

**Rancang Bangun Alat Uji *Dorsiflexion* dan *Hysteresis* Telapak  
Kaki Palsu**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat  
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



**Disusun Oleh :**

**Nama : Wahyudi Pratama**

**No. Mahasiswa : 15525057**

**NIRM : 2015011744**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA**

**2021**

# LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

## Rancang Bangun Alat Uji *Dorsiflexion* dan *Hysteresis* Telapak Kaki Palsu

### TUGAS AKHIR

#### Disusun Oleh :

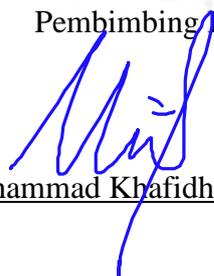
Nama : Wahyudi Pratama

No. Mahasiswa : 15525057

NIRM : 2015011744

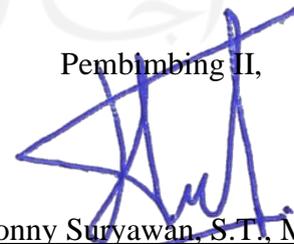
Yogyakarta, 20 September 2021

Pembimbing I,



Dr. Muhammad Khafidh, S.T., M.T.

Pembimbing II,



Donny Suryawan, S.T., M.Eng.

## LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

### Rancang Bangun Alat Uji *Dorsiflexion* dan *Hysteresis* Telapak Kaki Palsu

#### TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Wahyudi Pratama

No. Mahasiswa : 15525057

NIRM : 2015011744

Tim Penguji

Dr. Muhammad Khafidh, S.T., M.T.

Ketua

  
Tanggal : 8 Oktober 2021

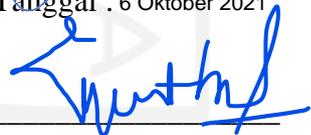
Santo Ajie Dewanto, S.T., M.M.

Anggota I

  
Tanggal : 6 Oktober 2021

Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T.

Anggota II

  
Tanggal : 5/10/21

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



  
Dr. Eng. Risdiyono, S.T., M.Eng.

## PERNYATAAN KEASLIAN

Demi Allah yang maha segalanya, dengan ini saya menyatakan bahwa karya ini merupakan hasil kerja saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang telah saya cantumkan sumbernya sebagai referensi. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa pengakuan saya tidak benar, serta melanggar peraturan yang sah dalam hak kekayaan intelektual, maka saya bersedia mengikuti hukum maupun sanksi apapun sesuai hukum yang diberlakukan di Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 20 September 2021



Wahyudi Pratama

15525057



## HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim...

Puji dan syukur atas nikmat Allah SWT yang telah memberikan saya kekuatan dan kesehatan selalu.

Saya persembahkan tugas akhir ini kepada orang tua saya, bapak dan mama tercinta yang tak hentinya memanjatkan do'a, menasehati, segala bentuk dukungan dan menyayangi anaknya dengan tulus.

Teruntuk teman-teman dan saudara yang telah memberikan semangat dan bantuan-bantuan kecil maupun besar kepada saya, sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Dosen pembimbing Dr. Muhammad Khafidh, ST., M.T. dan dosen Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, yang selalu ada untuk memberikan ilmu, arahan, masukan dan pengetahuan yang berharga bagi penulis. Sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

## HALAMAN MOTTO

“Rasulullah bersabda: Barangsiapa menempuh jalan untuk mendapatkan ilmu,  
Allah akan memudahkan baginya jalan menuju surga.

(HR. Muslim)

“Janganlah kamu bersikap lemah dan janganlah pula kamu bersedih hati, padahal  
kamulah orang-orang yang paling tinggi derajatnya jika kamu beriman”

(QS. Ali-Imran: 139)

“Tiga tahap dalam pendidikan dasar: pertama mengalami sebab akibat; kedua  
memahami sebab akibat dan ketiga merancang sebab akibat”

(Toto Raharjo)



## KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh*

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya. Hanya dengan izin-Nya lah penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul Rancang Bangun Alat Uji *Dorsiflexion* dan *Hysteresis* Telapak Kaki Palsu

Laporan tugas akhir ini ditulis berdasarkan data dan fakta setelah melakukan proses pengerjaan alat uji telapak kaki palsu. Tujuan penulisan laporan tugas akhir untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan studi serta dalam rangka memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Terselesaikannya laporan tugas akhir, tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya. Yang telah memberikan bantuan moril maupun material baik langsung maupun tidak langsung dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Kepada yang saya hormati:

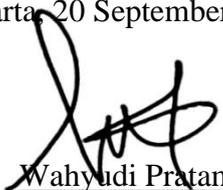
1. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Hari Purnomo, M.T. Selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia
2. Bapak Dr. Eng. Risdiyono, ST., M.Eng. Selaku ketua Prodi Teknik Mesin yang memberikan ijin dan menyetujui penulisan melaksanakan tugas akhir dengan judul topik “Rancang Bangun Alat Uji *Dorsiflexion* dan *Hysteresis* Telapak Kaki Palsu”.
3. Bapak Dr. Muhammad Khafidh, ST., MT. Selaku dosen pembimbing 1 yang selalu memberikan pengawasan, arahan, saran, serta pandangan dari perspektif lain sehingga penulis mampu melihat masalah dari berbagai sudut pandang.
4. Bapak Donny Suryawan, S.T., M.Eng. Selaku dosen pembimbing 2 yang selalu memberikan waktu luang untuk senantiasa memberikan arahan dan saran dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

5. Teristimewa kepada keluarga tercinta penulis, ayahanda H. Abdul Wahid, ibunda Hj. Siti Marwah, Alm. kakek H. Cammi nenek Hj. Norma dan adik-adik penulis yang masih kecil yang telah memberikan dorongan, dukungan, mendo'akan dan serta telah memberikan bantuan secara moril maupun moral. Sehingga dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik dan benar.
6. Rekan tugas akhir bernama Tri Nurudin yang meluangkan waktunya, tenaga dan pikiran bersama untuk menyelesaikan tugas akhir dengan topik “Rancang Bangun Alat Uji *Dorsiflexion* dan *Hysteresis* Telapak Kaki Palsu”.
7. Kepada Bapak Sugeng dan Bapak Eko yang telah memberikan informasi, berbagai pengalaman dan membantu untuk merancang tugas akhir ini.
8. Seluruh Saudaraku mahasiswa dan Alumni Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia, yang telah banyak memberikan informasi, motivasi, dan pengalaman.

Akhir kata dari penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan penulis juga menyadari dalam pembuatan laporan tugas akhir ini masih banyak kekurangan yang masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran guna untuk menyempurnakan laporan tugas akhir ini. Semoga laporan ini dapat berguna dan bermanfaat bagi pembaca. Amin

***Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh***

Yogyakarta, 20 September 2021



Wahyuudi Pratama

## ABSTRAK

Penyandang disabilitas penduduk di Indonesia yang relatif tinggi mencapai 2.126.000 dengan total jumlah tuna daksa 717.312 sama dengan menyumbang 47,4% dari total keseluruhan jumlah. Kaki prostetik adalah kaki buatan yang menyerupai bentuk aslinya untuk menggantikan bagian tubuh yang hilang. Banyaknya alat bantu difabel yang beredar, tetapi pengguna tidak merasakan kenyamanan dalam aktivitas sehari-hari. Sehingga dibutuhkan alat untuk menguji kinerja telapak kaki buatan, penelitian ini bertujuan untuk merancang alat uji *dorsiflexion* dan *hysteresis* telapak kaki palsu dan mengevaluasi produk telapak kaki buatan. Metode perancangan dalam penelitian ini menggunakan metode morfologi mendapatkan satu produk sehingga memberikan bentuk produk, proses perancangan desain menggunakan perangkat lunak *Solidworks* dan *Fusion 360*, kemudian desain perancangan di fabrikasi. Alat uji yang telah dirancang berhasil melakukan pengujian dan mengikuti prosedur ISO 10328 dengan memberikan beban tekan sebesar 100 kg (kode P5) pada telapak kaki palsu dengan kecepatan 50 mm/menit dalam waktu 15 detik. Hasil dari pengujian terhadap telapak kaki palsu menggunakan 2 mekanisme pembacaan jarak, pada batang lurus nilai jaraknya *error* terlalu besar dibandingkan dengan penggunaan *linear bearing* hasilnya lebih presisi.

Kata kunci : Disabilitas, Kaki Prostetik, Dorsiflexion, Hysteresis, Metode Morfologi

## **ABSTRACT**

*The population with disabilities in Indonesia is relatively high, reaching 2,126,000 with a total number of 717,312 physically disabled people, which is the same as contributing 47,4% of the total number. A prosthetic leg is an artificial leg that resembles its original shape to replace a missing body part. Many disability aids are available, but users do not feel comfortable in their daily activities. So that a tool is needed to test the performance of synthetic soles, this study aims to design a dorsiflexion and hysteresis test device for synthetic soles and evaluate artificial foot products. The design method in this study uses the morphological way to get one product, so it gives the shape of the product. The design process uses SolidWorks and Fusion 360 software, starts to fabricate the design after. The test equipment for the product has successfully carried out the test and followed the ISO 10328 procedure by providing a compressive load of 100 kg (code P5) on the prosthetic sole at a speed of 50 mm/minute in 15 seconds. The results of testing the false feet using two distance reading mechanisms. On a straight shaft, the distance value is too large. The error is too large compared to the use of linear bearings. The results are appropriate.*

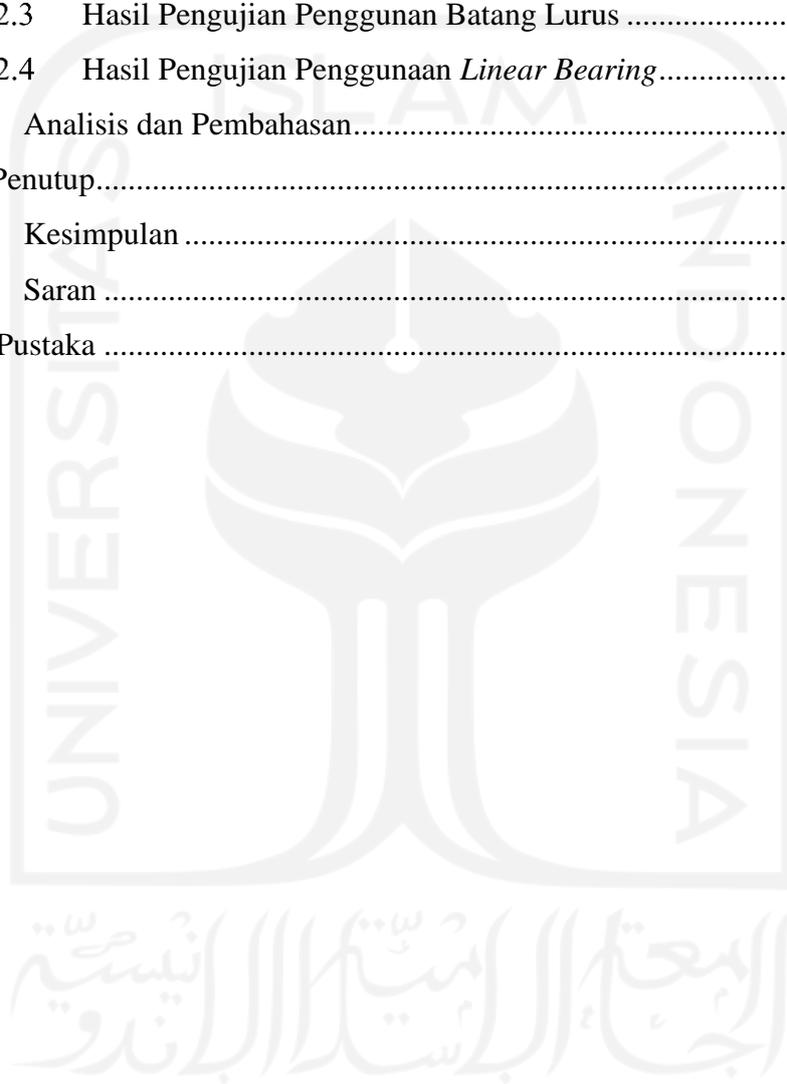
*Keywords : Disability, Prosthetic Leg, Dorsiflexion, Hysteresis, Morphological Method*

## DAFTAR ISI

Halaman Judul .....	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing .....	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji .....	iii
Halaman Persembahan .....	v
Halaman Motto .....	vi
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih .....	vii
Abstrak .....	ix
<i>Abstract</i> .....	x
Daftar Isi .....	xi
Daftar Tabel .....	xiv
Daftar Gambar .....	xv
Daftar Notasi .....	xviii
Bab 1 Pendahuluan .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan .....	2
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka .....	5
2.1 Landasan Teori .....	5
2.1.1 Siklus Jalan ( <i>Gait Cycle</i> ) .....	5
2.1.2 <i>Dorsiflexion</i> .....	7
2.1.3 <i>Hysteresis</i> .....	8
2.1.4 Standar Pengujian .....	9
2.1.5 <i>Computer Aided Design (CAD)</i> .....	11
2.1.6 Metode Morfologi .....	12
2.2 Kajian Pustaka .....	14
2.2.1 Alat Uji <i>Dorsiflexion</i> dari India .....	14
2.2.2 Alat Uji <i>Dorsiflexion</i> dari Iraq .....	16

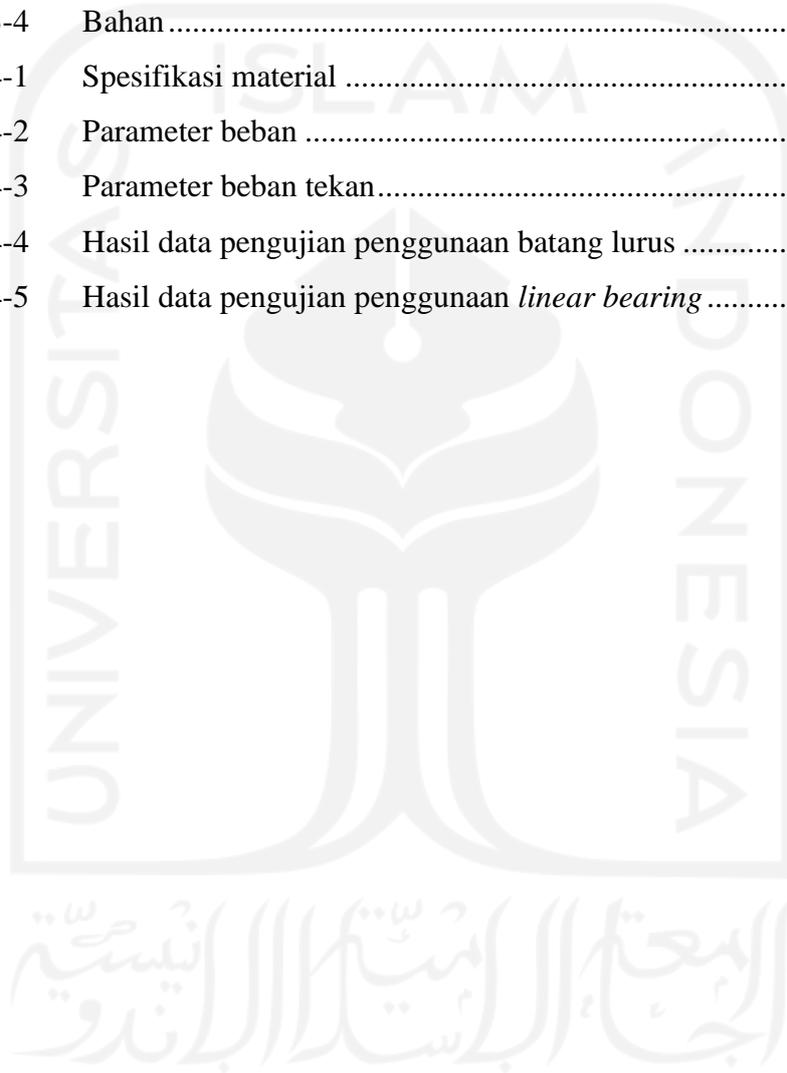
Bab 3 Metode Penelitian .....	18
3.1 Alur Penelitian .....	18
3.2 Kriteria Perancangan.....	19
3.2.1 Kriteria <i>Must</i> .....	19
3.2.2 Kriteria <i>Want</i> .....	19
3.3 Fungsi.....	19
3.3.1 Blok Fungsi .....	19
3.3.1 Diagram Blok Fungsi .....	20
3.4 Perancangan Konsep Produk .....	20
3.4.1 Matriks Morfologi .....	20
3.4.2 Pengembangan Konsep Produk.....	21
3.4.3 Evaluasi Konsep Produk Sesuai Matriks Pengambilan Keputusan	24
3.5 Peralatan dan Bahan.....	26
3.6 Perancangan Desain .....	29
3.6.1 Rangka .....	29
3.6.2 Batang Poros.....	30
3.6.3 Mekanisme Menggeser Batang Poros .....	31
3.6.4 <i>Bracket</i> Telapak Kaki Palsu .....	32
3.6.5 Penekan.....	32
3.6.6 Mekanisme Pembacaan Jarak.....	33
3.6.7 Selongsong Jempol Telapak Kaki Palsu.....	35
3.6.8 <i>Alas control, power supply, background</i> dan sensor.....	36
Bab 4 Hasil dan Pembahasan .....	38
4.1 Hasil Perancangan.....	38
4.1.1 Assembly 3D .....	38
4.1.2 Simulasi Analisis Kekuatan.....	39
4.1.3 Rangka .....	43
4.1.4 Rumah Rel Laci .....	43
4.1.5 Batang Poros.....	45
4.1.6 <i>Bracket</i> Telapak Kaki Palsu .....	47
4.1.7 <i>Alas</i> Penekan dan <i>Bracket</i> Silinder Pneumatik .....	48
4.1.8 <i>Assembly</i> Pembacaan Jarak .....	48

4.1.9	3D <i>Printing</i> Selongsong Jempol Kaki .....	51
4.1.10	Laser <i>Cutting</i> Alas .....	52
4.1.11	Perakitan Alat .....	54
4.2	Hasil Pengujian .....	54
4.2.1	Titik Penekanan .....	54
4.2.2	Pengujian Alat .....	56
4.2.3	Hasil Pengujian Penggunaan Batang Lurus .....	58
4.2.4	Hasil Pengujian Penggunaan <i>Linear Bearing</i> .....	60
4.3	Analisis dan Pembahasan.....	62
Bab 5 Penutup.....		66
5.1	Kesimpulan .....	66
5.2	Saran .....	66
Daftar Pustaka .....		68



