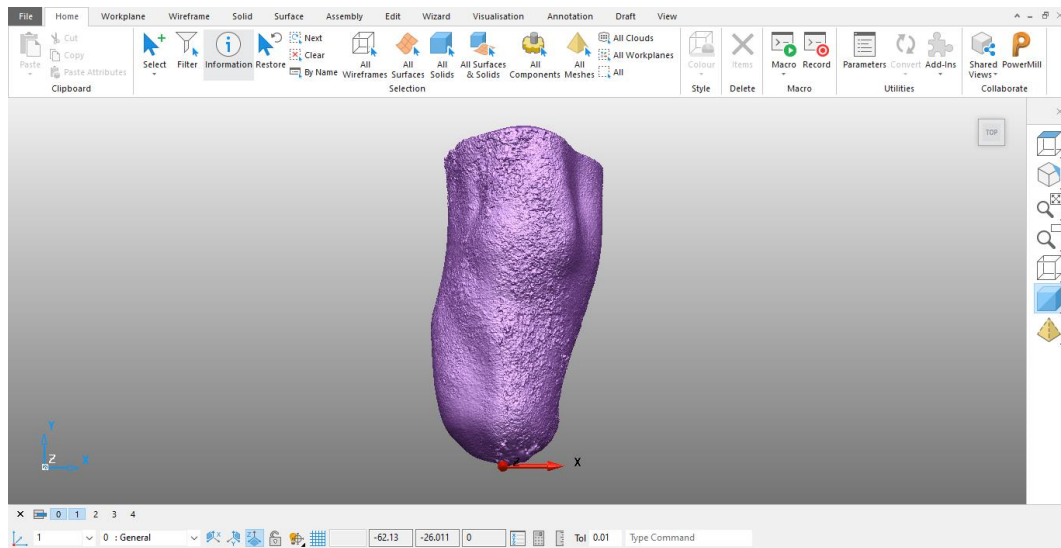
Lampiran 6. Pembentukan *Point Cloud* Pada *PhotoScan* (Lanjutan)



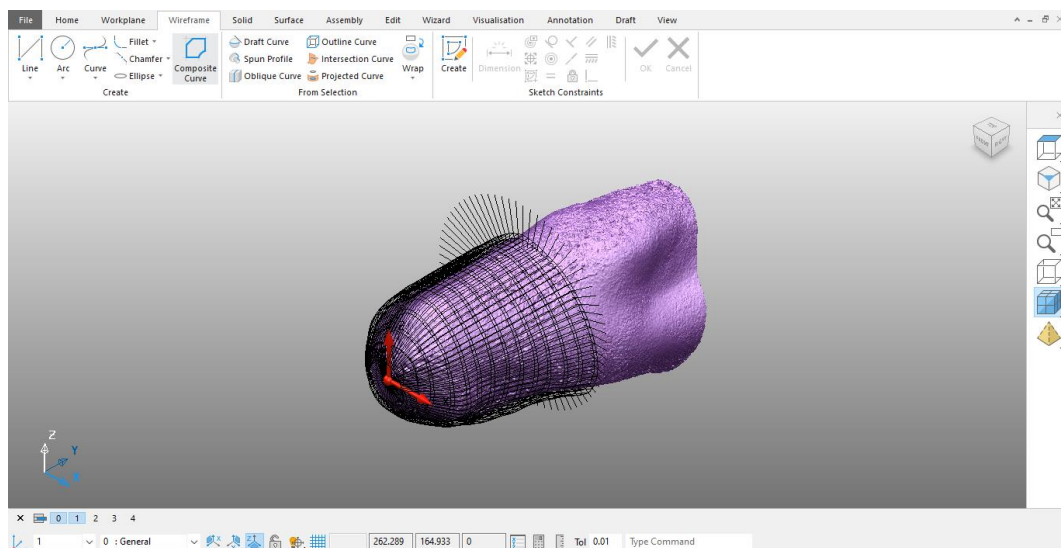
Lampiran 7. Pembentukan *Point Cloud* Pada *PhotoScan* (Lanjutan)



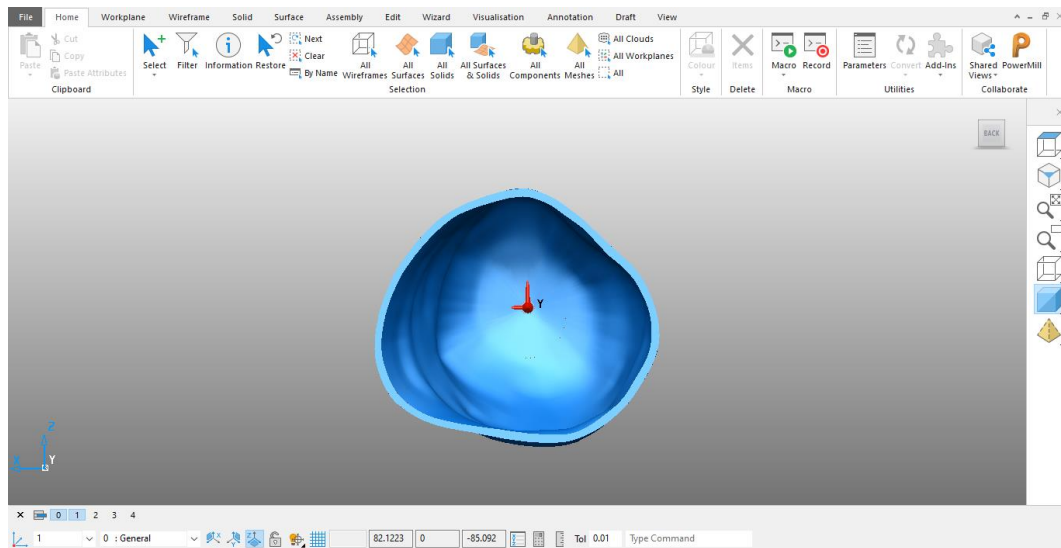
Lampiran 8. 3D Mesh Kaki Pak Mugiyanto Pada PowerShape



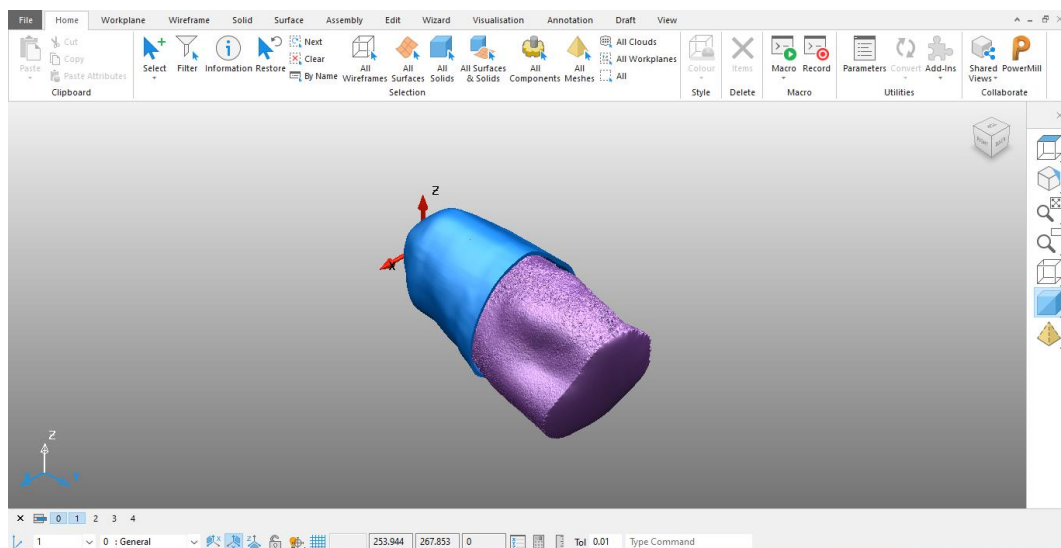
Lampiran 9. Pembuatan Wireframe Soket 3 mm Pandangan Isometris



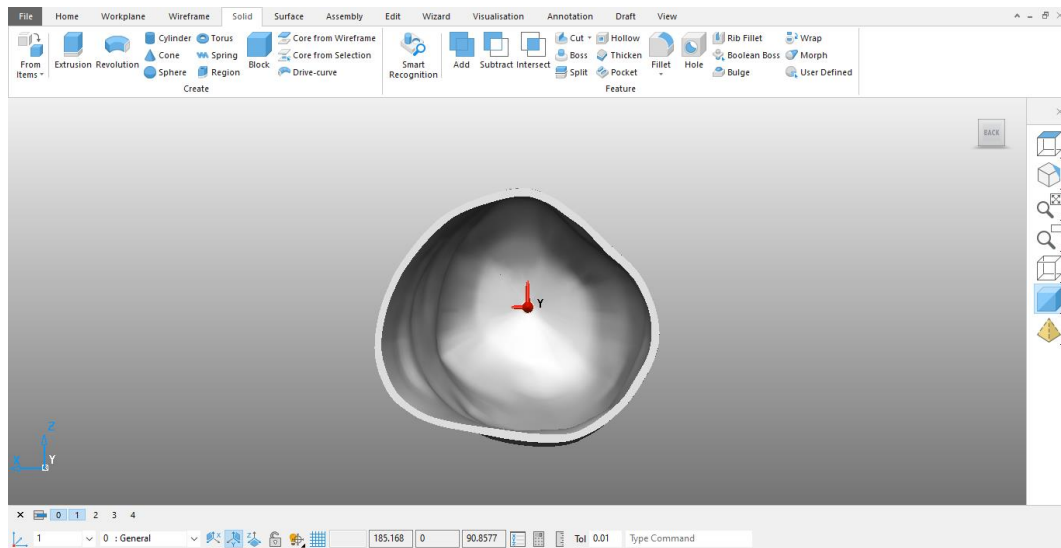
Lampiran 10. Surface Soket 3 mm Pandangan Y+



