

Proses Manufaktur Lengan Protesis Berbasis Penggerak Kabel Harness Menggunakan Teknologi 3d Printing

Akhmad Zidni Hudaya^{a*}, Rochmad Winarso^a, Nafaqotur Rohman^a

^aProgram Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muria Kudus
Jl. Lkr. Utara, Kayuapu Kulon, Gondangmanis, Kec. Bae, Kabupaten Kudus, Jawa Tengah 59327

*E-mail: Akhmad.zidni@umk.ac.id

Abstract

This research highlights the challenges and solutions in the development of functional hand prostheses, especially for individuals with transradial amputations, who experience significant barriers in daily activities. The WHO states that 10% of the global population has a disability, with 80% of these in low-income countries. Arm and hand amputations cause major functional impairment and lower quality of life. Modern prostheses, while offering cosmetic and mechanical benefits, are often expensive and difficult to access in developing countries. This research explores the use of 3D printing and computer-aided design (CAD) technology to create more affordable and functional prostheses. In this study, the design process used Autodesk Inventor 2020 and Ultimaker Cura 5.7.1 for slicing (thin layers) and 3D printing of hand prostheses. Results showed time and dimensional deviations in printing that required process improvements to achieve better accuracy. A trial with one patient showed adequate basic functionality of the prosthesis, but it needs further customization to improve comfort and efficiency of use. This research emphasizes the importance of innovation and optimization in prosthesis design and production to meet users' needs and improve their quality of life.

Keywords: Arm Prosthesis, 3D Printing, Transradial Amputation

Abstrak

Penelitian ini menyoroti tantangan dan solusi dalam pengembangan protesis tangan yang fungsional, terutama bagi individu dengan amputasi transradial, yang mengalami hambatan signifikan dalam aktivitas sehari-hari. WHO menyatakan bahwa 10% dari populasi global memiliki disabilitas, dengan 80% di antaranya berada di negara berpenghasilan rendah. Amputasi lengan dan tangan menyebabkan gangguan fungsional yang besar dan menurunkan kualitas hidup. Protesis modern, meskipun menawarkan manfaat kosmetik dan mekanis, seringkali mahal dan sulit diakses di negara berkembang. Penelitian ini mengeksplorasi penggunaan teknologi pencetakan 3D dan desain berbantu komputer (CAD) untuk menciptakan protesis yang lebih terjangkau dan fungsional. Dalam penelitian ini, proses desain menggunakan Autodesk Inventor 2020 dan Ultimaker Cura 5.7.1 untuk slicing (lapisan tipis) dan pencetakan 3D protesis tangan. Hasil menunjukkan penyimpangan waktu dan dimensi dalam pencetakan yang memerlukan peningkatan proses untuk mencapai akurasi yang lebih baik. Uji coba dengan satu pasien menunjukkan fungsi dasar protesis yang memadai, tetapi perlu penyesuaian lebih lanjut untuk meningkatkan kenyamanan dan efisiensi penggunaan. Penelitian ini menekankan pentingnya inovasi dan pengoptimalan dalam desain dan produksi protesis untuk memenuhi kebutuhan pengguna dan meningkatkan kualitas hidup mereka.

Kata kunci: Lengan Protesis, 3D Printing, Amputasi Transradial

1. Pendahuluan

World Health Organization (WHO) menyatakan bahwa sekitar 10% dari populasi global, sekitar 650 juta orang, memiliki disabilitas atau cacat, termasuk kesulitan kognitif atau pembelajaran, dengan 80% dari mereka tinggal di negara-negara berpenghasilan rendah[1]. Jumlah individu yang mengalami kehilangan sebagian tubuh meningkat, menyebabkan biaya perawatan kesehatan yang besar. Penyebabnya termasuk trauma berat, kelainan bawaan, tumor, kecelakaan, dan berbagai penyakit medis seperti diabetes[2].

Hilangnya lengan dan tangan merupakan suatu kecacatan yang besar karena pada akhirnya menghalangi seseorang untuk meraih dan menggenggam, sehingga mengurangi kemampuannya untuk berfungsi secara mandiri sekaligus menurunkan kualitas hidup[3]. Amputasi ekstremitas atas lebih jarang terjadi dibandingkan amputasi ekstremitas bawah, biasanya 1 pasien ekstremitas atas per tahun untuk setiap 30 pasien ekstremitas bawah yang mengalami defisiensi[4].

Amputasi transradial bukan hanya kehilangan tangan, tapi juga mengganggu aktivitas sehari-hari. Sekitar 66% orang yang mengalaminya mengalami hambatan dalam berolahraga, hobi, dan pekerjaan rumah tangga. Banyak yang bahkan

harus berhenti bekerja karena tidak bisa menyesuaikan diri dengan tugas rutin[5]. Mayoritas orang yang diamputasi tidak terampil menggunakan prostesis. Menurut Pusat Statistik Kesehatan Nasional, 30–50% dari mereka tidak menggunakan prostesis secara teratur, karena kurangnya pendidikan, pelatihan, ketidaknyamanan, masalah kosmetik, dan biaya[6].

Prostesis untuk pasien dengan amputasi sebagian tangan beragam, mulai dari yang kosmetik hingga yang cekatan dan mekanis. Namun, di negara berkembang, prostesis yang canggih belum tersedia karena masalah kompleksitas, biaya, dan keahlian dalam pembuatannya. Prostesis yang ada di negara-negara berkembang sebelumnya telah diulas secara menyeluruh[7]. Secara umum, terdapat tiga jenis prostesis untuk anggota tubuh atas: kosmetik (non-fungsional), mekanis, dan bertenaga. Meskipun ada kemajuan dalam pengembangan prostesis, kepuasan pasien belum meningkat, dan sebagian besar memilih untuk tidak menggunakannya. Faktor-faktor yang mempengaruhi penggunaan prostesis adalah jenis kelamin, usia, penyebab, dan tingkat amputasi[8].

Meskipun prostesis memiliki keterbatasan fungsi dan bisa mahal, masalah keuangan di berbagai lokasi dunia menjadi hambatan bagi sistem layanan kesehatan publik dalam menyediakan prostetik komersial kepada pasien amputasi. Sehingga, beberapa orang tidak bisa mengaksesnya karena tidak mampu membelinya[9]. Prostesis untuk ekstremitas atas memiliki harga yang tinggi. Biaya rata-rata untuk prostesis yang dioperasikan oleh tubuh berkisar antara US\$4000–US\$8000, sedangkan prostesis yang dioperasikan secara eksternal lebih mahal, seringkali mencapai US\$25,000–US\$50,000[10].

