

**RANCANG BANGUN TANGAN PROSTETIK DENGAN METODE
QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT DAN REVERSE ENGINEERING**

Skripsi

Oleh

**DANIEL RISFAN MULYONO
NPM 2015021095**



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

**RANCANG BANGUN TANGAN PROSTETIK DENGAN METODE
QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT DAN REVERSE ENGINEERING**

Oleh:

DANIEL RISFAN MULYONO

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Lampung



JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

2025

ABSTRAK

RANCANG BANGUN TANGAN PROSTETIK DENGAN METODE QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT DAN REVERSE ENGINEERING

Oleh:

DANIEL RISFAN MULYONO

Kehilangan tangan akibat amputasi memberikan dampak signifikan terhadap kemampuan fungsional dan psikologis individu. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan tangan prostetik yang mampu mendukung aktivitas sehari-hari secara efektif dan mudah digunakan. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun prototipe tangan prostetik bagi pasien amputasi transradial dengan menerapkan metode *Quality Function Deployment* (QFD) untuk menentukan kebutuhan pengguna serta *Reverse Engineering* untuk mengoptimalkan desain secara ergonomis dan fungsional. Perancangan dilakukan dengan mengidentifikasi *Voice of Customer* dan menerjemahkannya ke dalam respon teknis melalui penyusunan *House of Quality*. Konsep desain kemudian dibuat dalam bentuk pemodelan 3D dan direalisasikan melalui proses 3D printing. Dalam penelitian ini, perintah tangan prostetik menggunakan perintah suara berbasis Raspberry Pi Zero 2 W, sedangkan sensor *Force Sensitive Resistor* (FSR) digunakan sebagai umpan balik untuk mengatur kekuatan gengaman secara otomatis. Selain itu, modifikasi pada ruas jari dan mekanisme ibu jari berhasil meningkatkan fleksibilitas gerak dan efektivitas gengaman. Kombinasi metode QFD dengan *Reverse Engineering* berhasil menghasilkan desain dan *prototype* tangan yang fungsional sehingga dapat meningkatkan kemudahan penggunaan serta memberikan dukungan bagi aktivitas sehari-hari pengguna.

Kata Kunci: Tangan prostetik, QFD, Reverse Engineering, 3D printing, Sensor FSR, Perintah Suara.

ABSTRACT

PROSTHETIC HAND DESIGN AND CONSTRUCTION USING QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT AND REVERSE ENGINEERING METHODS

By:

DANIEL RISFAN MULYONO

The loss of a hand due to amputation has significant impacts on an individual's functional abilities and psychological well-being. Therefore, the development of a prosthetic hand that can effectively support daily activities and is easy to use is essential. This study aims to design and develop a prosthetic hand prototype for transradial amputees by applying the Quality Function Deployment (QFD) method to determine user needs, as well as Reverse Engineering to optimize the design ergonomically and functionally. The design process begins by identifying the Voice of Customer and translating it into technical responses through the construction of a House of Quality. The design concept is then developed in the form of a 3D model and realized through 3D printing. In this study, the prosthetic hand is controlled using voice commands based on a Raspberry Pi Zero 2 W, while a Force Sensitive Resistor (FSR) sensor is utilized as feedback to automatically regulate gripping force. Additionally, modifications to the finger segments and thumb mechanism successfully improved movement flexibility and gripping effectiveness. The combination of QFD and Reverse Engineering methods resulted in a functional hand design and prototype that enhances usability and provides support for the user's daily activities.

Keywords: *Prosthetic Hand, QFD, Reverse Engineering, 3D Printing, FSR Sensor, Voice Control*

.

Judul Skripsi : Rancang Bangun Tangan Prostetik Dengan Metode
Quality Function Deployment Dan Reverse
Engineering

Nama : **Daniel Risfan Mulyono**

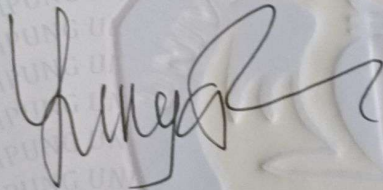
Nomor Pokok Mahasiswa : 2015021095

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

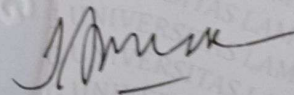
Komisi Pembimbing 1



Prof. Dr. Eng. Survadiwansa Harun, S.T.,M.T.

NIP 197005012000031001

Komisi Pembimbing 2



Dr. Jamiatul Akmal, S.T.,M.T.

NIP 196908011999031002

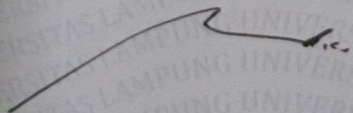
MENGETAHUI

Ketua Jurusan

Teknik Mesin

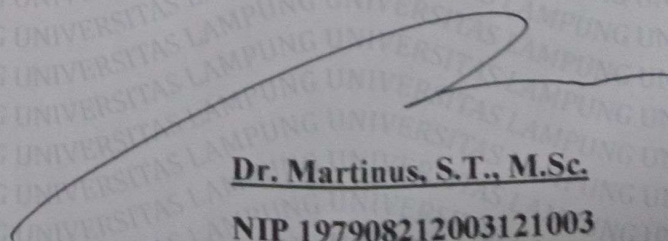
Kepala Program Studi

S1 Teknik Mesin



Ahmad Su'udi, S.T.,M.T.

NIP 197408162000121001



Dr. Martinus, S.T., M.Sc.

NIP 197908212003121003

MENGESAHKAN

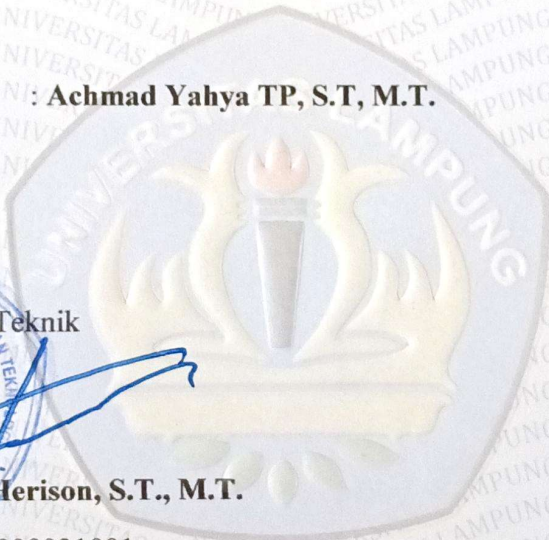
1. Tim Penguji

Ketua Penguji : Prof. Dr. Eng. Suryadiwansa H., S.T., M.T.

Anggota Penguji : Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T.

Penguji Utama : Achmad Yahya TP, S.T., M.T.

2. Dekan Fakultas Teknik

  ~~Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T.~~

NIP. 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **23 Desember 2025**

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Saya Daniel Risfan Mulyono dengan ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul "RANCANG BANGUN TANGAN PROSTETIK DENGAN METODE QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT DAN REVERSE ENGINEERING" dibuat sendiri oleh penulis dan bukan hasil plagiat siapapun sebagaimana diatur dalam pasal 27 Peraturan Akademik Universitas Lampung dengan Surat Keputusan Rektor Nomor 3187/H26/DT/2010.

Bandar Lampung, 10 Febuari 2026

Penulis,



DANIEL RISFAN MULYONO

NPM. 2015021095

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Tanjung Karang, Bandar Lampung pada tanggal 3 April 2000 sebagai anak kedua dari tiga bersaudara, dari pasangan bapak Saferi dan ibu Theresia.

Pendidikan yang dijalani pertama kali yaitu di Fransiskus 1 Bandar Lampung sejak masa taman kanak-kanak pada tahun 2005. Melanjutkan Sekolah Dasar (SD) pada tahun yang sama hingga lulus pada tahun 2012. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Pertama (SMP) Fransiskus 1 Bandar Lampung sejak tahun 2012 dan lulus pada tahun 2015. Setelah kelulusan, penulis belajar sejak tahun 2015 hingga kelulusan pada tahun 2018 di Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) Negeri 2 Bandar Lampung. Setelah lulus Sekolah Menengah Kejuruan (SMK), penulis memiliki minat dalam pengetahuan di Teknik Mesin dan melanjutkan pendidikan di Universitas Lampung pada tahun 2019. Penulis mengikuti Program Studi Strata 1 Teknik Mesin dengan mengambil bidang Produksi. Dalam proses mengambil pengalaman kerja, penulis melakukan kegiatan Kerja Praktik di CV KARYA JAYA LESTARI Lampung Selatan pada tahun 2023 dan mengambil penelitian dengan judul “Analisis Kekuatan Chasis Mixer Pengaduk Pakan Ternak 720 - 16 Dengan Metode Analisis Hingga Cv Karya Jaya Lestari”. Kemudian pada tahun 2024, penulis melakukan penelitian Tugas Akhir dengan judul “Rancang Bangun Tangan Prostetik Dengan Metode Quality Function Deployment Dan Reverse Engineering” dibawah bimbingan Bapak Prof. Dr. Eng. Suryadiwansa Harun, S.T., M.T. sebagai pembimbing pertama dan Bapak Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T. sebagai pembimbing kedua.

