



Buku Tugas Akhir

Perancangan dan Analisis Kinematika Simulator Virtual dan Purwarupa Tangan Prostetik

Hernando

6151801005

Pembimbing:

Tua Agustinus Tamba, Ph.D.

Dr. Ir. Bagus M. Arthaya, M.Eng.

Diajukan untuk memenuhi salah satu
syarat mendapatkan gelar Sarjana
Teknik

Agustus 2022



Buku Tugas Akhir

Design and Kinematics Analysis of Virtual Simulator and Prosthetic Hand Prototype

Hernando

6151801005

Pembimbing:

Tua Agustinus Tamba, Ph.D.

Dr. Ir. Bagus M. Arthaya, M.Eng.

Diajukan untuk memenuhi salah satu
syarat mendapatkan gelar Sarjana
Teknik

Agustus 2022

Lembar Persetujuan Selesai



Tugas Akhir berjudul:

Perancangan dan Analisis Kinematika Simulator Virtual dan Purwarupa Tangan Prostetik

oleh:

Hernando

NPM : 6151801005

ini telah diujikan pada Sidang Tugas Akhir 2 (IME 184500) di Program Studi Sarjana Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan serta dinyatakan SELESAI.

TANDA PERSETUJUAN SELESAI,

Bandung, 17 Agustus 2022

Ketua Program Studi Sarjana
Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Tua Agustinus Tamba'.

Tua Agustinus Tamba, Ph.D.

Pembimbing Pertama,

Pembimbing Kedua,

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Tua Agustinus Tamba'.

Tua Agustinus Tamba, Ph.D.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Dr. Ir. Bagus M. Arthaya'.

Dr. Ir. Bagus M. Arthaya, M.Eng.

**PERNYATAAN TIDAK MENCONTEK ATAU
MELAKUKAN TINDAKAN PLAGIAT**

Saya yang bertandatangan dibawah ini,

HERNANDO

Dengan ini menyatakan bahwa Buku Tugas Akhir dengan judul:

**"PERANCANGAN DAN ANALISIS KINEMATIKA SIMULATOR VIRTUAL DAN
PURWARUPA TANGAN PROSTETIK"**

adalah hasil pekerjaan Saya. Seluruh ide, pendapat atau materi dari sumber lain
telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini Saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak
sesuai dengan kenyataan maka Saya bersedia menanggung sanksi yang akan
dikenakan kepada Saya.

Bandung, 18 Agustus 2022



Hernando

NPM: 6151801005

Abstrak

Buku Tugas Akhir ini mengajukan sebuah rancangan simulator virtual serta purwarupa tangan prostetik dengan 25 derajat kebebasan. Perancangan dilakukan berdasarkan analisis dan model kinematik tangan prostetik berbasis aturan *Denavit-Hartenberg*. Perancangan diawali dengan pemodelan kinematika tangan hingga dilakukan analisis kinematika pada model yang telah ditentukan. Untuk memverifikasi hasil pemodelan, dilakukan simulasi pada *MATLAB* menggunakan *toolbox SynGrasp* kemudian dibandingkan hasil perhitungan manual. Selain itu juga telah didesain sebuah tangan prostetik melalui *SolidWorks* dan dilakukan simulasi gerakan dengan sinyal input berupa posisi sudut. Penelitian dilanjutkan dengan pembuatan purwarupa untuk melihat pergerakan jari pada tangan prostetik. Kemudian diterapkan pengolahan citra untuk lokalisasi tangan prostetik dengan bantuan sebuah *webcam*. Hasil simulasi kinematika memverifikasi hasil perancangan model kinematika. Pada hasil simulasi desain, ditemukan sinyal input yang diberikan membutuhkan penyesuaian agar dapat menghasilkan gerakan yang sesuai dengan model kinematika. Purwarupa berhasil dibangun dengan proses perakitan memanfaatkan sambungan *knuckle joint*. Selain itu hasil pengolahan citra mampu menentukan posisi dari ujung jari dalam bidang X-Y.