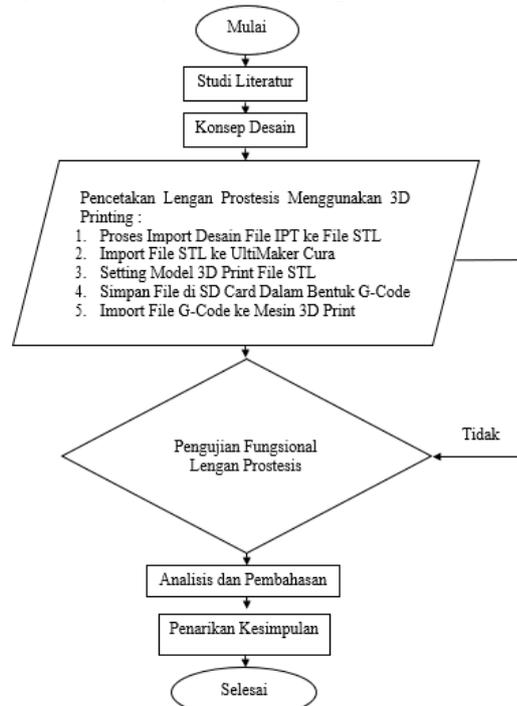
Kemajuan dalam program desain berbantu komputer (CAD), manufaktur tambahan, dan perangkat lunak pengeditan gambar sumber terbuka memberikan kemungkinan untuk merancang, mencetak, dan memasang tangan prostetik dan perangkat bantu lainnya dengan biaya yang sangat rendah[11]. Ketidak beradaan tangan memerlukan penggunaan prostesis sebagai pengganti. Prostesis tangan memiliki dua tujuan: kosmetik dan fungsional. Meskipun menyerupai tangan asli secara kosmetik, prostesis tidak memiliki fungsi yang sama dengan tangan normal[12].

Dalam 5 tahun terakhir, perkembangan signifikan telah terjadi dalam pencetakan 3D prostesis anggota atas. Di seluruh dunia, orang-orang merancang dan mencetak perangkat baru yang dapat dengan mudah cocok dengan lengan manusia[13]. Teknologi printer 3D telah berkembang sejak 1980-an, namun popularitasnya meningkat pada 2010-an ketika mesin cetak 3D komersial mulai muncul. Chuck Hull dari 3D Systems Corp menciptakan printer 3D pertama yang berhasil pada 1984. Sejak itu, teknologi ini digunakan luas dalam prototyping dan berbagai industri seperti arsitektur, otomotif, militer, medis, mode, dan bioteknologi[14]. Berdasarkan latar belakang tersebut, pernyataan masalah yang ingin disampaikan adalah bagaimana cara mengembangkan prostesis kosmetik menjadi prostesis yang dapat bergerak dengan memanfaatkan gerakan mekanis dan kabel harness, serta menggunakan teknologi pencetakan 3D. Tujuannya adalah untuk meningkatkan fungsionalitas, kenyamanan, dan aksesibilitas bagi individu yang memerlukan penggantian anggota tubuh.

2. Pembuatan Alat

2.1 Diagram Alir Penelitian

Penjelasan mengenai diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

2.2 Konsep Desain Produk

Untuk mencapai hasil terbaik selama dan setelah pencetakan, sangat penting memiliki proses desain produk yang tepat. Konsep desain menggunakan Inventor 2020 banyak berbagai keunggulan dalam pengembangan produk dan proyek lengan protesis. Dengan perangkat lunak ini, mudah untuk membuat model 3D yang akurat dan detail.

2.3 Identifikasi Kebutuhan Pelanggan

Menurut data antropometri penduduk Indonesia, terdapat dua kelompok etnis yang dibedakan, yaitu etnis pribumi dan etnis Cina. Data yang dikumpulkan mencakup pengukuran panjang dan lebar tangan serta panjang bentang siku. Informasi ini ditujukan untuk keperluan antropometri khusus pada kelompok etnis pribumi[15].

Detail lebih lengkap mengenai data antropometri dapat dilihat pada tabel 1. di bawah ini.

Tabel 1. Data Antropometri Penduduk Indonesia

No.	Dimensi	Laki-laki (cm)			Perempuan (cm)		
		5% tile	50% tile	95% tile	5% tile	50% tile	95% tile
1.	Panjang tangan	17	19	22	16	18	20
2.	Lebar tangan	7	9	11	6	8	10
3.	Rentang Siku	18	86	96	73	79	89

2.4 Pencetakan Produk

Tujuan pencetakan produk ialah mengubah konsep desain menjadi bentuk fisik yang dapat digunakan oleh pelanggan. Proses ini dapat dilakukan dengan berbagai cara, termasuk metode workshop, penggunaan printer 3D, dan lain sebagainya. Penting untuk memastikan bahwa dimensi produk yang dicetak sesuai dengan data antropometri penduduk Indonesia. Proses dimulai dengan import desain file IPT ke file STL, yang merupakan langkah penting untuk mengkonversi format desain asli ke dalam format yang kompatibel dengan perangkat lunak pencetakan 3D. Setelah itu, import file STL ke Ultimaker Cura dilakukan, di mana software ini mempersiapkan model 3D untuk dicetak. Di sini, model 3D harus disetting dengan teliti, termasuk penyesuaian parameter seperti orientasi, skala, dan pengaturan pencetakan lainnya, agar file STL siap dicetak. Setelah pengaturan selesai, file ini harus disimpan di SD card dalam bentuk G-Code, yaitu format file yang dapat dibaca oleh mesin cetak 3D. Langkah terakhir adalah mengimport file G-Code ke mesin 3D print, di mana file tersebut akan digunakan untuk mengarahkan mesin dalam proses pencetakan objek 3D. Dengan mengikuti urutan langkah ini, proses pencetakan 3D dapat dilakukan secara efisien dan menghasilkan produk akhir yang diinginkan.

2.5 Pengujian Produk

Uji coba melibatkan 1 pasien penyandang disabilitas amputasi transradial, dengan rentang usia 20-40 tahun. Pasien Penyandang disabilitas sebelumnya telah menggunakan protesis sebelumnya dan memiliki kondisi kesehatan yang stabil. Pengujian dilakukan di rumah pasien dengan durasi 2 hari, di mana subjek diminta menggunakan protesis selama 1/2 jam. Protokol pengujian mencakup evaluasi kinerja fungsionalitas protesis.