PERSEMBAHANAN

Segala puji syukur penulis panjatkan hanya kepada Tuhan yang maha Esa atas kelimpahan berkat, anugrah, dan kasih sayang-Nya hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi ini saya persembahkan untuk diri saya sendiri yang telah berjuang dan berusaha bahwa saya bisa menyelesaikan skripsi ini. Terimakasih atas perjuangannya.

Saya persembahkan juga skripsi ini kepada kedua orang tua serta kakak dan adik saya yang selalu mendukung, berjuang, dan berkorban untuk diri saya. Terimakasih atas semua kepercayaan, doa dan dukungannya baik berupa moril maupun materi yang kalian berikan.

Serta untuk semua orang yang telah menyayangiku dan berjalan bersamaku, dan untuk teman-teman yang telah berbagi keluh kesah serta suka dan duka selama perkuliahan ini. Terimakasih untuk semuanya.

MOTTO

“Jadilah Seperti Garam”

(Matius 5:13)

“One day I’am gonna grow wings”

(Radiohead)

SANWACANA

Puji syukur dipanjatkan kepada Tuhan yang maha esa, penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan kelancaran. Shalawat serta salam dijunjungkan kepada Baginda Rasulullah SAW yang memberikan tuntunan dan syafaat kepada umatnya agar berada pada jalan yang lurus. Skripsi ini disusun untuk memenuhi kebutuhan penyelesaian tugas akhir dan sebuah karya tulis ilmiah. Skripsi ini juga merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Harapannya dengan skripsi ini dapat memajukan teknologi terkait pengembangan pengering jagung di skala industri kecil dan menengah serta menjadi wawasan serta ilmu yang bermanfaat dalam kemajuan teknologi di Indonesia.

Penyelesaian skripsi ini dapat dilakukan dengan bimbingan, dukungan dan arahan dari semua pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua, Bapak Saferi dan Ibu Theresia yang telah membesarkan penulis dengan penuh rasa sayang dengan bimbingan dan usaha serta doa yang selalu terpanjatkan dalam segala kegiatan.
2. Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T. M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung beserta staff dan jajarannya.
3. Ahmad Su'udi, S.T.,M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Dr. Martinus, S.T., M.Sc. selaku Ketua Prodi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
5. Prof. Dr. Eng. Suryadiwansa Harun, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T. yang banyak memberikan ilmu terkait penelitian skripsi dan dukungan dalam penyelesaiannya.

6. Achmad Yahya TP, S.T, M.T. atas masukan dan saran dalam berjalannya penelitian dalam seminar.
7. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung atas ilmu pengetahuan yang telah disampaikan.
8. Kakak kandung Fransiska Dina, dan adik kandung Dinadra Putri Indra yang selalu memberi dukungahn dan arahan.
9. Pemimpin CV Sumber Alam dan sekaligus karyawan CV Sumber Alam yang telah membantu penelitian.
10. Pradipta Priandaru, S.T., Reza Aditya Saputra, S.T., Daniel Risfan Mulyono, Budro Gerung, dan Calvin Andyansa Falah, S.T. yang telah membantu materi dan non-materi selama proses penelitian.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu atas dukuungannya.

Penulis menyadari kekurangan dalam skripsi ini dengan harapan masukan dan saran dari berbagai pihak dalam penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua orang.

Bandar Lampung, 10 Febuari 2026

Penulis,

DANIEL RISFAN MULYONO

NPM. 201521095

DAFTAR ISI

	Halaman
BAB I PENDAHULUAN	5
1.1. Latar Belakang.....	5
1.2. Rumusan Masalah.....	7
1.3. Tujuan Penelitian.....	8
1.4. Manfaat Penelitian	8
1.5. Batasan Masalah	8
1.6. Sistematika Penulisan	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1. Telapak Tangan	10
2.1.1. Tulang Telapak Tangan	10
2.1.2. Fungsi Telapak Tangan.....	11
2.2. Tulang Jari (<i>Phalanx</i>)	11
2.3. Gerakan Jari Tangan	12
2.4. Tangan Prostetik.....	14
2.5. <i>Quality Function Deployment</i> (QFD).....	15
2.6. <i>Reverse Engineering</i>	16
2.7. <i>3D Printing</i>	17
2.8. <i>3D Scanner</i>	19
BAB III METODE PENELITIAN	20
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	20
3.2. Alat dan Bahan	20
3.3. Diagram Alir Penelitian	22
3.4. Analisis Kebutuhan Pengguna.....	24
3.4.1 <i>Quality Function Deployment</i>	24
3.4.2 Membangun Konsep dan Pemilihan Konsep Tangan Prostetik.	25
3.5. Embodiment Desain.....	27
3.5.1 Pemilihan Komponen	27
3.5.2 Pemodelan Berdasarkan <i>Reverse Engineering</i>	27
3.5.3 Pembuatan pemodelan 3D	28
3.5.4 Prototyping.....	28
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	29

4.1	Analisis Kebutuhan Pengguna.....	29
4.1.1	Analisis Hubungan Keinginan Pengguna Dan Persyaratan Teknis.....	29
4.2	Membangun Konsep Desain	37
4.2.1	Konsep 1 Linkage.....	38
4.2.2	Konsep 2 Roda Gigi (<i>Gear</i>).....	40
4.2.3	Konsep 3 Mekanisme Kabel (<i>Cable-Driven Mechanism</i>).....	43
4.3	Pemilihan Konsep Desain	44
4.4	Pengembangan Komponen Berdasarkan Reverse Engineering	49
4.4.1	<i>Reverse Engineering</i> Mekanisme Gerak Jari.	49
4.4.2	Modifikasi distal dan ruas jari.....	54
4.4.3	Reverse Engineering Ibu Jari.	56
4.4.4	Modifikasi Telapak Tangan.	58
4.4.5	Modifikasi Pegelangan dan Lengan Tangan.	59
4.5	Pemilihan Komponen.....	63
4.6	Pembuatan Desain Tangan Prostetik	69
4.6.1	Jari – Jemari jemari (<i>distal, intermediate, proximal</i>)	70
4.6.2	Ibu Jari (<i>Thumb</i>)	79
4.6.3	Pemasangan Komponen Jari Pada Telapak Tangan	84
4.6.4	Lengan Tangan	88
4.7	Prototyping.....	96
4.8	Pengujian Kekuatan Genggam Tangan Prostetik	99
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		101
5.1	Kesimpulan.....	101
5.2	Saran	102

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Tangan Prostetik Mekanik	5
Gambar 2.1 Bagian Tulang Telapak Tangan (Maw et al., 2016)	12
Gambar 2.2 Gerakan Jari Tangan (Maw et al., 2016).....	13
Gambar 2. 3 Tangan Prostetik (Kyberd et al., 2022)	14
Gambar 2.4 House of Quality (Leo Sobrinho, 2013)	15
Gambar 2.5 Proses reverse engineering.....	16
Gambar 2.6 Proses Pencetakan 3D <i>Printing</i>	18
Gambar 3. 1 Spesifikasi Komputer.....	20
Gambar 3. 2 3D printing dan filamen Esun	21
Gambar 3.3 <i>Alat pemindaian</i> 3D Creality.....	22
Gambar 4.1 Rancangan Konsep 1 <i>Linkage</i>	38
Gambar 4.2 Rancangan Konsep 2 Roda Gigi.....	41
Gambar 4.3 Rancangan Konsep 3 meknisme kabel.	43
Gambar 4.4 Desain tangan prostetik oleh Luca Delbarba, 2022.	49
Gambar 4.5 Referensi reverse engineering desain tangan prostetik.	50
Gambar 4.6 Perakitan motor <i>servo</i> dan modul ADS ke rumah <i>servo</i>	51
Gambar 4.7 Pemasangan motor <i>servo</i> pada telapak tangan.	52
Gambar 4.8 A) Referensi mekanisme linkage oleh Luca Delbarba (2022). B) <i>Reverse Engineering</i> mekanisme linkage.	52
Gambar 4.9 A). Menunjukkan penempatan posisi mekanisme oleh Luca Delbarba (2022). B). Menunjukkan penempatan posisi mekanisme setelah <i>reverse</i> <i>engineering</i>	54
Gambar 4.10 Peletakan FSR dan kabel FSR pada ruas jari.	55
Gambar 4.11 <i>Reverse engineering</i> bagian distal.	55
Gambar 4.12 <i>Reverse engineering</i> ibu jari dari referensi desain oleh Luca Delbarba, 2022.....	57
Gambar 4.13 Penempatan motor servo ibu jari.	57
Gambar 4.14 <i>Reverse engineering</i> telapak tangan.	58
Gambar 4.15 Kontur permukaan telapak tangan prostetik.....	59