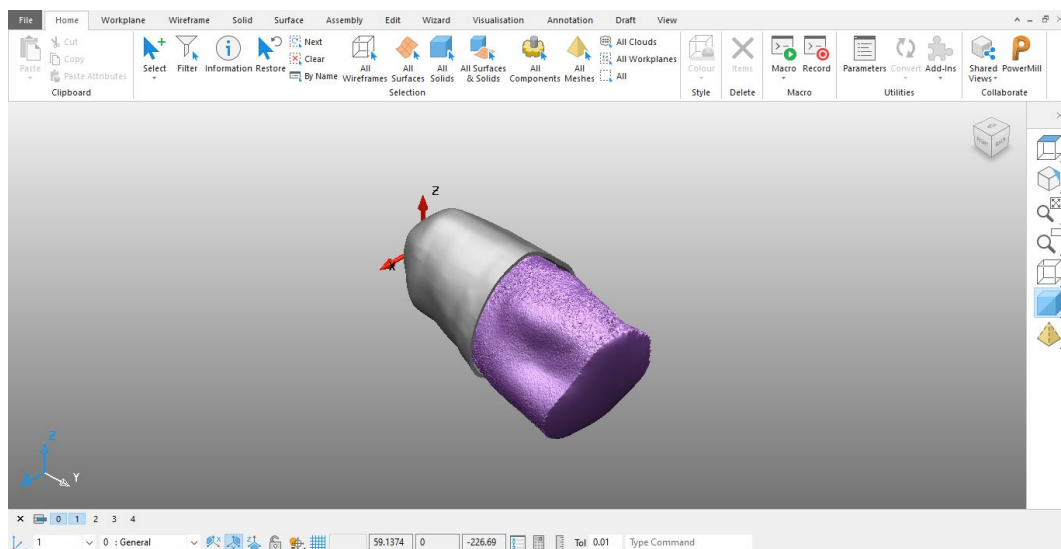
Lampiran 11. Surface Soket 3 mm Pandangan Isometris



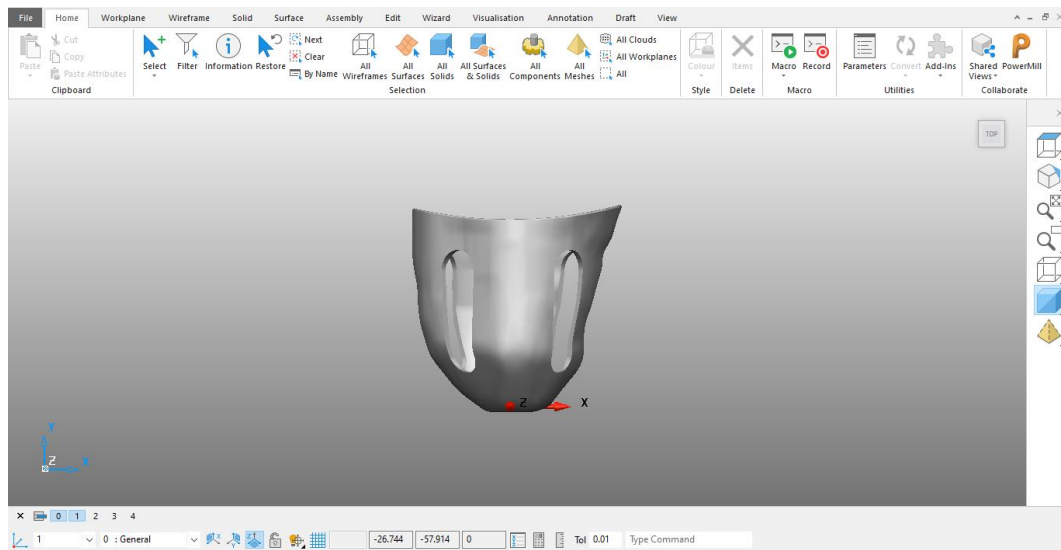
Lampiran 12. Solid Soket 3 mm Pandangan Y+



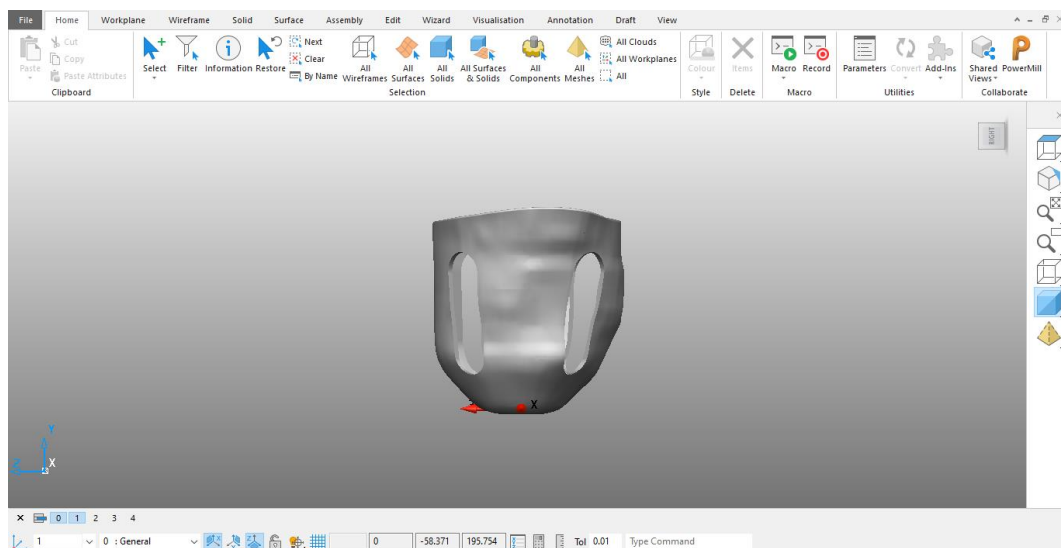
Lampiran 13. Solid Soket 3 mm Pandangan Isometris



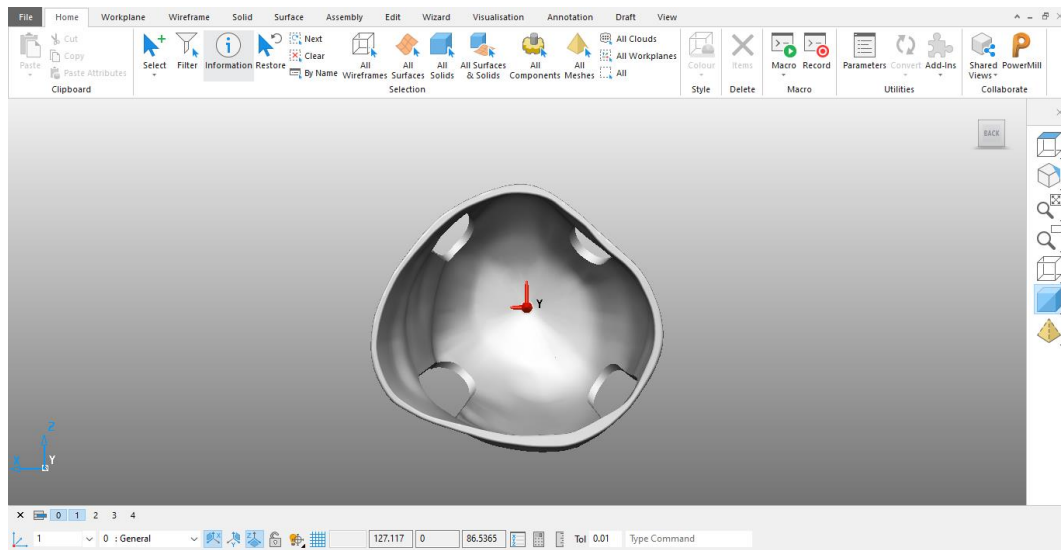
Lampiran 14. Desain Soket 3 mm Pandangan Z+



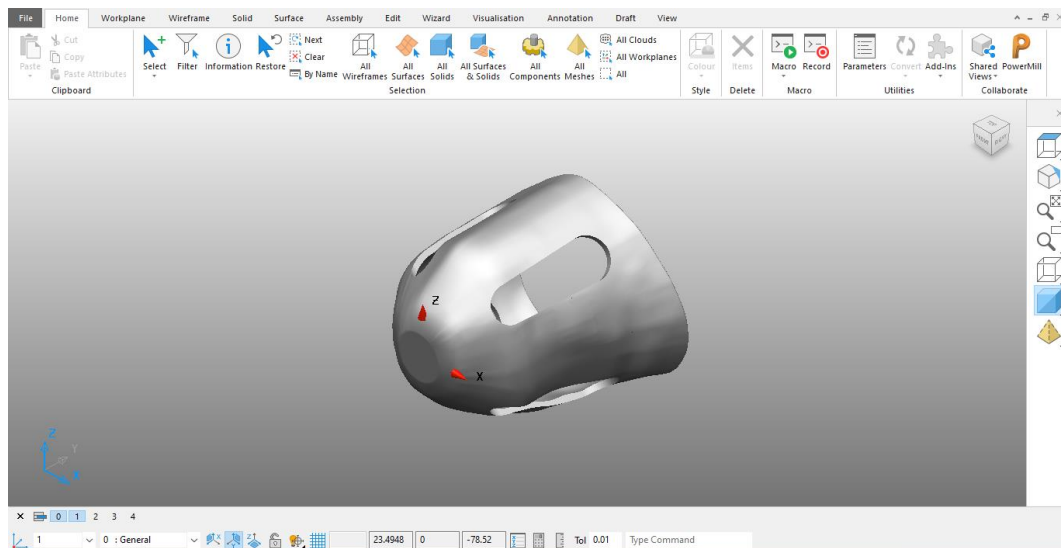
Lampiran 15. Desain Soket 3 mm Pandangan X+



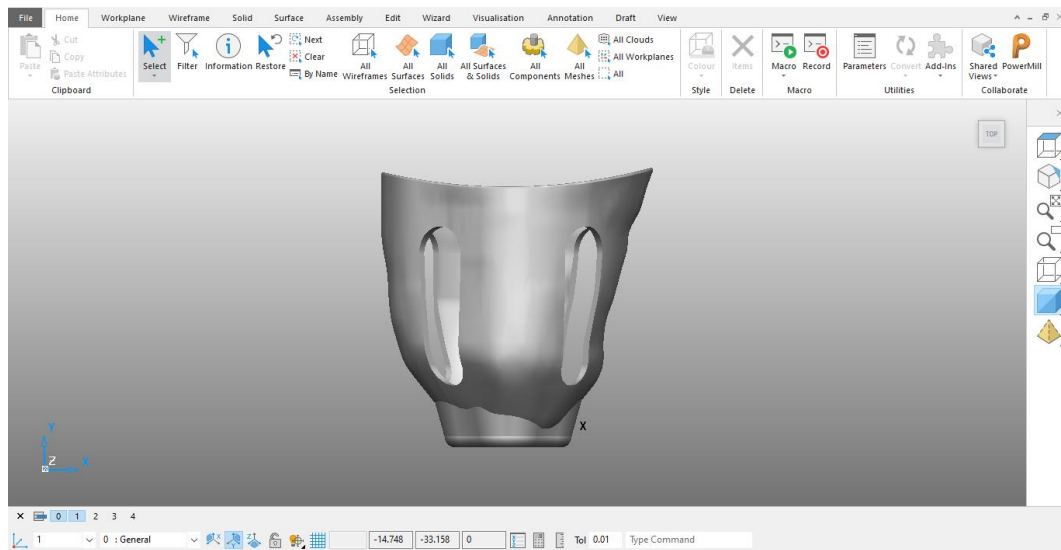
Lampiran 16. Desain Soket 3 mm Pandang Y+