Kata kunci:

Tangan prostetik, Kinematika, SynGrasp, Simscape Multibody, lokalisasi

Abstract

This Research proposes a virtual simulator design and a prosthetic hand prototype with 25 degrees of freedom. The design is based on analysis and kinematic model of the prosthetic hand based on the *Denavit-Hartenberg* rule. The design begins with hand kinematics modeling until kinematics analysis is carried out on a predetermined model. To verify the modeling results, a simulation was performed on *MATLAB* using *SynGrasp* then compared the results of manual calculations. In addition, a prosthetic arm has been designed using *SolidWorks* and a motion simulation has been carried out with the input signal in the form of an angle position. The research continued with making prototypes to see the movement of the fingers on the prosthetic hand. Then applied image processing for prosthetic hand localization with the help of a *webcam*. The kinematics simulation results verify the results of the kinematics model design. In the design simulation results, it is found that the input signal given requires adjustment in order to produce a movement that is in accordance with the kinematics model. The prototype was successfully built using the assembly process using the *knuckle joint* connection. In addition, the results of image processing are able to determine the position of the fingertip in the X-Y field.

Kata Pengantar

Puji syukur dipanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan rahmat-Nya penyusunan Buku Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Buku Tugas Akhir yang berjudul "Perancangan dan Analisis Kinematika Simulator Virtual dan Purwarupa Tangan Prostetik" disusun sebagai syarat mengikuti Sidang Tugas Akhir pada mata kuliah Tugas Akhir II (IME 184500) pada Program Studi Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika Universitas Katolik Parahyangan. Disadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, penulisan Proposal Tugas Akhir ini tidak akan terselesaikan. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan proposal ini terutama kepada:

1. Tua Agustinus Tamba Ph.D. selaku Pembimbing 1 penulis atas ilmu bimbingan dan motivasi yang telah diberikan;
2. Dr. Ir. Bagus Arthaya, M.Eng selaku Pembimbing 2 penulis atas ilmu bimbingan dan motivasi yang telah diberikan;
3. Dr. Christian Fredy Naa, S.Si., M.Si., M.Sc. yang telah banyak memberi masukan kepada penulis dalam penulisan Tugas Akhir;
4. Orang tua saya, Manap Tio dan Lim Siu Lie yang telah memberikan dukungan secara moral dan materil selama pengerjaan dan penulisan Tugas Akhir;
5. Teman-teman angkatan 2018 yang telah memberikan dorongan dan hiburan kepada penulis selama pengerjaan Tugas Akhir;
6. Kelly Lim dan Hatguina Fu yang menjadi teman diskusi serta selalu menyemangati penulis selama penelitian dan penulisan Buku Tugas Akhir;
7. Mathilda Laurensia, Gabriela, Audrey Budiawan, Michelle Octavia yang selalu menyemangati penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir;
8. Masyarakat Kontrakan 11C yang selalu mendorong dan memotivasi serta asupan gizi kepada penulis selama pengerjaan Tugas Akhir;
9. Kepada semua pihak baik yang terlibat langsung ataupun tidak langsung, yang tidak sempat disebutkan dalam kata pengantar ini;
10. *Last but not least, I wanna thank me. I wanna thank me for believing in me. I wanna thank me for doing all this hard work. I wanna thank me, for never quitting.*

Akhir kata, penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya jika masih terdapat kekurangan maupun hal-hal yang kurang berkenan. Besar harapan penulis agar Buku Tugas Akhir dapat memberikan manfaat dan berguna bagi perkembangan Program Studi Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika Universitas Katolik Parahyangan.

"Be mindful. Be grateful. Be positive. Be true. Be kind."

Roy T. Bennett

Daftar Isi

Abstrak	ix
Abstract	xi
Kata Pengantar	xiii
Daftar Isi	xv
Daftar Tabel	xix
Daftar Gambar	xxi
Daftar Simbol	xxiii
Daftar Singkatan	xxiv
1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah dan Asumsi	3
1.4 Tujuan Tugas Akhir	3
1.5 Manfaat Tugas Akhir	4
1.6 Metodologi Tugas Akhir	4
1.7 Sistematika Penulisan	6
2 Tinjauan Pustaka	7
2.1 Lengan Prostetik	7
2.2 Anatomi Tangan Manusia	8
2.2.1 Fisiologi Tangan	8
2.2.2 Antropometri Tangan	10
2.2.3 Model Parametrik Jari Tangan	11