Gambar 4.16 Peletakan motor servo pergelangan tangan desain Luca Delbarba (2022).	60
Gambar 4.17 Modifikasi penempatan motor servo telapak tangan.	60
Gambar 4.18 Penempatan komponen elektrik pada lengan tangan.	62
Gambar 4.19 Motor servo	63
Gambar 4.20 Modul Raspberry pi zero 2 w.	64
Gambar 4.21 <i>Force Sensing Resistor</i> (FSR) dan Modul ADS1115 16Bit.	65
Gambar 4.22 Servo Driver PCA9685 v18.	66
Gambar 4.23 Type C <i>Charging Module</i> .	68
Gambar 4.24 USB Sound Card.	69
Gambar 4.25 A.) Panjang linkage jari telunjuk. B.) Panjang linkage jari tengah. C.) Panjang linkage jari manis. D.) Panjang linkage jari kelingking.	71
Gambar 4.26 Sudut linkage jari telunjuk sebelum bergerak.	72
Gambar 4.27 A). Menunjukkan komponen jari telunjuk sebelum bergerak. B). Komponen jari telunjuk sesudah bergerak.	73
Gambar 4.28 A). Menunjukkan komponen jari tengah sebelum bergerak. B). Komponen jari tengah sesudah bergerak.	74
Gambar 4.29 A). Menunjukkan komponen jari manis sebelum bergerak. B). Komponen jari manis sesudah bergerak.	75
Gambar 4.30 A). Menunjukkan komponen jari kelingking sebelum bergerak. B). Komponen jari kelingking sesudah bergerak.	76
Gambar 4.31 Peletakan sensor FSR dan kabel tembaga.	77
Gambar 4.32 Panjang <i>linkage</i> ibu jari.	80
Gambar 4.33 A). Menunjukkan komponen metakarpal ibu jari sebelum bergerak. B). Komponen metakarpal ibu jari sesudah bergerak.	81
Gambar 4.34 A). Menunjukkan komponen metakarpal ibu jari sebelum bergerak. B). Komponen metakarpal ibu jari sesudah bergerak.	82
Gambar 4.35 Pemasangan bearing pada metakarpal ibu jari.	84
Gambar 4.36 Pemasangan jari – jemari pada telapak tangan.	85
Gambar 4.37 <i>Cassing</i> telapak tangan dan punggung tangan.	85
Gambar 4.38 Pemindaian 3D lengan tangan menggunakan alat pemindaian 3D Creality.	88

Gambar 4.39 Hasil pemindaian 3D lengan tangan.	89
Gambar 4.40 Pembuatan soket lengan tangan prostetik.	89
Gambar 4.41 Lengan tangan prostetik.	90
Gambar 4.42 Sudut linkage pergelangan tangan.	90
Gambar 4.43 Pemasangan telapak tangan pada lengan tangan.	91
Gambar 4.44 Pemasangan <i>casing</i> pelindung lengan tangan prostetik.	91
Gambar 4.45 <i>Rendering</i> desain tangan prostetik.	92
Gambar 4.46 Hasil <i>slicing</i> komponen tangan prostetik.	97
Gambar 4.47 Proses pencetakan 3D <i>printing</i>	97
Gambar 4.48 Pemasangan <i>socket hex bolt</i> dan <i>heat insert</i> M3 pada komponen tangan prostetik.	98
Gambar 4.49 Tangan prostetik mencengkram cup berisi air.	99
Gambar 4.50 Tangan prostetik mencengkram botol berisi air.	99

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 <i>House of Quality</i>	30
Tabel 4.2 Penilaian Konsep.....	45
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Dimensi Komponen Linkage Jari Prostetik.	70
Tabel 4.4 <i>Bill of Material</i> jari telunjuk, jari tengah, jari manis, dan jari kelingking.	78
Tabel 4.5 <i>Bill of Material</i> komponen ibu jari.....	82
Tabel 4.6 <i>Bill of Material</i> komponen telapak tangan prostetik.	86
Tabel 4.7 <i>Bill of Material</i> komponen lengan tangan prostetik.....	92

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kehilangan tangan akibat amputasi merupakan sebuah kejadian yang traumatis yang berdampak signifikan pada kehidupan individu seperti hilangnya rasa percaya diri dan keterbatasan dalam melakukan aktivitas sehari-hari. Penelitian yang dilakukan oleh Skoff, dkk. (Skoff, 2022) menunjukkan bahwa pasien yang mengalami amputasi memiliki dampak berupa gangguan psikologis seperti depresi, gangguan kecemasan dan stress pascatrauma. Solusi terbaik untuk mengembalikan fungsi tangan dan kepercayaan diri pasien adalah dengan menggunakan tangan prostetik.

Tangan prostetik adalah tangan buatan yang memiliki dua jenis berdasarkan fungsinya. Pertama, tangan prostetik kosmetik dirancang untuk terlihat seperti tangan asli. Kedua, tangan prostetik mekanik (lihat Gambar 1) dirancang untuk bergerak dengan gerakan mekanik untuk menyerupai gerakan tangan manusia normal. Kekurangan tangan prostetik kosmetik adalah tidak memiliki kemampuan bergerak seperti tangan manusia normal. Untuk membantu kebutuhan fungsi tangan dari pengguna yang mengalami amputasi, maka tangan prostetik mekanik penting untuk dikembangkan.



Gambar 1.1 Tangan Prostetik Mekanik

Pengembangan tangan prostetik mekanik telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Putra dkk. (Putra, 2020) melakukan pengembangan prostetik ini menggunakan sensor otot yang biasa disebut *prosthesis electromyogram* (EMG), dimana elektroda digunakan untuk membaca aktivitas otot tangan dan mengubahnya menjadi sinyal *myoelectric*. Hanya saja jenis tangan prostetik ini harganya cukup tinggi. Selain itu, tidak semua pasien amputasi mempunyai otot yang cukup kuat untuk mendeteksi sinyal elektroda EMG. Penelitian yang dilakukan oleh Hochberg dkk. (Hochberg, 2012) melakukan pengembangan tangan prostetik dengan menggunakan sensor *Brain Computer Interface* (BCI), dimana sistem kontrol ini menggunakan gelombang otak yang dibaca oleh sensor *Elektroensefalografis* (EEG) dan menerjemahkannya menjadi perintah gerak. Hanya saja jenis tangan prostetik ini memerlukan prosedur bedah *kraniotomi* untuk menanamkan elektroda pada korteks motoric.

Salah satu pilihan tangan prostetik yang dapat dikembangkan karena tanpa memerlukan prosedur operasi berisiko tinggi dan harga yang relatif lebih terjangkau adalah tangan prostetik dengan metode perintah suara. Penelitian yang dilakukan oleh Abdul-nafa, dkk. (Abdul-nafa, 2023) melakukan pengembangan tangan prostetik berbasis perintah suara dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) menggunakan *Google Assistant* terbukti efektif dibandingkan dengan metode konvensional seperti *electromyography* (EMG) dan *mechanomyography* (MMG) yang cenderung mahal. Namun sistem ini sangat bergantung pada koneksi internet serta akurasi pengenalan suara pengguna masih cenderung rendah terlebih lagi pada kata-kata yang mirip secara fonetik. Penelitian yang dilakukan oleh (Surya dkk., 2022) menggunakan *arduino UNO* sebagai mikrokontroler dan juga sensor *FSR* (*Force Sensitive Resistor*) sebagai umpan balik dari benda yang akan digenggam menunjukkan bahwa pergerakan tangan dapat mengikuti keinginan pengguna. Metode perintah suara menawarkan solusi yang lebih adaptif dan dapat digunakan oleh pasien dengan keterbatasan aktivitas otot sehingga penggunaan perintah suara menjadi alternatif yang lebih inklusif dan dapat diakses oleh lebih banyak pengguna.

Metode perintah suara juga diterapkan dalam penelitian ini hanya saja berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Abdul-nafa, dkk. dan Sanchez, dkk yang menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT), dalam penelitian ini digunakan teknologi *speech-to-text* (STT) menggunakan Raspberry Pi Zero 2 W yang berfungsi sebagai otak dari sistem ini, menyediakan kekuatan pemrosesan yang cukup untuk menangani pengenalan suara dan pengolahan data sensor secara real-time tanpa memerlukan koneksi internet. Berbeda dengan penelitian sebelumnya (Luca Delbarba, 2022), dalam penelitian ini, penulis memfokuskan pada rancang bangun bentuk prostetik. Metode desain yang digunakan adalah metode *Quality Function Deployment* (QFD), yaitu suatu metode yang mengidentifikasi kebutuhan dan harapan pengguna tangan prostetik.

Metode QFD memungkinkan tim pengembang untuk memahami kebutuhan fungsional pengguna, seperti kenyamanan, keandalan, dan kemudahan penggunaan ke dalam desain teknis yang optimal. Dalam penelitian ini penerapan metode QFD menggunakan yang penelitian yang dilakukan oleh Susanto, dkk. (Susanto, 2020) untuk pengembangan tangan prostetik dan menerjemahkan kebutuhan konsumen kedalam respon teknis.