## DAFTAR TABEL

Tabel 2-1	Hasil uji <i>Dorisiflexion</i> di Iraq.....	17
Tabel 3-1	Matriks Morfologi untuk alat uji .....	21
Tabel 3-2	Matriks keputusan untuk memilih konsep alat uji.....	25
Tabel 3-3	Peralatan .....	26
Tabel 3-4	Bahan .....	27
Tabel 4-1	Spesifikasi material .....	39
Tabel 4-2	Parameter beban .....	40
Tabel 4-3	Parameter beban tekan.....	55
Tabel 4-4	Hasil data pengujian penggunaan batang lurus .....	59
Tabel 4-5	Hasil data pengujian penggunaan <i>linear bearing</i> .....	61



## DAFTAR GAMBAR

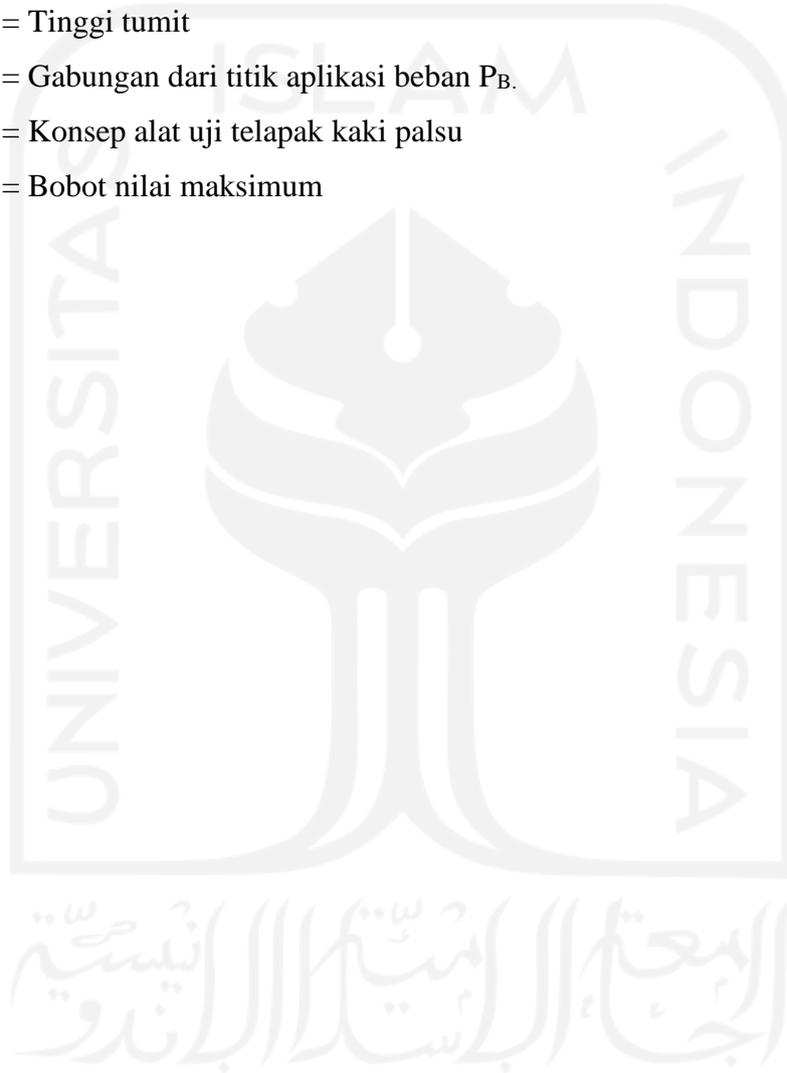
Gambar 2-1	Siklus jalan ( <i>gait cycle</i> ).....	5
Gambar 2-2	Gerakan <i>Dorsiflexion</i> .....	8
Gambar 2-3	Pengukuran <i>hysteresis</i> .....	9
Gambar 2-4	Sistem koordinat telapak kaki palsu .....	9
Gambar 2-5	Spesifikasi titik referensi .....	10
Gambar 2-6	Letak penekan beban bawah .....	11
Gambar 2-7	Alat defleksi beban .....	15
Gambar 2-8	Kaki baru dan kaki SACH .....	16
Gambar 2-9	Mesin Testometrik .....	17
Gambar 3-1	Diagram alir .....	18
Gambar 3-2	Blok fungsi.....	19
Gambar 3-3	Diagram blok fungsi .....	20
Gambar 3-4	Konsep 1 .....	22
Gambar 3-5	Konsep 2 .....	23
Gambar 3-6	Konsep 3 .....	23
Gambar 3-7	Desain 3D <i>Rangka</i> .....	30
Gambar 3-8	Desain 3D Telapak kaki palsu .....	30
Gambar 3-9	Desain 3D Batang poros .....	31
Gambar 3-10	Desain 3D Mekanisme geser batang poros.....	31
Gambar 3-11	Desain 3D Bracket telapak kaki palsu .....	32
Gambar 3-12	Desain 3D Penekan .....	33
Gambar 3-13	Konsep 1 penggunaan batang lurus .....	33
Gambar 3-14	Desain 3D Batang lurus .....	34
Gambar 3-15	Konsep 2 penggunaan <i>linear bearing</i> .....	34
Gambar 3-16	Desain 3D <i>Linear bearing</i> .....	34
Gambar 3-17	Desain 3D Batang penghubung .....	35
Gambar 3-18	Desain 3D Selongsong jempol telapak kaki palsu.....	35
Gambar 3-19	Desain 3D Alas <i>Control</i> .....	36
Gambar 3-20	Desain 3D Alas <i>power supply</i> .....	36
Gambar 3-21	Desain 3D <i>Background</i> .....	37

Gambar 3-22	Desain 3D Posisi sensor.....	37
Gambar 4-1	<i>Assembly</i> keseluruhan.....	38
Gambar 4-2	Tampak depan.....	38
Gambar 4-3	Tampak samping.....	39
Gambar 4-4	<i>fixed geometry</i> .....	40
Gambar 4-5	<i>Force</i> .....	40
Gambar 4-6	<i>Stress analysis</i> .....	41
Gambar 4-7	<i>Strain analysis</i> .....	41
Gambar 4-8	<i>Displacement analysis</i> .....	42
Gambar 4-9	<i>Assembly</i> bentuk rangka.....	43
Gambar 4-10	<i>Assembly</i> bentuk rumah rel laci.....	44
Gambar 4-11	Penutup rumah rel laci.....	44
Gambar 4-12	Posisi rumah rel laci.....	45
Gambar 4-13	Pelumasan rel laci.....	45
Gambar 4-14	Batang poros <i>female</i> .....	45
Gambar 4-15	Batang poros <i>male</i> .....	46
Gambar 4-16	Batang poros.....	46
Gambar 4-17	Penyambungan kedua batang poros.....	46
Gambar 4-18	Pembuatan ulir luar.....	47
Gambar 4-19	<i>Assembly</i> bentuk <i>bracket</i> .....	47
Gambar 4-20	<i>Assembly</i> bentuk plat penekan.....	48
Gambar 4-21	<i>Assembly Bracket</i> silinder <i>pneumatic</i> .....	48
Gambar 4-22	<i>Assembly</i> batang lurus.....	49
Gambar 4-23	<i>Assembly</i> alas <i>linear bearing</i> .....	49
Gambar 4-24	Batang luar.....	50
Gambar 4-25	Batang dalam.....	50
Gambar 4-26	Pemasangan pegas.....	50
Gambar 4-27	Pelubangan batang poros.....	51
Gambar 4-28	<i>Assembly</i> mekanisme <i>linear bearing</i> .....	51
Gambar 4-29	Selongsong jempol kaki.....	52
Gambar 4-30	Pemasangan selongsong kaki.....	52
Gambar 4-31	<i>Assembly</i> alas <i>control</i> .....	52

Gambar 4-32	<i>Assembly</i> alas <i>power supply</i> .....	53
Gambar 4-33	<i>Assembly</i> alas sensor.....	53
Gambar 4-34	<i>Assembly background</i> .....	53
Gambar 4-35	Alat uji <i>Dorsiflexion</i> dan <i>Hysteresis</i> telapak kaki palsu .....	54
Gambar 4-36	Telapak kaki buatan .....	56
Gambar 4-37	Pemasangan mekanisme batang lurus.....	57
Gambar 4-38	Pemasangan mekanisme <i>linear bearing</i> .....	57
Gambar 4-39	Pengujian penggunaan batang lurus .....	58
Gambar 4-40	Grafik penggunaan batang lurus.....	59
Gambar 4-41	Pengujian penggunaan <i>linear bearing</i> .....	60
Gambar 4-42	Grafik penggunaan <i>linear bearing</i> .....	61
Gambar 4-43	Berat batang poros .....	62
Gambar 4-44	Bagian atas batang poros .....	63
Gambar 4-45	Plat besi penekanan.....	63
Gambar 4-46	Klem selang .....	64
Gambar 4-47	Patahan selongsong jempol kaki.....	64

## DAFTAR NOTASI

- $u$  = Garis tengah  
 $L$  = Panjang kaki  
 $P_B$  = Titik aplikasi beban bawah  
 $S_B$  = Gabungan titik aplikasi beban bawah dari sumbu  $u$  ke  $P_B$   
 $h_r$  = Tinggi tumit  
 $f_B, o_B$  = Gabungan dari titik aplikasi beban  $P_B$ .  
 $K$  = Konsep alat uji telapak kaki palsu  
 $W_t$  = Bobot nilai maksimum



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Penyandang disabilitas (tuna daksa) yang disebabkan karena kecelakaan maupun penyakit seperti stroke, kanker, diabetes dan lain sebagainya (Fitrianto & Dharmastiti, 2019). Langkah terakhir untuk mencegah penyebaran penyakit tersebut hanyalah amputasi. Amputasi adalah tindakan medis untuk memotong bagian tubuh tertentu sehingga hilangnya fungsi jalan dan jaringan tubuh, tetapi sebagian jaringan masih terhubung oleh otot, tulang, dan sendi.

Menurut catatan dari Pusat Data Informasi Nasional, penyandang disabilitas dari semua penduduk di Indonesia yang relatif tinggi mencapai 2.126.000 jiwa dengan total jumlah tuna daksa 717.312 dan tuna daksa dengan grahita berjumlah 149.458 jiwa. Sama dengan menyumbang 47,4% dari total keseluruhan jumlah (PDII, 2012).

Saat ini disabilitas sudah terbantu dengan adanya alat bantu difabel, yang paling umum digunakan adalah kursi roda, tongkat jalan, dan kaki palsu bawah lutut. Selain itu, penyandang disabilitas pada bagian kaki palsu bawah lutut mengharapkan bisa berjalan normal walaupun menggunakan alat bantu difabel. Banyaknya alat bantu difabel yang beredar, tetapi pengguna tidak merasakan kenyamanan dalam aktivitas sehari-hari. Oleh karena itu, ilmuwan telah membuat inovasi produk yang biasa dikenal kaki prostetik. Kaki prostetik adalah kaki buatan yang menyerupai bentuk aslinya untuk menggantikan bagian tubuh yang hilang, dengan menerapkan standar internasional.

Sebelum di produksi massal dibutuhkan alat untuk menguji kinerja dari telapak kaki buatan, agar pasien menggunakan sangat nyaman dan aman dengan jangka waktu yang panjang. Walaupun demikian, jarang ditemui alat pengujian buatan lokal pada telapak kaki palsu.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat uji telapak kaki palsu dan mengevaluasi produk telapak kaki buatan. Adanya kelemahan dari produk yang sudah ada, muncul berbagai ide untuk menutupi kelemahan dan mengembangkan

produk sesuai standar ISO 10328. Penulis mengangkat topik tugas akhir dengan judul “Rancang Bangun Alat Uji *Dorsiflexion* dan *Hysteresis* Telapak Kaki Palsu.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan oleh penulis, maka muncul permasalahan-permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana desain perancangan alat uji *dorsiflexion* dan *hysteresis* telapak kaki palsu yang lebih efisien?
2. Bagaimana mekanisme pergantian telapak kaki palsu?
3. Bagaimana desain tersebut bisa menguji telapak kaki palsu?
4. Bagaimana hasil pengujian telapak kaki palsu?

## 1.3 Batasan Masalah

Tugas akhir yang dilaksanakan ini memiliki batasan masalah, maka diberi batasan permasalahan sebagai berikut :

1. Proses perancangan desain menggunakan perangkat lunak *solidworks* 2018 dan *Fusion* 360.
2. Telapak kaki buatan yang digunakan berbagai macam ukuran.
3. Desain perancangan alat uji telapak kaki palsu mengikuti prosedur ISO 10328.
4. Membandingkan hasil dari produk telapak kaki buatan.
5. Laporan tugas akhir ini tidak membahas tentang *control* maupun pemrogramannya.

## 1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Berdasarkan pada rumusan masalah yang sudah dijelaskan sebelumnya, maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Merancang dan membuat produk alat uji *dorsiflexion* dan *hysteresis* telapak kaki palsu, serta memperhatikan ruang kerja.
2. Merancang dan membuat mekanisme pergantian telapak kaki palsu sehingga bisa digunakan untuk semua ukuran.

3. Mengaplikasikan alat uji telapak kaki palsu berdasarkan ISO 10328 dengan memberikan gaya tekan yang diterima sebesar 100 kg.
4. Merancang mekanisme pembacaan jarak pada alat uji *dorsiflexion* dan *hysteresis* telapak kaki palsu.

## 1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Adapun manfaat yang didapatkan dengan adanya perancangan alat uji telapak kaki yaitu penulis mengharapkan :

1. Dapat dijadikan sebagai referensi atau contoh di dalam dunia industri, masyarakat maupun kampus.
2. Pasien dapat menggunakan telapak kaki palsu dengan aman dan nyaman.
3. Dapat meningkatkan efisien waktu terhadap pengujian yang akan dilakukan, tidak perlu lagi menunggu pengujian ke luar negri.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Pada penulisan tugas akhir ini dapat diurakan per bab sesuai urutan untuk memudahkan dalam pembahasan. Berikut adalah sistematik penulisan beserta ringkasan isi dari masing-masing bab dalam penelitian ini :

### BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian dan manfaat perancangan serta sistem penulisan laporan.

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi penjelasan mengenai landasan teori dan hasil dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh penulis lain dan berhubungan dengan penelitian ini.

### BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang alur kegiatan yang akan dilakukan dalam mengumpulkan data-data dan metode yang dilakukan serta dilengkapi diagram alir, metode morfologi, peralatan, dan perancangan.

### BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil data dan informasi yang diperlukan untuk perancangan, kemudian dari data yang diperoleh membandingkan hasil pengujian dari telapak kaki buatan.

### BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari seluruh penelitian yang telah dilakukan, serta saran untuk penelitian selanjutnya.

## BAB 2

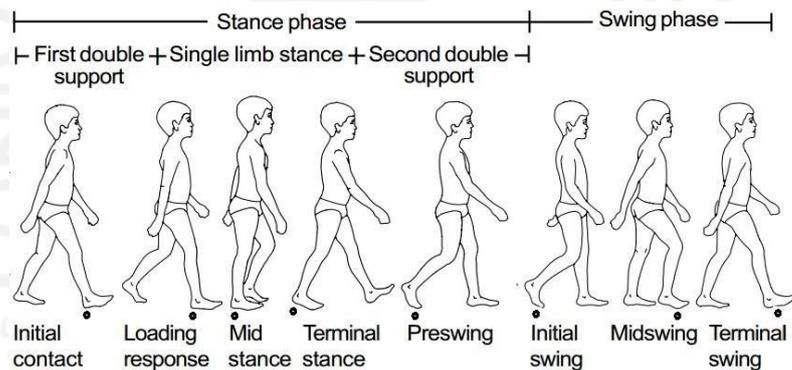
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Landasan Teori

Dalam bab ini akan membahas beberapa dasar teori yang dilakukan untuk mendukung penelitian ini.

##### 2.1.1 Siklus Jalan (*Gait Cycle*)

Siklus jalan (*gait cycle*) terdiri dari dua fase utama yaitu fase berdiri (*stance phase*) kaki berada permukaan tanah dan fase ayunan (*swing phase*) kaki mulai tidak menyentuh tanah. Menurut buku (Cochran, 1982) berdasarkan termonologi tradisional, siklus jalan (*gait cycle*) digambarkan sebagai proses *heel strike, foot flat, heel off, toe off, acceleration, dan decceeleration*. Sedangkan menurut termonologi, pengembangan siklus berjalan terbagi menjadi 8 tahapan yang dilakukan di rumah sakit *Racnho Los Amigos California* hal ini ditunjukkan pada Gambar 2-1.



Gambar 2-1 Siklus jalan (*gait cycle*)

Sumber : Vaughan et al., 1999

Menurut (Vaughan, 1999) fase berdiri (*stance phase*) dapat dibagi menjadi 3 fase terpisah, yaitu :

1. *First double support* adalah ketika kedua kaki bersentuhan dengan permukaan tanah.

2. *Single limb stance* adalah ketika kaki kiri di ayunkan dan hanya kaki kanan berada di permukaan tanah.
3. *Second double support* adalah ketika kedua kaki kembali ke permukaan tanah.

Selanjutnya akan dibagi lagi menjadi 5 tahapan, untuk *first double support* posisi terdapat pada tahapan (*intial contact*), *single limb stance* terdiri dari tahapan (*loading response*, *midstance*, dan *terminal stance*) sedangkan *second double support* tahapan (*preswing*). Fase ini berlangsung dari kontak awal mula di permukaan tanah sampai melakukan ayunan, yaitu :

1. *Intial contact / heel strike* terjadi ketika fase kontak awal dari penerimaan berat badan, ini juga merupakan awal periode berdiri atau kedua kaki menyentuh permukaan tanah, bergerak *dorsiflexion* (0%).
2. *Loading response / foot flat* adalah kaki kanan melakukan kontak dengan landasan dengan keadaan kaki rata (*foot flat*) dan melanjutkan berat badan ke kaki kanan, pada fase ini terjadi penyerapan guncangan sedangkan kaki kiri pada posisi *preswing*, bergerak *dorsiflexion* sekitar (0% - 10%).
3. *Midstance* dimulai pada saat tumit kaki kanan diangkat sehingga sejajar dengan kaki depan dan berlanjut berpindah berat oleh kaki kiri berada fase *mindswing*, bergerak *dorsiflexion* sekitar (10% - 30%).
4. *Terminal stance / heel off* dimulai pada saat tumit kaki kanan mulai meninggi atau meninggalkan landasan dan selanjutnya tumit kaki kiri pada periode berdiri tidak mengenai landasan disebut juga fase (*heel off*), bergerak *dorsiflexion* sekitar (30% - 50%).
5. *Preswing / toe off* dimulai kaki kiri pada posisi kontak awal (*intial contact*) dan sedangkan kaki kanan mulai meninggalkan landasan untuk melakukan ayunan (*toe off*), bergerak *dorsiflexion* sekitar (60% - 70%).(Perry & Shanfield, 1993)

Fase ayunan (*swing phase*) adalah fase dimana kaki tidak berada di tanah atau kaki berlangsung masih dalam posisi ayunan dan kembali ke posisi semula.