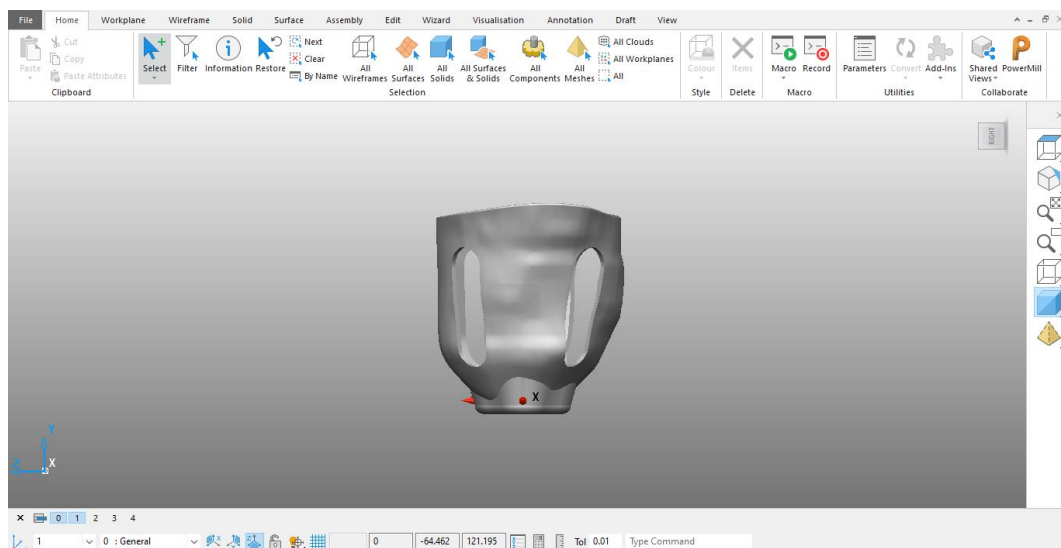
Lampiran 17. Desain Soket 3 mm Pandangan Isometris



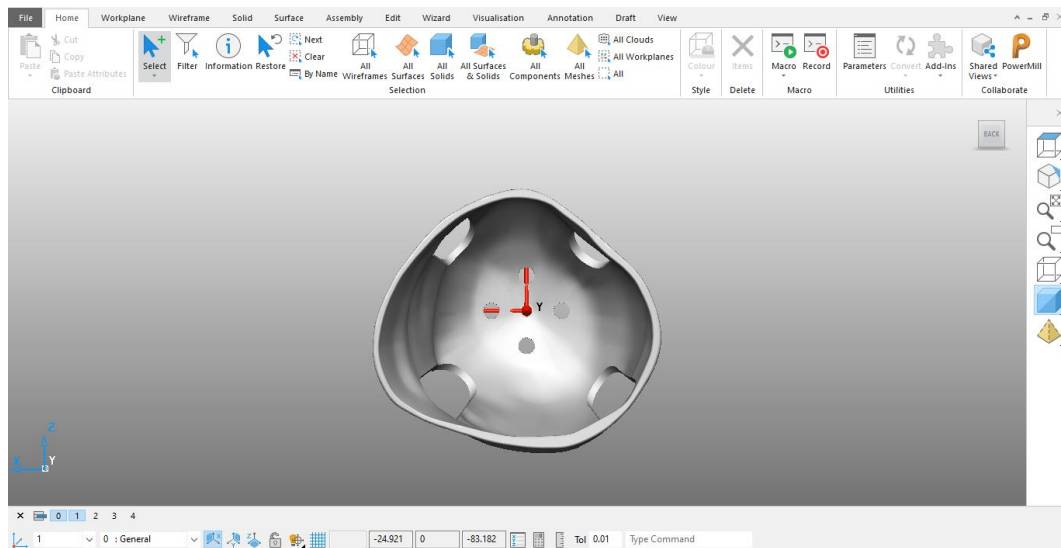
Lampiran 18. Soket 3 mm Pandangan Z+



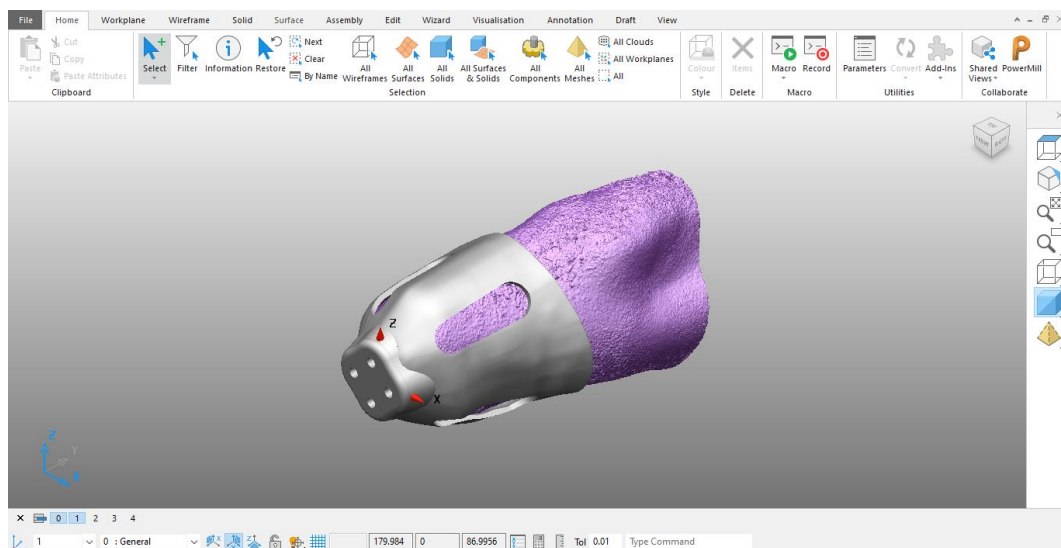
Lampiran 19. Soket 3 mm Pandangan X+



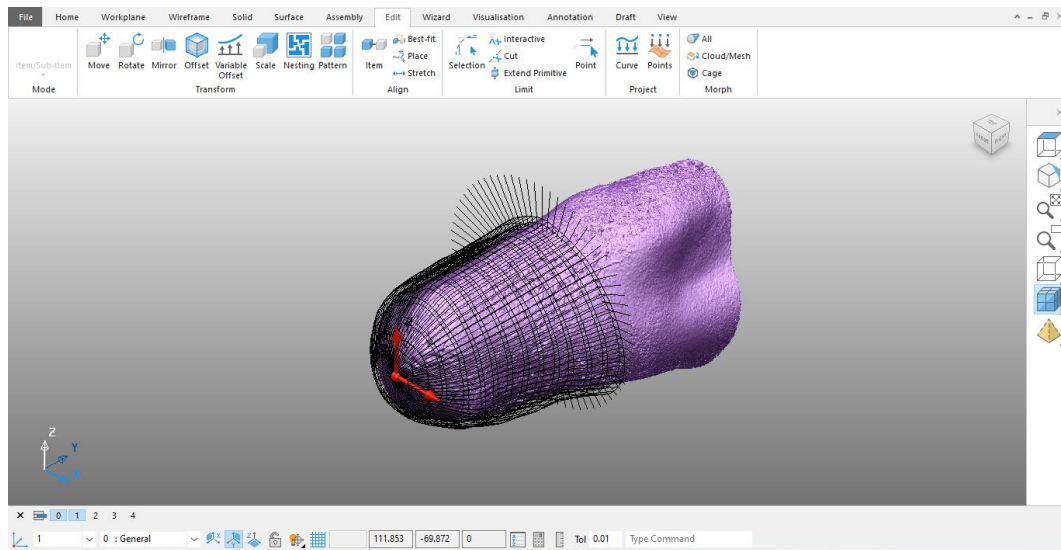
Lampiran 20. Soket 3 mm Pandangan Y+



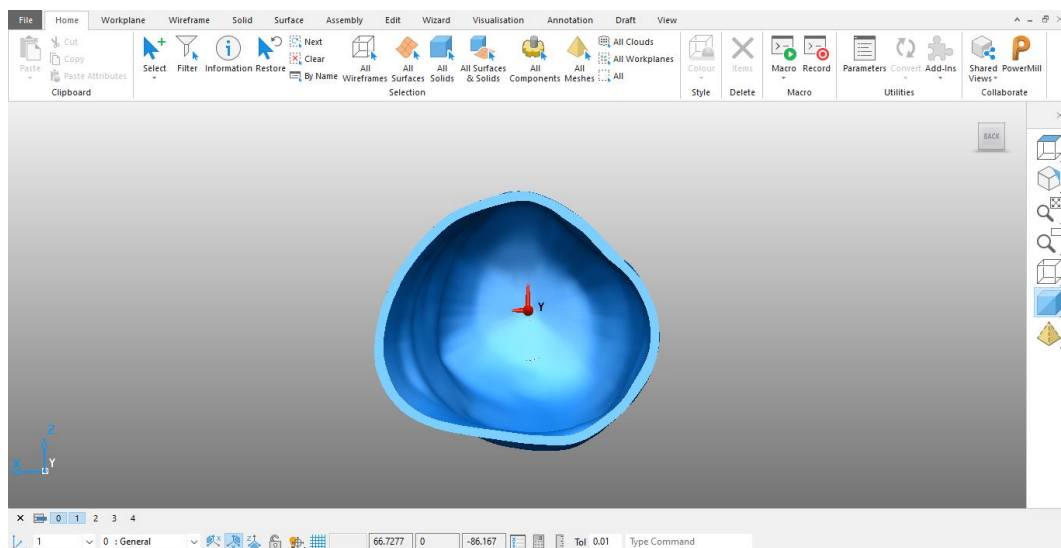
Lampiran 21. Soket 3 mm Pandangan Isometris