Untuk mengidentifikasi dan memprioritaskan kebutuhan pengguna menjadi spesifikasi teknis yang jelas, maka metode *reverse engineering* dipilih untuk memodifikasi desain produk tangan prostetik yang sudah ada. Dalam penelitian ini metode *reverse engineering* juga digunakan untuk mempelajari prinsip kerja produk tangan prostetik yang sudah ada. Metode *reverse engineering* mempercepat proses desain, meningkatkan kualitas serta ergonomis, juga menghemat biaya pengembangan produk.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan di atas, maka rumusan masalah dalam skripsi ini adalah:

1. Bagaimana identifikasi kebutuhan dan harapan pengguna terhadap desain produk tangan prostetik?

2. Bagaimana menghasilkan model produk tangan prostetik yang efisien, fungsional, dan nyaman bagi pengguna?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dalam skripsi ini adalah rancang bangun (prototype) bentuk tangan prostetik menggunakan metode Quality Function Deployment dan Reverse Engineering.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian dalam skripsi ini adalah:

1. Memberikan pemahaman kebutuhan dan harapan pengguna tangan prostetik dengan lebih baik. Hasilnya akan membantu desainer untuk membuat produk yang lebih sesuai dengan keinginan pengguna.
2. Melalui penerapan metode *reverse engineering*, memungkinkan perbaikan desain prostetik tangan dengan mempelajari produk yang sudah ada, sehingga dapat menciptakan desain yang lebih efisien dan fungsional.
3. Meningkatkan kualitas hidup individu yang mengalami amputasi tangan dengan memberikan mereka alat bantu yang dapat membantu mereka untuk melakukan aktivitas sehari-hari dengan lebih mudah dan mandiri.

1.5. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian tidak membahas perancangan perintah suara dan perhitungan kinematika dari tangan prostetik, penelitian tersebut dilakukan oleh tim pengembang yang lain (Skripsi yang berbeda).
2. Gerakan jari telunjuk, jari tengah, jari manis, dan jari kelingking hanya meliputi gerakan *flexion* dan *extension*.
3. Gerakan ibu jari hanya meliputi gerakan *extension*, *flexion*, *opposition*, dan *retroposition*.
4. Desain dan pembuatan tangan prostetik untuk pasien yang mengalami amputasi amputasi transradial.

5. Gerakan tangan prostetik menggunakan sensor perintah suara. Gerakan tangan prostetik meliputi menggenggam, menjepit, dan menekan.

1.6. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

I. Pendahuluan

Pendahuluan yang menjelaskan secara garis besar latar belakang rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan batasan masalah.

II. Tinjauan Pustaka

Bab ini memuat teori mengenai hal-hal yang berkaitan dengan penelitian

III. Metode Penelitian

Bab ini terdiri atas waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, alur penelitian, metode penelitian, desain eksperimen, dan data yang akan diambil.

IV. Hasil dan Pembahasan

Bab ini berisikan informasi hasil dan pembahasan.

V. Simpulan dan Saran

Bab ini berisikan tentang kesimpulan serta saran yang dapat diambil atau diberikan setelah dilakukan dan mendapatkan hasil penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Telapak Tangan

Telapak tangan adalah bagian bawah dari tangan manusia yang berfungsi sebagai permukaan untuk menggenggam dan menyentuh. Telapak tangan terdiri dari kulit yang relatif tebal dan tidak berambut, serta dilengkapi dengan bantalan lemak untuk menyerap tekanan. Terdapat banyak ujung saraf di telapak tangan, menjadikannya sangat sensitif terhadap sentuhan dan tekanan. Di permukaan telapak tangan terdapat garis-garis kulit yang dikenal sebagai garis tangan, yang unik pada setiap individu dan sering digunakan dalam ilmu *dactyloscopy* untuk identifikasi. Fungsi utama telapak tangan adalah untuk memegang dan memanipulasi objek yang didukung oleh keberadaan jari-jari yang fleksibel dan kuat.

Bagian telapak tangan terdiri dari beberapa komponen yang saling berhubungan dan memiliki fungsi yang berbeda-beda. Berikut adalah penjelasan mengenai bagian-bagian telapak tangan:

2.1.1. Tulang Telapak Tangan

Karpal terdiri dari 8 tulang pendek yang berartikulasi dengan ujung distal ulna dan radius, serta dengan ujung proksimal dari tulang metacarpal. Tulang-tulang carpal ini adalah *scaphoid*, *lunatum*, *triquetrum*, *piriformis*, *trapezium*, *trapezoid*, *capitatum*, dan *hamatum*. Metakarpal terdiri dari 5 tulang yang terdapat pada pergelangan tangan dan bagian proksimalnya berartikulasi dengan distal tulang-tulang karpal. Setiap tulang metacarpal terdiri dari tiga bagian, yaitu basis, tengah, dan kepala.

Phalanx tulang-tulang jari yang terdiri dari dua *phalanx* di setiap ibu jari (*phalanx* proksimal dan distal) dan tiga di masing-masing jari lainnya (*phalanx* proksimal, intermediate, dan distal). Sendi engsel yang terbentuk antara tulang *phalanx* membuat gerakan tangan menjadi lebih fleksibel.

2.1.2. Fungsi Telapak Tangan

Gerakan motorik telapak tangan berfungsi untuk melakukan gerakan motorik kasar dan halus. Gerakan motorik kasar digunakan untuk mengambil benda besar atau melakukan pekerjaan berat, sedangkan gerakan motorik halus digunakan untuk melakukan tugas-tugas yang rumit seperti pekerjaan detail. Menggenggam tulang dan otot telapak tangan membentuk kerangka yang memungkinkan tangan untuk menggenggam benda dengan baik. Sentuhan telapak tangan berfungsi sebagai sentuhan atau rabaan, yang sangat penting dalam aktivitas sehari-hari.

Sentuhan telapak tangan berfungsi sebagai sentuhan atau rabaan, yang sangat penting dalam aktivitas sehari-hari. Untuk memahami fungsi telapak tangan secara menyeluruh, pembahasan kemudian dilanjutkan pada struktur jari-jari tangan yang menjadi bagian integral dalam menunjang peran telapak tangan.

2.2. Tulang Jari (*Phalanx*)

Tulang *phalanx* adalah tulang-tulang yang membentuk jari-jari tangan dan kaki manusia. Pada masing-masing tangan dan kaki, terdapat 14 tulang *phalanx*. Setiap jari terdiri dari tiga *phalanx*, kecuali ibu jari yang hanya memiliki dua. Berikut adalah rincian tulang *phalanx*:

1. *Phalanx* proksimal: Ini adalah tulang *phalanx* yang paling dekat dengan telapak tangan atau kaki. Setiap jari memiliki satu *phalanx* proksimal.
2. *Phalanx* tengah: Terletak di antara *phalanx* proksimal dan *phalanx* distal. Setiap jari, kecuali ibu jari, memiliki satu *phalanx* tengah.

3. *Phalanx* distal: Ini adalah tulang *phalanx* yang paling jauh dari telapak tangan atau kaki. Setiap jari memiliki satu *phalanx* distal.

Tulang-tulang *phalanx* ini berfungsi untuk memberikan struktur dan dukungan pada jari-jari, serta memungkinkan gerakan yang fleksibel dan presisi. Sendi-sendi antara *phalanx*, yang disebut sendi *intermediate phalanges*, memungkinkan gerakan membengkok dan meluruskan jari-jari. Kombinasi tulang, sendi, dan otot yang menggerakkan *phalanx* memungkinkan kita untuk melakukan berbagai aktivitas, mulai dari menggenggam benda kecil hingga melakukan gerakan yang kompleks dan halus.



Gambar 2.1 Bagian Tulang Telapak Tangan (Maw et al., 2016)

Kombinasi tulang, sendi, dan otot yang menggerakkan *phalanx* memungkinkan kita untuk melakukan berbagai aktivitas, mulai dari menggenggam benda kecil hingga melakukan gerakan yang kompleks dan halus. Struktur tulang ini menjadi dasar bagi gerakan jari tangan.

2.3. Gerakan Jari Tangan

Gerakan pada jari-jari tangan melibatkan berbagai jenis gerakan yang dikendalikan oleh otot-otot dan sendi-sendi yang kompleks. Berikut adalah penjelasan tentang berbagai jenis gerakan yang dapat dilakukan oleh jari-jari:

1. **Fleksi:** Gerakan menekuk jari-jari ke arah telapak tangan. Ini melibatkan otot-otot fleksor yang berada di bagian depan lengan bawah.

2. Ekstensi: Gerakan meluruskan jari-jari dari posisi fleksi. Ini melibatkan otot-otot ekstensor yang berada di bagian belakang lengan bawah.
3. Abduksi: Gerakan menjauhkan jari-jari dari garis tengah tangan (contohnya, merenggangkan jari-jari). Gerakan ini terutama dikendalikan oleh otot-otot interosei dorsalis.
4. Adduksi: Gerakan mendekatkan jari-jari ke garis tengah tangan contohnya, merapatkan jari-jari. Gerakan ini terutama dikendalikan oleh otot-otot interosei palmaris.
5. Opposisi: Gerakan ibu jari yang menyentuh ujung jari lainnya, memungkinkan genggam dan manipulasi objek. Ini adalah gerakan kompleks yang melibatkan beberapa sendi dan otot, termasuk otot *opponens pollicis*.
6. Reposisi: Gerakan mengembalikan ibu jari dari posisi oposisi ke posisi anatomi normal.