Fase ini menjadi 3 bagian, yaitu :

1. *Initial swing / acceleration* adalah kaki mulai melakukan ayunan pada saat kaki kanan mulai diangkat dari posisi landasan (*toe off*). Sedangkan kaki kiri berada pada posisi *midstance*, bergerak *dorsiflexion* sekitar (60% - 70%).
2. *Mindswing* terjadi ketika kaki kanan mengayun kedepan sebelum mengenai landasan sedangkan kaki kiri berada pada fase *terminal stance*, bergerak *dorsiflexion* sekitar (70% - 85%).
3. *Terminal swing / deceleration* merupakan bagian akhir dari siklus jalan, mulai pada saat akhir dari fase (*mindswing*), tumit kaki kanan mulai mengenai landasan dan mengalami perpanjangan maksimum seperti pada posisi semula kontak awal, bergerak *dorsiflexion* sekitar (85% - 100%). (Perry & Shanfield, 1993)

### **2.1.2 Dorsiflexion**

*Dorsiflexion* dalam pengertian adalah gerakan sendi pergelangan tangan dan kaki yang menekuk atau fleksi arah atas dan bawah dapat dilihat pada Gambar 2-2. Gerakan ini dapat menyebabkan pronasi kaki dan kaki datar, rentan pada gerakan *dorsiflexion* sering dibatasi oleh kelenturan otot tungkai bawah (Csapo et al., 2010). Luas gerak sendi (*Range of motion*) pada saat kaki awal menyentuh tanah untuk *dorsiflexion* yang didapat sebesar  $0^{\circ}$  -  $20^{\circ}$  (Russe et al., 1975). Sementara (d'Hooghe & Kerkhoffs, 2014) menemukan bahwa sendi ankle sebagai gerakan *dorsiflexion* dengan jangkauan gerakan yang bervariasi antara  $13^{\circ}$  -  $33^{\circ}$ .

Menurut (DiGiovanni & Langer, 2007) Aktivitas sehari-hari seperti berjalan, berlari, menaiki tangga, dan berdiri dari kursi yang membutuhkan lutut untuk bergerak kedepan diatas kaki menggunakan gerakan *dorsiflexion*. Tiga tahapan gerakan kompensasi yang dapat terjadi pada kaki, yaitu :

1. *Dorsiflexion* di tengah kaki
2. Keluar dari tumit

### 3. Keluar dari bagian depan kaki

Gerakan yang sama ini terkait dengan meningkatkan pronasi dan kaki rata yang fleksibel. Dengan kata lain, lengkungan bisa jatuh dan pergelangan kaki bisa berguling ke dalam. Memiliki gerakan kaki yang terganggu dalam beberapa hal dapat mengganggu gerakan kaki *dorsiflexion*, bisa terjadi karena pergelangan terlalu kencang atau mengalami beberapa cedera.

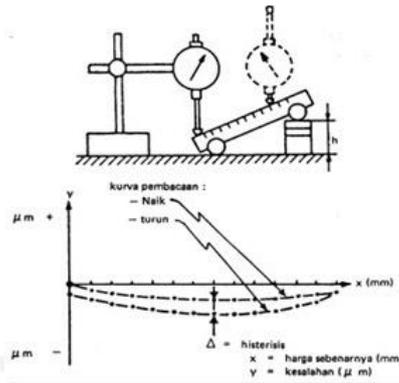


Gambar 2-2 Gerakan *Dorsiflexion*

Sumber : James Speck, 2017

### 2.1.3 *Hysteresis*

Pengujian yang akan dilakukan mencari nilai jarak dari *dorsiflexion* ketika ditekek keatas dan kembali ke posisi awal, untuk itu perlu mengetahui pengertian dari *hysteresis*. *Hysteresis* adalah perbedaan atau penyimpangan yang timbul sewaktu dilakukan pengukuran secara kontinyu dari dua arah yang berlawanan, yaitu dari (skala nol hingga skala maksimum, kemudian diulangi dari skala maksimum sampai skala nol). Pada beberapa alat ukur sering timbul sifat yang merugikan ini terutama pada jam ukur sering terjadi kesalahan pada ketinggian (Rahman & Istiqomah, 2020). Meskipun dapat terjadi kesalahan, kesalahan ini seharusnya sama artinya kurva pembacaan nilai naik berimpit dengan kurva pembacaan turun.

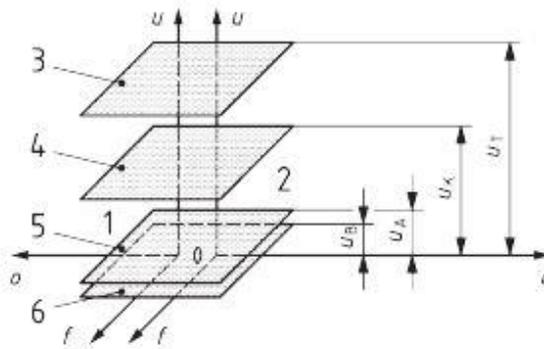


Gambar 2-3 Pengukuran *hysteresis*  
 Sumber : Adi Putra, 2015

Pada contoh pengukuran yang ditunjukkan pada Gambar 2-3, *hysteresis* disebabkan karena waktu poros bergerak ke atas melawan gaya gesekan serta gaya pegas (dari jam ukur) sedangkan waktu bergerak turun poros menerima gaya pegas dan melawan gesekan. Supaya *hysteresis* terjadi gesekan pada poros dengan bantalan harus diperkecil sehingga pengaruh dapat diabaikan.

#### 2.1.4 Standar Pengujian

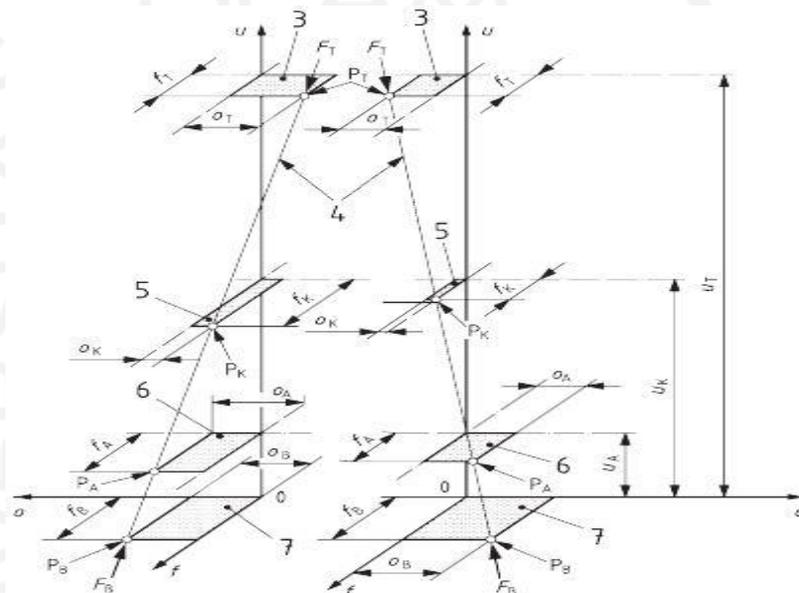
Sebelum melakukan pengujian, perlu memperhatikan sistem koordinat dari telapak kaki palsu yang sudah tercantum dalam standar ISO 10328. Langkah pertama mengetahui bagian-bagian koordinat pada telapak kaki, yaitu :  $U_T$  bagian *Top References Plane*,  $U_K$  bagian *Knee References Plan*,  $U_A$  bagian *Ankle References Plane*, dan  $U_B$  bagian *Bottom Reference Plane* dapat dilihat pada Gambar 2-4.



Gambar 2-4 Sistem koordinat telapak kaki palsu  
 Sumber : ISO 10328, 2016

Setelah mengetahui dasar tersebut, akan diuraikan lagi berbagai macam titik acuan dapat dilihat pada Gambar 2-5. Fokus pengujian ini titik referensi terdapat pada bagian *Bottom*, parameter titik referensi adalah sebagai berikut :

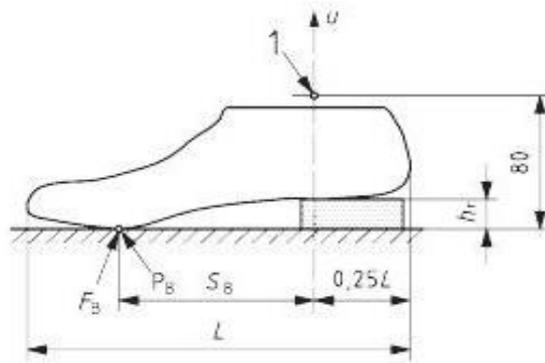
1. *Top load application point* adalah  $P_T (f_T, o_T, u_T)$ .
2. *Knee load reference point* adalah  $P_K (f_K, o_K, u_K)$ .
3. *Ankle load reference point* adalah  $P_A (f_A, o_A, u_A)$ .
4. *Bottom load reference point* adalah  $P_B (f_B, o_B, u_B)$ .



Gambar 2-5 Spesifikasi titik referensi

Sumber : ISO 10328, 2016

Pada pengujian yang akan dilakukan, perlu memperhatikan letak titik penekan terhadap telapak kaki palsu. Letak penekan mengikuti prosedur yaitu standar ISO 10328, dalam standar tersebut dijelaskan untuk pengujian satu arah berada di titik *Bottom Load Reference Point* adalah  $P_B (f_B, o_B, u_B)$  yang artinya titik aplikasi beban tekan berada dibawah telapak kaki palsu dan sumbu  $u$  adalah titik tengah tegak lurus. Penempatan telapak kaki palsu tegak lurus dengan sumbu  $u$ , untuk pengujian yang ditentukan di ISO 10328 menerima beban tekan sebesar 100 kg dalam waktu 15 detik. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 2-6.



Gambar 2-6 Letak penekan beban bawah

Sumber : ISO 10328, 2016

Keterangan :

$u$  = Garis tengah

$L$  = Panjang kaki

$P_B$  = Titik aplikasi beban bawah

$S_B$  = Gabungan titik aplikasi beban bawah dari sumbu  $u$  ke  $P_B$

$h_r$  = Tinggi tumit

Untuk pengujian struktur utama pada telapak kaki termasuk perangkat pergelangan kaki atau unit kaki yang membentuk bagian integral dari struktur dan tidak bisa dilepas, ukuran kaki yang dipilih harus memungkinkan penerapan beban sesuai dengan dasar gabungan ( $S_B$ ) antara sumbu ( $u$ ) menuju ke ( $P_B$ ). ( $S_B$ ) ditentukan rumus sebagai berikut :

$$S_B = \sqrt{f_B^2 + o_B^2}$$

Sumber : ISO 10328,2016

Dimana ( $f_B$  dan  $o_B$ ) adalah gabungan dari titik aplikasi beban  $P_B$ .

### 2.1.5 Computer Aided Design (CAD)

Pada tahapan perancangan dibutuhkan perangkat lunak untuk membantu proses kelancaran desain. Dalam penelitian ini perangkat lunak yang digunakan adalah *Solidworks 2018* dan *Fusion 360*.

*Solidworks* adalah salah satu program *Computer Aided Design (CAD)* yang dibuat oleh *Dassault Systems* diperkenalkan pada tahun 1995 (Ziqra, 2010).

Perangkat lunak yang membantu untuk merancang komponen atau susunan komponen yang berupa *assembly* dengan tampilan 3D untuk mempresentasikan komponen sebelumnya atau tampilan 2D. Selain untuk menggambar komponen 3D, *solidworks* mampu mengkonversi format (\*.dxf) menjadi format AutoCAD nantinya akan dijalankan pada program mesin laser *Cutting* dan juga dapat konversi model 3D ke bentuk format (\*.stl) yang digunakan pada mesin 3D *printer*.

*Fusion 360* adalah perangkat lunak ini merupakan dari perusahaan *Autodesk*. Sebuah perangkat berbasis *cloud* yang mampu menggabungkan desain mekanik dan memiliki kemampuan lain diantaranya adalah *Computer Aided Desain (CAD)*, *Controlling Machine Tool (CAM)*, dan *Simulation (CAE)*. Sehingga *solid modeling* mendapatkan hasil yang presisi secara cepat dan mudah digunakan, selain itu juga bisa konversi format seperti *solidworks*.(Utama, 2017)

### **2.1.6 Metode Morfologi**

Menurut buku (H. Darmawan, 2004) pengantar perancangan teknik, konsep produk didapat selama fase perancangan pertama yang dikumpulkan dalam suatu daftar konsep produk, pencarian solusi konsep produk tersebut dilakukan dengan cara lebih baik dan lebih sistematis. Dari semua metode yang ada pada buku tersebut, metode morfologi salah satunya yang dapat menemukan banyak alternatif konsep produk dibandingkan metode-metode lainnya.

Metode morfologi menggunakan struktur fungsi mencari berbagai macam alternatif konsep produk. Menggunakan metode sistematis memudahkan perancangan dan dapat diikuti. Metode morfologi ini terdapat dua bagian, yaitu :

1. Untuk setiap sub-fungsi yang tak teruraikan dan sub-fungsi dicari solusinya, bahkan diusahakan dicari sebanyak mungkin solusi. Solusi-solusi tersebut berupa mekanisme yang dapat melaksanakan sub-fungsi tak teruraikan dan sub-sub-fungsi sub-sub-fungsi.
2. Untuk menemukan alternatif-alternatif konsep produk. Maka dibentuklah kombinasi-kombinasi solusi, yaitu setiap kombinasi terdiri dari satu solusi dari setiap sub-fungsi yang tak teruraikan dan sub-sub-fungsi.

Jumlah kombinasi dari solusi yang akan dibentuk nantinya sangat banyak, bahkan terlalu banyak. Kombinasi solusi yang terlalu banyak tidak dapat disambung atau dihubungkan (H. Darmawan, 2004).

Selain itu, terdapat matrik keputusan untuk memilih satu konsep, bahwa matriks keputusan adalah metode yang sederhana dan sudah terbukti efektif untuk membandingkan konsep-konsep produk alternatif. Pada prinsipnya metode ini dengan cara memberikan penilaian setiap alternatif terhadap alternatif lainnya secara relatif, dalam kemampuannya untuk memenuhi kriteria yang dibuat berdasarkan keinginan pengguna. Dengan membandingkan nilai yang didapat oleh masing-masing alternatif, yang diperoleh gambaran atau informasi tentang alternatif mana yang lebih baik. Hal ini dapat digunakan sebagai dasar untuk membuat keputusan. Metode matriks keputusan lebih efektif jika masing-masing anggota kelompok membuat penilaian sendiri-sendiri dan kemudian dibandingkan hasil-hasilnya. Langkah metode sebagai berikut :

1. Menyusun kriteria untuk membandingkan produk

Kriteria untuk membandingkan satu konsep produk dengan konsep produk lainnya sebenarnya sudah tersusun, pada tahap penyusunan keinginan-keinginan pengguna. Keinginan-keinginan pengguna tersebut terdiri dari dua keinginan, yaitu keinginan yang harus dipenuhi dan keinginan-keinginan yang diurut menurut prioritas sesuai nilai/angka skornya.

2. Memberikan bobot pada setiap kriteria

Masing-masing kriteria kemudian diberikan bobot sesuai dengan pentingnya kriteria tersebut. kriteria yang lebih penting diberi bobot yang lebih tinggi daripada bobot kriteria yang kurang penting.

3. Memilih alternatif konsep produk yang akan dibandingkan

Konsep-konsep produk yang akan dibandingkan dipilih dari daftar konsep produk yang dibuat pada tahap penyusunan konsep produk.

4. Memilih alternatif konsep produk

Setiap anggota kelompok yang akan melakukan evaluasi memilih satu alternatif konsep produk yang dijadikan alternatif referensi. Tiap anggota mempunyai alternatif konsep produk yang disukai, kemudian ditemukan selama proses penyusunan alternatif produk.

Untuk setiap perbandingan suatu kriteria dari konsep produk yang sedang dinilai, maka nilai konsep produk yang sedang dinilai lebih baik, lebih buruk atau sama saja. Jika suatu kriteria konsep produk dinilai lebih baik, maka diberi nilai (+), jika sama diberi nilai (S) dan jika lebih buruk diberi nilai (-). Pada waktu menjumlahkan diberikan nilai masing-masing kriteria, maka (+) nilainya 1, (S) nilainya 0 dan (-) nilainya -1.

#### 5. Menghitung nilai akhir

Setelah semua kriteria konsep produk yang sedang diberi nilai (+, S, -) maka nilai akhir dari konsep produk adalah jumlah dari nilai setiap kriteria yang sudah dikalikan dengan bobot kriteria tersebut.

Proses penghitungan nilai akhir merupakan proses yang iteratif, yaitu setelah penghitung nilai pertama selesai, maka penghitungan nilai kedua dilakukan dengan cara memikirkan ulang pemberian bobot setiap kriteria sebelumnya, yaitu perlu diberikan nilai bobot yang baru dan menghitung kembali hasil dari nilai bobot baru tersebut. pada setiap penghitungan ulang, dipelajari kembali setiap kriteria, apakah kriteria-kriteria tersebut perlu diuraikan atau tidak.

Setelah semua kelompok menyelesaikan penilaian akhirnya masing-masing, maka dilakukan perbandingan antara semua nilai akhir tersebut. diskusi antara anggota kelompok akan menghasilkan perbaikan konsep produk atau memperoleh klarifikasi lebih lanjut tentang kriteria-kriteria penilaian (H. Darmawan, 2004).

## 2.2 Kajian Pustaka

Ada beberapa pengujian sebelumnya yang telah membahas perancangan mengenai alat uji *dorsiflexion* telapak kaki palsu, ini sebagai acuan penulis agar tidak membahasnya menyimpang, diantaranya yaitu :

### 2.2.1 Alat Uji *Dorsiflexion* dari India

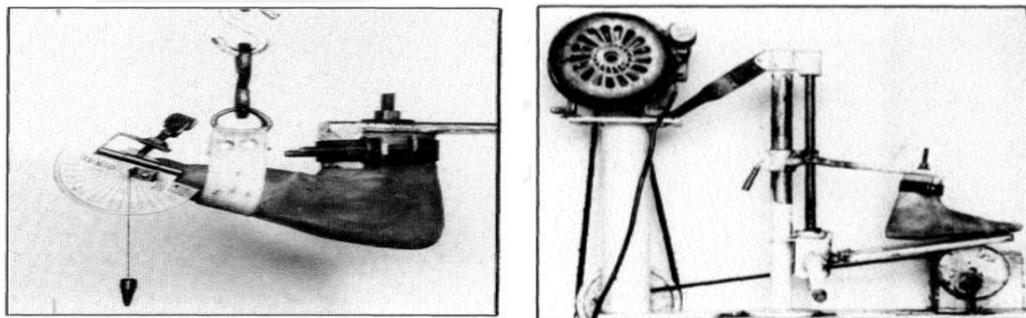
Pengujian alat uji *dorsiflexion* dari india ini mempunyai 2 alat uji defleksi beban. Kedua peralatan ini dibuat oleh seseorang profesional dan didasarkan pada

peralatan yang sudah dibuat sebelumnya, hal ini membuktikan bahwa mesin tersebut dapat dikembangkan dalam bentuk sederhana (Kabra & Narayanan, 1991).