2.2.4	Sistem Artikular	12
2.3	Lengan Robot	16
2.3.1	<i>Link</i>	16
2.3.2	<i>Joint</i>	17
2.3.3	<i>End-effector</i>	17
2.4	Mekanisme Lengan Robot	17
2.5	Kinematika Lengan Robot	17
2.5.1	<i>Forward Kinematics</i>	18
2.5.2	<i>Inverse Kinematics</i>	23
2.5.3	Transformasi Koordinat Lokal Menuju Koordinat Global . . .	24
2.6	<i>SynGrasp</i>	26
2.7	Lokalisasi dengan Pengolahan Citra	27
3	Perancangan Sistem	31
3.1	Model Parametrik Jari	31
3.2	Model Kinematika Tangan Prostetik	32
3.3	<i>Forward Kinematics</i>	36
3.4	Desain Tangan Prostetik	40
3.5	Simulasi Desain	41
3.6	Persiapan 3D <i>printing</i>	45
3.7	Mekanisme Gerak Tangan Prostetik	48
3.8	Pengujian Mekanisme Gerak Tangan Prostetik	49
4	Simulasi dan Analisis	55
4.1	Simulasi <i>Forward Kinematics</i>	55
4.2	Simulasi Desain	56
4.3	Hasil 3D <i>printing</i>	60
4.4	Kalibrasi <i>Webcam</i>	61
4.5	Pengujian dan Lokalisasi Tangan Prostetik	63
4.5.1	Pengujian Tangan dengan Empat Jari	63
4.5.2	Pengujian Tangan Satu Jari	64
5	Simpulan dan Saran	69
5.1	Simpulan	69
5.2	Saran	70
	Daftar Pustaka	71
	Lampiran A Model Kinematika Tangan Prostetik	76
A.1	Model Kinematika Setiap Jari	77
A.1.1	Model Kinematika Jari Telunjuk	77
A.1.2	Model Kinematika Jari Tengah	78
A.1.3	Model Kinematika Jari Telunjuk	79

A.1.4	Model Kinematika Jari Kelingking	80
A.2	Tabel DH Setiap Jari	81
A.2.1	Tabel DH Jari Telunjuk	81
A.2.2	Tabel DH Jari Tengah	81
A.2.3	Tabel DH Jari Manis	82
A.2.4	Tabel DH Jari Kelingking	82
A.3	Matriks Trans. Homogenus Setiap Jari	83
A.3.1	Matriks Trans. Homogenus Jari Telunjuk	83
A.3.2	Matriks Trans. Homogenus Jari Tengah	84
A.3.3	Matriks Trans. Homogenus Jari Manis	85
A.3.4	Matriks Trans. Homogenus Jari Kelingking	87
A.4	Matriks Trans. Koord Lokal menuju Koord Global	89
A.4.1	Jari Telunjuk	89
A.4.2	Jari Tengah	89
A.4.3	Jari Manis	89
A.4.4	Jari Kelingking	89
Lampiran B SynGrasp		91
B.1	Tata Cara Penggunaan SynGrasp	91

Daftar Tabel

2.1	Panjang Tulang <i>Metacarpal</i>	12
2.2	Panjang Tulang <i>Phalangeal</i>	12
2.3	Rentang Gerak <i>Joint</i> pada Jempol (dalam satuan derajat)	15
2.4	Rentang Gerak <i>Joint</i> pada Empat (4) Jari Tangan (dalam satuan derajat)	16
2.5	Tabel DH	20
2.6	Parameter DH Lengan Robot Dua Derajat Kebebasan	22
2.7	Parameter Koordinat Lokal Menuju Koordinat Global	25
3.1	Panjang Tulang <i>Metacarpal</i>	32
3.2	Panjang Tulang <i>Phalangeal</i>	32
3.3	Tabel DH Ibu Jari	34
3.4	<i>Bill of Material</i> Tangan Prostetik	47
A.1	Tabel DH Jari Telunjuk	81
A.2	Tabel DH Jari Tengah	81
A.3	Tabel DH Jari Manis	82
A.4	Tabel DH Jari Kelingking	82