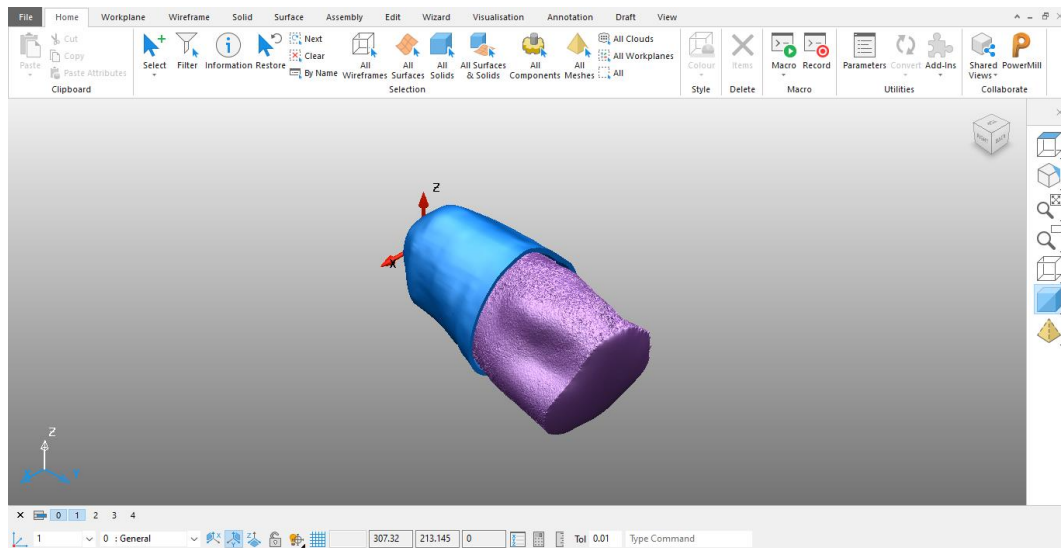
Lampiran 22. Pembuatan *Wireframe* Soket 4 mm Pandangan Isometris



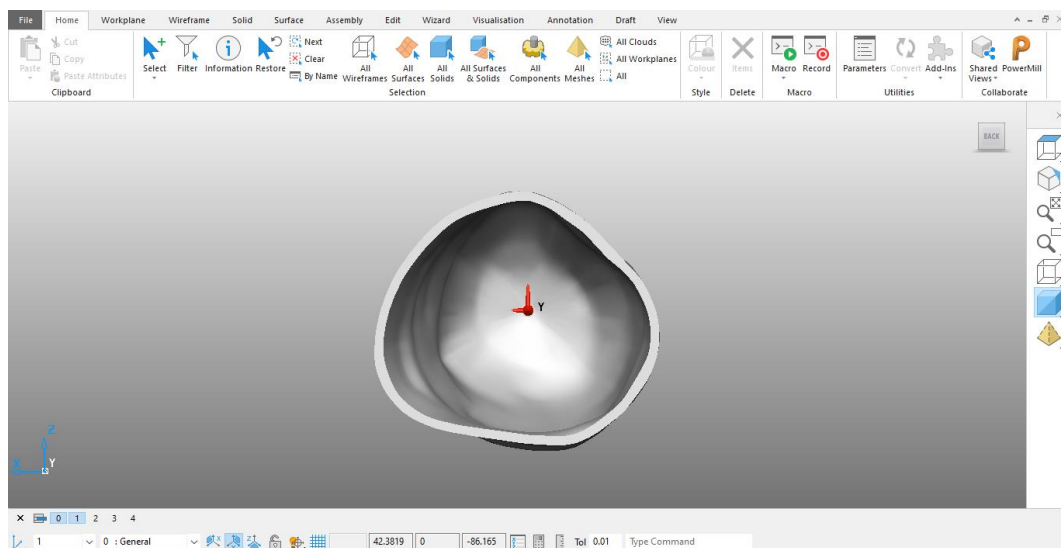
Lampiran 23. *Surface* Soket 4 mm Pandangan Y+



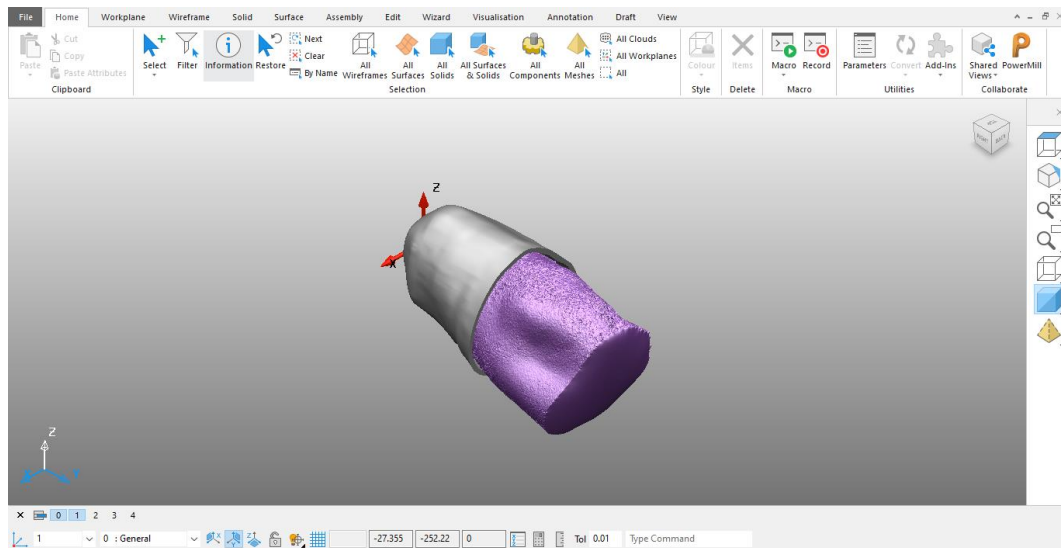
Lampiran 24. Surface Soket 4 mm Pandangan Isometris



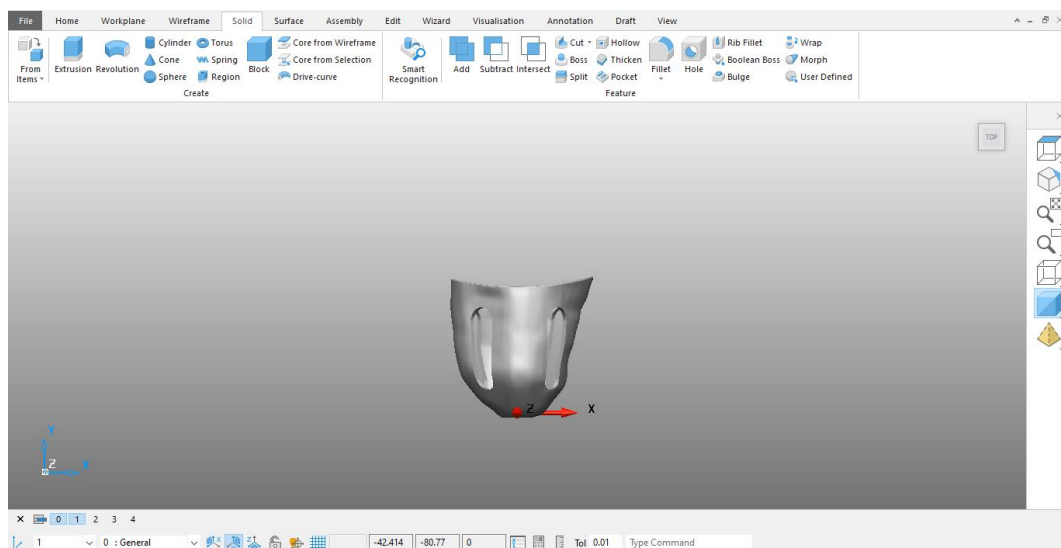
Lampiran 25. Solid Soket 4 mm Pandangan Y+



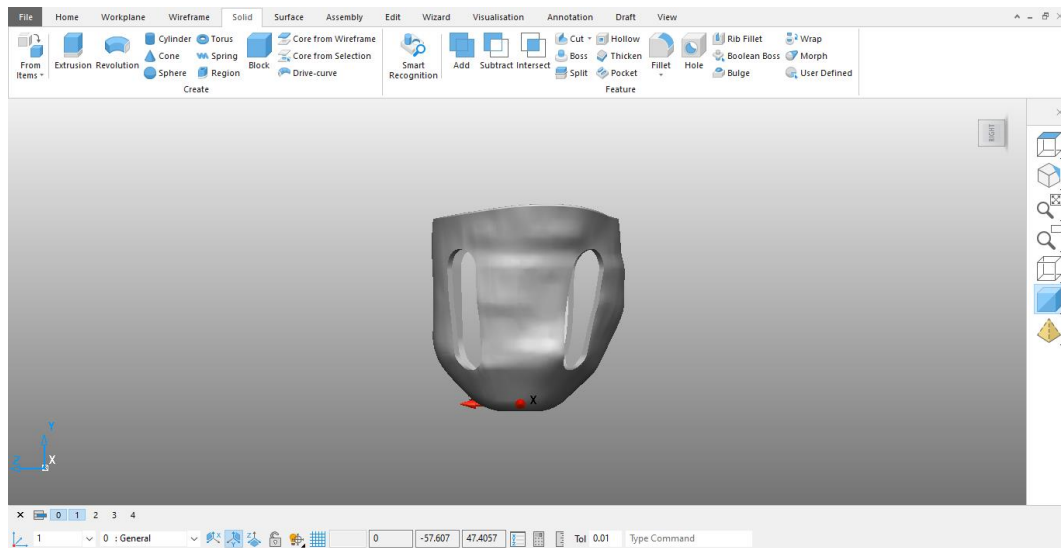
Lampiran 26. Solid Soket 4 mm Pandangan Isometris