2.6 Material

Material yang digunakan pada penelitian ini ialah PLA (Polylactic Acid), sebuah jenis plastik yang terbuat dari sumber daya terbarukan seperti tepung jagung atau tebu. PLA dikenal sebagai material ramah lingkungan karena dapat terurai secara hayati. Dalam spesifikasinya, PLA memiliki titik leleh sekitar 180-220°C dan merupakan material yang mudah digunakan dalam proses 3D printing. PLA juga memiliki kekuatan tarik yang baik, transparansi tinggi, dan hanya sedikit bau saat dicetak. Sifat mekanisnya yang kuat namun mudah dicetak membuat PLA sangat populer di kalangan pengguna 3D printing, baik untuk prototipe, benda dekoratif, maupun komponen fungsional. Keunggulan lain dari PLA adalah stabilitas dimensi yang tinggi dan penyusutan minimal, yang memastikan hasil cetak yang akurat dan berkualitas.

2.7 Biaya Produksi

Dalam menghitung biaya produksi untuk pembuatan lengan protesis, dua faktor utama yang perlu dipertimbangkan adalah biaya alat dan bahan yang digunakan. Berikut ini adalah poin-poin penting yang terkait dengan analisis biaya produksi yang dapat dilihat pada tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Estimasi Biaya Produksi

No.	Bahan	Satuan	Jumlah	Harga satuan (Rp)	Total (Rp)
1.	Filament PLA+0,5 kg 1 kg	buah	2	170.000	340.000
2.	Filament Fleksibel TPU 95A	buah	1	180.000	180.000
3.	Baut dan Mur ukuran diameter 4 x 15 mm	buah	6	1.500	9.000
4.	Baut dan Mur ukuran diameter 6 x 25 mm	buah	2	3.500	7.000
5.	Senar PE 110 m ukuran diameter 0,45 mm	buah	1	17.000	17.000
6.	Tali Velcro Nylon 2 x 30 cm	buah	2	15.000	30.000
7.	Busa tebal 2 x 50 cm	buah	1	20.000	20.000
8.	Baut ukuran diameter 3 x 10 mm	buah	2	1.000	2.000
Total (Rp)					605.000

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Konsep Desain

Penggunaan Autodesk Inventor 2020 dalam pembuatan konsep desain memberikan hasil yang sangat memuaskan. Dengan fitur-fitur canggih yang dimilikinya, seperti pemodelan 3D dan 2D yang akurat, perangkat lunak ini memungkinkan desain untuk menciptakan model yang detail dan fungsional. Desain yang dihasilkan dapat divisualisasikan secara menyeluruh, sehingga memudahkan identifikasi potensi masalah dan perbaikan sebelum tahap produksi.

Untuk melihat konsep desain 3D, silakan merujuk pada gambar 2 di bawah ini.

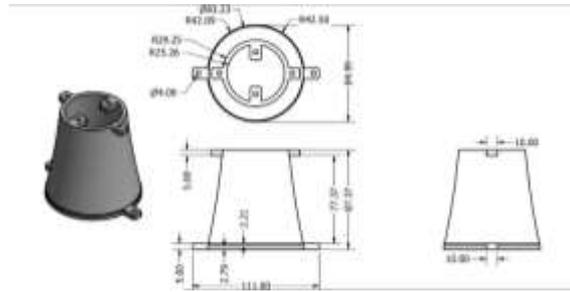


Gambar 2. Konsep Desain 3D Lengan Prostesis Menggunakan Autodesk Inventor 2020

Untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas tentang konsep yang telah dibahas, silakan merujuk pada gambar 2D yang disediakan di bawah ini. Gambar tersebut memberikan ilustrasi visual yang memperjelas informasi dan detail yang mungkin sulit dipahami hanya melalui teks. Dengan merujuk pada gambar 2D ini, diharapkan dapat lebih mudah memahami konteks dan konsep yang sedang dibahas.

e. Konsep Desain 2D Lengan Prostesis Bagian Lengan Setengah Bawah

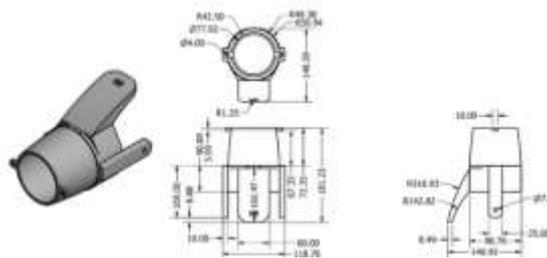
Konsep desain 2D dari lengan prostesis pada bagian lengan setengah bawah dapat dilihat pada Gambar 3.e di bawah ini.



Gambar 3.e Konsep Desain 2D Lengan Prostesis Bagian Lengan Setengah Bawah

f. Konsep Desain 2D Lengan Prostesis Bagian Lengan Bawah

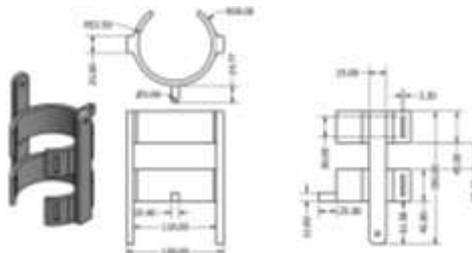
Konsep desain 2D dari lengan prostesis pada bagian lengan bawah dapat dilihat pada Gambar 3.f di bawah ini.



Gambar 3.f Konsep Desain 2D Lengan Prostesis Bagian Lengan Bawah

g. Konsep Desain 2D Lengan Prostesis Bagian Penopang

Konsep desain 2D dari lengan prostesis pada bagian penopang lengan dapat dilihat pada Gambar 3.g di bawah ini.