Daftar Gambar

1.1	Tangan Prostetik (a) Pasif [1], (b) Aktif [2]	1
1.2	Diagram Alir Metodologi Tugas Akhir	5
2.1	Tulang <i>Carpal</i> (© Kenhub (www.kenhub.com); Illustrator: Youson Koh) [3]	9
2.2	(a) Tulang <i>Metacarpal</i> , (b) Tulang <i>Phalangeal</i> . (© Kenhub (www.kenhub.com); Illustrator: Youson Koh) [3]	10
2.3	Dimensi Panjang dan Lebar Tangan	11
2.4	(a) CMC <i>Joint</i> , (b) MCP <i>Joint</i> , (c) IP <i>Joint</i> . (© Kenhub (www.kenhub.com); Illustrator: Youson Koh) [3]	13
2.5	Gerakan E/F [4]	14
2.6	Gerakan Add/Abd [4]	15
2.7	Lengan Robot yang Terdiri Atas <i>Link</i> , <i>Joint</i> dan <i>End-effector</i> [5] . .	16
2.8	Ilustrasi <i>Revolute Joint</i> dan <i>Prismatic Joint</i> [6]	17
2.9	Kasus Khusus Penentuan Arah Sumbu X_i , (a) Koordinat Aturan Tangan Kanan, (b) <i>Cross Product</i> dan (c) Antara Dua (2) Sumbu Z yang Paralel [7].	19
2.10	Ilustrasi Parameter DH [5]	20
2.11	Lengan Robot Dua Derajat Kebebasan	22
2.12	Ilustrasi Transformasi Koordinat Lokal Menuju Koordinat Global [8]	24
2.13	Koordinat Global untuk Ibu Jari Tangan Kiri	25
2.14	Diagram Blok Pengoperasian <i>SynGrasp</i>	27
2.15	Distorsi (a) Radial Positif (<i>barrel</i>); dan (b) Radial Negatif (<i>pincushion</i>) [9]	29
2.16	Distorsi Tangensial [9]	30
3.1	Model Umum Kinematika Tangan [8]	33
3.2	Model Umum Kinematika Ibu Jari [8]	34
3.3	Model Kinematika Tangan pada <i>SynGrasp</i>	36
3.4	Desain Tangan Prostetik	41
3.5	(a) Menu <i>Tools</i> , (b) <i>Add Ins "Simscape Multibody Link"</i>	42
3.6	Menu <i>Simscape Multibody</i>	43
3.7	Tampilan Proses <i>Import</i> pada <i>MATLAB</i>	43
3.8	Tampil <i>Simscape Multibody</i> Hasil <i>Import Desain SolidWorks</i>	44

3.9	Tampil Hasil Simulasi <i>Simscape Multibody</i>	44
3.10	Hasil <i>Import</i> Desain <i>SolidWorks</i>	45
3.11	Pengaruh Orientasi Produk Terhadap <i>Support 3D Printing</i>	46
3.12	Mekanisme Gerak Tangan [10].	48
3.13	Tangan Prostetik Hasil 3D <i>printing</i>	49
3.14	Logitech C922 <i>Webcam</i>	50
3.15	Arduino Uno untuk Pengujian Tangan Prostetik	50
3.16	Motor Servo Penggerak Jari.	51
3.17	Tali Rami (kiri) dan Senar Elastis (Kanan).	51
3.18	Meja Kerja Pengujian Tangan Prostetik.	52
3.19	Hasil Perakitan Tangan Prostetik (Untuk Pengujian).	52
3.20	<i>Wiring Diagram</i> Sistem Elektronik Tangan Prostetik.	53
4.1	Hasil Simulasi <i>Forward Kinematics</i>	56
4.2	Diagram Blok Simulasi Desain pada <i>Simscape MultiBody</i>	57
4.3	Hasil Simulasi Desain dari Berbagai Tampak.	58
4.4	Perubahan Sudut <i>Joint</i> MCP Kelingking Terhadap Waktu.	59
4.5	Perubahan Sudut pada <i>joint</i> PIP Kelingking Terhadap Waktu.	59
4.6	Contoh Komponen Jari Hasil 3D print.	60
4.7	Ilustrasi Sambungan <i>Knuckle Joint</i>	61
4.8	Hasil Kalibrasi <i>Webcam</i>	62
4.9	Hasil <i>Spatial Calibration</i>	62
4.10	Tangan Prostetik dengan Empat Jari Terpasang.	63
4.11	Hasil Pengolahan Citra Tangan Empat (4) Jari.	64
4.12	Tangan Prostetik dengan Satu (1) Jari Terpasang.	65
4.13	Hasil Pengolahan Citra Tangan Satu Jari.	65
4.14	Pergerakan Jari saat Sinyal Input 90°.	66
4.15	Hasil Pengolahan Citra saat Input 90°.	66
4.16	Pergerakan Jari saat Sinyal Input 180°.	67
4.17	Hasil Pengolahan Citra saat Input 180°.	67
A.1	Model Kinematika Jari Telunjuk [8].	77
A.2	Model Kinematika Jari Tengah [8].	78
A.3	Model Kinematika Jari Manis [8].	79
A.4	Model Kinematika Jari Kelingking [8].	80
B.1	Tampilan Situs <i>SynGrasp</i>	91
B.2	Tampilan Situs <i>SynGrasp</i>	92