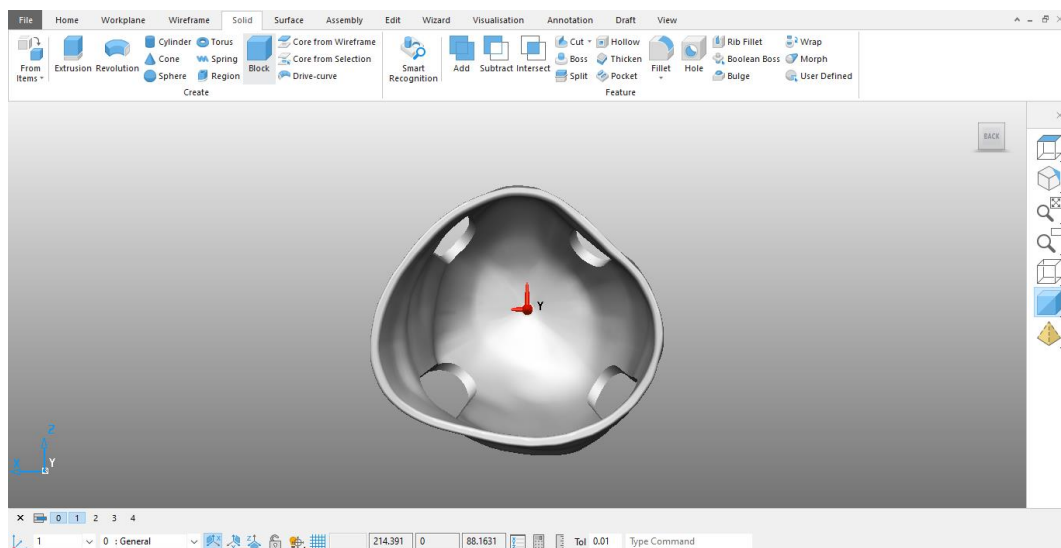
Lampiran 27. Desain Soket 4 mm Pandangan Z+



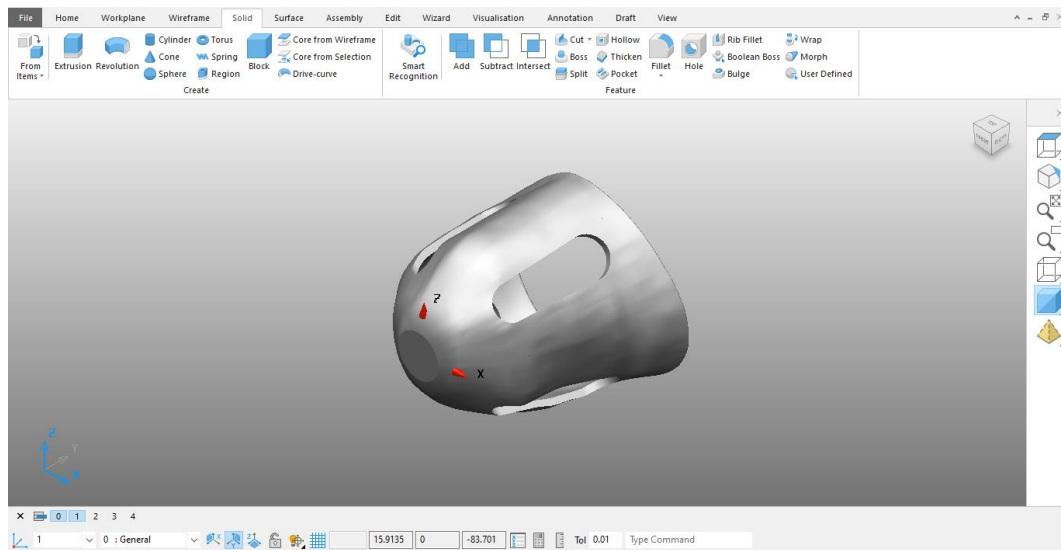
Lampiran 28. Desain Soket 4 mm Pandangan X+



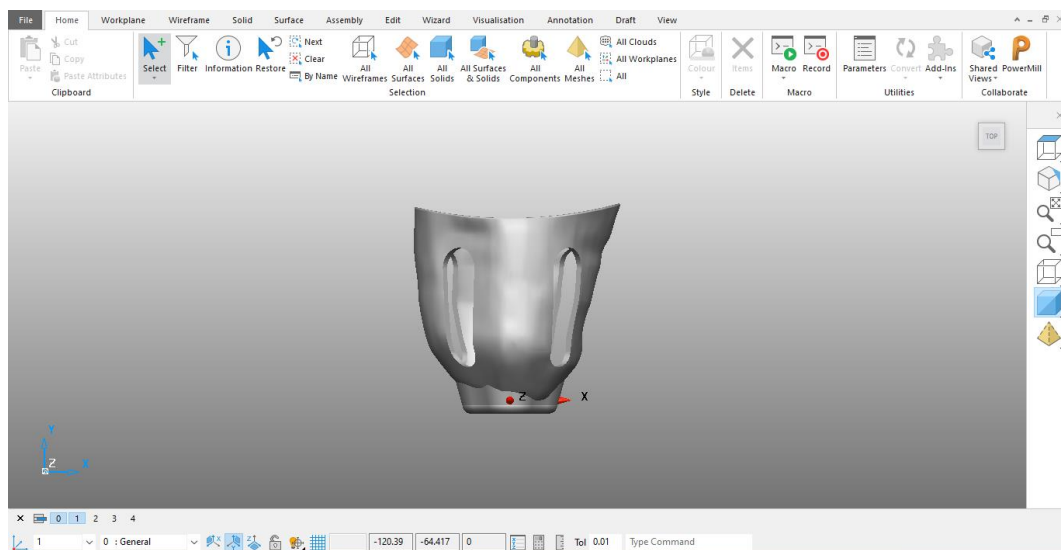
Lampiran 29. Desain Soket 4 mm Pandangan Y+



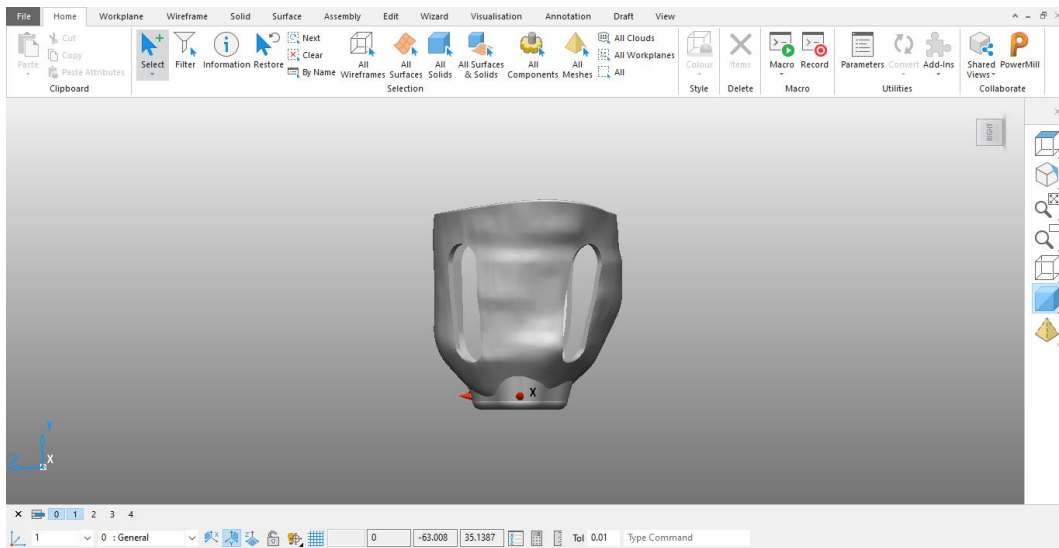
Lampiran 30. Desain Soket 4 mm Pandangan Isometris