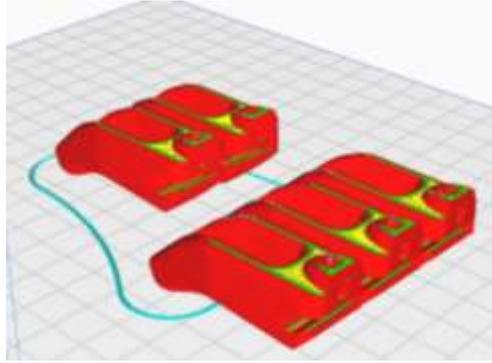
Gambar 3.g Konsep Desain 2D Lengan Prostesis Bagian Penopang Lengan

3.2 Hasil Pencetakan 3D

Hasil dari penelitian tentang pencetakan 3D adalah untuk menetapkan waktu yang diperlukan untuk setiap cetakan beserta bobotnya dan menghabiskan panjang filamen yg digunakan. Berikut adalah temuan dari Software UltiMaker Cura 5.7.1 yang akan dicetak. Data yang diekstraksi dari perangkat lunak Ultimaker Cura 5.7.1 menjelaskan durasi pencetakan 142 jam 53 menit dan menghabiskan filamen sepanjang 174,03 meter dengan total berat sebesar 519 gram. Dengan menggunakan slicing (lapisan tipis) ini, dapat memproyeksikan biaya produksi. Namun, hasil cetakan 3D akhir mungkin bervariasi dalam berat dan estimasi waktu pencetakan.

a. Hasil Slice Ujung Jari

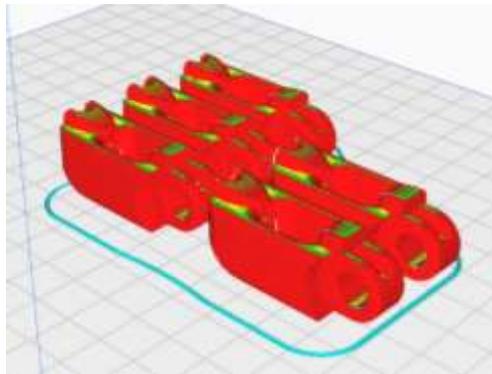
Berikut adalah hasil slice ujung jari yang dapat dilihat pada gambar 4.a di bawah ini.



Gambar 4.a Hasil Slice Ujung Jari Menggunakan Ultimaker Cura 5.7.1

b. Hasil Slice Tengah Jari

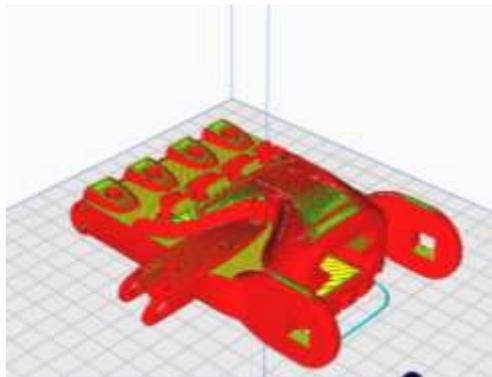
Berikut adalah hasil slice tengah jari yang dapat dilihat pada gambar 4.b di bawah ini.



Gambar 4.b Hasil Slice Tengah Jari Menggunakan Ultimaker Cura 5.7.1

c. Hasil Slice Telapak Tangan

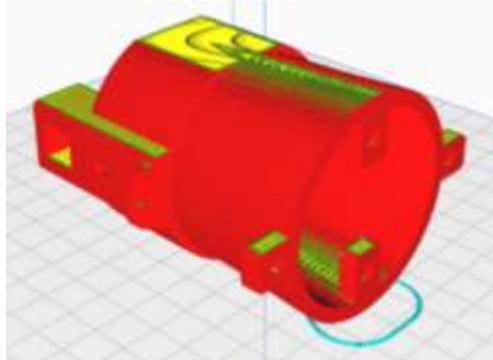
Berikut adalah hasil slice telapak tangan yang dapat dilihat pada gambar 4.c di bawah ini.



Gambar 4.c Hasil Slice Telapak Tangan Menggunakan Ultimaker Cura 5.7.1

d. Hasil Slice Lengan Setengah Atas

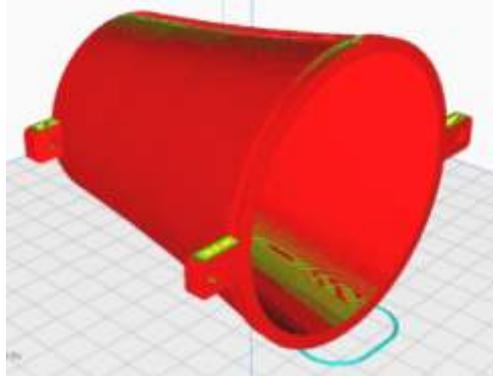
Berikut adalah hasil slice lengan setengah atas yang dapat dilihat pada gambar 4.d di bawah ini.



Gambar 4.d Hasil Slice Lengan Setengah Atas Menggunakan Ultimaker Cura 5.7.1

- e. Hasil Slice Lengan Setengah Bawah

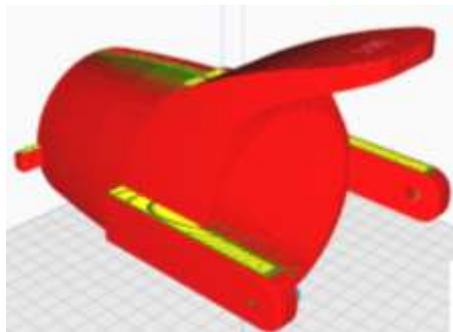
Berikut adalah hasil slice lengan setengah bawah yang dapat dilihat pada gambar 4.e di bawah ini.



Gambar 4.e Hasil Slice Lengan Setengah Bawah Menggunakan Ultimaker Cura 5.7.1

- f. Hasil Slice Lengan Bawah

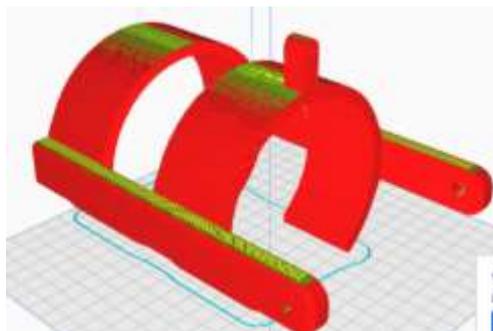
Berikut adalah hasil slice lengan bawah yang dapat dilihat pada gambar 4.f di bawah ini.



Gambar 4.f Hasil Slice Lengan Bawah Menggunakan Ultimaker Cura 5.7.1

- g. Hasil Slice Penopang Lengan

Berikut adalah hasil slice penopang lengan yang dapat dilihat pada gambar 4.g di bawah ini.