Daftar Simbol dan Variabel

θ_i	<i>joint angle</i>
α_i	<i>link twist</i>
d_i	<i>link offset</i>
a_i	<i>link length</i>
γ	orientasi titik lokal
\pm	plus-minus
i	indeks tulang phalangeal
l_{OO_V}	koordinat lokal menuju koordinat global
w	faktor skala
Q	faktor intrinsik kamera
s	koefisien <i>skew</i>
F	<i>focal length</i> sumbu x
f_x	<i>focal length</i> pada sumbu x
f_y	<i>focal length</i> pada sumbu y
c_x	<i>optical center</i> pada sumbu x
c_y	<i>optical center</i> pada sumbu y
p_x	ukuran piksel pada sumbu x
p_y	ukuran piksel pada sumbu y

Daftar Singkatan dan Istilah

HL	<i>Hand Length</i>
HB	<i>Hand Breadth</i>
CMC	<i>Carpometacarpal</i>
MCP	<i>Metacarpophalangeal</i>
IP	<i>Interphalangeal</i>
PIP	<i>Proximal interphalangeal</i>
DIP	<i>Distal interphalangeal</i>
F	<i>Flexion</i>
E	<i>Extension</i>
Abd	<i>Abduction</i>
Add	<i>Adduction</i>
DH	<i>Denavit-Hartenberg</i>

Bab 1

Pendahuluan

Dalam bab ini dijelaskan latar belakang penelitian mengenai tangan prostetik. Selain itu juga dijelaskan mengenai tujuan, manfaat dan batasan penelitian perancangan purwarupa virtual tangan prostetik. Metodologi penelitian, serta sistematika penulisan juga dipaparkan dalam bab ini.

1.1 Latar Belakang Masalah

Tangan prostetik adalah benda yang ditujukan untuk menggantikan tangan manusia yang telah diamputasi/cacat [11]. Cacat pada tangan menyebabkan seseorang mengalami kehilangan kemampuan untuk berinteraksi dengan lingkungan dan komunikasi dengan orang lain. Penggunaan tangan prostetik diharapkan dapat membantu para tuna daksa dalam menjalani aktivitas kehidupan sehari-hari seperti menggenggam, makan, dan lain sebagainya.



(a)



(b)

Gambar 1.1 Tangan Prostetik (a) Pasif [1], (b) Aktif [2]

Secara umum tangan prostetik dibagi menjadi dua (2) kelompok utama, yaitu pasif dan aktif. Tangan prostetik pasif membutuhkan gaya eksternal untuk menyesuaikan mekanismenya dalam menggenggam sebuah benda. Contoh tangan ini ditunjukkan pada Gambar 1.1(a). Sedangkan pada tangan prostetik aktif memiliki mekanisme menggenggam yang dapat dikontrol secara internal melalui aktuator seperti motor DC sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.1(b) [11, 12]. Penelitian ini akan difokuskan pada tangan prostetik aktif.