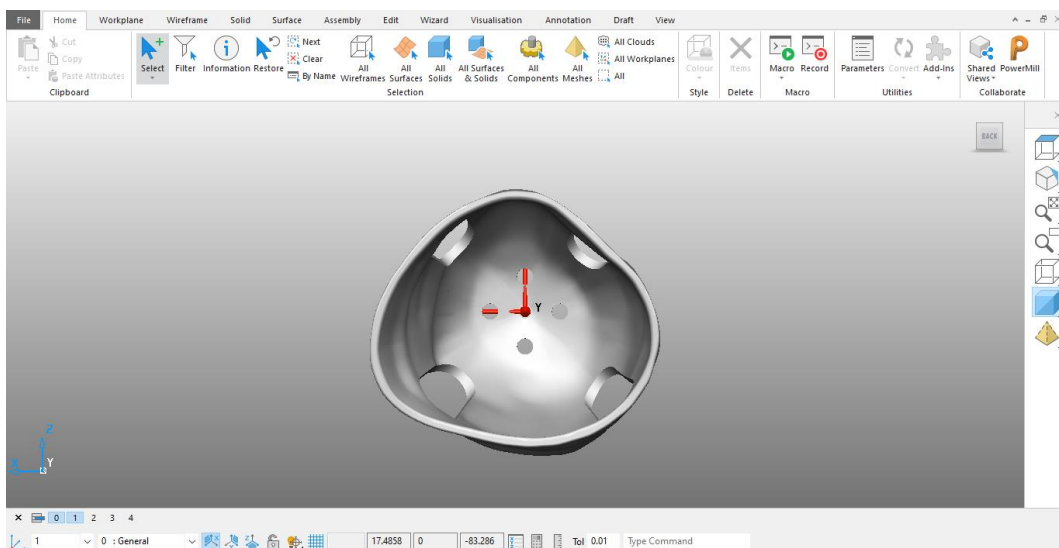
Lampiran 31. Soket 4 mm Pandangan Z+



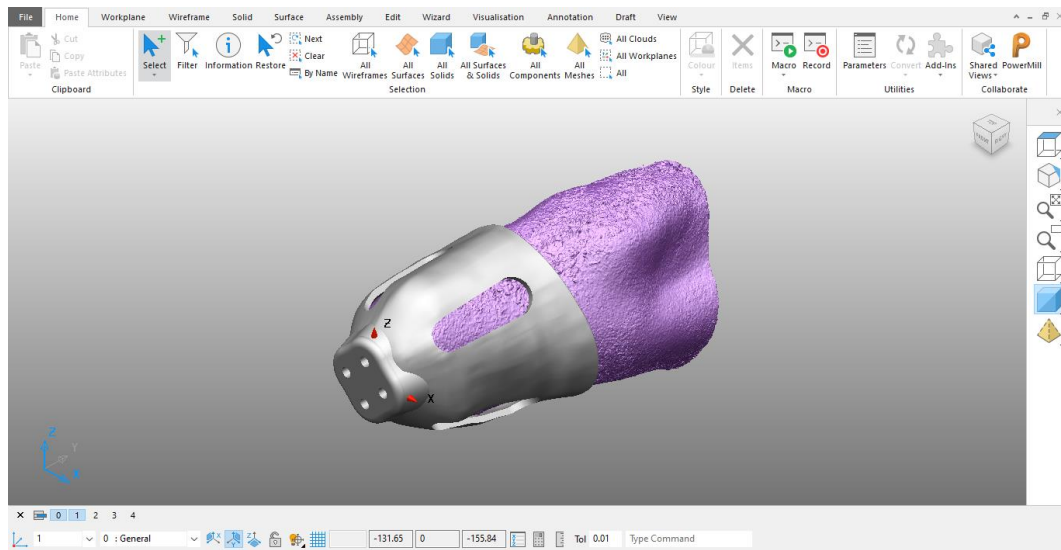
Lampiran 32. Soket 4 mm Pandangan X+



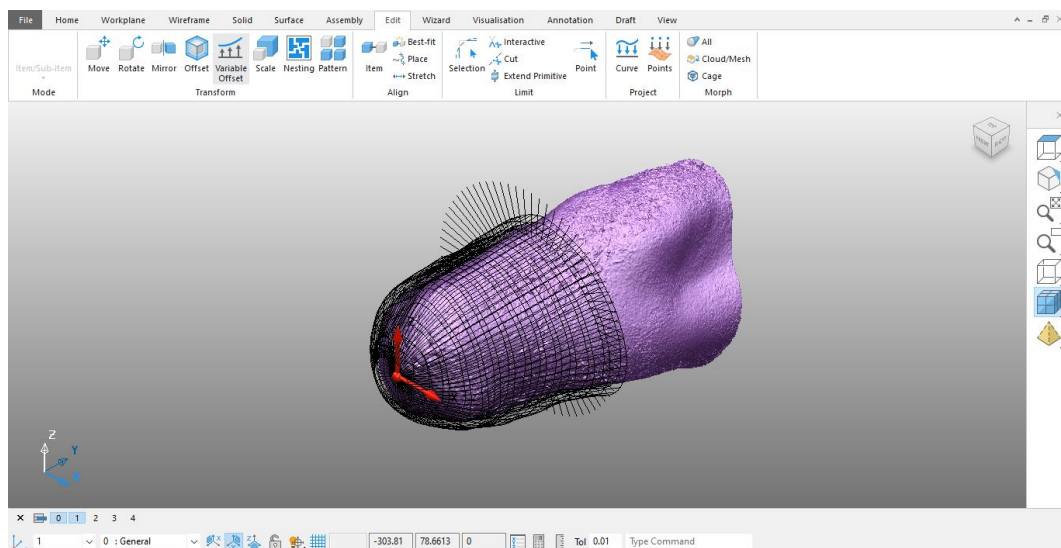
Lampiran 33. Soket 4 mm Pandangan Y+



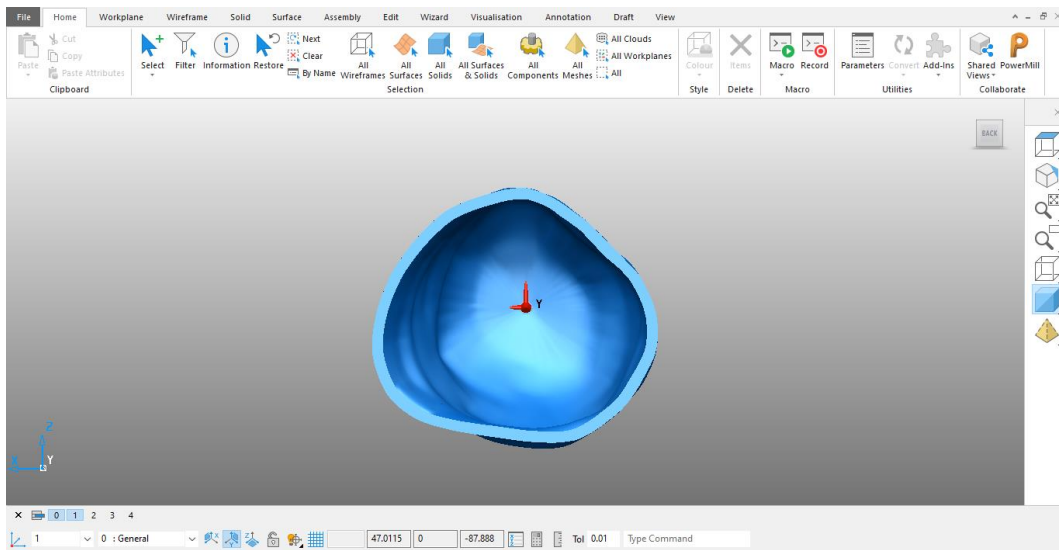
Lampiran 34. Soket 4 mm Pandangan Isometris



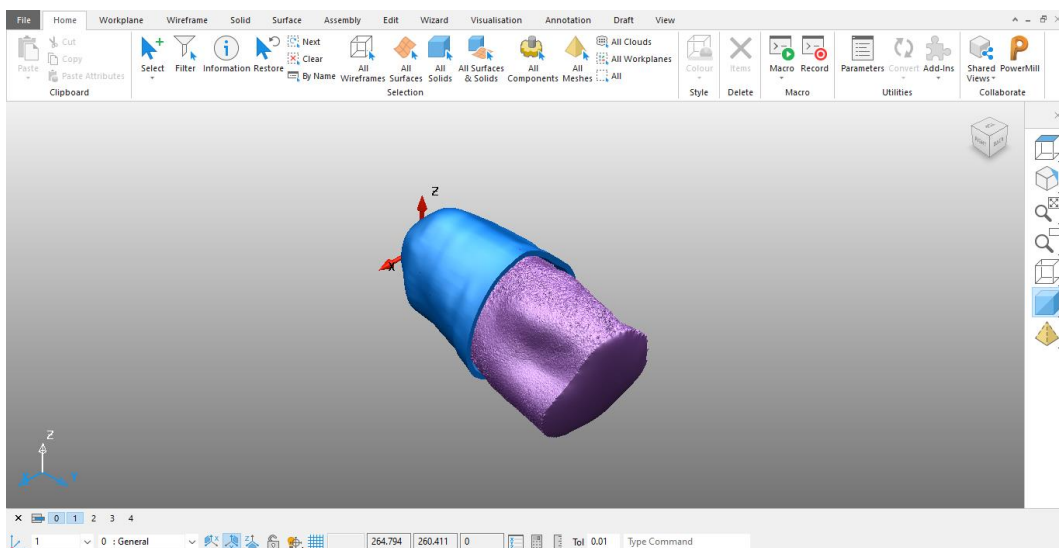
Lampiran 35. Pembuatan Wireframe Soket 5 mm Pandangan Isometris



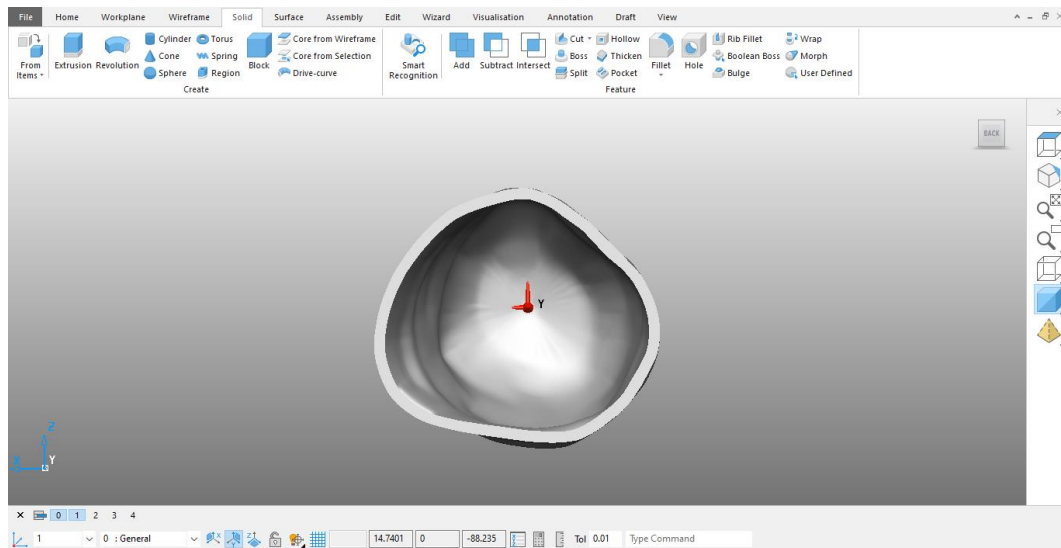
Lampiran 36. Surface Soket 4 mm Pandangan Y+



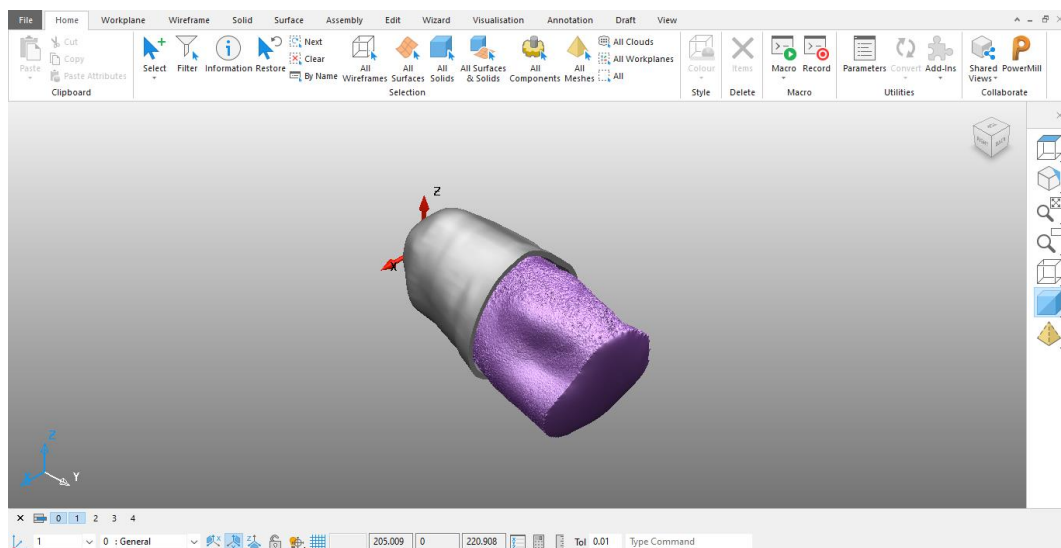
Lampiran 37. Surface Soket 4 mm Pandangan Isometris