Gambar 4.g Hasil Slice Penopang Lengan Menggunakan Ultimaker Cura 5.7.1

Dalam penggunaan perangkat lunak Ultimaker Cura untuk persiapan cetak 3D, terdapat beberapa parameter yang harus disesuaikan untuk mendapatkan hasil cetakan yang optimal. Pertama, dengan menggunakan nozzle dengan ukuran 0,25 dan 0,4 mm. Atur tinggi layer sesuai kebutuhan detail objek ; umumnya, 0.12 mm digunakan untuk hasil yang lebih halus, Selanjutnya, sesuaikan kecepatan cetak tergantung pada jenis material yang digunakan; misalnya, kecepatan cetak 50-65 mm/s umumnya digunakan untuk PLA. Suhu nozzle juga penting, di mana suhu 210°C biasanya ideal untuk PLA. Dan selalu hidupkan kipas dengan kecepatan 100%, agar filament yang keluar dari lubang nozzle langsung mengering supaya minim terjadi kegagalan pada saat mencetak.

Parameter lainnya seperti isi pengisian (infill) dan dukungan (support) juga perlu disesuaikan; infill sekitar 15 % cukup untuk objek yang tidak memerlukan kekuatan struktural tinggi, sementara support diperlukan untuk cetakan dengan overhang yang signifikan. Dengan menyesuaikan parameter ini, pengguna dapat memastikan cetakan yang berkualitas dan menghindari kegagalan cetak. Pengaturan parameter yang digunakan dapat ditemukan pada tabel 3. di bawah ini.

Tabel 3. Setting Parameter Ultimaker Cura 5.7.1

No.	Parameter Proses	Nilai
1.	Nozzle Size (mm)	0.25 dan 0,4
2.	Layer Height (mm)	0.12
3.	Wall Thickness (mm)	0.6
4.	Infill Density (%)	15
5.	Printing Temperature (°C)	215
6.	Printing Speed (mm/s)	65
7.	Fan Speed (%)	100
8.	Generate Support	Yes

3.3 Hasil Akurasi Pencetakan 3D

Hasil akurasi dalam proses pencetakan 3D mencakup beberapa aspek penting yang memastikan kualitas dan efisiensi produk akhir. Pertama, estimasi waktu pencetakan harus dihitung secara akurat untuk mengoptimalkan jadwal produksi dan memenuhi tenggat waktu yang ditetapkan, sehingga dapat meningkatkan produktivitas dan mengurangi biaya operasional. Akurasi dimensi pada sumbu X, Y, dan Z sangat krusial untuk memastikan setiap komponen yang dicetak sesuai dengan spesifikasi desain. Hal ini penting untuk menghindari ketidaksesuaian yang dapat mempengaruhi fungsi, kompatibilitas, dan kualitas keseluruhan produk. Ketepatan dalam dimensi juga memastikan bahwa bagian-bagian produk dapat dirakit dengan sempurna tanpa memerlukan penyesuaian lebih lanjut, yang bisa memakan waktu dan biaya tambahan. Selain itu, akurasi bobot per komponen juga harus diperhatikan dengan seksama, karena penyimpangan dalam bobot dapat mempengaruhi performa keseluruhan dari produk, terutama dalam aplikasi yang memerlukan keseimbangan dan stabilitas. Dengan memfokuskan pada aspek-aspek ini dan menerapkan kontrol kualitas yang ketat, proses pencetakan dapat menghasilkan produk yang tidak hanya berkualitas tinggi tetapi juga sesuai dengan harapan dan kebutuhan pengguna, meningkatkan kepercayaan pelanggan dan nilai produk di pasar.

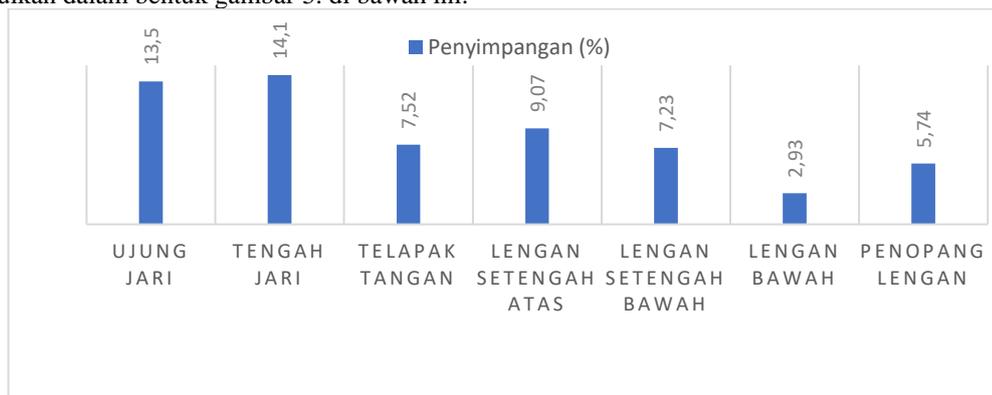
a. Hasil Akurasi Estimasi Waktu Pencetakan

Perhitungan waktu pencetakan yang akurat sangat penting untuk mengoptimalkan jadwal produksi dan memastikan tenggat waktu terpenuhi, sehingga dapat meningkatkan produktivitas. Hasil akurasi estimasi waktu pencetakan dapat dilihat di tabel 4. di bawah ini.

Tabel 4. Hasil Akurasi Estimasi Waktu Pencetakan

No.	Nama Komponen	Estimasi		Penyimpangan (%)
		Ultimaker Cura (Jam)	Real Time (Jam)	
1.	Ujung Jari	7,17	8,29	13,5
2.	Tengah Jari	6,48	7,55	14,1
3.	Telapak Tangan	14,13	15,28	7,52
4.	Lengan Setengah Atas	11,42	12,56	9,07
5.	Lengan Setengah Bawah	14,11	15,21	7,23
6.	Lengan Bawah	37,1	38,22	2,93
7.	Penopang Lengan	27,1	28,57	5,74

Dari data tabel penyimpangan estimasi waktu pada software Ultimaker Cura dengan stopwatch (Real Time) di atas, dapat disimpulkan dalam bentuk gambar 5. di bawah ini.



Gambar 5. Grafik Akurasi Estimasi Waktu

Hasil grafik di atas menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara estimasi waktu pencetakan dan waktu realisasi untuk setiap komponen yang dicetak menggunakan Ultimaker Cura. Penyimpangan terbesar terjadi pada komponen Tengah Jari, dengan selisih 14,1%, diikuti oleh Ujung Jari dengan penyimpangan 13,5%. Ini menunjukkan bahwa kedua komponen ini memiliki waktu realisasi yang lebih lama dibandingkan dengan estimasi, kemungkinan disebabkan oleh kompleksitas desain atau parameter pencetakan yang kurang optimal. Sebaliknya, komponen Lengan Bawah menunjukkan penyimpangan terkecil, yaitu 2,93%, menandakan bahwa estimasi waktu pencetakan untuk komponen ini cukup akurat. Rata-rata penyimpangan untuk seluruh komponen menunjukkan bahwa secara umum, waktu realisasi cenderung lebih lama dibandingkan estimasi, menunjukkan bahwa ada peluang untuk meningkatkan akurasi estimasi atau efisiensi dalam proses pencetakan. Hal ini penting untuk dipertimbangkan dalam perencanaan produksi agar hasil yang diinginkan dapat dicapai lebih efisien.