Gambar 2.2 Gerakan Jari Tangan (Maw et al., 2016)

Gerakan-gerakan ini memungkinkan jari-jari tangan melakukan berbagai fungsi, mulai dari gerakan halus seperti menulis dan menjahit hingga gerakan kuat seperti menggenggam dan mengangkat benda berat. Sendi-sendi yang terlibat dalam gerakan jari termasuk sendi metakarpal *phalanx* (antara tulang metakarpal dan *phalanx* proksimal), sendi inter *phalanx* proksimal (antara *phalanx* proksimal dan *phalanx* tengah), dan sendi inter *phalanx* distal (antara *phalanx* tengah dan *phalanx* distal). Kombinasi dari struktur anatomi ini memberikan fleksibilitas dan kekuatan yang dibutuhkan untuk berbagai aktivitas sehari-hari. Kombinasi dari struktur anatomi ini

memberikan fleksibilitas dan kekuatan yang dibutuhkan untuk berbagai aktivitas sehari-hari. Pemahaman mengenai gerakan jari tangan ini penting sebagai landasan dalam merancang perangkat prostetik, yang pengembangannya banyak menggunakan metode terstruktur seperti Quality Function Deployment (QFD).

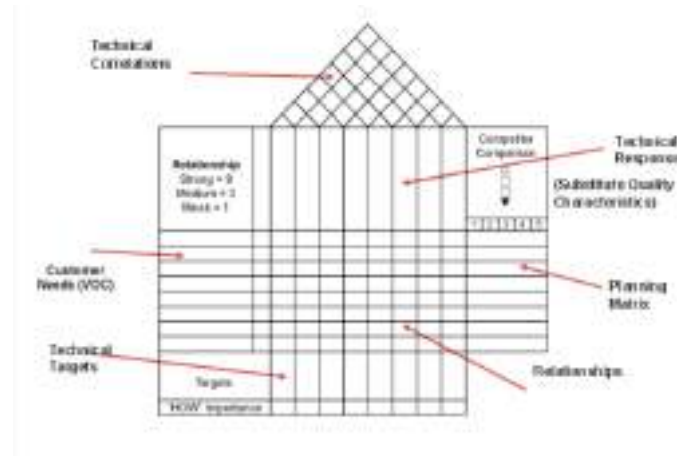
2.4. Tangan Prostetik



Gambar 2. 3 Tangan Prostetik (Kyberd et al., 2022)

Lengan prostetik adalah perangkat buatan yang dirancang untuk menggantikan fungsi dan penampilan lengan yang hilang atau tidak berfungsi. Terdiri dari beberapa komponen utama seperti soket, sistem suspensi, dan komponen terminal, lengan prostetik dapat berupa prostetik pasif yang berfungsi sebagai kosmetik atau prostetik mekanis yang digerakkan oleh kabel, hingga prostetik myoelektrik yang menggunakan sensor otot untuk menggerakkan motor di dalam prostetik. Inovasi teknologi telah memungkinkan lengan prostetik modern meniru gerakan alami lengan manusia, memberikan pengguna kemampuan untuk melakukan tugas-tugas sehari-hari dengan lebih mudah dan efisien, serta meningkatkan kualitas hidup mereka (Kyberd et al., 2022).

2.5. Quality Function Deployment (QFD)



Gambar 2. 4 House of Quality (Fajri Hasibuan, 2017)

Quality Function Deployment (QFD) adalah metode yang digunakan untuk mentransformasikan kebutuhan pelanggan menjadi spesifikasi teknis dalam proses pengembangan produk (Fajri Hasibuan, 2017). Metode ini berperan penting dalam memastikan bahwa setiap tahap desain dan produksi produk memenuhi ekspektasi pengguna akhir. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Chan dan Wu (2002), QFD telah terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas produk dan kepuasan pelanggan melalui penerapan struktur yang sistematis dalam pengambilan keputusan desain produk.

Berbagai studi telah menunjukkan bahwa penerapan QFD dalam berbagai industri, termasuk manufaktur dan jasa, dapat mengurangi waktu pengembangan produk dan biaya produksi. Dengan demikian, QFD tidak hanya membantu meningkatkan kualitas produk, tetapi juga mengoptimalkan efisiensi operasional perusahaan. Penerapan QFD dalam penelitian ini akan membantu memastikan bahwa setiap elemen desain produk memenuhi kebutuhan spesifik pengguna, yang pada akhirnya akan meningkatkan kepuasan dan daya saing produk di pasar (Nainggolan et al., 2023).

Berdasarkan ISO 16355-1:2021, metode QFD terdiri dari beberapa tahapan. Tahap pertama dimulai dengan mengidentifikasi kebutuhan konsumen yang

kemudian dikaitkan dengan kebutuhan teknis guna menghasilkan spesifikasi produk. Selanjutnya, tahap kedua yaitu pengembangan produk (part deployment), bertujuan untuk mengidentifikasi komponen atau rakitan serta menentukan kualitas, teknologi, biaya, dan fungsi dari masing-masing bagian. Tahap ketiga adalah perencanaan proses, yang berfokus pada penentuan alur produksi dan pengembangan kebutuhan peralatan produksi. Tahap terakhir adalah perencanaan produk, yang mencakup strategi penjualan, termasuk peluncuran awal, pengemasan, logistik, layanan pelanggan, dan pengelolaan siklus hidup produk setelah dijual.

2.6. *Reverse Engineering*

Reverse engineering pada dasarnya mengacu pada analisa suatu sistem melalui identifikasi komponen-komponennya dan keterkaitan antar komponen, serta mengekstraksi dan membuat abstraksi dan informasi perancangan dari sistem yang dianalisa tersebut. Dalam praktiknya, *reverse engineering* digunakan sebagai dasar untuk merancang produk baru yang serupa, dengan memperbaiki kelemahan dan meningkatkan kualitas produk yang sudah ada. Penggunaan dalam *reverse engineering* adalah proses membuat replika produk yang sudah ada. Optimalisasi desain adalah proses meningkatkan atau mengoptimalkan desain produk berdasarkan analisis produk sebelumnya (Furqon et al., 2021).



Gambar 2.5 Proses reverse engineering.

Reverse engineering dalam konteks teknologi CAD (*Computer-Aided Design*) mengacu pada proses memahami dan mereplikasi desain atau model 3D yang sudah ada. Berikut beberapa aspek khusus *reverse engineering* dalam teknologi CAD:

Pemindaian 3D (3D Scanning):

1. Pengumpulan Data Fisik: Menggunakan alat pemindai 3D untuk mengumpulkan data geometris dari objek fisik, seperti suatu produk atau prototipe.
2. Pemetaan Titik: Mengonversi data pemindaian menjadi titik-titik 3D yang dapat digunakan dalam perangkat lunak CAD.

Pemodelan Balik (*Reverse Modeling*):

1. Rekonstruksi Model: Membuat model CAD berbasis data pemindaian 3D untuk mereplikasi atau memodifikasi objek tersebut.
2. *Surface Reconstruction*: Membuat permukaan yang halus dan kontinu berdasarkan data titik dari pemindaian 3D.

Pengembangan Produk:

1. R&D (Penelitian dan Pengembangan): *Reverse engineering* dapat digunakan sebagai alat untuk memahami dan menganalisis produk pesaing atau teknologi yang ada.
2. Pembaruan Produk: Memahami produk yang sudah ada untuk melakukan pembaruan, perbaikan, atau penyesuaian sesuai dengan kebutuhan pasar baru.

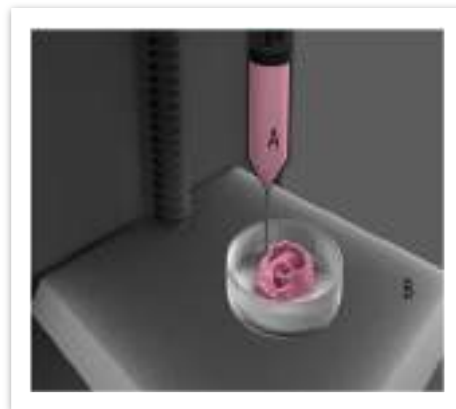
Perangkat Lunak CAD Terkait:

1. Integrasi dengan Perangkat Lunak CAD: untuk mengimpor data pemindaian dan membuat model 3D.
2. Modifikasi dan Perbaikan: Melakukan modifikasi pada model CAD yang dihasilkan, seperti penyesuaian desain atau perbaikan cacat yang terdeteksi.