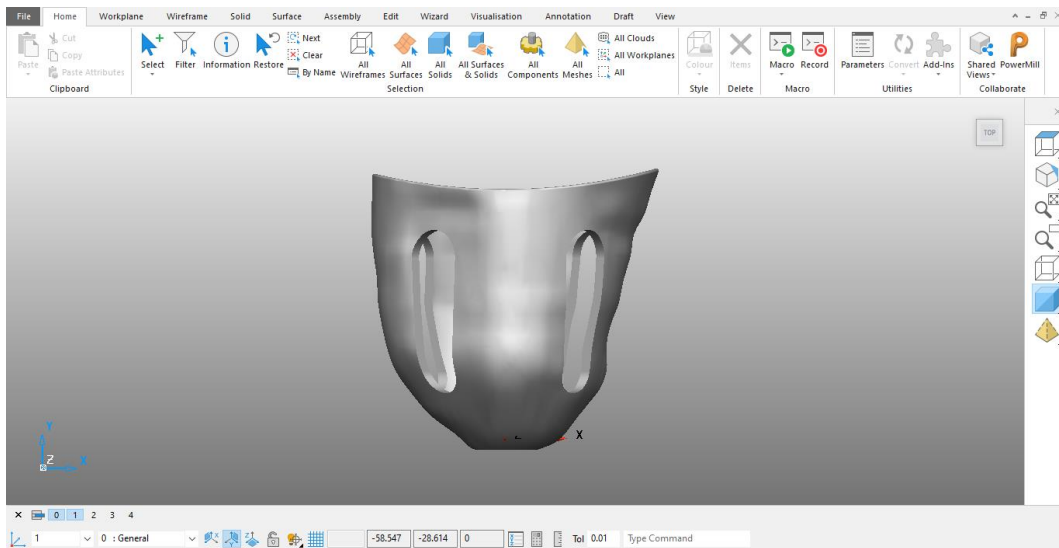
Lampiran 38. Solid Soket 4 mm Pandangan Y+



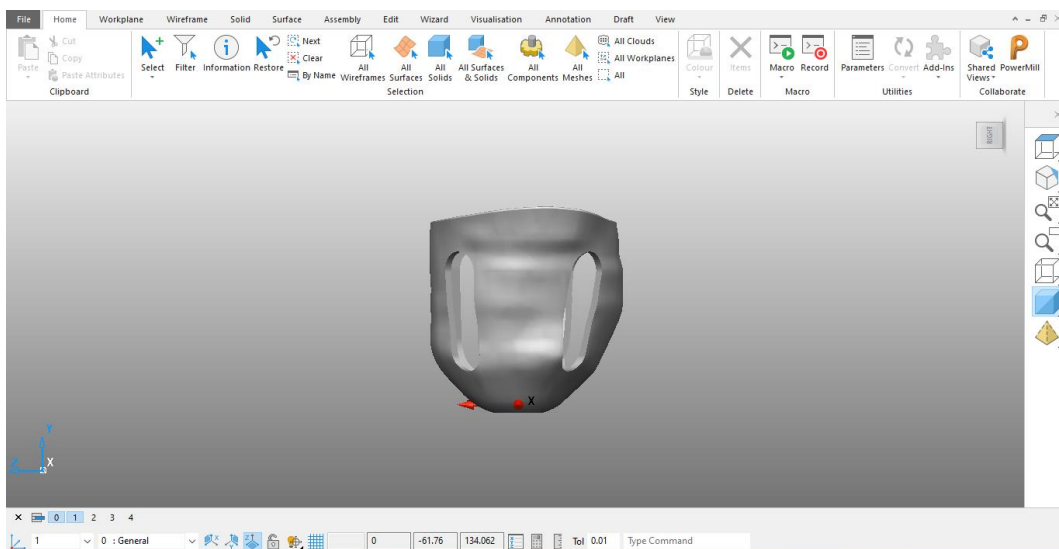
Lampiran 39. Solid Soket 4 mm Pandangan Isometris



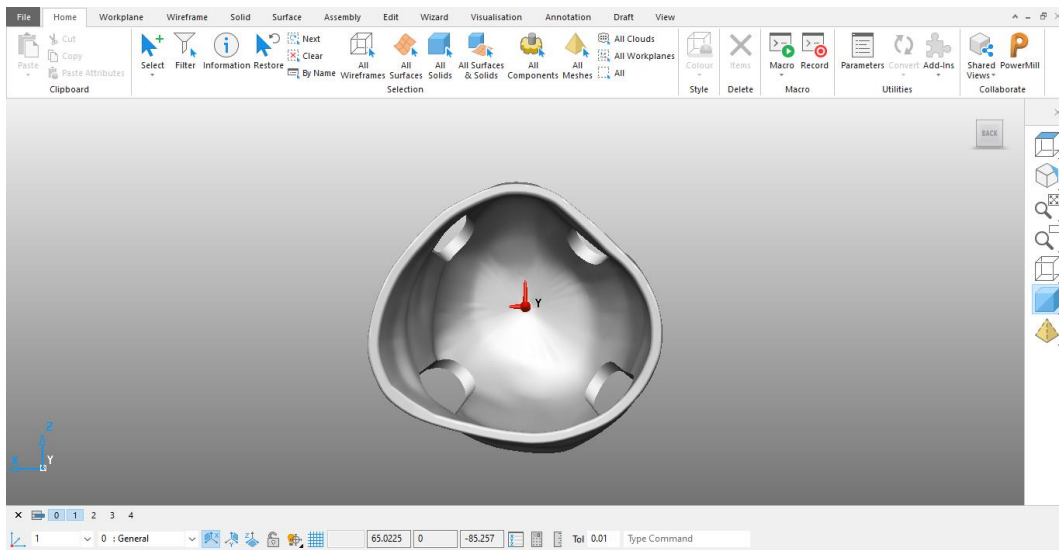
Lampiran 40. Desain Soket 5 mm Pandangan Z+



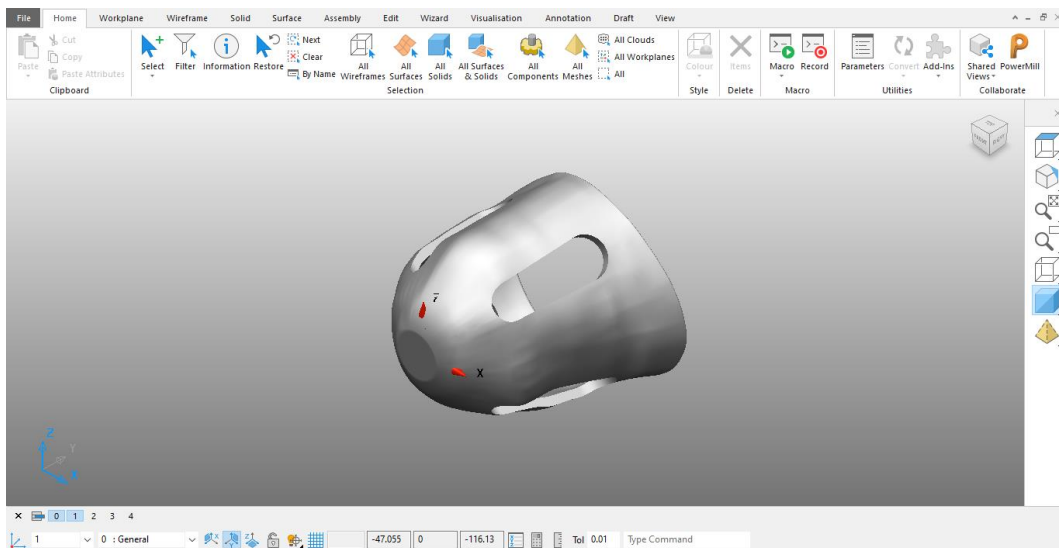
Lampiran 41. Desain Soket 5 mm Pandangan X+



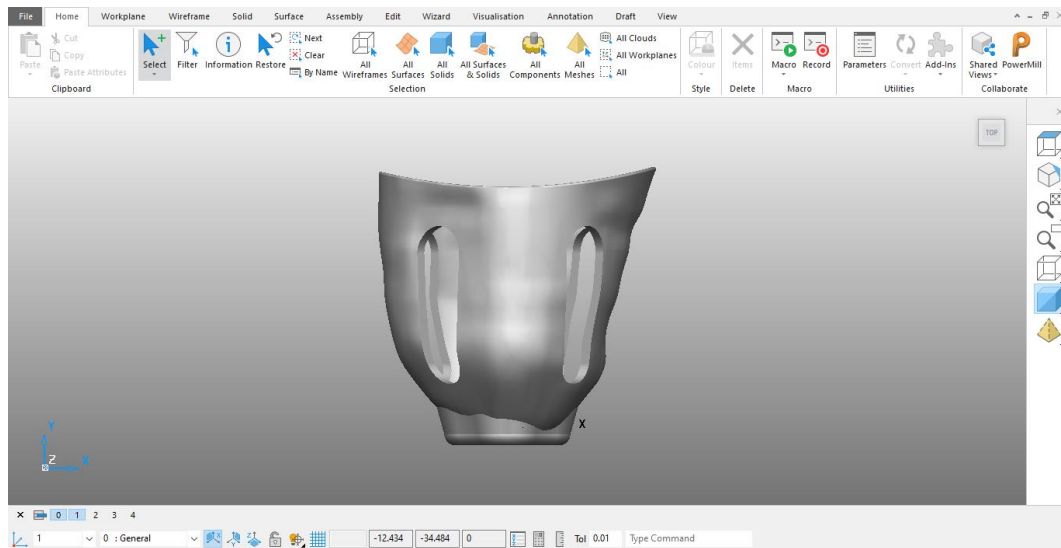
Lampiran 42. Desain Soket 5 mm Pandangan Y+