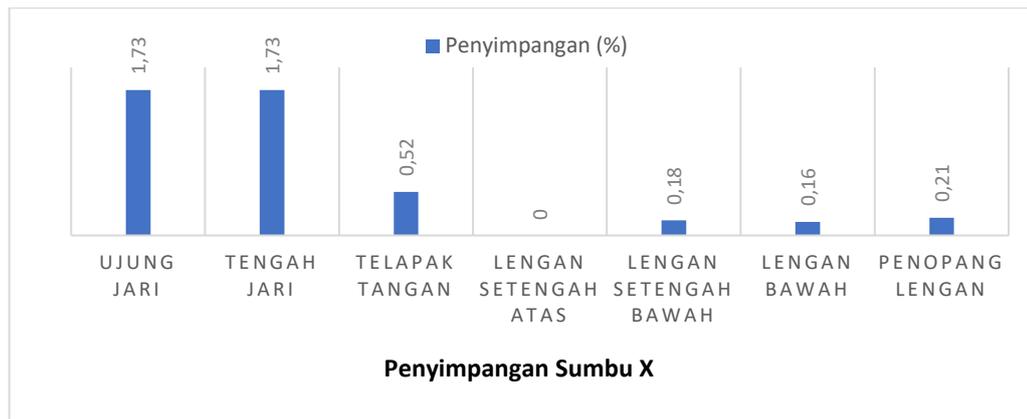
b. Hasil Akurasi Dimensi Sumbu X,Y, dan Z

Ketepatan dimensi pada sumbu X, Y, dan Z sangat penting untuk memastikan bahwa setiap komponen cetakan sesuai dengan spesifikasi desain. Hal ini diperlukan untuk menghindari ketidaksesuaian yang dapat mempengaruhi fungsi, kompatibilitas, dan kualitas keseluruhan produk. Akurasi dimensi juga memastikan bahwa bagian-bagian produk dapat dirakit dengan sempurna tanpa memerlukan penyesuaian tambahan. Untuk melihat hasil akurasi dimensi sumbu X, Y, dan Z, perhatikan tabel 5. di bawah ini.

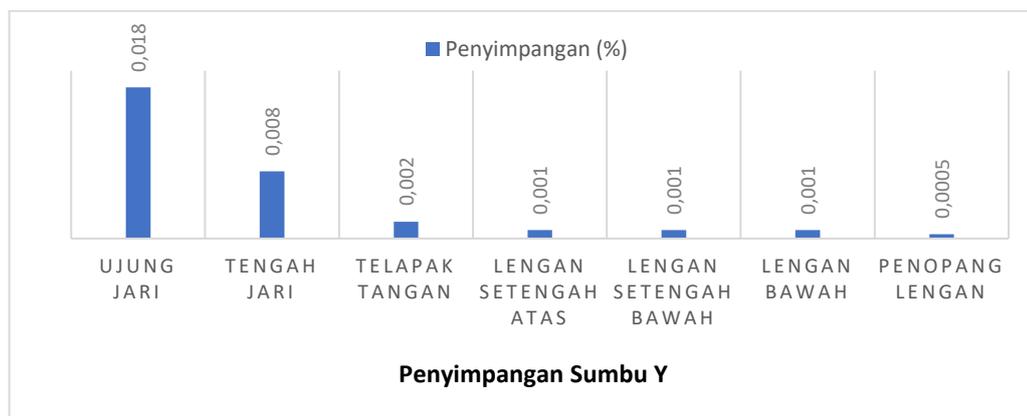
Tabel 5. Hasil Akurasi Dimensi Sumbu X,Y, dan Z

No.	Nama Komponen	Dimensi						Penyimpangan (%)		
		Ultimaker Cura (mm)			Dimensi Hasil Cetak (mm)			X	Y	Z
		X	Y	Z	X	Y	Z			
1.	Ujung Jari	17,6	54,3	25,8	17,3	53,6	24,7	1,73	1,87	1,30
2.	Tengah Jari	17,6	45,1	20,8	17,3	44,7	20,5	1,73	0,89	1,46
3.	Telapak Tangan	114,6	128,0	40,01	114,0	127,7	39,98	0,52	0,23	0,07
4.	Lengan Setengah Atas	79,5	84,4	58,4	79,5	84,3	58,1	0	0,11	0,51
5.	Lengan Setengah Bawah	111,0	87,4	85,0	110,8	87,3	84,5	0,18	0,11	0,59
6.	Lengan Bawah	118,8	181,2	140,9	118,6	180,9	139,9	0,16	0,16	0,71
7.	Penopang Lengan	138,0	190,0	131,1	137,7	189,9	130,5	0,21	0,05	0,45

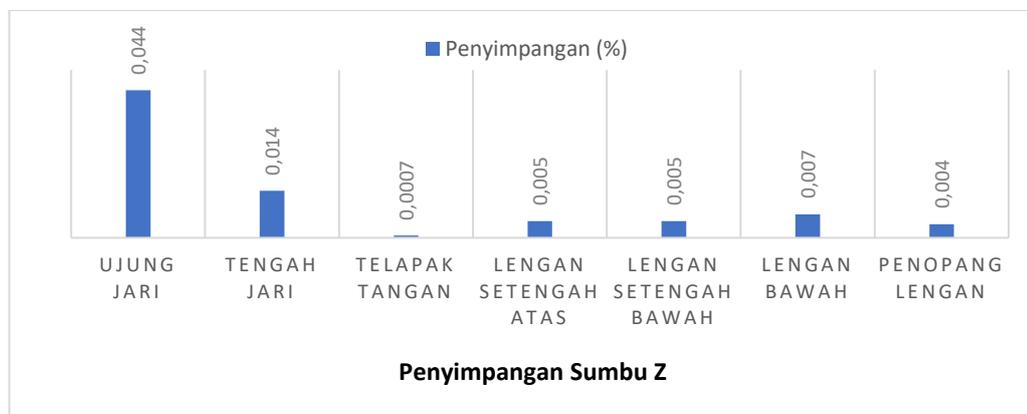
Dari data tabel penyimpangan dimensi sumbu X,Y, dan Z hasil cetak di atas, dapat disimpulkan dalam bentuk gambar 6, 7, dan 8 di bawah ini.