Untuk mengoperasikan kedua mesin dibutuhkan mekanik. Mekanik tanpa pelatihan formal tetapi mereka belajar dari keterampilan melalui magang, biaya masing-masing mesin termasuk tenaga kerja dengan biaya 40 dolar sampai 180 dolar. Sebuah uji protokol yang dikembangkan untuk menilai parameter fungsional dari kaki prostetik dan 2 mesin uji tersebut mampu mengukur tumit kompresi, *dorsiflexion*, pronasi, supinasi, dan torsi aksial (Kabra & Narayanan, 1991).

Tahapan alat defleksi beban yang pertama, poros ulir diputar melalui sistem roda gigi yang dioperasikan secara diputar manual menggunakan tenaga manusia. Sedangkan tahapan defleksi beban yang kedua, menggunakan mesin motor yang diteruskan oleh *V-Belt* dan puli. Untuk mengukur nilai *dorsiflexion* tersebut, pada bagian jari jempol terdapat busur yang dijepit oleh *bracket*, di busur terdapat juga benang *nylon* dan pemberat yang fungsinya membaca sudut yang telah ditarik. Proses ini mendapatkan kenaikan beban 10 kg sampai 70 kg (Kabra & Narayanan, 1991).

Dari Satu-satunya tujuan dari kedua mesin tersebut, dapat dikaji bahwa fokus perancangan alat defleksi beban dengan biaya produksi murah. Jenis peralatan ini adalah alat bantu yang berharga dalam pembuatan fabrikasi lokal, dimana dapat digunakan untuk jaminan kualitas, Standardisasi dan studi perbandingan hal ini ditunjukkan pada Gambar 2-7 (Kabra & Narayanan, 1991).



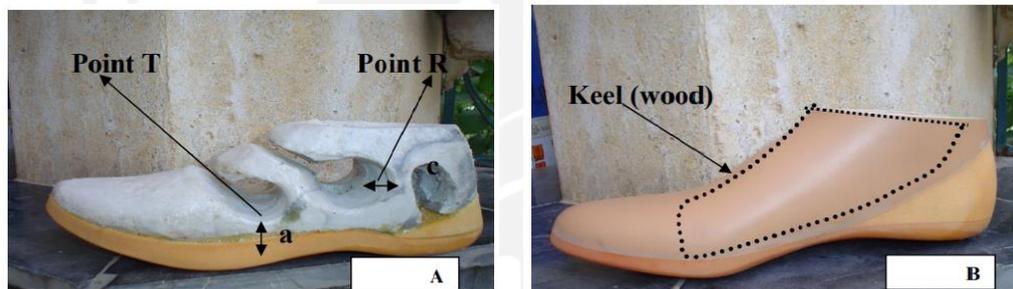
Gambar 2-7 Alat defleksi beban

Sumber : Kabra & Narayanan,1991

### 2.2.2 Alat Uji *Dorsiflexion* dari Iraq

Pengujian alat uji *dorsiflexion* juga dilakukan di Iraq. Pada pengujian ini desain kaki dibagi menjadi 2 kelas yaitu, artikulasi dan non-artikulasi kaki. contoh Artikulasi kaki baru hanya terbuat dari silikon yang sangat ringan dan kaki non-artikulasi yang umum adalah SACH, mempunyai kaki tumit bantal padat sehingga bentuknya kaku (Jweeg et al., 2007).

Kaki SACH pada umumnya memiliki *dorsiflexion* sangat kecil dari pergelangan kaki, sehingga ketidaknyamanan pemakaian terhadap pasien. Maka dari itu perancang dari Iraq membuat desain kaki baru, desain kaki baru terbuat dari bahan *polyethylene* yang artinya batas daya tahan sangat tinggi dan fleksibilitas yang baik, didaerah tumit diberikan busa karet, hal ini ditunjukkan pada Gambar 2-8 (Jweeg et al., 2007).



Gambar 2-8 Kaki baru dan kaki SACH

Sumber : Jweeg et al., 2007

Faktor kunci dalam merancang kaki prostetik adalah analisis respon pasien. Pandangan ini adalah yang paling penting karena jika kaki tidak memberikan karakteristik fungsional, maka pasien tidak akan merasa nyaman ketika menggunakan kaki prostetik. Oleh karena itu desain dan manufaktur kaki prostetik sangat penting dalam bentuk dan karakteristiknya (Jweeg et al., 2007).

Ada 3 karakteristik yang akan diuji yaitu, uji *Dorsiflexion*, *Energy Return*, dan Kelelahan. Uji *Dorsiflexion* untuk menentukan sudut tekukan kaki, *Energy Return* untuk menentukan energi disimpan dan dilepaskan kaki ke posisi semula sedangkan uji kelelahan adalah menentukan ketahanan dari kaki prostetik (Jweeg et al., 2007).

Pada pengujian ini, untuk mendapatkan nilai *dorsiflexion* menggunakan mesin testometrik yang dimana terdapat kayu segitiga yang dimasukkan kedalam

mesin tersebut diletakkan di alas bawah, sehingga kaki bisa menekuk. Alat ini ditunjukkan pada Gambar 2-9 (Jweeg et al., 2007).



Gambar 2-9 Mesin Testometrik

Sumber : Jweeg et al., 2007

Dengan membandingkan karakteristik dari dua desain kaki prostetik. Desain kaki baru yang paling cocok untuk kondisi pasien yang dipilih baik dalam penyimpan energi dan energi kembali, sedangkan kaki SACH yang dianggap gagal. Pembuktiannya melalui pengujian mesin Testometrik, tetapi sudut *dorsiflexion* maksimum pada 75% dari fase berdiri sekitar 5°, 1.8°, 3.7°. Hal ini ditunjukkan pada Tabel 2-1 (Jweeg et al., 2007).

Tabel 2-1 Hasil uji *Dorisiflexion* di Iraq

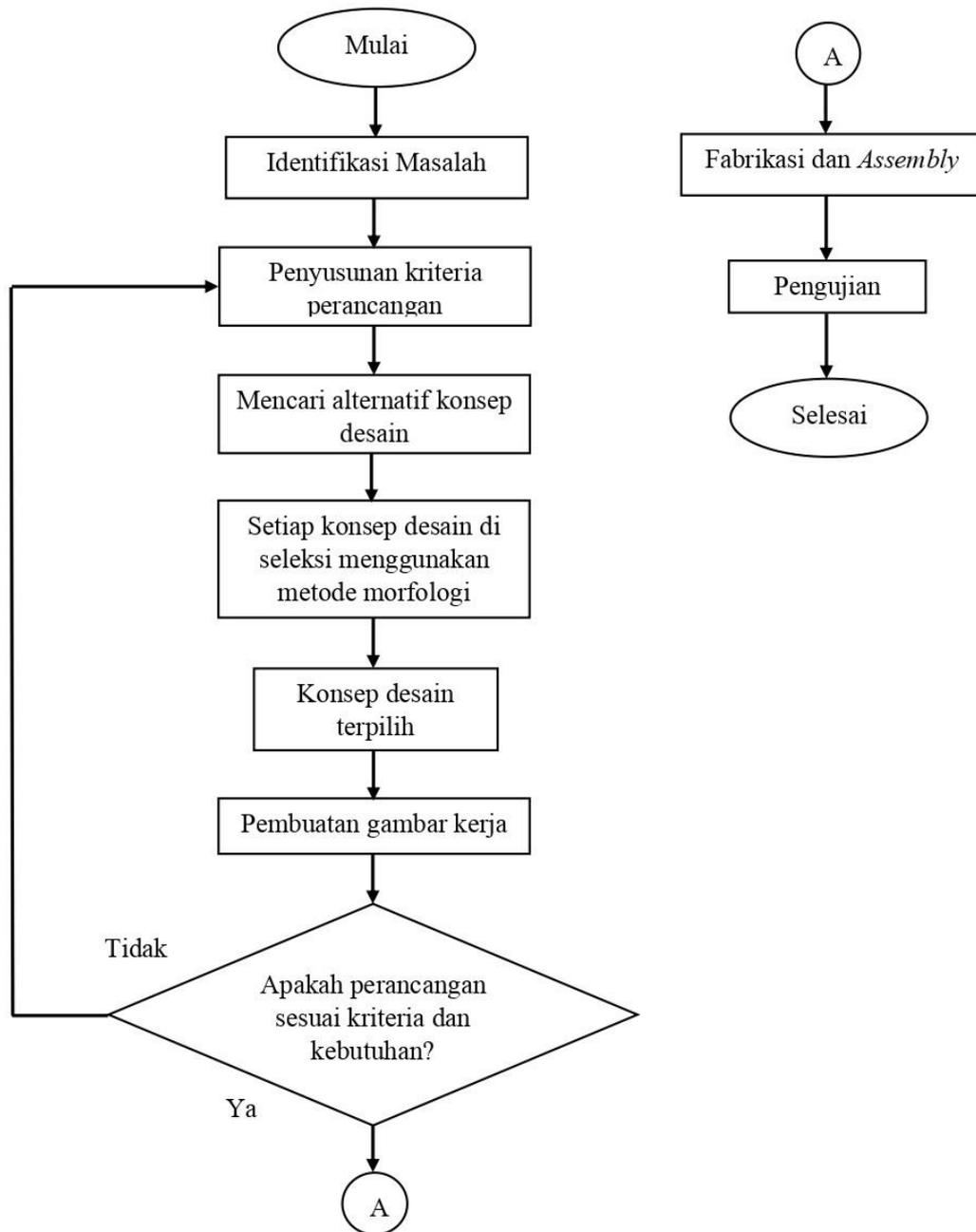
NAME	DORSI-FLEXION ANGLE	ENERGY STORING POTENTIAL%	ENERGY RETURN EFFICICENCY%	STORED ENERGY RETURN %
SACH	1.9 <sup>0</sup>	24.2	54.4	13.14
NEW FOOT	4.2 <sup>0</sup>	73.4	80.3	58.9

Sumber : Jweeg et al., 2007

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Alur Penelitian

Berikut adalah alur penelitian dalam rancang bangun alat uji *dorsiflexion* dan *hysteresis* telapak kaki palsu dapat dilihat pada Gambar 3-1.



Gambar 3-1 Diagram alir

## 3.2 Kriteria Perancangan

Sebelum merancang alat uji *dorsiflexion* dan *hysteresis* telapak kaki palsu, diperlukan kriteria-kriteria perancangan yang harus dipenuhi. Ada dua jenis kriteria, yaitu kriteria *must* dan kriteria *want*. Adapun kriteria tersebut :

### 3.2.1 Kriteria *Must* :

1. Otomatis
2. Kuat
3. Ruang yang dibutuhkan kecil
4. Tidak bising
5. Tahan karat

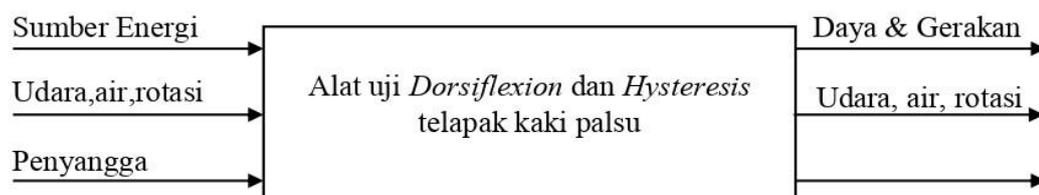
### 3.2.2 Kriteria *Want* :

1. Perawatan mudah
2. Biaya yang murah
3. Ringan jika dipindahkan
4. Pengoperasian mudah di pahami
5. Keakuratan

## 3.3 Fungsi

### 3.3.1 Blok Fungsi

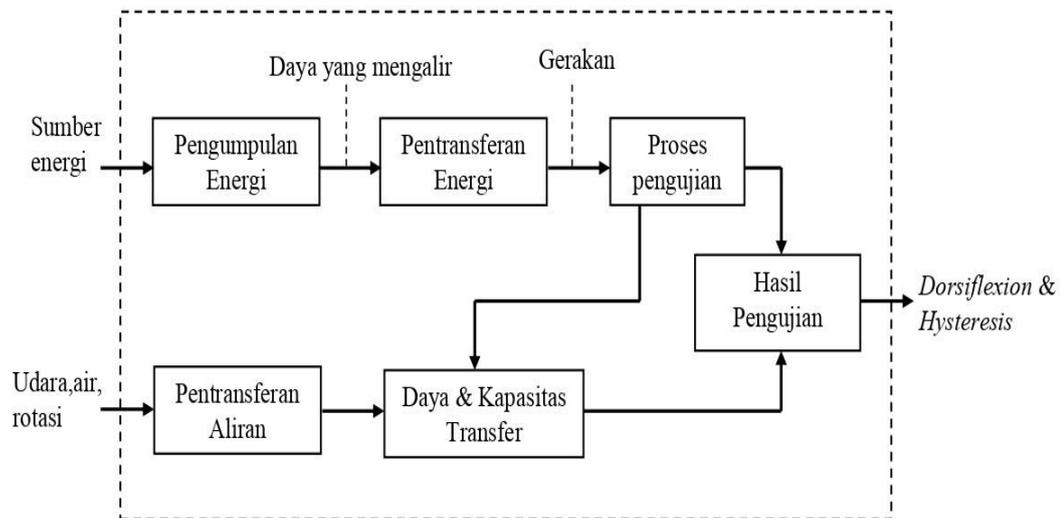
Alat pengujian yang akan dirancang, meliputi energi listrik dan energi udara sebagai sumber utama. Kemudian energi tersebut akan menggerakkan alat uji ditunjukkan pada Gambar 3-2.



Gambar 3-2 Blok fungsi

### 3.3.1 Diagram Blok Fungsi

Pada tahap ini dibuat secara umum kinerja dari tiap elemen melalui diagram blok fungsi yang dapat dilihat pada Gambar 3-3.



Gambar 3-3 Diagram blok fungsi

### 3.4 Perancangan Konsep Produk

Pada perancangan konsep produk. Sebanyak mungkin mencari alternatif konsep produk yang sederhana dan memenuhi kriteria perancangan. Setelah itu semua konsep produk sudah ada, nantinya akan di evaluasi sehingga terpilih satu konsep produk yang mendapatkan poin tertinggi. Kemudian dikembangkan menjadi bentuk produk yang akan dirancang lebih lanjut.

#### 3.4.1 Matriks Morfologi

Dari blok fungsi dikembangkan menjadi sub-fungsi dan akan dikembangkan lagi menjadi beberapa sub-sub fungsi. Tiap sub-fungsi akan dikombinasikan menjadi model varian. Dari model varian tersebut masing-masing akan dibuatkan bentuk sketsa gambar, hal ini tercantum pada Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Matriks Morfologi untuk alat uji

sub-fungsi	Mekanik	Fluida
Pengumpulan Energi	A.1 Kompresor	E.1 Udara
	A.2 Pompa	E.2 Air
	A.3 Motor DC	E.3 V-Belt
Pentransferan Energi	B.1 Regulator	
	B.2 <i>Control Valve</i>	
	B.3 <i>Reservoir</i>	
	B.4 Hidrolik	
	B.5 Puli	
	B.6 <i>Rear and pinon</i>	
Proses Pengujian	C.1 Silinder	
	C.2 Sensor	
	C.3 Otomatis	
	C.4 Penyangga kaki	
	C.5 <i>Bevel protektor</i>	
	C.6 Busur baja	
Hasil Pengujian	D.1 <i>Dorsiflexion</i>	
	D.2 <i>Hysteresis</i>	

Model Varian :

Konsep 1 = A.1 + E.1 + B.1 + B.2 + C.1 + C.2 + C.3 + C.4 + D.1 + D.2

Konsep 2 = A.2 + E.2 + B.3 + B.4 + C.3 + C.4 + C.5 + D.1 + D.2

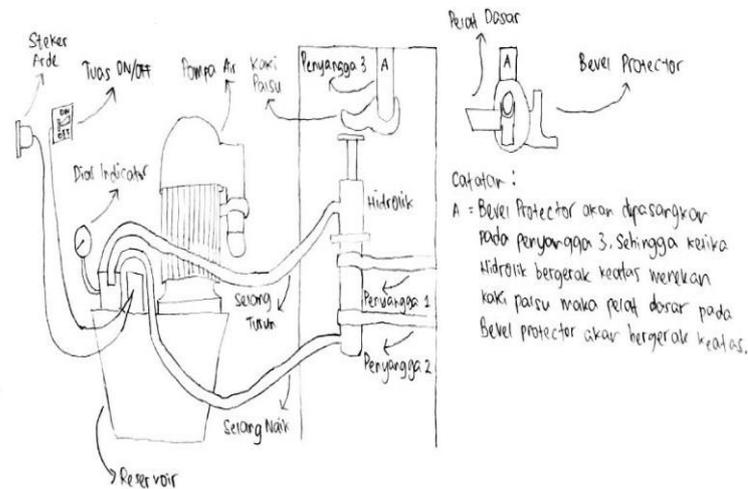
Konsep 3 = A.3 + E.3 + B.4 + B.5 + B.6 + C.3 + C.4 + C.6 + D.1 + D.2

### 3.4.2 Pengembangan Konsep Produk

Ketiga konsep varian yang didapatkan dari matrik morfologi, akan dikembangkan menjadi sketsa gambar. Semua konsep dievaluasi berdasarkan matrik keputusan dan terpilih satu konsep.



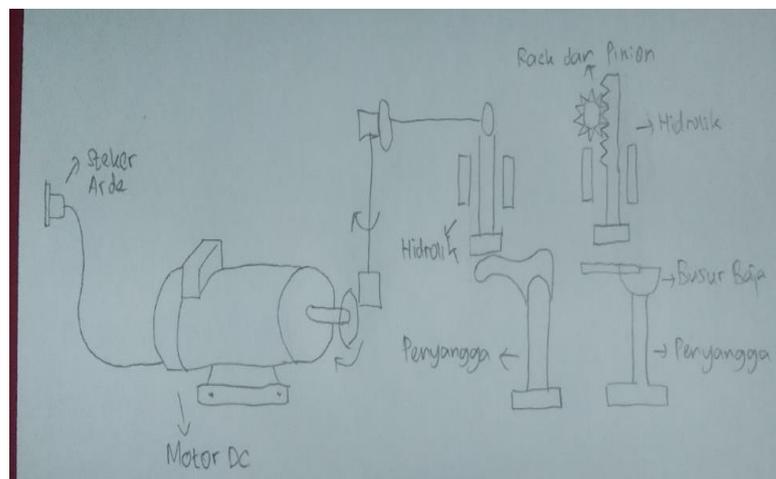
kebawah. Komponen tambahan pada desain ini yaitu selang, steker arde, *reservoir* dan penyangga.