2.7. 3D Printing

Teknologi *3D printing* telah menjadi alat yang semakin penting dalam bidang manufaktur dan rekayasa, terutama dalam pembuatan prototipe dan produk

akhir dengan tingkat detail dan akurasi yang tinggi. 3D printing memungkinkan pembuatan objek dengan geometri kompleks yang sulit atau tidak mungkin dilakukan dengan teknik manufaktur tradisional. Dalam konteks pengembangan prostetik, 3D printing memberikan fleksibilitas dalam desain dan kemampuan untuk menyesuaikan prostetik dengan kebutuhan individual pengguna. Ini termasuk pembuatan komponen yang ringan namun kuat, serta penyesuaian ukuran dan bentuk yang spesifik untuk kenyamanan dan fungsionalitas yang optimal. Dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.6 Proses Pencetakan 3D *Printing*
(Jammalamadaka dan Tappa, 2018)

Seiring berkembangnya teknologi, 3D printing telah memainkan peran penting dalam pembuatan prostetik yang lebih personalisasi dan ekonomis. Teknologi ini memungkinkan pengurangan waktu dan biaya produksi, yang sering kali menjadi kendala utama dalam pengembangan prostetik tradisional. Selain itu, 3D printing menawarkan kemampuan untuk menciptakan struktur yang lebih kompleks dan biologis realistis, seperti jaringan pori-pori pada permukaan prostetik untuk meningkatkan integrasi dengan jaringan biologis pengguna (Jammalamadaka dan Tappa, 2018). Studi oleh Zuniga et al. (2015) menunjukkan bahwa penggunaan 3D printing dalam desain tangan prostetik memungkinkan adaptasi cepat terhadap perubahan kebutuhan pengguna, serta kemampuan untuk melakukan iterasi desain yang cepat tanpa memerlukan proses produksi yang mahal.

2.8. 3D Scanner

Pemindai 3D (3D Scanner) adalah perangkat yang digunakan untuk menganalisis objek dunia nyata atau lingkungan untuk mengumpulkan data tentang bentuk dan mungkin penampilan objek tersebut. Data yang dikumpulkan kemudian digunakan untuk membuat model digital tiga dimensi dari objek yang dipindai. Pemindai 3D bekerja dengan berbagai teknologi seperti laser, cahaya struktural, atau fotogrametri, yang memungkinkan mereka untuk menangkap detail yang sangat akurat dan halus dari objek dalam berbagai ukuran dan bentuk. Teknologi pemindai 3D memiliki berbagai aplikasi di banyak bidang. Dalam industri manufaktur dan rekayasa, pemindai 3D digunakan untuk desain produk, *reverse engineering*, dan kontrol kualitas. di bidang medis, teknologi ini membantu dalam pembuatan prostetik yang sesuai dengan bentuk tubuh pasien atau dalam perencanaan bedah.

Keunggulan utama pemindai 3D adalah kemampuannya untuk menangkap data secara cepat dan akurat, yang kemudian dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut, simulasi, atau produksi. Ini mempercepat proses pengembangan produk dan mengurangi kebutuhan untuk prototipe fisik yang mahal. Selain itu, model digital yang dihasilkan dapat dengan mudah dimodifikasi, dibagikan, dan diintegrasikan ke dalam alur kerja digital lainnya, memberikan fleksibilitas dan efisiensi yang lebih tinggi dalam berbagai aplikasi (Cruz et al., 2023)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun tempat dan waktu penelitian adalah sebagai berikut:

1. Tempat

Adapun tempat pelaksanaan penelitian ini dilaksanakan dilaboratorium CNC Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.

2. Waktu

Waktu penelitian ini berlangsung kurang lebih selama tiga bulan (Januari – Maret 2024). Adapun uraian waktu kegiatan adalah sebagai berikut:

3.2. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Komputer

Komputer digunakan untuk memproses seluruh data penelitian perancangan tangan prostetik. Adapun spesifikasi yang dimiliki komputer dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3. 1 Spesifikasi Komputer

2. *Software SolidWorks 2023*

Aplikasi SolidWorks digunakan untuk pembuatan komponen-komponen model 3d tangan prostetik, penyatuan dan penggabungan komponen-komponen tangan prostetik, dan *motion study* untuk mengetahui desain dan kompone-komponen yang sesuai agar desain tangan prostetik dapat berfungsi dengan optimal.

3. *3D Print dan Filamen*

Adapun perangkat 3D *printing* yang digunakan pada penelitian ini adalah Sermoon D1 dan filammen yang digunakan pada penelitian ini adalah filament PLA Esun warna kulit (*skin*).



Gambar 3. 2 3D printing dan filamen Esun

4. *Alat Pemindai 3d dan Cr Studio*

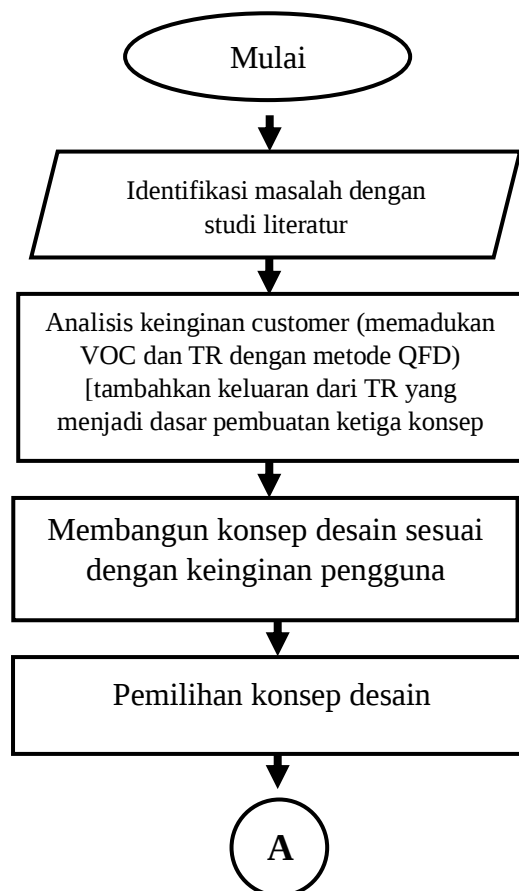
Peralatan pemindai 3D yang digunakan adalah jenis Creality CR-10 yang memiliki fitur untuk melakukan pemindaian anggota tubuh (*body scan*). Gambar 3.5 dibawah ini merupakan *Alat pemindaian* 3D Creality. Hasil pemindaian 3D yang telah didapadatkan akan dikirim menuju CR Studio. Dari software ini kita mendapatkan file yang berbentuk stl (*Stereolithography* atau *Standard Tessellation Language*) yang nantinya akan di export di perangkat lunak Solidworks 2023. Gambar 3.6 dibawah merupakan tampilan software CR Studio.