Dalam proses pembuatan sebuah tangan prostetik aktif, dibutuhkan biaya yang besar dan waktu yang lama. Hal tersebut disebabkan karena tangan prostetik aktif terdiri atas sistem elektrik, kontrol dan sensor yang tertanam sebagai suatu kesatuan pada sistem tangan tersebut. Desain tangan prostetik juga menjadi pertimbangan karena tangan prostetik tersebut merupakan tempat sistem kontrol diterapkan dan ditempatkan. Jika diperhatikan dari sisi anatomi tangan, perancangan tangan prostetik juga memerlukan pemahaman dasar mengenai struktur tangan manusia yang terdiri dari tulang dan sendi. Pemahaman tersebut berguna sebagai data pendukung perancangan model tangan baik untuk desain tangan maupun pemodelan gerakan tangan [13].

Pada Program Studi Teknik Elektro (Konsentrasi Mekatronika) Universitas Katolik Parahyangan, sebelumnya telah dilakukan penelitian dan pengembangan sebuah purwarupa tangan prostetik [14]. Namun demikian, penelitian [14] tersebut lebih difokuskan pada desain perangkat keras dan belum meninjau secara komprehensif hubungan antara analisis/model matematis tangan prostetik dengan perangkat keras purwarupa yang dikembangkan. Penelitian pada Tugas Akhir ini ditujukan untuk mengembangkan lebih lanjut penelitian [14] melalui analisis dan desain yang secara komprehensif menghubungkan model matematis kinematika tangan prostetik dengan simulator virtual maupun perangkat keras dari purwarupa tangan prostetik yang ditinjau. Fungsionalitas dari tangan seperti menggenggam juga dapat disimulasikan secara virtual untuk mendapatkan model tangan yang realistis.

Penelitian ini mengadaptasi metode kerja/alur penelitian berdasarkan hasil penelitian oleh Dr. Esteban Peña Pitarch [8] dengan mengkaji anatomi tangan manusia kemudian memodelkan kinematika. Setelah model didapatkan dilakukan analisis kinematika dan hasil model kinematika disimulasikan. Pada [8], simulasi kinematika dilakukan dengan membuat sebuah *Graphical User-Interface* (GUI) berbasis *Visual Basic*. Dalam penelitian ini, simulasi akan dilakukan menggunakan *toolbox SynGrasp* berbasis pada *MATLAB*.

1.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan pada subbab 1.1 mengenai perancangan tangan prostetik, adapun masalah yang teridentifikasi adalah terkait kompleksitas desain sistem tangan prostetik secara keseluruhan. Perancangan model tangan dan pemodelan gerak membutuhkan data mengenai struktur tangan sebagai parameter dasar. Selain itu, kurangnya sarana/media dalam perancangan dan pemodelan secara

virtual yang mendukung penelitian tangan robot. Adapun perumusan masalah pada Laporan Tugas Akhir adalah sebagai berikut:

1. Sarana/media apa yang dapat menunjang penelitian tangan prostetik?
2. Bagaimana cara menentukan data struktur tangan manusia?
3. Bagaimana cara memodelkan gerakan dari setiap jari baik secara serial atau paralel?
4. Bagaimana cara mengendalikan gerakan tangan prostetik?

1.3 Batasan Masalah dan Asumsi

Untuk memecahkan masalah pada subbab 1.2, terdapat beberapa batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

- Pemodelan mencakup keseluruhan lima (5) jari tangan.
- Tangan prostetik yang ditinjau memiliki 25 derajat kebebasan dengan sumbu rotasi pada sumbu Z pada setiap *joint*.
- Pemodelan dilakukan dengan analisis kinematika berdasarkan aturan *Denavit-Hartenberg*.
- Visualisasi dan simulasi pemodelan kinematika tangan dilakukan menggunakan *SynGrasp* [15] pada *MATLAB* versi R2020a.
- Desain tangan prostetik dilakukan menggunakan *SolidWorks* 2019.
- Pengujian akan berfokus pada gerakan *Flexion* dan *Extension*.