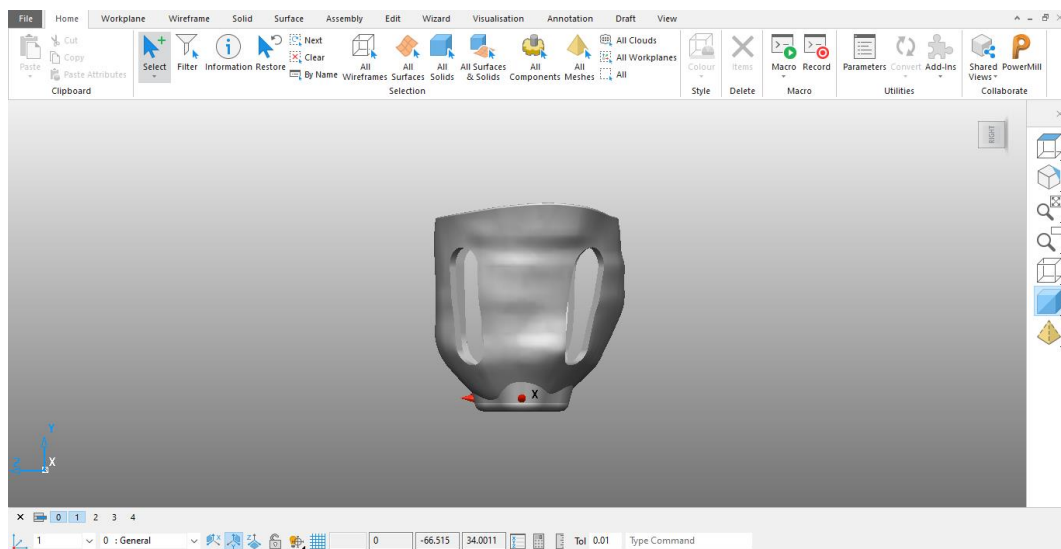
Lampiran 43. Desain Soket 5 mm Pandangan Isometris



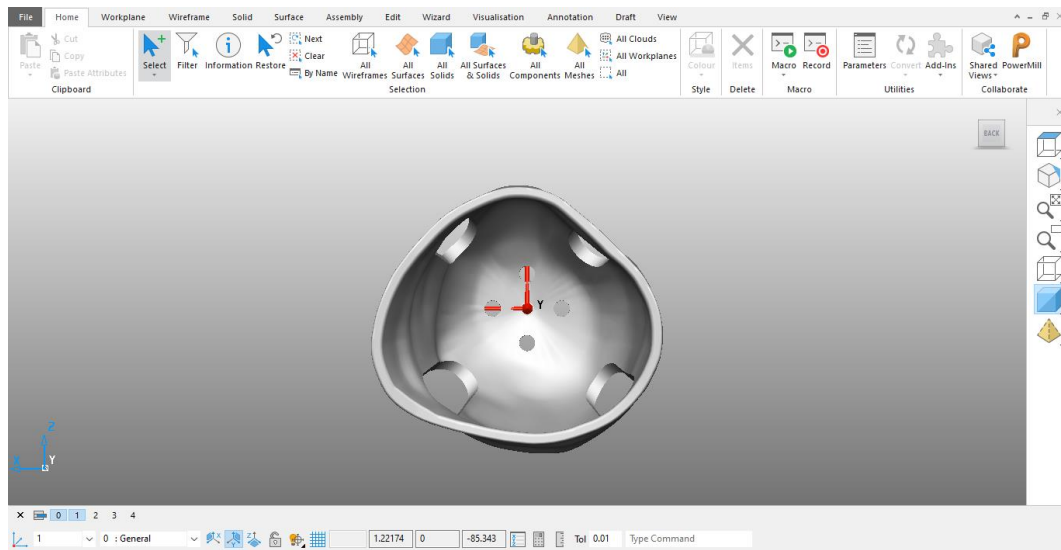
Lampiran 44. Soket 5 mm Pandangan Z+



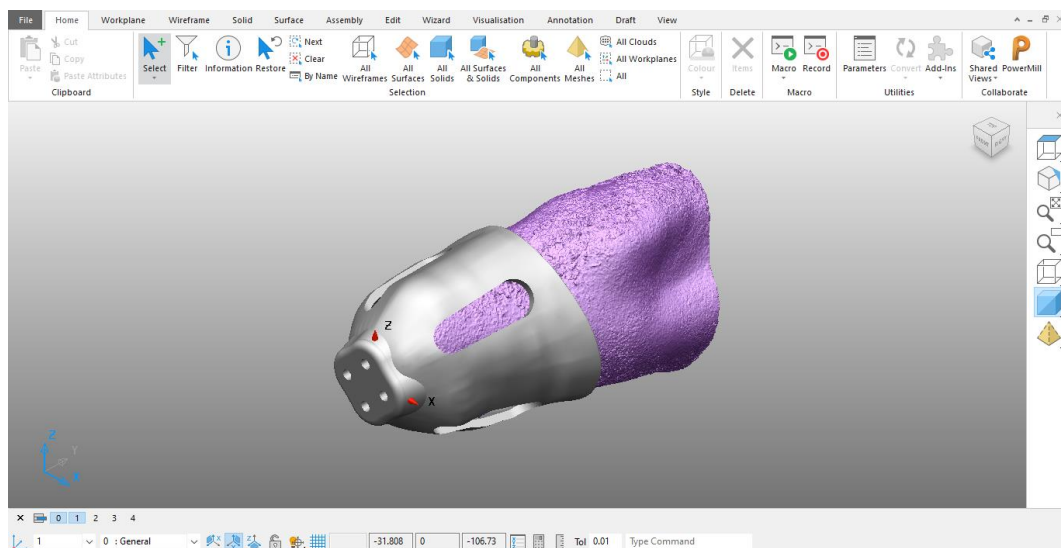
Lampiran 45. Soket 5 mm Pandangan X+



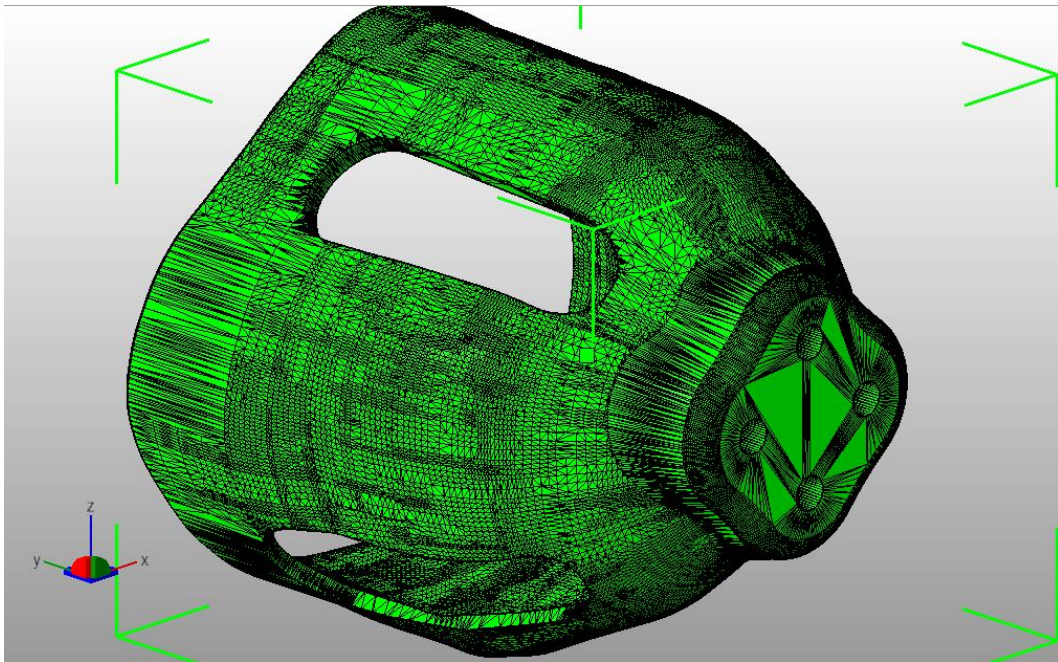
Lampiran 46. Soket 5 mm Pandangan Y+



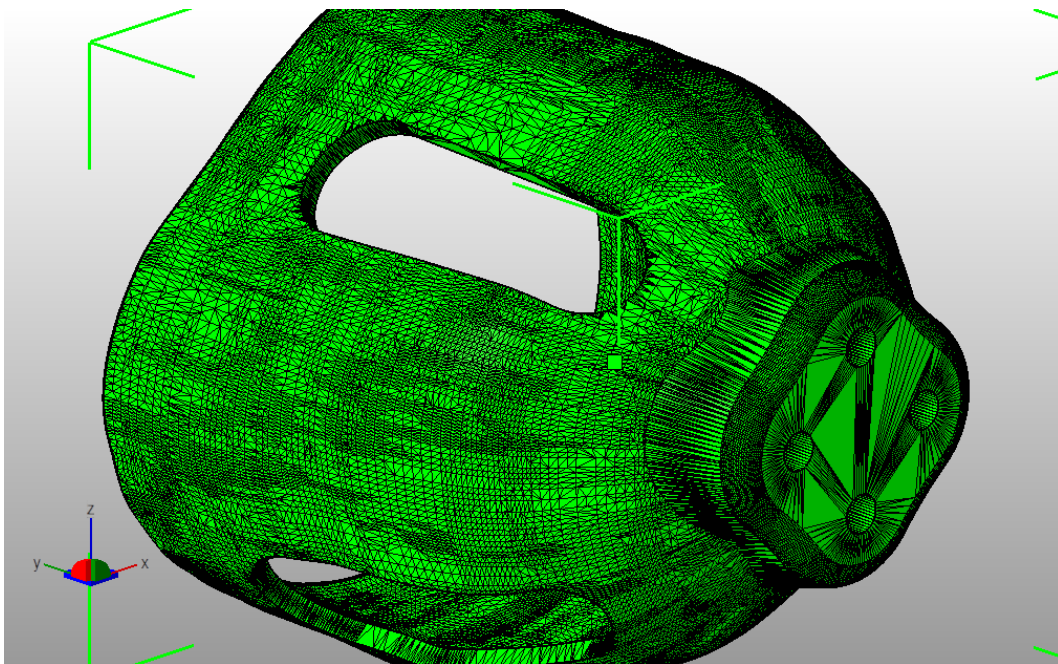
Lampiran 47. Soket 5 mm Pandangan Isometris



Lampiran 48. *Triangle Mesh Soket 3 mm*



Lampiran 49. *Triangle Mesh Soket 4 mm*



Lampiran 50. *Triangle Mesh* Soket 5 mm