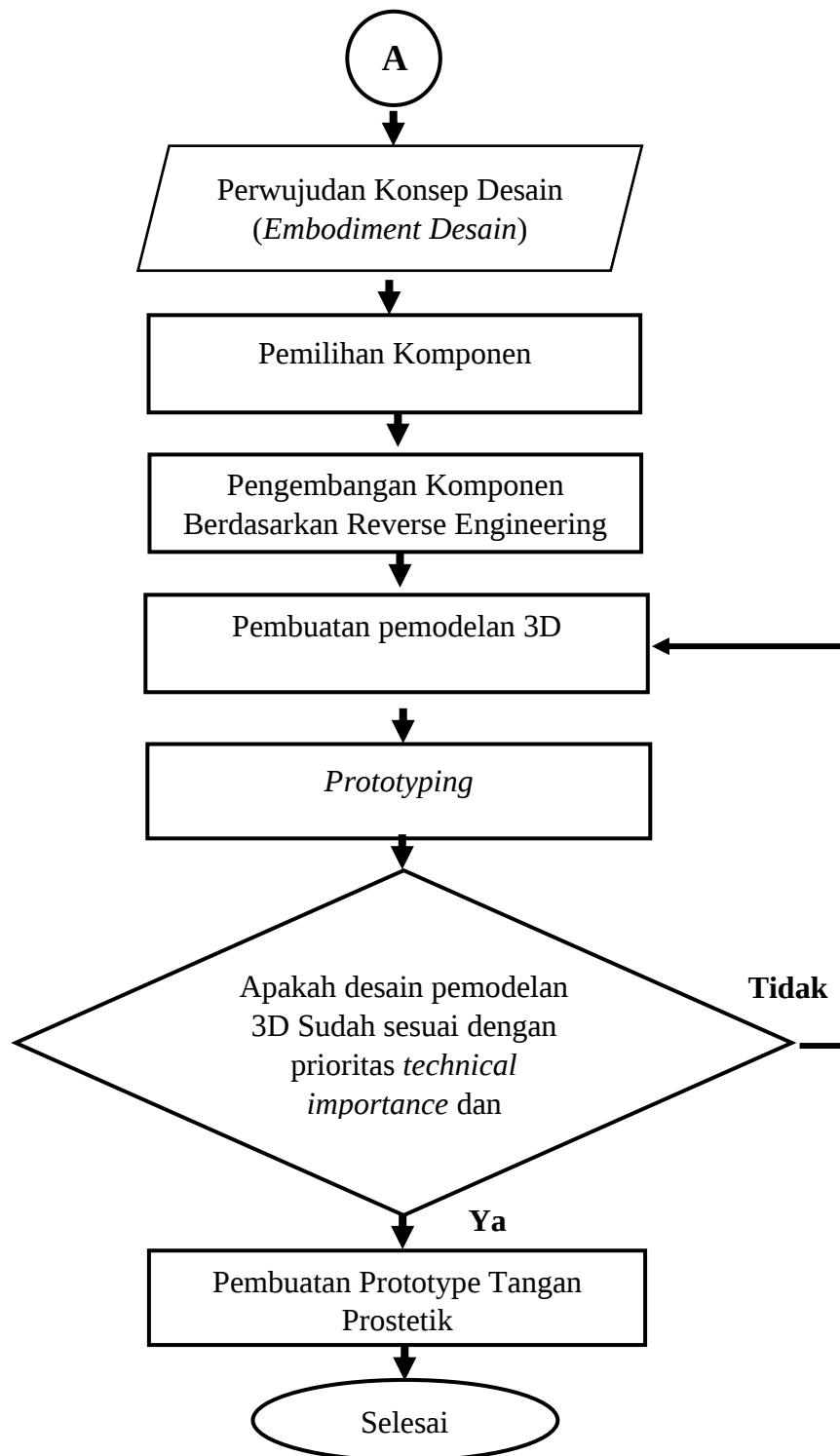


Gambar 3.3 Alat pemindaian 3D Crealiti

3.3. Diagram Alir Penelitian

Adapun alur penelitian dalam bentuk *flowchart* dapat dilihat pada gambar di bawah ini:





3.4. Analisis Kebutuhan Pengguna

3.4.1 Quality Function Deployment.

Pembuatan tangan prostetik diawali dengan memahami cara kerja dan proses pendesainan tangan prostetik melalui studi literatur dari penelitian dan produk yang sudah ada. Setelah memahami cara kerja dari tangan prostetik maka dapat dilakukannya analisis keinginan pengguna dengan memadukan *Voice of Customer* dan *Technical Requirement* dengan menggunakan metode *Quality Function Deployment*. Data *Quality Function Deployment* yang digunakan pada penelitian didapat dari penelitian yang sudah dilakukan oleh Susanto (2020). Data yang digunakan dari penelitian tersebut berupa data *Voice of Customer* dan *Technical Requirement* dengan mengumpulkan informasi langsung dari responden melalui survei. *Voice of Customer* dan *Technical Requirement* dapat dilihat pada tabel 3.1 dan tabel 3.2.

Tabel 3.1 *Voice of Customer*

Kebutuhan	Importance
Akurasi genggaman untuk objek kecil	4.5
Kesesuaian bentuk	4.5
Berat produk	4.5
Rigiditas	4.0
Kemampuan mencengkram	4.0
Variasi dalam fungsi tangan	3.5
Penyesuaian lebar genggaman ibu jari	3.5
Fleksibilitas sendi pergelangan tangan	3.5

Tabel 3.2 *Technical Requirement*

<i>Technical Requirement</i>
Modifikasi Bentuk Telapak Tangan
Penyesuaian material komponen
Mekanisme gerak
Penyesuaian antropometri
Penyesuaian morfologi tangan
Penambahan perintah
Latihan untuk pengguna

Dari data VoC dan TR diatas maka selanjutnya dapat dilakukan pengisian tabel *House of Quality* untuk mengetahui nilai hubungan antra *Voice of Custemer* dan *Technical Requirment*. Hubungan *importance* tersebut direpresentasikan dengan angka (simbol) seperti terlihat dalam tabel 3.3.

Tabel 3.3 Nilai Hubungan *Voice of Customer* dan *Technical Requirements*.

Simbol	Nilai	Definisi
	1	Hubungan lemah
	3	Hubungan moderat
	9	Hubungan sangat Kuat

Hasil data dari HoQ akan menghasilkan urutan nilai presentase *Technical Requirements* dari presentase terbesar sampai yang terkecil. Beberapa TR dengan nilai presentase tertinggi akan dipilih dan akan dijadikan acuan untuk membangun konsep tangan prostetik pada penilaian ini.

3.4.2 Membangun Konsep dan Pemilihan Konsep Tangan Prostetik.

Pemilihan konsep tangan prostetik harus mempresentasikan respon teknis (*Technical Requirment*) sebagai acuan dalam perancangan tangan prostetik. Selain itu, perancangan konsep tangan prostetik juga harus mempertimbangkan penempatan komponen elektrikal dan sensor *Force-sensing resistor* (FSR). Hal ini bertujuan agar sensor FSR yang menjadi sensor kontrol kekuatan cengkraman tangan prostetik dapat berkontak langsung dengan benda uji.

Matriks penilaian konsep akan digunakan untuk mendapatkan model desain tangan prosetik yang paling ideal yang saat tangan prostetik diproduksi sampai di gunakan oleh pengguna. Matriks penilaian konsep dapat dilihat pada table 3.3.

Tabel 3.4 Matriks Penilaian Konsep

		Konsep					
		A		C		B	
Kriteria Pemilihan	Bobot, B(%)	Rating, R	Skor (B x R)	Rating, R	Skor (B x R)	Rating, R	Skor (B x R)
Total Skor							
Peringkat							

Dalam penelitian ini, kriteria pemilihan didapatkan dari spesifikasi teknis dan uji coba mekanisme gerak komponen jari oleh tim pengembang, misalnya kekuatan genggam, jumlah derajat kebebasan gerak, daya tahan material, dan sebagainya. Selain itu, bobot kriteria menunjukkan tingkat kepentingan setiap kriteria dalam mempengaruhi kinerja dan fungsi kerja tangan prostetik saat diproduksi maupun digunakan. Nilai bobot kriteria ditetapkan dengan presentase keseluruhan kriteria pemilihan. Contoh: kekuatan 0,4 (40%), kenyamanan 0,3 (30%), Biaya 0,2 (20%), dan sebagainya.

Rating dari setiap konsep menunjukkan nilai performa tiap alternative konsep terhadap kriteria tertentu. Nilai rating setiap konsep desain didapat melalui diskusi tim desain serta dipadukan dengan pendapat ahli di bidang desain dan produksi teknik. Nilai rating (R) konsep ditetapkan dengan menggunakan skala lebih halus dan menyempit, seperti:

- 1: Sangat buruk dibandingkan referensi
- 2: Buruk dibandingkan
- 3: Sama dengan
- 4: Lebih baik dari
- 5: Sangat baik dari

Nilai dari total skor didapatkan dari:

$$\text{Total Skor} = \Sigma \text{Skor} \dots \dots \dots (1)$$

Setelah total skor telah didapatkan, maka didapat peringkat yang menunjukkan konsep utama yang akan dijadikan focus utama desain tangan prostetik. Desain konsep mekanisme gerak tangan prostetik terpilih akan dilakukan perhitungan kinematika oleh tim pengembang Rayhandika. Hasil perhitungan kinematika akan menentukan dimensi mekanisme penggerak serta spesifikasi komponen elektrik yang akan digunakan pada penelitian ini.

3.5. Embodiment Desain

3.5.1 Pemilihan Komponen

Pemilihan komponen terdiri dari komponen yang dibuat dan komponen yang standar. Beberapa komponen tangan prostetik dapat dibuat sendiri oleh tim pengembang menggunakan alat *3D printing*, tetapi ada beberapa komponen yang dipilih melalui pembelian (komponen standar). Pemilihan komponen juga harus mempertimbangkan ukuran dimensi dan berat komponen agar memudahkan penempatan komponen pada tangan prostetik. Selain itu, pemilihan komponen dengan ukuran dimensi yang relatif kecil juga harus mempertimbangkan kekuatan dan fungsi kerja komponen tersebut.

3.5.2 Pemodelan Berdasarkan Reverse Engineering.

Pemodelan tangan prostetik dalam penelitian menggunakan metode reverse engineering terhadap model desain tangan prostetik yang sudah ada. Metode ini digunakan untuk memodifikasi dan memperbaiki desain tangan prostetik agar dapat memenuhi respon teknis teknis dari *House of Quality*. Untuk mendapatkan bentuk tangan prostetik yang sesuai dengan anatomi tangan penggunaannya, maka lengan tangan pengguna ditiru (*reverse engineering*) dengan

menggunakan 3D scanner. Dengan menggunakan metode *reverse engineering* diharapkan tangan prostetik yang akan dibuat dapat ditingkatkan fungsi kerjanya, mengurangi dimensi, serta mengurangi berat tangan prostetik.

3.5.3 Pembuatan pemodelan 3D

Pemodelan 3D tangan prostetik diawali dengan pemodelan jari tangan prostetik (dengan mempertimbangkan mekanisme gerakan jari). Dimensi jari tangan prostetik ditentukan berdasarkan mekanisme penggerak yang dihitung dari perhitungan kinematika (sudut gerak jari dan dimensi mekanisme gerak). Pemodelan 3D tangan prostetik juga harus mempertimbangkan toleransi dimensi pada setiap komponennya. Hal ini bertujuan agar mempermudah proses perakitan tangan prostetik. Selain itu, komponen statis dan dinamis harus diberikan toleransi yang berbeda. Toleransi dimensi pada komponen dinamis memiliki toleransi dimensi yang lebih besar dari komponen statis. Hal ini ditujukan agar memperkecil gaya gesek yang diakibatkan saat komponen tersebut bergerak secara terus menerus.