Selain itu juga terdapat asumsi yang diterapkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Data ukuran tangan yang digunakan merepresentasikan tangan manusia usia produktif dari rentang usia 20 tahun hingga 40 tahun.
- Kondisi pencahayaan pada ruangan terang dan merata pada saat pengambilan citra.

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan Tugas Akhir adalah untuk merancang suatu simulator virtual serta purwarupa awal tangan prostetik dengan 25 derajat kebebasan berdasarkan model dan analisis kinematika. Hasil penelitian diharapkan dapat dijadikan sebagai basis dalam penelitian tangan prostetik untuk membantu penyandang disabilitas (tuna daksa) serta digunakan sebagai sarana pendukung kegiatan akademik di Teknik Elektro (Konsentrasi Mekatronika) Universitas Katolik Parahyangan, khususnya pada mata kuliah Kinematika Robot.

1.5 Manfaat Tugas Akhir

Adapun manfaat dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

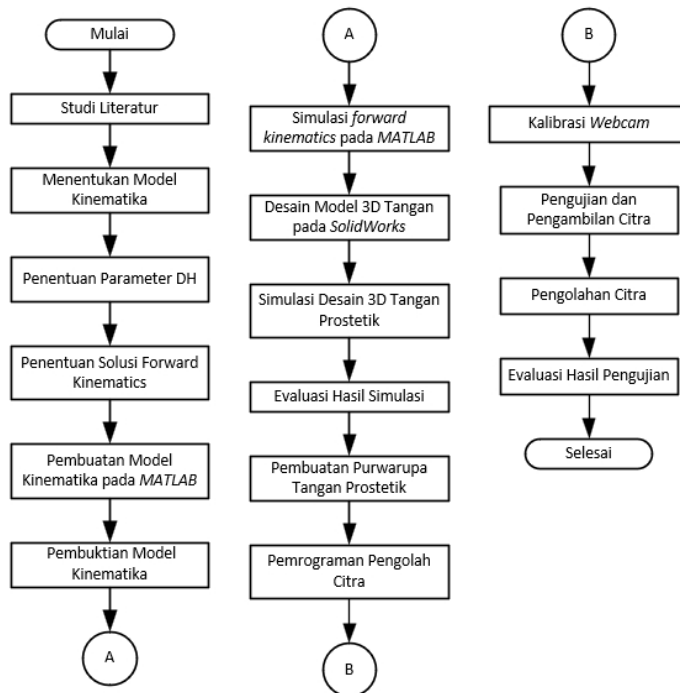
1. Hasil penelitian Tugas Akhir dapat digunakan sebagai dasar desain tangan prostetik.
2. Buku Tugas Akhir dapat digunakan sebagai referensi pengembangan tangan prostetik.
3. Kepada Program Studi Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika Universitas Katolik Parahyangan, sebagai topik penelitian berkelanjutan.
4. Kepada mahasiswa Program Studi Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika Universitas Katolik Parahyangan, dapat digunakan sebagai sarana pembelajaran, khususnya untuk mata kuliah Kinematika Robot.
5. Kepada masyarakat umum, sebagai media informasi dan pengetahuan mengenai tangan prostetik.

1.6 Metodologi Tugas Akhir

Pada Tugas Akhir ini, pemodelan kinematika tangan prostetik dengan 25 derajat kebebasan dilakukan dalam beberapa tahap yaitu studi literatur, penentuan parameter tangan dan model umum, analisis *Denavit-Hartenberg*, analisis kinematika, simulasi model kinematika. Kemudian dilakukan pendesainan dan pembuatan purwarupa tangan prostetik serta pengambilan dan pengolahan citra purwarupa. Penjelasan mengenai metodologi Tugas Akhir adalah sebagai berikut :