Gambar 6. Grafik Akurasi Dimensi Sumbu X



Gambar 7. Grafik Akurasi Dimensi Sumbu Y



Gambar 8. Grafik Akurasi Dimensi Sumbu Z

Hasil analisis dari beberapa grafik diatas menunjukkan bahwa variasi dimensi dan persentase penyimpangan pada berbagai komponen prostesis yang diproduksi menggunakan teknologi pencetakan 3D. Rincian dimensi dan penyimpangan untuk setiap komponen menunjukkan perbedaan yang signifikan dalam akurasi cetakan ; Ujung Jari memiliki penyimpangan sebesar 1,73% (X), 1,87% (Y), dan 1,30% (Z). Tengah Jari memiliki penyimpangan sebesar 1,73% (X), 0,89% (Y), dan 1,46% (Z). Telapak Tangan memiliki penyimpangan sebesar 0,52% (X), 0,23% (Y), dan 0,07% (Z). Lengan Setengah Atas memiliki penyimpangan sebesar 0,18% (X), 0,11% (Y), dan 0,51% (Z). Lengan Setengah Bawah memiliki penyimpangan sebesar 0,16% (X), 0,16% (Y), dan 0,71% (Z). Lengan Bawah memiliki penyimpangan sebesar 0,16% (X), 0,16% (Y), dan 0,71% (Z). Penopang Lengan memiliki penyimpangan sebesar 0,21% (X), 0,05% (Y), dan 0,45% (Z). Variasi ini menunjukkan pentingnya evaluasi dan perbaikan dalam proses pencetakan 3D untuk memastikan akurasi dan kualitas prostesis yang dihasilkan sesuai dengan standar yang diinginkan.

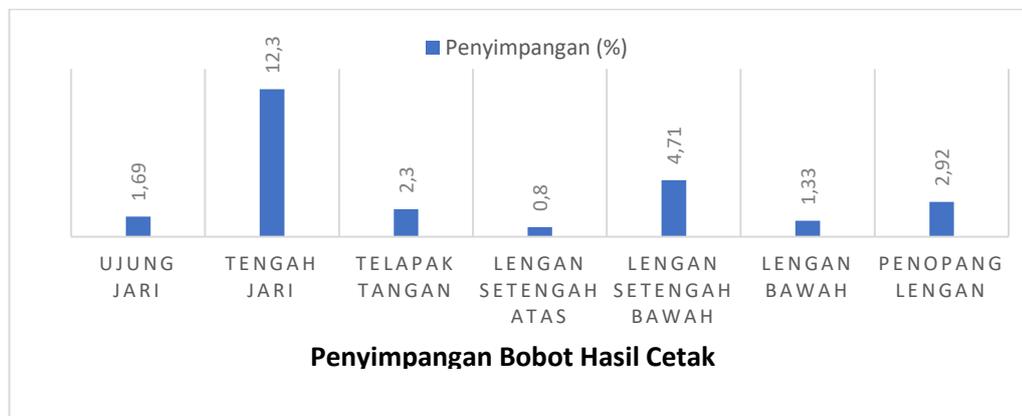
c. Hasil Akurasi Bobot Hasil Cetak

Kedalaman perhatian terhadap akurasi bobot setiap komponen sangat penting, karena penyimpangan bobot dapat mempengaruhi kinerja keseluruhan produk, terutama dalam aplikasi yang membutuhkan keseimbangan dan stabilitas. Untuk melihat hasil akurasi dimensi sumbu X, Y, dan Z, perhatikan tabel 6. di bawah ini.

Tabel 6. Hasil Akurasi Bobot Hasil Cetak

No.	Nama Komponen	Bobot		Penyimpangan (%)
		Ultimaker Cura (Gram)	Timbangan Digital (Gram)	
1.	Ujung Jari	6,00	5,90	1,69
2.	Tengah Jari	6,00	5,34	12,3
3.	Telapak Tangan	86	88,03	2,30
4.	Lengan Setengah Atas	58,00	58,47	0,80
5.	Lengan Setengah Bawah	42,00	40,11	4,71
6.	Lengan Bawah	124,00	122,37	1,33
7.	Penopang Lengan	147,00	142,82	2,92

Dari data tabel penyimpangan bobot hasil cetak di atas, dapat disimpulkan dalam bentuk gambar 9 di bawah ini.



Gambar 9. Grafik Akurasi Dimensi Sumbu Z

Hasil analisis grafik diatas menunjukkan perbandingan bobot antara komponen prosthesis yang diestimasi menggunakan Ultimaker Cura dengan hasil timbangan digital, serta persentase penyimpangan yang terjadi. Berikut adalah ringkasan bobot dan penyimpangan untuk setiap komponen : Ujung Jari: Bobot estimasi 6,00 gram, hasil timbangan digital 5,90 gram, penyimpangan 1,69%. Tengah Jari: Bobot estimasi 6,00 gram, hasil timbangan digital 5,34 gram, penyimpangan 12,3%. Telapak Tangan: Bobot estimasi 86 gram, hasil timbangan digital 88,03 gram, penyimpangan 2,30%. Lengan Setengah Atas: Bobot estimasi 58,00 gram, hasil timbangan digital 58,47 gram, penyimpangan 0,80%. Lengan Setengah Bawah: Bobot estimasi 42,00 gram, hasil timbangan digital 40,11 gram, penyimpangan 4,71%. Lengan Bawah: Bobot estimasi 124,00 gram, hasil timbangan digital 122,37 gram, penyimpangan 1,33%. Penopang Lengan: Bobot estimasi 147,00 gram, hasil timbangan digital 142,82 gram, penyimpangan 2,92%. Dari data ini, dapat disimpulkan bahwa terdapat variasi bobot antara estimasi menggunakan Ultimaker Cura dan hasil timbangan digital, dengan tingkat penyimpangan yang bervariasi. Perbedaan bobot ini perlu dievaluasi lebih lanjut untuk memastikan akurasi dan konsistensi dalam produksi komponen prosthesis menggunakan teknologi pencetakan 3D.