Gambar 3-5 Konsep 2

### 3.4.2.3 Pengembangan Desain Konsep 3

Sketsa dari konsep 3 dapat dilihat pada Gambar 3-6 dibawah ini. Desain ini tenaga utamanya menggunakan motor DC, kemudian dilanjutkan melalui *Gear* yang dihubungkan ke *Rock and Pinion* menggunakan poros. *Rock and Pinion* yang memberi masukan kepada hidrolik untuk bergerak kebawah atau keatas. Busur Baja dipasangan kepada benda uji yang terpasang dibawah permukaan hidrolik. Ketika hidrolik bergerak kebawah maka benda uji akan tertekan dan plat dasar pada Busur Baja ikut tertekan, begitupun jika hidrolik bergerak keatas. Komponen tambahan pada desain ini yaitu kabel, steker arde, poros dan penyangga.



Gambar 3-6 Konsep 3

### **3.4.3 Evaluasi Konsep Produk Sesuai Matriks Pengambilan Keputusan**

Kriteria dipilih berdasarkan diskusi anggota kelompok dengan memperhatikan kemungkinan yang akan terjadi pada alat-alat tersebut mulai dari proses desain, fabrikasi sampai melakukan pengujian. yang disusun berdasarkan prioritasnya untuk konsep produk yang dirancang maupun dikembangkan. Kriteria yang disusun ssebagai berikut :

1. Otomatis  
Diinginkan sistem kerjanya pada alat pengujian bergerak secara otomatis.
2. Perawatan mudah  
Diinginkan jika terjadi kesalahan dalam pengujian, kemudahan saat proses perawatan dan biaya perawatan sangat murah.
3. Kuat  
Diinginkan alat ini mampu menahan beban tekan yang cukup besar dan umur yang panjang sehingga mengurangi biaya perbaikan.
4. Pengoperasian mudah dipahami  
Diinginkan alat ini setelah dirancang dengan benar, pada pengoperasian alat mudah untuk dipahami.
5. Ruang yang dibutuhkan kecil  
Diinginkan alat ini meminimalisir ruang kerja, sehingga tidak penuh dalam suatu ruangan bersama alat lainnya.
6. Tahan karat  
Diinginkan alat ini tahan terhadap karat terutama terkena suhu ruangan dan percikan air.
7. Tidak bising  
Diinginkan pada saat bekerja alat ini tidak menghasilkan kebisingan terlalu besar.
8. Biaya murah  
Diinginkan biaya yang didapatkan nantinya, serendah mungkin untuk menyediakan material.
9. Ringan jika dipindahkan

Diinginkan jika ada perbaikan sangat besar, lebih mudah dipindahkan karena alat ini sangat ringan.

#### 10. Keakuratan

Diinginkan akurasi sangat tepat, sehingga data yang di dapat menguntungkan para pengguna.

Berdasarkan pengembangan 3 konsep yang di uraikan pada sub bab sebelumnya, pada tahap ini untuk menentukan nilai dengan cara diskusi menggunakan metode *Brainstroming*. Dimana konsep (K) produk akan di evaluasi dengan membandingkan konsep-konsep produk menggunakan matriks pengambilan keputusan berdasarkan 10 kriteria yang sudah ditentukan. Setiap kriteria memiliki bobot nilai maksimum (Wt). Pemberian bobot nilai berdasarkan keinginan dari anggota kelompok, sehingga memberikan bobot nilai lebih tinggi dari apa yang dibutuhkan dalam perancangan alat uji sedangkan bobot nilai yang rendah tidak memenuhi kriteria yang dibutuhkan dalam perancangan. Untuk membandingkan nilai-nilai tersebut adalah jika dapat memenuhi keinginan pengguna lebih baik nilai diberi (+), jika kemampuannya sama nilai diberi (S) dan jika lebih buruk nilainya diberi (-). hal ini tertera pada Tabel 3-2.

Tabel 3-2 Matriks keputusan untuk memilih konsep alat uji

No	Kriteria	Konsep			
		Wt	K-1	K-2	K-3
1	Otomatis	9	+	+	+
2	Perawatan mudah	7	+	-	-
3	Kuat	10	+	S	S
4	Pengoperasian mudah dipahami	9	S	+	S
5	Ruang yang dibutuhkan kecil	8	+	-	-
6	Tahan karat	9	S	-	S
7	Tidak bising	8	-	-	+
8	Biaya murah	8	+	S	S
9	Ringan jika dipindahkan	8	+	-	-
10	Keakuratan	10	+	S	S
Total +			7	2	2
Total S			2	3	5
Total -			1	5	3
Total keseluruhan dengan bobot			52	-22	-6

Keterangan :

**K = Konsep Alat Uji Telapak Kaki Palsu**

**Wt = Bobot nilai maksimum**

Setelah bobot nilai diberikan tiap konsep dengan memperhatikan kebutuhan kriteria perancangan. Bobot nilai maksimum (Wt) dijumlahkan tiap konsep sehingga salah satu mendapatkan bobot tertinggi, untuk menjumlahkan terlebih dahulu ditambah dengan bobot nilai maksimum (Wt) yang mendapatkan nilai (+), kemudian dikurangi yang mendapatkan nilai (-) sedangkan (S) nilainya (0). Contoh : Konsep 1 =  $(9 + 7 + 10 + 8 + 8 + 8 + 10) = 60$ , kemudian  $(60 - 8) =$  total keseluruhan pada konsep 1 adalah 52.

Pada matriks pengambilan keputusan, konsep satu memiliki bobot tertinggi yang artinya bahwa konsep satu terpilih sehingga memenuhi kriteria perancangan dan akan dikembangkan menjadi produk.

### 3.5 Peralatan dan Bahan

Ada beberapa perangkat lunak yang akan digunakan dalam pemberian bentuk produk, sehingga dapat membantu penulis mendesain produk dengan baik. Peralatan dan bahan dapat diuraikan sebagai berikut:

Tabel 3-3 Peralatan

No	Peralatan	Fungsi
1	Laptop / PC	Perangkat utama memulai perancangan
2	<i>SolidWorks 2018</i>	Perangkat lunak untuk desain perancangan
3	<i>AutoDesk Fusion 360</i>	Perangkat lunak tambahan untuk mendesain
4	<i>Crealty slicer</i>	Perangkat lunak terakhir untuk 3D <i>Printing</i>
5	Mesin 3D <i>Printing</i>	Mencetak produk desain perancangan
6	Mesin Laser <i>Cutting</i>	Memotong material desain perancangan
7	Mesin Las Listrik	Penyambungan dua buah logam pada material
8	Mesin Gerinda	Memotong dan menghaluskan bagian material
9	Mesin Bubut	Pemakanan benda kerja diputar secara otomatis

No	Peralatan	Fungsi
10	Mesin Bor	Melubangi pada permukaan benda kerja
11	Kunci Inggris	Mengencangkan mur dan baut
12	Meteran / Mistar	Mengukur dimensi suatu benda kerja
13	Jangka Sorong	Mengukur diameter, kedalaman & jarak benda

Tabel 3-4 Bahan

No	Nama bahan	Material	Dimensi
1	Rangka	Hollow Galvanis (panjang 40 mm, lebar 40 mm dan tebal 1 mm)	Panjang 600 mm, lebar 700 mm dan tinggi 800 mm
2	Besi poros <i>male &amp; female</i>	ASTM A36 <i>Steel</i>	1. Male : panjang 362 mm dan diameter 20 mm 2. Female : panjang 430 mm dan diameter 20 mm
3	Rel laci (2Pcs)	Besi	Panjang 300 mm
4	Rumah rel laci atas & bawah	Plat besi	1. Rel laci atas : Panjang 380 mm, lebar 93 mm dan tinggi 38 mm 2. Rel laci bawah : Panjang 584 mm, lebar 93 mm dan tinggi 38 mm
5	Papan Rel Laci	Plat Besi	Panjang 300 mm, lebar 71 mm dan tinggi 31 mm

No	Nama bahan	Material	Dimensi
6	Bracket kaki (2pcs)	Plat Besi	Panjang 83 mm, lebar 65 mm dan tinggi 5 mm
7	Bracket silinder	Plat Besi	Panjang 97 mm, lebar 40 mm dan tinggi 30 mm
8	Alas penekan silinder pneumatik	Plat Besi	Panjang 60 mm, lebar 30 mm dan tinggi 2 mm
9	Alas <i>Control</i>	Akrilik (tebal 3 mm)	Panjang 600 mm dan tinggi 254 mm
10	Alas <i>Power Supplay</i>	Akrilik (tebal 3 mm)	Panjang 200 mm dan lebar 216 mm
11	Alas PCB	Akrilik (tebal 3 mm)	Panjang 180 mm dan lebar 120 mm
12	Alas sensor	Akrilik (tebal 3 mm)	Panjang 80 mm dan lebar 30 mm
13	Dudukan SK8 <i>Shaft</i>	Triplek (tebal 3 mm)	Panjang 260 mm dan lebar 140 mm
14	Alas SCS8UU	Triplek (tebal 3 mm)	Panjang 118 mm dan lebar 30 mm
15	<i>Background</i>	Triplek (tebal 5 mm)	Panjang 600 mm dan lebar 800 mm
16	SCS8UU (2pcs)	Alumunium	Panjang 34 mm, lebar 22 mm dan tinggi 30 mm
17	SK8 Shaft (4pcs)	Alumunium	Panjang 42 mm, lebar 14 mm dan tinggi 32 mm
18	As poros (2pcs)	Alumunium	Panjan 257 mm dan diameter 8 mm

No	Nama bahan	Material	Dimensi
19	Batang pembaca sensor	Alumunium	Panjang 27 mm, lebar 12 mm dan tinggi 12 mm
20	Pegas	<i>Stainless Steel</i>	Panjang 20 mm dan diameter 3 mm
21	As selongsong kaki	Alumunium	Panjang 22 mm dan diameter 6 mm
22	Selongsong Kaki	<i>Filament</i>	Panjang 45 mm, lebar 20 mm dan 25 mm
23	Klem selang	<i>Stainless Steel</i>	Diameter 50,8 mm

### 3.6 Perancangan Desain

Dari tiga alternatif konsep produk, konsep satu yang memiliki bobot tertinggi. Maka penulis memutuskan untuk mengembangkan satu model alat uji *dorsiflexion* dan *hysteresis* telapak kaki palsu. Sketsa model pertama sudah dijelaskan pada bab sebelumnya. Untuk memulai desain penulis menggunakan perangkat lunak *solidworks* 2018, kemudian mendesain seluruh komponen model beserta memberikan ukuran tiap komponen.

#### 3.6.1 Rangka

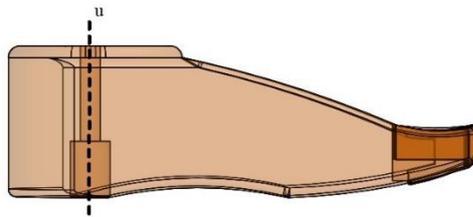
Pembuatan *Rangka* berdasarkan pengukuran sebelumnya dilakukan oleh penulis, hal ini penting untuk menentukan seberapa besar produk di desain, beserta komponen didalamnya dengan memperhatikan material yang akan digunakan. Sehingga desain rangka mudah dibentuk, material rangka yang digunakan besi baja *hollow square* dengan ukuran panjang 40 mm, lebar 40 mm, dan tebal 1,8 mm. Dari keseluruhan bentuk rangka ukuran sudah didapat dengan panjang 600 mm, lebar 700 mm, dan tinggi 800 mm. Hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 3-7.



Gambar 3-7 Desain 3D Rangka

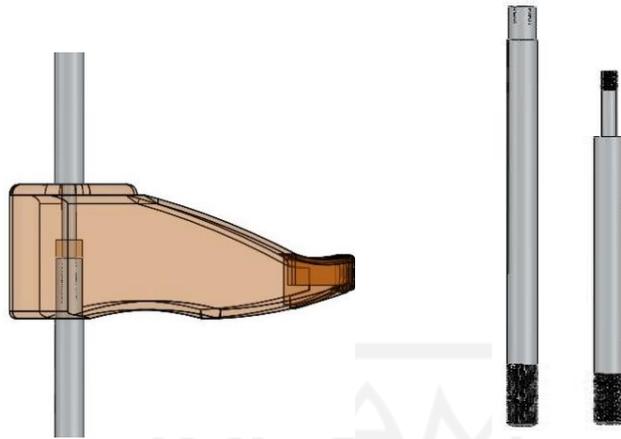
### 3.6.2 Batang Poros

Pada bagian ini mendesain poros menyesuaikan bentuk kaki, dimana  $u$  adalah *centerline*. Terdapat 2 diameter yang berbeda melalui pengukuran terhadap kaki palsu, *top* diamater 10 mm dan *bottom* 20 mm. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 3-8.



Gambar 3-8 Desain 3D Telapak kaki palsu

Sehingga penulis menggambar poros sesuai diameter bentuk kaki, ada 2 jenis poros yang di gambar dimana diameter 10 mm disebutkan poros (*male*) dan diameter 20 mm poros (*female*). Penguncian kedua poros tersebut menggunakan ulir yang dikencangkan, kemudian panjang masing-masing poros berbeda female lebih panjang daripada male karena dimensi untuk mencapai posisi ujung batang poros yang dibutuhkan panjang. Material yang dipakai AS besi padat dengan panjang keseluruhan panjang batang poros 792 mm, penggunaan 2 poros berguna untuk mekanisme geser yang akan dibahas di sub-bab selanjutnya dapat dilihat pada Gambar 3-9.

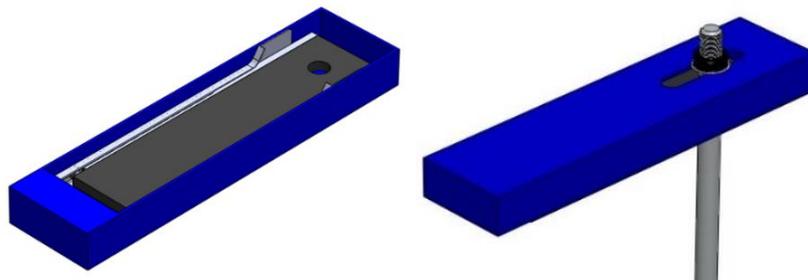


Gambar 3-9 Desain 3D Batang poros

### 3.6.3 Mekanisme Menggeser Batang Poros

Setiap jenis kaki palsu panjangnya berbeda, alat ini bisa menyesuaikan ukuran telapak kaki palsu. Untuk itu penulis memikirkan mekanisme menggeser poros, idenya menggunakan rel laci sebagai komponen utamanya. Rel laci ini prinsip kerjanya bergerak secara *slider*, ada 2 bagian yang akan di desain pada bagian atas dan bawah.

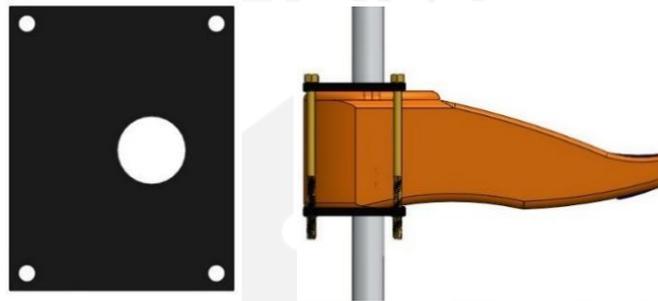
Melalui pengukuran sebelumnya, menggambar rumahan rel laci sebagai dasar mengikat. Terdapat penghubung penggerak rel laci yaitu papan rel laci, dimana papan rel laci terdapat lubang yang nantinya akan di lalui batang poros sehingga bisa menggeser batang poros tersebut. Untuk penguncianya terdapat ulir tiap batang poros di ujung batang poros dan menggunakan mur yang dikencangkan. Material tersebut menggunakan *Plat* besi dengan ketebalan 3 mm dan dimensi keseluruhan panjang 963 mm, lebar 93 mm, dan tinggi 38 mm. Dapat ditunjukkan pada Gambar 3-10.



Gambar 3-10 Desain 3D Mekanisme geser batang poros

### 3.6.4 *Bracket* Telapak Kaki Palsu

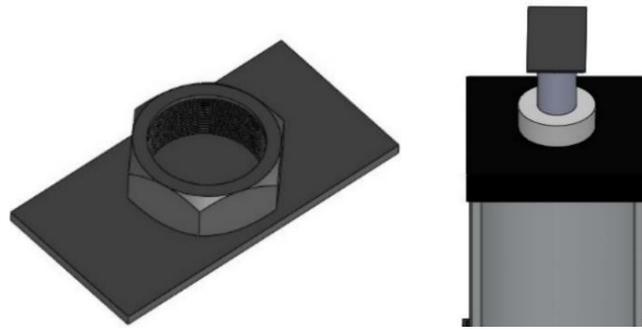
Untuk meyakinkan telapak kaki palsu tidak geser dan sebagai pengganti lantai. Penulis mendesain 2 *bracket* yang nantinya akan dijepit atas dan bawah telapak kaki palsu, pada bagian tengah *bracket* terdapat lubang diameter yang nantinya posisi di *centerline* dan batang poros masuk ke dalamnya. Sistem penguncian *bracket* menggunakan baut dan mur, material yang digunakan pada *bracket* adalah plat besi ketebalan 5 mm dengan ukuran panjang 83 mm dan lebar 65 mm dapat ditunjukkan pada Gambar 3-11.



Gambar 3-11 Desain 3D *Bracket* telapak kaki palsu

### 3.6.5 Penekan

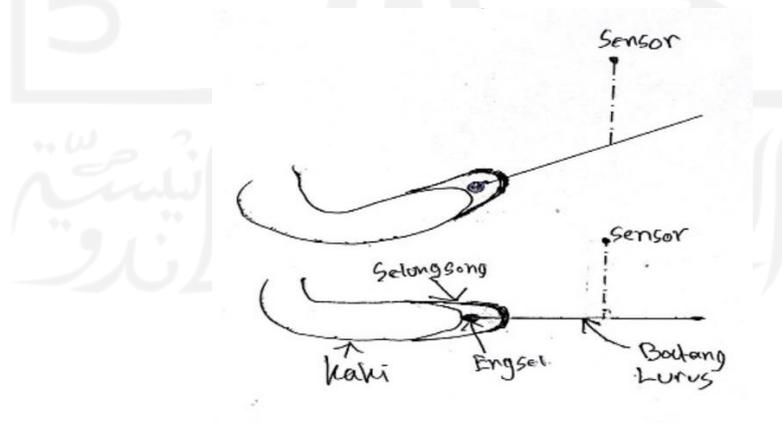
Pada posisi titik tekan yang di tentukan di ISO 10328 yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya, *point* P<sub>B</sub> sebagai titik yang akan di tekan untuk pengujian. Pengujian menggunakan silinder pneumatik, maka posisi silinder pneumatik tepat berada di posisi itu. Bagian ujung silinder dibentuk persegi panjang kemudian direkatkan oleh mur, dimensi tidak perlu besar yang penting mencukupi area tersebut. Untuk mengencangkan dengan menggunakan ulir yg terdapat di poros silinder pneumatik, material menggunakan plat besi ketebalan 2 mm dengan berukuran panjang 60 mm dan lebar 30 mm. Saat mendapatkan tekan dari bawah telapak kaki palsu tidak rusak dan juga bisa menggantikan sebagai alas lantai dapat dilihat pada Gambar 3-12.