3.5.4 Prototyping

Desain tangan prostetik yang telah didapatkan selanjutnya akan dibuat *prototype*-nya melalui pencetakan 3D menggunakan mesin 3D printing. *Prototyping* akan digunakan untuk menguji unjuk kerja dari tangan prostetik melalui pengujian respon perintah suara dan pengujian tangan prostetik terhadap pembebanan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Rancang bangun Tangan prostetik dengan metode *Quality Function Deployment* dan *Reverse Engineering* telah dilakukan. simpulan yang dapat diberikan sebagai berikut:

Desain dan *prototype* tangan prostetik yang dikembangkan dengan *Quality Function Deployment* dan *Reverse Engineering* telah berhasil dibuat. Pengembangan tangan prostetik dalam konteks QFD yang telah berhasil dilakukan yaitu optimalisasi sudut pergerakan segmen jari, modifikasi kontur permukaan telapak tangan, dan penambahan motor servo pada segmen ibu jari yang dapat membuat ruas ibu jari dapat bergerak secara independen. Sedangkan pengembangan dalam aspek *reverse engineering* adalah berupa modifikasi ruas jari untuk pemasangan sensor FSR, penyesuaian penempatan motor servo untuk memperkecil dimensi telapak tangan, pembuatan slot lengan tangan untuk meningkatkan kenyamanan pengguna, dan penambahan sistem kendali berbasis perintah suara.

Dengan pengembangan yang sudah dilakukan diperoleh desain dan *prototype* tanga prostetik yang fungsional sehingga dapat meningkatkan kemudahan penggunaan serta memberikan dukungan bagi aktivitas sehari-hari pengguna.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dalam penelitian tangan prostetik ini sebagai berikut:

1. Sebaiknya melakukan peningkatan spesifikasi 3D *printing* agar mempersingkat waktu proses produksi.
2. Sebaiknya dilakukan pengujian kekuatan material terutama pada bagian mekanisme gerak (*linkage*) untuk mengetahui *Safety of Factor* (SoF) sebuah komponen.
3. Sebaiknya dilakukan pengujian langsung terhadap pasien amputasi transradial untuk mengetahui tingkat kenyamanan tangan prostetik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul-Nafa, A. D., Ahmed, S. S., Ahmed, Y. S., & Alsaydia, O. M. (2023). Control Robotic Hand Depending on Voice Commands and IoT. *Nano Biomedicine and Engineering*, 15(3), 288–295. <https://doi.org/10.26599/NBE.2023.9290028>
- Boothroyd, G. (1994). *Product design for manufacture and assembly*.
- Chan, L.-K., & Wu, M.-L. (2002). Quality function deployment: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 143, 463–497. www.elsevier.com/locate/dsw
- Cross, Nigel. (2005). *Engineering design methods: strategies for product design* (Vol. 3). Wiley.
- Cruz, R. L. J., Ross, M. T., Nightingale, R., Pickering, E., Allenby, M. C., Woodruff, M. A., & Powell, S. K. (2023). An automated parametric ear model to improve frugal 3D scanning methods for the advanced manufacturing of high-quality prosthetic ears. *Computers in Biology and Medicine*, 162. <https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2023.107033>
- Fajri Hasibuan, C. (2017). Perancangan Produk Tas Travel Multifungsi Dengan Menggunakan Metode Quality Function Deployment (QFD). *Jurnal Sistem Teknik Industri*, 19(1).
- Furqon, M., Rahayuningtyas, A., Hidayat, D. D., & Yuwana, Y. (2021). *Implementasi Reverse Engineering Pada Rancang Bangun Prototipe Rotary Joint Untuk Memasok Uap Panas Pada Mesin Double Drum Dryer the Implementation of Reverse Engineering on Rotary Joint Prototype Design for Supplying Hot Steam in Double Drum Dryer Machine*.
- Hochberg LR, Bacher D, Jarosiewicz B, Masse NY, Simeral JD, Vogel J, Haddadin S, Liu J, Cash SS, van der Smagt P, Donoghue JP. (2012) Reach and grasp by people with tetraplegia using a neurally controlled robotic arm. *Nature*. 2012 May 16;485(7398):372-5. doi: 10.1038/nature11076. PMID: 22596161; PMCID: PMC3640850.
- ISO 16355-1. (2021). General principles and perspectives of quality function deployment (QFD).
- Jammalamadaka, U., & Tappa, K. (2018). Recent advances in biomaterials for 3D printing and tissue engineering. In *Journal of Functional Biomaterials* (Vol. 9, Issue 1). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/jfb9010022>
- Josephine M. K., Rohit B., Army M. M., Janine M., Joseph J. C. (2024). The Passive Biomechanics of the Thumb Carpometacarpal Joint: An in Vitro Study. *J Biomech*. 2024 May; 168: 112129. doi:10.1016/j.jbiomech.2024.112129.

- Kyberd, P. J., Findlayson, D., Jayasuriya, M., & Chibante, F. (2022). A Strengthened and Sensorised Custom Silicone Glove for use with an Intelligent Prosthetic Hand. *Medical Engineering and Physics*, 107. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2022.103845>
- Lemeš S., NerminaZaimović U., Ernad B., Kenan V. (2019). Dimensional Accuracy and Tolerances in Additive Manufacturing. *Engineering Research Express*. ASAB&H CCII, DTS Volume 20, pp. 118-127.
- Luca Delbarba, 2022. Animation Robotic hand with five servos SG90. GrabCad. Project by Nerman Turkic [Robotic hand concept](https://grabcad.com/library/animation-robotic-hand-with-five-servos-sg90-ok-1). <https://grabcad.com/library/animation-robotic-hand-with-five-servos-sg90-ok-1>
- Maw, J., Wong, K. Y., & Gillespie, P. (2016). *Hand anatomy*. British Journal of Hospital Medicine, 77(3), C34–C40. <https://doi.org/10.12968/hmed.2016.77.3.C34>
- Minetola P., Calignano F., Galati M. (2019). Comparing Geometric Tolerance Capabilities of Additive Manufacturing Systems for Polymers. *Additive Manufacturing Journal*.
- Mohamad A. A.W., Siti A. A., Mohammad H. M., Chikamune W., Lila I. I. (2020). 3D Printed Robot Hand Structure Using Four-Bar Linkage Mechanism for Prosthetic Application. Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Universiti Putra Malaysia, Serdang, Seri Kembangan, Selangor 43400, Malaysia; mhm@upm.edu.my
- Nainggolan, M., Fransiscus, H., & Djulaini, D. A. (2023). Perancangan Sendi Lutut Prostetik untuk Penderita Amputasi Transfemoral di Indonesia. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 12(1), 65–80. <https://doi.org/10.26593/jrsi.v12i1.6207.65-80>
- Putra, A. K. (2020). *Rancang Bangun Tangan Postetik Menggunakan Flex Sensor Dan Modul Bluetooth Berbasis Arduino*. Universitas Sahid.
- Rohmatim T., Nurjannah. (2022). Analisis Seleksi Konsep Kriteria Desain Kemasan Keripik Singkong Terpilih Menggunakan Metode Matrik Pugh. *JUIT Vol 1 No. 3* September 2022 | P-ISSN: 2828-6936 E-ISSN: 2828-6901, Page 22-31.
- Surya, S., & Ramamoorthy, S. (2022). Assistive device to control prosthetic hand movements using machine learning approach. *International Journal of Health Sciences*, 6(S1), 1386-1396. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6nS1.4889>
- Susanto, N., Manik M., Ratna P., Wiwik B., Ahmad S. A. (2020). Defining Quality Function Deployment to Improve the Usability of Prosthetic Hand. *AIP Conference Proceedings* 2217, 030043. <https://doi.org/10.1063/5.0000984>.
- Skoff H, Skoff H. (2022) The Psychological and Somatic Consequences of Digital Amputation. *Plast Reconstr Surg Glob Open*. 2022 Jun 20;10(6): e4387. doi: 10.1097/GOX.0000000000004387. PMID: 35747254; PMCID: PMC9208886.

- Stefanelli E., Francesca C., Cosima G., Lorendana Z. (2023). Hand Prosthesis Sensorimotor Control Inspired by the Human Somatosensory System. *Robotics* 2023, 12, 136. <https://doi.org/10.3390/robotics12050136>
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2016). *Product design and development*. McGraw-Hill Education.
- Zuniga, J., Katsavelis, D., Peck, J., Stollberg, J., Petrykowski, M., Carson, A., & Fernandez, C. (2015). Cyborg beast: A low-cost 3d-printed prosthetic hand for children with upper-limb differences. *BMC Research Notes*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s13104-015-0971-9>