3.4 Hasil Pengujian Fungsional

Uji coba melibatkan 1 penyandang disabilitas amputasi transradial, dengan rentang usia 37 tahun. Pasien Penyandang disabilitas belum pernah menggunakan prosthesis sebelumnya dan memiliki kondisi kesehatan yang stabil. Dimana pasien disabilitas diminta menggunakan prosthesis selama 1/2 jam untuk melakukan pengujian fungsional prosthesis pada saat posisi menggenggam dan membuka genggam. Hasil pengujian fungsional dapat dilihat gambar 10. dan gambar 11. di bawah ini.



Gambar 10. Posisi Prostesis Saat Menggenggam



Gambar 11. Posisi Prostesis Saat Membuka Genggaman

3.5 Opini Pasien Disabilitas

Berdasarkan uji coba lengan prostesis kepada pasien disabilitas, adapun pendapat dari pasien yaitu sebagai penilaian lengan prostesis penggerak mekanik yaitu :

1. Genggaman lengan prostesis terbatas karena ibu jari terletak terlalu dekat dengan jari telunjuk saat menggenggam.
2. Warna lengan prostesis harus menyerupai warna kulit manusia agar tidak terlalu mencolok saat dipakai.
3. Ukuran lengan prostesis terlalu panjang, dikarenakan pasien disabilitas memiliki postur tinggi badan 150 cm.

4. Kesimpulan

Berikut hasil kesimpulan yang diperoleh dari pembahasan yang telah dilakukan, yaitu :

1. Penggunaan Autodesk Inventor 2020 dan teknologi pencetakan 3D memberikan hasil yang memuaskan dalam desain dan produksi prostesis. Software Autodesk Inventor 2020 memudahkan dalam menciptakan model yang detail dan fungsional.
2. Sementara Software Ultimaker Cura 5.7.1 digunakan untuk menghitung durasi dan penggunaan filamen, dengan hasil 146 jam 64 menit pencetakan dan 180,45 meter filamen. Meskipun demikian, terdapat perbedaan antara estimasi dan realisasi waktu pencetakan, terutama pada komponen seperti Tengah Jari dan Ujung Jari yang menunjukkan penyimpangan waktu 14,1% dan 13,5%. Penyimpangan dalam dimensi dan bobot juga ditemukan, menekankan perlunya peningkatan proses pencetakan untuk mencapai akurasi yang diinginkan.
3. Hasil uji coba lengan prostesis menunjukkan fungsi dasar yang baik, tetapi ada kebutuhan untuk penyesuaian lebar genggaman, warna, dan ukuran. Secara keseluruhan, optimasi desain dan proses pencetakan 3D sangat penting untuk meningkatkan akurasi, kualitas, dan kenyamanan prostesis bagi pengguna.

Ucapan Terima Kasih

Saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. Akhmad Zidni Hudaya, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama, atas bimbingan, dukungan, dan arahan yang tak ternilai sepanjang penelitian ini. Terima kasih juga saya sampaikan kepada Bapak Dr. Rochmad Winarso, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing pendamping, yang telah memberikan masukan berharga dan dukungan selama proses penelitian ini.

Saya juga berterima kasih kepada kedua orang tua saya yang selalu memberikan doa, dukungan, dan kasih sayang tanpa batas, sehingga saya dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung selama penelitian ini berlangsung.

Daftar Pustaka

- [1] Sunarto et al. Efektifitas Biaya Penggunaan Teknologi Pencetakan 3D (Industri 4.0) pada Alat Bantu Ortotik Prostetik. 2023; Available from: <http://forikes-ejournal.com/index.php/SF>
- [2] Semasinghe CL, Madusanka DGK, Ranaweera RKPS, Gopura RARC. Transradial prostheses: Trends in development of hardware and control systems. Vol. 15, International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery. John Wiley and Sons Ltd; 2019.
- [3] Došen S, Popović DB. Transradial Prosthesis: Artificial Vision for Control of Prehension. *Artif Organs*. 2011;35(1):37–48.
- [4] Sang Y, Li X, Luo Y. Biomechanical design considerations for transradial prosthetic interface: A review. *Proc Inst Mech Eng H*. 2016 Mar 1;230(3):239–50.
- [5] Kamil MJM, Shi SML, Sani MNA. Re-assessing the design needs of trans-radial amputees in product design innovation. *Wacana Seni*. 2020;19:61–71.
- [6] Schabowsky CN, Dromerick AW, Holley RJ, Monroe B, Lum PS. Trans-radial upper extremity amputees are capable of adapting to a novel dynamic environment. *Exp Brain Res*. 2008 Jul;188(4):589–601.
- [7] Alturkistan et al. *alturkistani-et-al-2020-affordable-passive-3d-printed-prosthesis-for-persons-with-partial-hand-amputation.en.id*. 2020;
- [8] Moradi-Hades A, Farmani F, Mardani MA, Bahramizadeh M, Heidarimoghadam R. The Comparative Effect of Cosmetic and Mechanical Prosthesis on Quality of Life and Performance in People With Medium-Length Below-Elbow Amputation [Internet]. 2019. Available from: <http://journals.lww.com/jpojourn>
- [9] Omar S, Kasem A, Ahmad A, Ya'akub SR, Ahman S, Yunus E. Implementation of low-cost 3D-printed prosthetic hand and tasks-based control analysis. In: *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer Verlag; 2019. p. 213–23.
- [10] Gretsche KF, Lather HD, Peddada K V., Deeken CR, Wall LB, Goldfarb CA. Development of novel 3D-printed robotic prosthetic for transradial amputees. *Prosthet Orthot Int*. 2016 Jun 1;40(3):400–3.
- [11] Zuniga J, Katsavelis D, Peck J, Stollberg J, Petrykowski M, Carson A, et al. Cyborg beast: A low-cost 3d-printed prosthetic hand for children with upper-limb differences. *BMC Res Notes*. 2015 Dec 14;8(1).
- [12] Grahn EC. A new externally powered, myoelectrically controlled prosthesis for persons with partial-hand amputations at the metacarpals. *Journal of Prosthetics and Orthotics*. 2001;13(2):26–31.
- [13] ten Kate J, Smit G, Breedveld P. 3D-printed upper limb prostheses: a review. Vol. 12, *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*. Taylor and Francis Ltd; 2017. p. 300–14.
- [14] Ismail R, Ariyanto M, Perdana YK, Putri FT. Book Chapter - 2021 Revolusi Industri 4.0 - Perspektif Teknologi, Manajemen, dan Edukasi. 2021;55–72.
- [15] Chuan TK, Hartono M, Kumar N. Anthropometry of the Singaporean and Indonesian populations. *Int J Ind Ergon*. 2010 Nov;40(6):757–66.