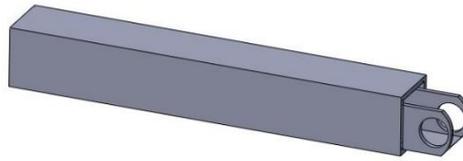
Gambar 3-12 Desain 3D Penekan

### 3.6.6 Mekanisme Pembacaan Jarak

Tahap berikutnya mekanisme pembacaan jarak, hal ini menjadi penting yang dibutuhkan adalah keakuratan dari sensor. Ketika sensor langsung mengenai bagian kaki tidak akan akurat hasilnya, bagian kaki tidak datar tetapi bergelombang. Mencari alternatif lain untuk pembacaan jarak, konsep pertama adalah penggunaan batang lurus ketika kaki palsu buatan ditekan dari bawah akan naik secara perlahan keatas secara bersamaan batang lurus mengikuti arah gerak dari telapak kaki palsu, sensor langsung mengenai batang lurus dapat dilihat pada Gambar 3-13. Selanjutnya mendesain batang lurus tersebut, terdapat 2 batang dari batang lurus yaitu : batang luar yang fungsinya langsung mengenai sensor sedangkan batang dalam fungsinya untuk menghubungkan ke selongsong jempol kaki dapat dilihat pada Gambar 3-14.

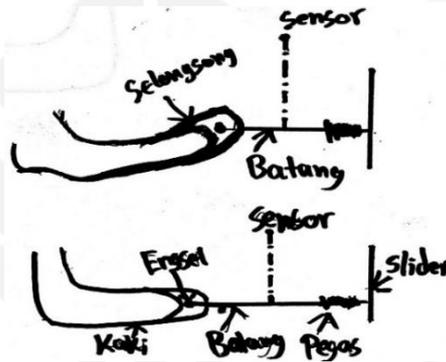


Gambar 3-13 Konsep 1 penggunaan batang lurus



Gambar 3-14 Desain 3D Batang lurus

Konsep kedua adalah penggunaan *linear bearing* ketika kaki dapat tekanan dari bawah akan ketekuk secara perlahan ke atas, secara bersamaan *slider* akan ke atas juga begitupun pegas akan ketarik sehingga batang dalam bisa memanjang mengikut pola tekukan telapak kaki palsu dan batang tetap posisi horizontal sehingga sensor mengenai bagian tersebut hal ini ditunjukkan pada Gambar 3-15.



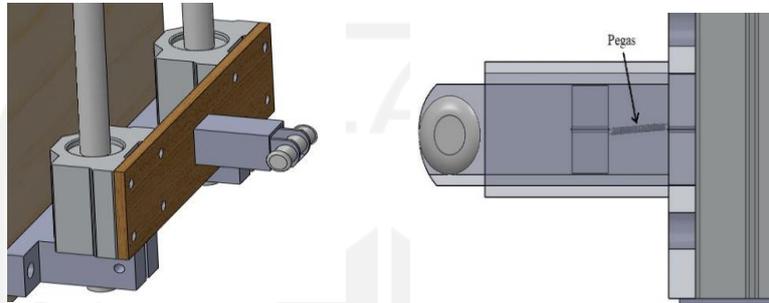
Gambar 3-15 Konsep 2 penggunaan *linear bearing*

Pada bagian *slider* memilih menggunakan *linear bearing* dengan posisi *vertical* mekanismenya bisa naik turun. Terdapat dua buah *linear bearing* tujuan agar tidak terpuntir saat bergerak dan ditambahkan tempat untuk meletakkan posisi *linear bearing*, penulis menggambar bagiannya kemudian di *Assembly* dapat dilihat pada Gambar 3-16.



Gambar 3-16 Desain 3D *Linear bearing*

Selanjutnya menggunakan batang penghubung tidak perlu terlalu panjang, ada 2 bagian batang yaitu : bagian batang luar yang akan langsung mengenai sensor, bagian dalam batang terdapat pegas nantinya batang tersebut bisa memanjang karena adanya tarikan. Bagian ujung batang dalam di buat lubang untuk memasukan poros dan menyambungkan ke bagian jempol kaki dapat dilihat pada Gambar 3-17.

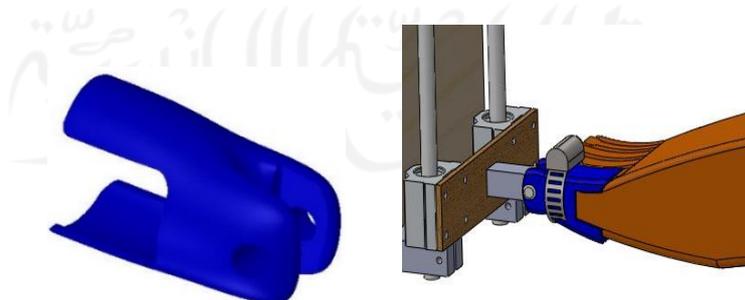


Gambar 3-17 Desain 3D Batang penghubung

### 3.6.7 Selongsong Jempol Telapak Kaki Palsu

Mendesain khusus pada bagian jempol kaki menggunakan perangkat lunak *fusion 360*. Selongsong ini menyerupai bentuk jempol kaki dan mencetaknya menggunakan *3D printing* dengan material *filament*.

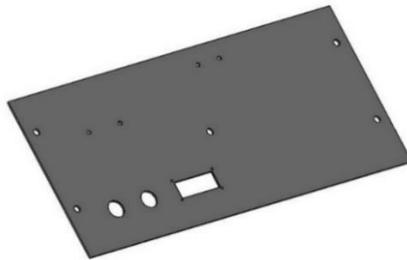
Selongsong akan terhubung dengan batang penghubung kemudian dijepit menggunakan poros, poros tersebut bisa mengikuti pergerakan tekukan. Supaya selongsong telapak kaki palsu tetap pada posisinya, menambahkan klem selang yang akan dikencangkan menggunakan baut dapat dilihat pada Gambar 3-18.



Gambar 3-18 Desain 3D Selongsong jempol telapak kaki palsu

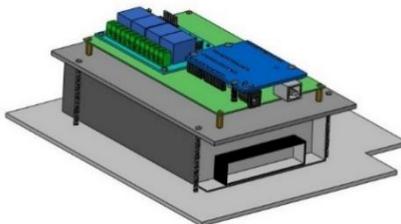
### 3.6.8 Alas *control*, *power supply*, *background* dan sensor

Posisi alas *control* terletak dibagian depan dengan posisi miring  $38^\circ$ , ini sebagai dasar letak komponen *control* yang akan digunakan. Setelah melakukan pengukuran dimensi dan menentukan letak komponennya dibentuk kemudian di *Assembly* dibagian rangka, material akrilik ketebalan 3 mm dengan dimensi panjang 600 mm dan lebar 254 mm. Untuk pengencangan alas *control* menggunakan mur dan baut dapat dilihat pada Gambar 3-19.



Gambar 3-19 Desain 3D Alas *Control*

Bagian alas *power supply* terletak dibagian belakang dan juga sebagai dasar untuk meletakkan komponen-komponen *power supply*. Material yang digunakan akrilik ketebalan 3 mm dengan berukuran panjang 200 mm dan lebar 216 mm. Dapat dilihat pada Gambar 3-20.



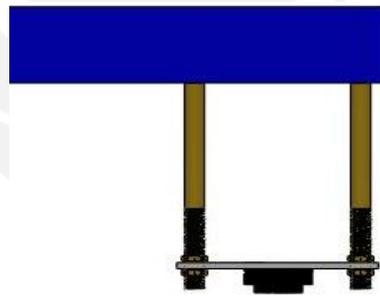
Gambar 3-20 Desain 3D Alas *power supply*

Agar menutupi bagian belakang dan tidak mengalihkan pandangan ke objek lainnya, fokus pada pengujian tersebut menggunakan *background* yang mengikuti ukuran dari rangka berukuran panjang 600 dan lebar 800 mm dengan ketebalan 5 mm, material dari bahan triplek dan untuk mengencangkan kebagian rangka menggunakan sekrup dapat dilihat pada Gambar 3-21.



Gambar 3-21 Desain 3D *Background*

Selanjutnya alas sensor posisinya terletak di bagian atas yang menggantung menggunakan 2 batang poros yang direkatkan dan terdapat alas sensor, tetapi sensor menghadapnya kebawah mengenai batang penghubung. Material menggunakan akrilik ketebalan 3 mm dengan berukuran panjang 80 dan lebar 30 mm, dari keseluruhan alas akan dicetak menggunakan laser *cutting* dapat dilihat pada Gambar 3-22.



Gambar 3-22 Desain 3D Posisi sensor

Selanjutnya pada bab empat konsep yang terpilih dan sudah dirancang akan dikembangkan menjadi hasil produk.

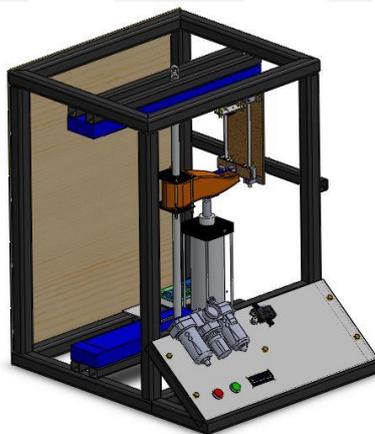
## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

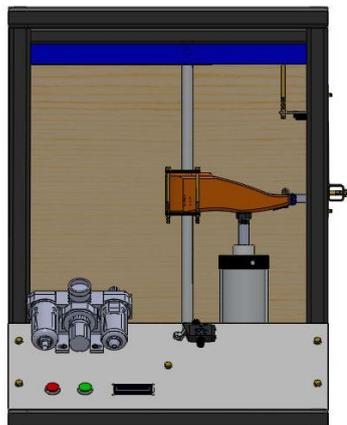
#### 4.1 Hasil Perancangan

##### 4.1.1 Assembly 3D

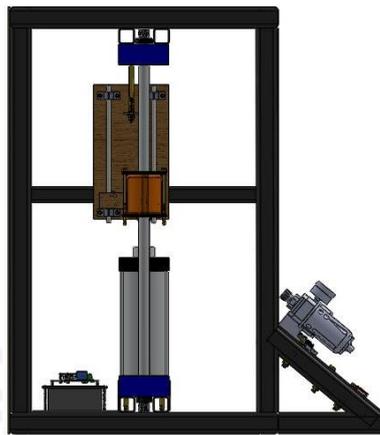
Setelah semua komponen dibentuk langkah terakhir di *assembly* keseluruhan menggunakan *solidworks* 2018 menjadi satu bagian mulai dari rangka, batang poros, mekanisme penggeser batang poros, *bracket*, plat penekan, mekanisme pembaca sensor, selongsong jempol kaki dan alas. Terdapat juga komponen tambahan yang akan dipasangkan ke alat uji seperti silinder pneumatik, regulator, *push button*, LCD, *relay*, katup 5/2, sensor, *power supply*, *arduino*. Sehingga hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4-1, 2 dan 3.



Gambar 4-1 *Assembly* keseluruhan



Gambar 4-2 Tampak depan



Gambar 4-3 Tampak samping

#### 4.1.2 Simulasi Analisis Kekuatan

Pada penelitian ini, simulasi analisis kekuatan dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari alat uji. Dengan melakukan *stress analysis* menggunakan perangkat lunak *solidworks simulation*, saat melakukan pengujian terhadap telapak kaki palsu gaya tekan keatas dengan asumsi beban sebesar 1000 N atau 100 kg. Analisis dilakukan terhadap kekuatan batang poros sebagai penerima beban dari telapak kaki palsu. Bagian yang paling banyak menerima gaya beban adalah poros (*female*) dengan gaya beban arah sumbu (Y) kebawah dengan material yang digunakan, yaitu ASTM A36 Steel hal ini tercantum pada Tabel 4-1.

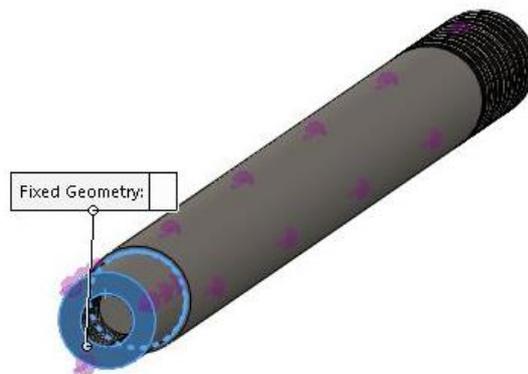
Tabel 4-1 Spesifikasi material

Properties	
Name:	ASTM A36 Steel
Model type:	Linear Elastic Isotropic
Default failure criterion:	Unknown
Yield strength:	2.5e+08 N/m <sup>2</sup>
Tensile strength:	4e+08 N/m <sup>2</sup>
Elastic modulus:	2e+11 N/m <sup>2</sup>
Poisson's ratio:	0.26
Mass density:	7850 kg/m <sup>3</sup>
Shear modulus:	7.93e+10 N/m <sup>2</sup>

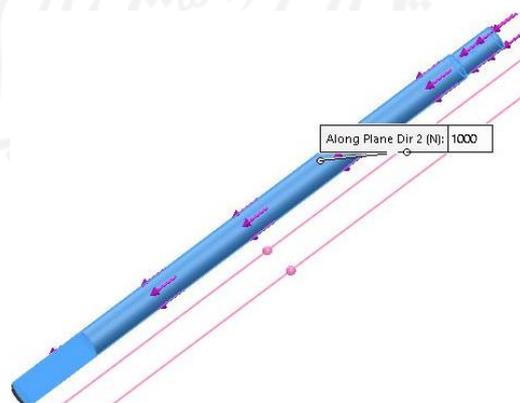
Tabel 4-2 Parameter beban

Force/Torque Details		Analysis type	Static
Study name	Static 1 (-Default-)	Mesh type	Solid Mesh
Load name	Force-1 (:Per item: -1000 N:)	Thermal Effect:	On
Entities	2 face(s), 1 plane(s)	Thermal option	Include temperature loads
Reference	Top Plane	Zero strain temperature	298 Kelvin
Type	Apply force		
Values	..., -1000, ...		
Units	SI		
Identifier	3		

Untuk memulai simulasi analisis dengan *type static*, maka diberikan gaya sebesar 1000 N atau 100 kg, hal ini tercantum pada Tabel 4-2. Parameter yang diberikan pada batang poros, yaitu posisi *fixed geometry* di salah satu ujung poros dapat dilihat pada Gambar 4-4 dan memberikan beban sebesar 100 kg keseluruhan dari batang poros arah gaya kebawah tegak lurus dengan sumbu (Y), dengan suhu yang diberikan 25° dapat dilihat pada Gambar 4-5.

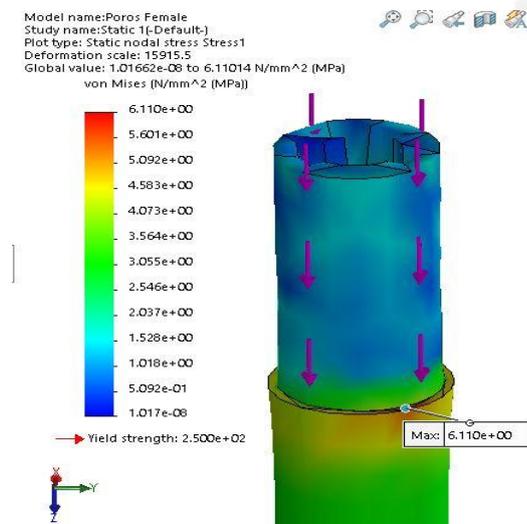


Gambar 4-4 *fixed geometry*

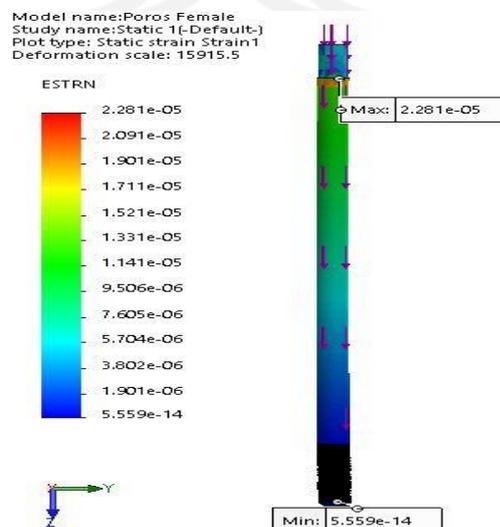


Gambar 4-5 *Force*

Berikutnya akan memulai simulasi analisis pada batang poros, dengan diketahuinya material ASTM A36 Steel dengan *Yeild Strength* sebesar  $2.5e+08$  atau  $2.5 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup> tercantum pada Tabel 4-1. Pada tegangan *von mises stress* menunjukkan angka minimum sebesar  $1.017e-08$  atau  $1.017 \times 10^{-8}$  N/mm<sup>2</sup> dan sampai batas maksimum sebesar  $6.110e+00$  N/mm<sup>2</sup>, terlihat pada Gambar 4-6. Kemudian dilakukan *strain* menunjukkan minimum sebesar  $5.559e-14$  atau  $5.559 \times 10^{-14}$  dan maksimum sebesar  $2.281e-05$  atau  $2.281 \times 10^{-5}$ , terlihat pada Gambar 4-7. Artinya nilai tersebut dibawah nilai *yield strength*, bahwa alat ini kuat dan mampu menahan beban 100 kg dengan beberapa kali pengujian tanpa adanya kerusakan.