1. Langkah awal yang dilakukan adalah melakukan studi literatur. Adapun literatur yang dipelajari dan didalami adalah jurnal buku dan *website* terkait anatomi dan fisiologi tangan manusia, model umum tangan prostetik, analisis berdasarkan aturan *Denavit-Hartenberg*, analisis kinematika robot, analisis genggam tangan prostetik serta *SynGrasp*.
2. Langkah selanjutnya adalah menentukan model parametrik jari. Model parametrik jari yang ditentukan berupa panjang tulang jari tangan. Dalam tahap ini, panjang tulang jari yang digerakkan saat melakukan genggam tangan ditentukan.
3. Langkah berikutnya adalah membuat sebuah model umum kinematika. Model umum ini kemudian dianalisis berdasarkan aturan *Denavit-Hartenberg*. Hasil analisis yang didapatkan berupa tabel *Denavit-Hartenberg*.
4. Langkah selanjutnya berupa analisis kinematika, yaitu *forward kinematics*. Analisis dilakukan berdasarkan pemodelan matematis berdasarkan tabel *Denavit-Hartenberg* yang telah ditemukan.

5. Selanjutnya model kinematika disimulasikan pada *MATLAB* dengan menggunakan *SynGrasp* [15]. Simulasi dijalankan untuk menentukan *home position* dan *forward kinematics* pada model kinematika tangan.
6. Langkah selanjutnya, dilakukan pendesainan dan pembuatan purwarupa tangan prostetik. Pendesainan dilakukan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks* 2019. Selain itu, diusulkan mekanisme gerak untuk purwarupa.
7. Langkah berikutnya, dilakukan pemrograman untuk menghasilkan sebuah program pengolah citra dengan memanfaatkan *webcam*.
8. Langkah selanjutnya berupa melakukan kalibrasi *webcam* melalui aplikasi *CAMERA CALIBRATOR*.
9. Langkah berikutnya, dilakukan pengujian mekanisme gerak serta pengambilan citra purwarupa melalui *webcam*. Adapun citra/gambar yang diambil adalah posisi akhir pergerakan purwarupa.
10. Terakhir, dilakukan pengolahan citra terhadap hasil tangkapan citra dari *webcam* untuk lokalisasi.



Gambar 1.2 Diagram Alir Metodologi Tugas Akhir

1.7 Sistematika Penulisan

Laporan Tugas Akhir ini dibagi menjadi lima (5) bab, yakni sebagai berikut:

1. **Bab 1 Pendahuluan.** Dalam bab ini dijelaskan mengenai latar belakang masalah, identifikasi dan perumusan masalah, batasan masalah dan asumsi, tujuan Tugas Akhir, manfaat Tugas Akhir, metodologi Tugas Akhir serta sistematika penulisan Laporan Tugas Akhir.
2. **Bab 2 Tinjauan Pustaka.** Bab ini berisi teori-teori yang berhubungan dengan pemecahan masalah, seperti anatomi tangan manusia, lengan robot, analisis *Denavit-Hartenberg*, analisis kinematika serta *SynGrasp*. Selain itu dipaparkan secara singkat mengenai lengan prostetik. Pada akhir bab ini, dijabarkan mengenai lokalisasi dengan pengolahan citra.
3. **Bab 3 Perancangan Sistem.** Dalam bab ini dipaparkan antara lain:
 - (a) Model parametrik jari
 - (b) Model umum tangan prostetik.
 - (c) Tabel *Denavit-Hartenberg* model umum kinematika tangan.
 - (d) Pemodelan dan pengujian kinematika jari pada model umum kinematika tangan.
 - (e) Simulasi Desain *SolidWorks*.
 - (f) Persiapan *3D printing*.
 - (g) Mekanisme Gerak Tangan Prostetik.
 - (h) Pengujian Mekanisme Gerak Tangan Prostetik.
4. **Bab 4 Simulasi dan Analisis.** Dalam bab ini dipaparkan hasil simulasi dan analisis mengenai simulasi *forward kinematics*, simulasi desain tangan prostetik, hasil *3D printing* dan kalibrasi *webcam*. Selain itu dalam bab ini juga dijabarkan mengenai pengujian dan lokalisasi tangan prostetik.
5. **Bab 5 Simpulan dan Saran.** Dalam bab ini dipaparkan simpulan untuk menjawab identifikasi masalah dari Tugas Akhir ini. Selain itu, terdapat saran untuk pengembangan penelitian Tugas Akhir ini berdasarkan berdasarkan simulasi dan pengujian selama pengerjaan Tugas Akhir.