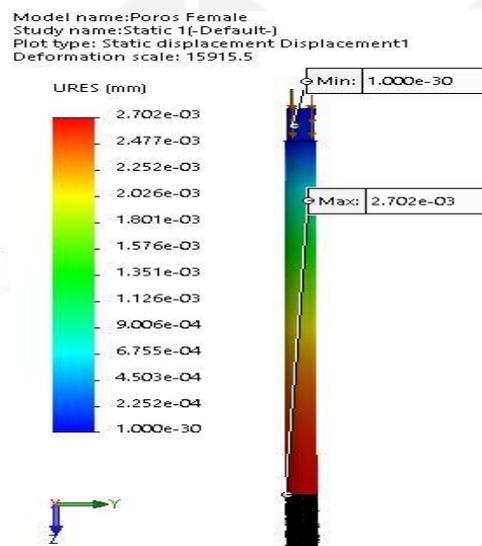


Gambar 4-6 Stress analysis



Gambar 4-7 Strain analysis

Simulasi *displacement* juga dilakukan pada struktur ini, untuk mengetahui deformasi maksimum dan elastis pada batang poros dengan menghubungkan batas *tensile strength* atau *ultimate strength* sebesar  $4e+8$  atau  $4 \times 10^8$  N/mm<sup>2</sup> dan *elastic modulus* yang sudah ditentukan pada material sebesar  $2e+11$  atau  $2 \times 10^{11}$  N/mm<sup>2</sup> tercantum pada Tabel 4-1. Pada deformasi terkecil terletak pada dasar kaki sebesar  $1.00e-30$  atau  $1 \times 10^{-30}$ , sedangkan deformasi terbesar sebesar  $2.702e-03$  atau  $2.702 \times 10^{-3}$  berada di ujung poros bawah yang terhubung dengan rangka, terlihat pada Gambar 4-8. Bahwa nilai tersebut masih dibawah batas *tensile strength* dan *elastic modulus* tidak ada satupun deformasi yang terjadi, yang artinya bahwa struktur ini masih aman.



Gambar 4-8 *Displacement analysis*

Setelah melakukan rangkain perancangan desain menggunakan perangkat lunak *solidworks* dan *fusion 360*. Serta melakukan proses simulasi analisis pada desain, maka dianggap mampu melakukan pengujian. Selanjutnya melakukan tahapan proses fabrikasi sampai produk jadi sesuai rancangan, tahapan sebagai berikut :

### 4.1.3 Rangka

Tahapan pertama adalah pembentukan rangka awal dengan menyiapkan bahan besi *hollow square* ketebalan 1,8 mm dengan ukuran panjang 40 mm dan lebar 40 mm. Melakukan pemotongan besi menggunakan gerinda, berbagian dari mulai rangka bawah ukuran panjang 800 mm dan lebar 600 mm. Penambahan 4 bagian rangka di tengah sebagai dudukan rumah rel laci panjang sebesar 600 mm, lalu memotong besi menjadi 4 bagian untuk tinggi rangka dengan ukuran 800 mm, bagian atas rangka dengan ukuran panjang 500 mm dan lebar 600 mm. kemudian terakhir rangka untuk penempatan *control* dipotong 2 bagian berukuran panjang 200 mm dengan posisi miring  $38^\circ$ . Setelah melakukan pemotongan dengan gerinda, proses perakitan dan penyambungan besi menggunakan mesin las listrik dapat ditunjukkan pada Gambar 4-9.



Gambar 4-9 *Assembly* bentuk rangka

### 4.1.4 Rumah Rel Laci

Tahap kedua membentuk rumah rel laci, menggunakan plat besi dengan ketebalan 3 mm. Ada 2 bagian yang akan dibuat nantinya dan dilakukan pemotongan sesuai ukuran, yaitu ; bagian bawah dengan ukuran panjang 380 mm, lebar 93 mm, dan tinggi 38 mm sedangkan bagian atas berukuran panjang 584 mm, lebar 93 mm, dan tinggi 38 mm. Kemudian disambung semua per bagian menggunakan mesin las listrik menjadi bentuk persegi panjang, untuk bagian dasar dan penutup rumah rel laci dilubangi 20 mm memanjang sebesar 74 mm agar

batang poros bisa melewati bagian tersebut, hal ini ditunjukkan pada Gambar 4-10. Setelah proses penyambungan selesai, lalu pemasangan rel laci di 2 bagian. Menyatukan penutup rel laci menggunakan mur dan baut yang dikencangkan di plat besi tersebut dapat dilihat pada Gambar 4-11.



Gambar 4-10 *Assembly* bentuk rumah rel laci



Gambar 4-11 Penutup rumah rel laci

Melakukan pemotongan plat besi untuk dasar penggerak poros, satu sisi di lubangi menggunakan bor tangan diameter sebesar 20 mm sampai batang poros bisa melewati bagian tersebut dan disatukan dengan rel laci menggunakan mur dan baut dikencangkan dengan posisi *horizontal*, pemotongan plat besi dengan ukuran panjang 300 mm, lebar 71 mm, dan tinggi 10 mm dapat dilihat pada Gambar 4-10.

Setelah rumahan rel laci sudah selesai dirakit, 2 bagian tersebut diletakkan di posisi tengah pada rangka atas dan bawah. Supaya kuat dilakukan penyambungan menggunakan mesin las listrik dapat dilihat pada Gambar 4-12. Serta melakukan pelumasan pada tiap sisi rel laci agar saat digeser tetap licin, pelumasan tersebut menggunakan *grease* dapat dilihat pada Gambar 4-13.



Gambar 4-12 Posisi rumah rel laci



Gambar 4-13 Pelumasan rel laci

#### 4.1.5 Batang Poros

Tahapan ketiga membentuk batang poros, bahan yang digunakan ASTM A36 Steel memilih diameter utamanya 20 mm. Pemotongan pada batang poros (*female*) panjang 430 mm dan (*male*) panjang 362 mm, melalui proses mesin bubut ujung batang poros (*female*) diameter dikecilkan sebesar 18 mm dan panjang 34,25 mm dapat dilihat pada Gambar 4-14. Sedangkan ujung batang poros diameter dikecilkan sebesar 10 mm dan panjang (*male*) 67 mm, dapat dilihat pada Gambar 4-15.



Gambar 4-14 Batang poros *female*



Gambar 4-15 Batang poros *male*

Selanjutnya kedua batang poros akan disambung menjadi satu bagian, pada atas poros (*female*) dibuat ulir dalam sebesar (M.1,6 x 0,3 mm) dan kedalaman sebesar 21 mm, sedangkan ujung poros male dibuatkan ulir luar dapat dilihat pada Gambar 4-16. Setelah proses pembuatan ulir selesai, kemudian dicoba untuk dikencangkan kedua batang tersebut hal ini ditunjukkan pada Gambar 4-17.



Gambar 4-16 Batang poros



Gambar 4-17 Penyambungan kedua batang poros

Masih dalam proses pembubutan sisi lainnya, pada kedua ujung batang poros dibuat masing-masing ulir bagian luar sebesar (M.20 x 2,5 mm) dan panjang ulir sebesar 60 mm, untuk pengencangan menggunakan mur sesuai ulir yang dibentuk dapat ditunjukkan pada Gambar 4-18.



Gambar 4-18 Pembuatan ulir luar

#### 4.1.6 *Bracket* Telapak Kaki Palsu

Tahap keempat membentuk *bracket* dengan menggunakan plat besi dengan ketebalan 5 mm. Pemotongan plat besi dengan jumlah 2 *bracket* berukuran panjang 83 mm dan lebar 65 mm, kemudian dilubangi menggunakan bor, dengan diameter 20 mm dibagian tengah untuk dimasukkan batang poros dan diameter 5 mm sebanyak 4 tiap *bracket* untuk dimasukkan mur baut. Pada plat besi masih belum rapi atau masih ada bagian yang tajam, untuk itu akan dirapikan menggunakan mesin gerinda dapat dilihat pada Gambar 4-19.



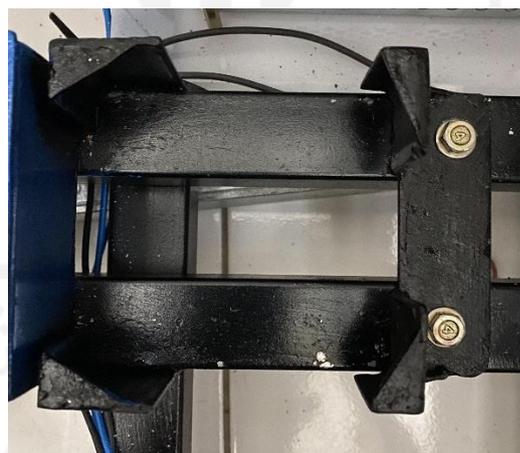
Gambar 4-19 *Assembly* bentuk *bracket*

#### 4.1.7 Alas Penekan dan *Bracket* Silinder Pneumatik

Tahap kelima membentuk alas penekan dan penguncian silinder pneumatik, pada alas penekan materialnya menggunakan plat besi dengan ketebalan 2 mm dan akan dipotong berukuran panjang 60 mm dan lebar 30 mm. Setelah itu disatukan dengan mur silinder dengan cara dilas dapat dilihat pada Gambar 4-20. Selanjutnya untuk *bracket* silinder pneumatik masih menggunakan plat besi ketebalan 2 mm akan dipotong dengan ukuran panjang 97 mm, lebar 40 mm, dan 28 mm. Membuat lubang pada sisi datarnya untuk memasukkan baut yang nanti akan di kencangkan hal ini ditunjukkan pada Gambar 4-21.



Gambar 4-20 *Assembly* bentuk plat penekan



Gambar 4-21 *Assembly Bracket* silinder *pneumatic*

#### 4.1.8 *Assembly* Pembacaan Jarak

Tahap keenam membuat pembacaan jarak, konsep pertama material yang digunakan untuk batang lurus adalah aluminium *hollow square* panjang 12 mm dan lebar 12 mm. Untuk batang luar yang dipotong sepanjang 80 mm sedangkan

batang dalam dipotong sepanjang 85 mm, kemudian masuk ke dalam batang luar perekatan menggunakan lem. Batang dalam di bor bagian ujung dengan diameter 6 mm dapat dilihat pada Gambar 4-22.



Gambar 4-22 *Assembly* batang lurus

Konsep 2 membentuk *slider* alas *linear bearing* material yang digunakan dari triplek dengan ketebalan 3 mm, material akan di potong berukuran panjang 260 mm dan lebar 140 mm. Kemudian di lubanggi pada area yang sudah di ukur untuk dudukan *shaft*, untuk pengencangan menggunakan mur dan baut, lalu pemasangan AS poros tiap dudukan dengan memasukkan *linear bearing* dapat ditunjukkan pada Gambar 4-23.



Gambar 4-23 *Assembly* alas *linear bearing*

Selanjutnya membentuk batang penghubung, dengan material aluminium *hollow square* panjang 12 mm dan lebar 12 mm, untuk batang luar yang dipotong sepanjang 20 mm dapat lihat pada Gambar 4-24 dan batang dalam menggunakan aluminium *U shape* dipotong sepanjang 30 mm hal ini ditunjukkan pada Gambar 4-25. Setelah proses pemotongan selesai, batang dalam dimasukkan ke batang luar.



Gambar 4-24 Batang luar



Gambar 4-25 Batang dalam

Batang dalam dipasangkan pegas berukuran kecil, kedua sisi pegas dipasangkan kawat kecil. Kemudian kawat dimasukkan ke dalam batang luar di tempel ke mediana supaya pegas bisa ketarik dapat dilihat pada Gambar 4-26. Batang dalam di lubang menggunakan bor sebesar 6 mm, untuk memasukkan AS poros ditunjukkan pada Gambar 4-27.



Gambar 4-26 Pemasangan pegas



Gambar 4-27 Pelubangan batang poros

Setelah semua sudah selesai pengerjaan, lalu di rakit menjadi satu bagian dari *linear bearing* dan batang penghubung. Untuk AS poros sangat licin memudahkan pergerakan naik turun nantinya dapat dilihat pada Gambar 4-28.



Gambar 4-28 *Assembly* mekanisme *linear bearing*

#### 4.1.9 3D Printing Selongsong Jempol Kaki

Tahap ketujuh membentuk selongsong kaki, format desain bentuk (\*.stl). Kemudian melalui perangkat lunak *flsprint* mendapatkan format *G-code* di *input* menggunakan mesin 3D *printing* dengan *infill* 70% waktu pengerjaan 2 jam 4 menit dan dicetak 2 selongsong dapat dilihat pada Gambar 4-29. Setelah selongsong selesai dibentuk, percobaan pemasangan ke telapak kaki palsu serta menggunakan klem selang. Hasilnya selongsong jempol bisa masuk dan klem selang bisa dikencangkan sesuai rancangan dapat dilihat pada Gambar 4-30.



Gambar 4-29 Selongsong jempol kaki



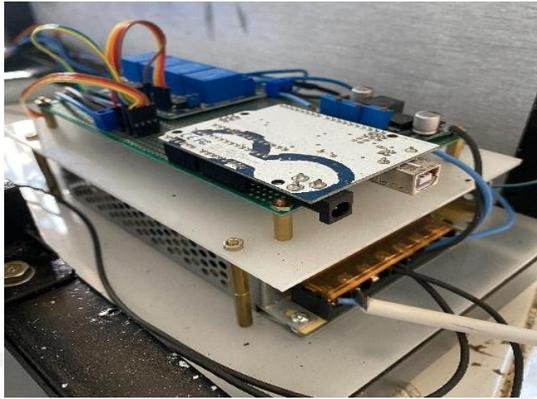
Gambar 4-30 Pemasangan selongsong kaki

#### 4.1.10 Laser Cutting Alas

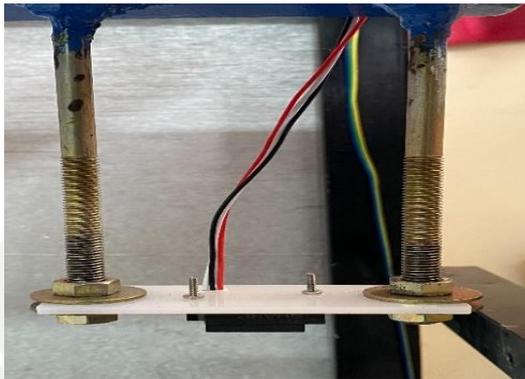
Tahap terakhir ini, mencetak bagian alas-alas yang akan digunakan menggunakan mesin laser *cutting* dan menyiapkan bahan akrilik dengan ketebalan 3 mm dan triplek ketebalan 5 mm. Proses pertama menggunakan bahan akrilik adalah membuat alas *control*, *power supply* dan sensor. Untuk memulai proses pemotongan desain dengan format (\*.dxf) di *input* ke mesin laser *cutting*, pertama alas *control* dapat dilihat pada Gambar 4-31, kedua alas *power supply* lihat pada Gambar 4-32, dan alas sensor terlihat pada Gambar 4-33.



Gambar 4-31 *Assembly* alas *control*



Gambar 4-32 *Assembly alas power supply*



Gambar 4-33 *Assembly alas sensor*

Proses kedua menggunakan bahan triplek untuk mencetak *background* dapat dilihat pada Gambar 4-34. Ketika alas tersebut sudah selesai dicetak masing-masing dilakukan proses pemasangan terhadap alat uji.



Gambar 4-34 *Assembly background*

#### 4.1.11 Perakitan Alat

Dengan proses fabrikasi yang cukup panjang, selanjutnya di bersihkan dan diampelas. Ketika masih ada lubang pada saat pengelasan lapis menggunakan dempul. Proses dempul untuk mendasari langkah terakhir yaitu pengecatan pada pengerjaan fabrikasi tersebut, hasilnya akan rapi dan tahan terhadap karat. Fabrikasi telah selesai semua, komponen lainnya yang sudah disiapkan kemudian melakukan perakitan ke alat uji tersebut dan mencoba *test run* pada silinder pneumatik. Hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 4-35.



Gambar 4-35 Alat uji *Dorsiflexion* dan *Hysteresis* telapak kaki palsu

## 4.2 Hasil Pengujian

### 4.2.1 Titik Penekanan

Pengujian dilakukan pada saat perakitan sudah selesai dan menyiapkan bahan uji telapak kaki palsu buatan. Tetapi sebelum melakukan pengujian terdapat standar untuk titik referensi pengujian, hal ini didapatkan pada ISO 10328 yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya titik penekan bawah adalah ( $P_B$ ). Kondisi beban uji dibagi 2 jenis yaitu : kondisi 1 dimana peletakan dibagian bawah belakang dekat tumit atau fase akhir pendaratan ke tanah, sedangkan kondisi 2 terletak pada bagian bawah dekat jari kaki atau fase kontak awal mulainya manusia

berjalan. Pada pengujian *dorsiflexion*, fleksi terdapat dibagian jari kaki untuk itu menggunakan *test load condition II*.

Telapak kaki palsu yang digunakan adalah kaki dewasa, dalam ISO 10328 dimana terdapat berbagi level standar beban uji, sebagai berikut :

1. P3 adalah pengujian untuk berat beban tubuh sebesar 60 kg.
2. P4 adalah pengujian untuk berat beban tubuh sebesar 80 kg.
3. P5 adalah pengujian untuk berat beban tubuh sebesar 100 kg.
4. P6 dan P7 adalah pengujian untuk berat beban tubuh kurang dari 125 kg.
5. P8 adalah pengujian untuk berat beban tubuh kurang dari 175 kg.

Menurut (Kementrian Kesehatan RI, 2018) rata-rata di Indonesia memiliki berat tubuh maksimal pada orang dewasa sekitar 93 kg, dengan membulatkan menjadi 100 kg. Hal ini menggunakan asumsi level P5 sebagai pengujian beban berat tubuh sebesar 100 kg, selain itu menggunakan *test load condition II*. Hasil yang didapatkan berupa dimensi ( $S_B$ ) adalah 130 mm, karena ( $S_B$ ) gabungan dari sumbu *centerline* ( $u$ ) ke titik penekan bawah ( $P_B$ ), maka nilai ( $P_B$ ) juga 130 mm tercantum pada Tabel 4-3.

Tabel 4-3 Parameter beban tekan

Reference plane	Combined offsets $S_x = \sqrt{r_x^2 + d_x^2}$ <sup>a</sup>						
	Dimension and location <sup>b</sup>	Numerical value					
		mm					
		Test loading condition					
		Test loading level P5		Test loading level P4		Test loading level P3	
		I	II	I	II	I	II
Top	$S_T$	114	68	116	67	117	71
Knee	$S_K$	72	80	74	78	75	81
Ankle	$S_A$	44	122	43	118	48	118
Bottom	$S_B$	66	130	65	126	70	126

(Sumber : ISO 10328 : 2016)

Setelah mendapatkan titik penekan bawah ( $P_B$ ), dilakukan pengukuran terhadap telapak kaki palsu buatan serta memberikan tanda kecil pada bagian tersebut menggunakan meteran dan pensil terlihat pada Gambar 4-36.



Gambar 4-36 Telapak kaki buatan

#### 4.2.2 Pengujian Alat

Selanjutnya dalam melakukan pengujian, ada 2 tahapan melakukan pengujian yang pertama pembacaan jarak menggunakan mekanisme batang lurus, pengujian kedua mekanisme *linear bearing*. Hal ini dilakukan untuk perbandingan-perbandingan hasil nilai jarak terhadap telapak kaki buatan.

Pada pengujian melakukan *input* data terhadap silinder pneumatik dengan parameter kondisi beban tekan keatas sebesar 100 kg dengan kecepatan 500 mm/menit dengan waktu 15 detik dengan jarak yang ditempuh sebesar 125 mm, kondisi kembali ketika saat kaki berhenti diatas selama 10 detik dan otomatis bergerak kebawah, simulasi pengujian dilakukan sampai 3 kali tiap satu mekanisme pembacaan jarak.

Mekanisme pemasangan kaki palsu mulai dari batang poros, *bracket* kaki dan penyambungan ke batang penghubung dengan mekanisme yang akan digunakan. Selain itu melakukan mengatur ketinggian terhadap ujung dari silinder pneumatik, kemudian mur pada ujung kedua batang poros dikencangkan terlebih dahulu bagian atas dilanjutkan bagian bawah menggunakan kunci Inggris. Untuk pengujian pertama, melakukan pemasangan mekanisme batang lurus dapat dilihat pada Gambar 4-37, dan untuk pengujian kedua menggunakan mekanisme *linear bearing* dapat dilihat pada Gambar 4-38.



Gambar 4-37 Pemasangan mekanisme batang lurus



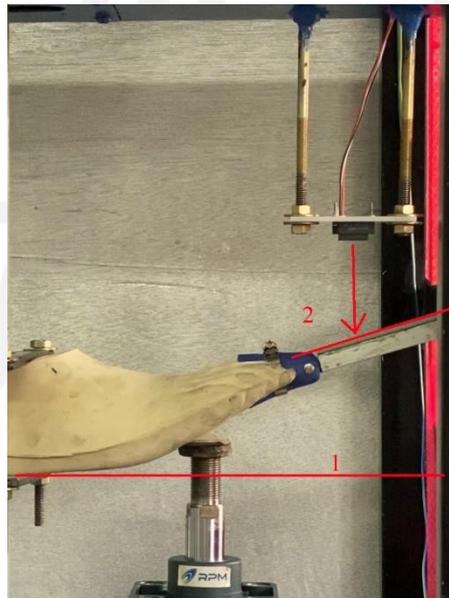
Gambar 4-38 Pemasangan mekanisme *linear bearing*

Saat melakukan pengujian, penggunaan mekanisme pembacaan jarak parameter yang diberikan sama terhadap telapak kaki buatan. Untuk memulai pengujian *push button* ditekan selama 15 detik naik secara perlahan dengan menggunakan *stopwatch* setelah 15 detik *push button* dilepas, posisi jari kaki sudah fleksi ke atas ditahan selama 10 detik. Kemudian kaki palsu langsung turun kembali, tetapi pengembalian tersebut tidak sempurna ke posisi awal. Selama

proses itu pembacaan jarak dilakukan oleh sensor, percobaan pengujian sebanyak 6 kali tiap produk telapak kaki buatan dengan menggunakan 2 mekanisme yaitu batang lurus dan *linear bearing*.

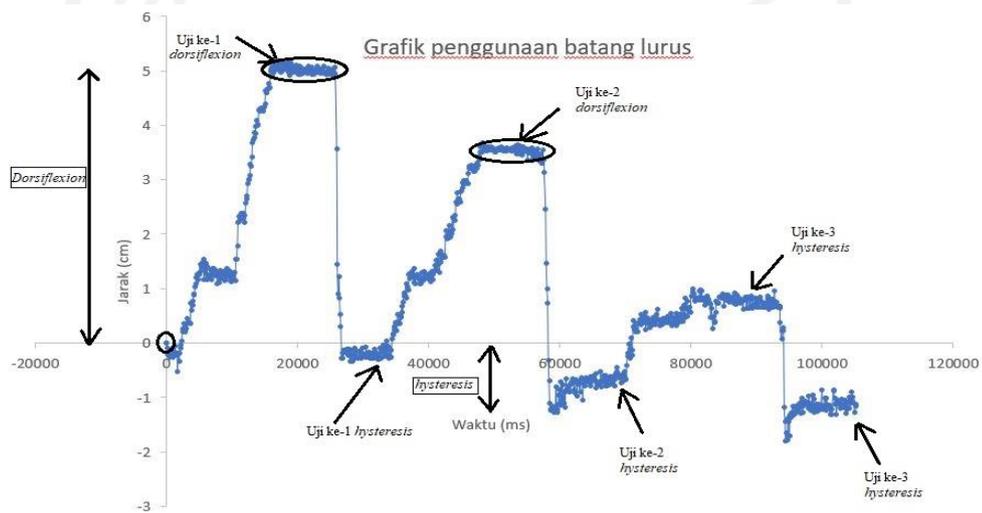
### 4.2.3 Hasil Pengujian Penggunaan Batang Lurus

Pengujian pertama menggunakan mekanisme batang lurus, parameter yang diberikan sebesar 100 kg dan pengujian selama 3 kali. Hasil yang didapatkan pada pengujian ini nilai jarak *error* terlalu besar, penggunaan batang lurus tidak bisa memastikan nilai jarak dengan tepat, karena arah gerak dari batang lurus tidak sempurna atau batang lurus tidak mempertahankan posisi *horizontal* saat melakukan pengujian tersebut. Hal ini dibuktikan pada pengujian, garis merah angka 1 adalah posisi awal sebelum mendapatkan gaya tekan keatas sedangkan garis merah angka 2 sesudah mendapatkan gaya tekan batang lurus. Posisi batang lurus miring dan pembacaan pada sensor hanya sebagian saja yang mengenai batang lurus tersebut, sehingga terdapat ketinggian yang berbeda pada penggunaan batang lurus. Bahwa pada garis merah angka 2 tersebut penggunaan mekanisme batang lurus ini, nilai jarak *error* terlalu besar dalam pembacaan jarak dapat dilihat pada Gambar 4-39.



Gambar 4-39 Pengujian penggunaan batang lurus

Pengujian tetap dilakukan terhadap telapak kaki palsu buatan untuk menganalisis penggunaan kedua mekanisme tersebut. Setelah melakukan pengujian terhadap telapak kaki palsu buatan, mendapatkan hasil grafik dan untuk memudahkan membaca grafik tersebut adalah nilai jarak *dorsiflexion* mulai dari (0) sampai selama 15 detik ketika ditekuk sedangkan nilai jarak *hysteresis* dari *delay* 10 detik kembali ke posisi awal, posisi *dorsiflexion* di sumbu (y) sedangkan *hysteresis* di sumbu (-y) adalah jarak (cm) dan sumbu (x) adalah waktu yang ditempuh (m/s). Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4-40.



Gambar 4-40 Grafik penggunaan batang lurus

Pada hasil data pengujian yang didapat nilai jarak *hysteresis* seharusnya tidak *minus* (-) dari uji ke-1, uji ke-2 dan uji ke-3. Untuk nilai jarak *dorsiflexion* juga dianggap gagal dikarenakan tidak stabil, pada uji ke-1 nilai jarak *dorsiflexion* yang paling besar sebesar (5.02 cm), uji ke-2 terdapat selisih terbesar (3.48 cm) dan uji ke-3 selisihnya sangat jauh sebesar (0.63 cm). Waktu yang ditempuh untuk pengujian ini selama 2 menit 5 detik, hal ini tercantum pada Tabel 4-4.

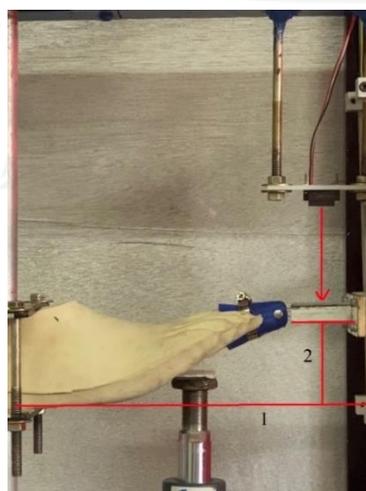
Tabel 4-4 Hasil data pengujian penggunaan batang lurus

No	Percobaan Batang lurus	Hasil data	
		Jarak <i>Dorsiflexion</i> (cm)	Jarak <i>Hysteresis</i> (cm)
1	Uji ke-1	5.02	-0.18

No	Percobaan Batang lurus	Hasil data	
		Jarak <i>Dorsiflexion</i> (cm)	Jarak <i>Hysteresis</i> (cm)
2	Uji ke-2	3.48	-0.77
3	Uji ke-3	0.63	-1.18
Rata- rata		3.04	-0.71
Standar Deviasi		2.23	0.50

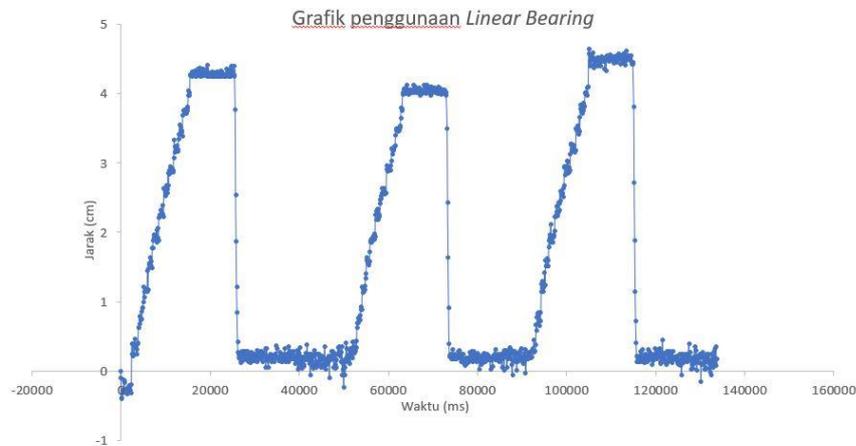
#### 4.2.4 Hasil Pengujian Penggunaan *Linear Bearing*

Pengujian kedua dengan menggunakan mekanisme *linear bearing* terhadap telapak kaki buatan dihasilkan mendapatkan perbedaan-perbedaan nilai jarak saat dilakukan pengujian selama 3 kali. Hasil yang didapatkan pada mekanisme ini, dengan menggunakan pergerakan slider naik turun, kemudian batang penghubung bisa memanjang dikarenakan ada pegas dan kemudian posisi batang penghubung tersebut tetap *horizontal* ketika mendapatkan gaya tekan ke atas. Hal ini dibuktikan pada pengujian yang dilakukan, pada garis merah angka 1 posisi awal atau tegak lurus sedangkan garis merah angka 2 adalah ketika mendapatkan gaya keatas. Batang penghubung masih dalam posisi *horizontal* dan tidak mengubah arah dari batang tersebut sehingga sensor yang digunakan mampu menjangkau seluruh bagian batang penghubung, yang artinya bahwa tidak ada *error* dengan menggunakan mekanisme ini dapat dilihat pada Gambar 4-41.



Gambar 4-41 Pengujian penggunaan *linear bearing*

Untuk membaca hasil grafik sama dengan penjelasan penggunaan batang lurus, grafik penggunaan *linear bearing* lebih stabil selama pengujian 3 kali. Bahwa penggunaan mekanisme tersebut jauh lebih presisi dibandingkan penggunaan batang lurus hal ini ditunjukkan pada Gambar 4-42.



Gambar 4-42 Grafik penggunaan *linear bearing*

Pada grafik yang didapatkan mendapatkan nilai jarak *dorsiflexion*, untuk nilai jarak terbesar pada uji ke-3 sebesar (4.46 cm), uji ke-1 sebesar (4.28 cm) dan nilai lebih kecil uji ke-2 sebesar (4.04 cm). Sedangkan untuk jarak *hysteresis* nilai jarak yang didapatkan ada nilai jarak yang sama, pada uji ke-1 sebesar (0.20 cm) dan uji ke-2 (0.20 cm) nilai jaraknya sama sedangkan uji ke-3 (0.19 cm) selisih sedikit sebesar 0.01 antara uji ke-1 dan ke-2. Waktu pengujian selama 2 menit 8 detik, hal ini tercantum pada Tabel 4-5.

Tabel 4-5 Hasil data pengujian penggunaan *linear bearing*

No	Percobaan <i>Linear bearing</i>	Hasil data	
		Jarak <i>Dorsiflexion</i> (cm)	Jarak <i>Hysteresis</i> (cm)
1	Uji ke-1	4.28	0.20
2	Uji ke-2	4.04	0.20
3	Uji ke-3	4.46	0.19
Rata- rata		4.26	0.20
Standar Deviasi		0.21	0.01

### 4.3 Analisis dan Pembahasan

Pada saat pengujian pertama yang dilakukan terhadap telapak kaki palsu, untuk mengetahui alat uji tersebut apakah mampu berjalan dengan yang diharapkan sesuai rancangan atau belum. Hasilnya alat uji sudah mampu bekerja dengan baik, namun saat pemasangan batang poros terdapat kesulitan dibagian menyesuaikan ketinggian pada telapak kaki palsu terhadap alas penekan slinder pneumatik dan menyesuaikan pemasangan mekanisme batang penghubung selongsong jempol kaki. Mengingat batang poros yang digunakan jumlahnya 2 buah dan cukup berat ditambah dengan bracket dan telapak kaki palsu sekitar 3,28 kg terlihat pada Gambar 4-43. Ketika mengatur ketinggian tersebut, Sehingga membutuhkan 2 orang operator untuk membantu proses pemasangan orang pertama memegang batang poros bawah sedangkan orang kedua memegang batang poros atas, selain itu memasang poros penghubung pada selongsong jempol kaki dan memperhatikan batang poros harus tegak lurus.



Gambar 4-43 Berat batang poros

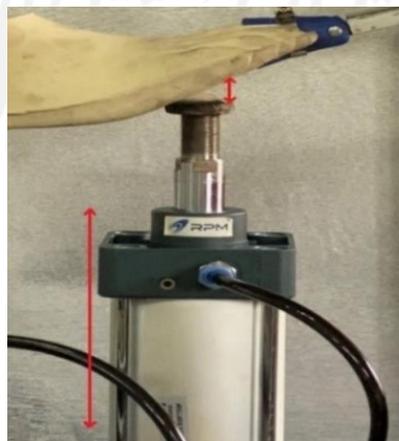
Setelah itu melakukan penguncian mur kedua ujung batang poros terdapat kendala karena batang poros tersebut masih kurang panjang. Posisinya berada ditengah kedua rangka, sehingga area mur sangat sempit ketika dikencangkan menggunakan kunci Inggris. Untuk mengatasi kendala-kendala tersebut, perlu menambahkan panjang dari batang poros, serta menambahkan ketinggian pada area yang di tandai merah agar menyesuaikan ketinggian kedua rangka dengan tepat dapat lihat pada Gambar 4-44.



Gambar 4-44 Bagian atas batang poros

Plat besi penekanan terhadap semua produk telapak kaki palsu yang diuji. Terdapat kendala pada plat penekanan hanya sebagian yang menyentuh permukaan bawah kaki palsu, bagian sisi kiri masih menyentuh tetapi dari bagian sisi kanan sudah terdapat adanya selisih jarak. Hal ini terjadi sebelum pengujian dan sesudah pengujian, yang perlu diperhatikan permukaan pada telapak kaki palsu tidak rata melainkan bergelombang.

Selanjutnya pada penguncian *bracket* silinder yang tidak tepat dan masih ada jarak diantara *bracket* tersebut, akibatnya silinder pnuematik bergerak mengikuti arah gerak dari kaki atau tidak pada posisi tegak lurus, sehingga proses pengujian tidak maksimal. Untuk mengatasi kendala tersebut, menambahkan dari bagian tersebut lebih fleksibel dan penahan silinder pneumatik pada posisi lebih tepat agar pengujian bisa maksimal dan akurat. Garis merah adalah kedua kendala yang dimaksud hal ini ditunjukkan pada Gambar 4-45.



Gambar 4-45 Plat besi penekanan

Pada pemasangan klem selang ke bagian jempol telapak kaki palsu terdapat kendala dengan memasukan klem selang di antara jari jempol ke jari telunjuk sangat kecil dan perlu menggeser sedikit jari jempol kaki ke arah kanan agar klem tersebut terpasang dengan tepat dapat dilihat pada Gambar 4-53. *Prototype* selongsong jempol kaki yang dibuat menggunakan material *filament*, sifat material sangat kaku sehingga mudah patah, kerusakan terjadi ketika mengencangkan baut klem dan saat pergantian terhadap telapak kaki palsu ternyata kondisi sudah patah dapat ditunjukkan pada Gambar 4-54.



Gambar 4-46 Klem selang



Gambar 4-47 Patahan selongsong jempol kaki

Saat melakukan pengujian penggunaan mekanisme batang lurus yang dijepit selongsong kaki, pergerakan batang berubah ketika mendapatkan tekanan dari silinder ujung batang bagian kanan lebih tinggi dibandingkan ujung batang bagian kiri dekat selongsong sehingga terdapat perbedaan ketinggian dan hasil yang didapatkan *error* terlalu besar. Sedangkan penggunaan *linear bearing* menggunakan 2 macam pergerakan yaitu bisa slider atas bawah dan batang bisa

ditarik karena terdapat pegas, tetapi pegas yang digunakan mudah mulur pada pergerakan itu batang tetap dalam keadaan posisi *horizontal* dan ketinggian antara batang dengan kaki sama, sehingga data yang dihasilkan lebih presisi. Dapat diartikan bahwa penggunaan mekanisme *linear bearing* lebih efektif dibandingkan dengan batang lurus.



## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Alat uji yang dirancang telah selesai di fabrikasi terdiri dari rangka, alas control, pembacaan sensor, batang poros, dudukan silinder dan *bracket* telapak kaki palsu. kemudian dimensi alat uji yang diperlukan tidak terlalu besar dan tidak terlalu berat sehingga mudah memindahkannya pada posisi yang diinginkan.
2. Mekanisme-mekanisme yang telah dibuat, mampu menyesuaikan ukuran dari telapak kaki palsu berbagai macam ukuran, serta mudah dalam pemasangan.
3. Pengujian mengikuti prosedur ISO 10328, sehingga titik tekan berada di  $P_B$  dan pemberian beban sebesar 100 kg (kode P5) pada telapak kaki palsu di tekan dengan kecepatan 500 mm/menit dalam waktu 15 detik.
4. Tahapan yang dilakukan dalam pengujian terhadap telapak kaki palsu menggunakan mekanisme batang lurus dan *linear bearing*. Hasil yang didapatkan berbeda-beda dengan pengujian terhadap satu mekanisme dan tiap telapak kaki palsu, penggunaan batang lurus error terlalu besar dibandingkan *linear bearing* hasilnya lebih presisi.

#### **5.2 Saran**

Pada perancangan ini masih terdapat beberapa kekurangan dan perlu adanya pengembangan, berikut saran untuk perancangan selanjutnya :

1. Perlu mencari material lain dari batang poros yang digunakan sangat berat dan mengatur ketinggian menjadi sulit, kemudian alternatif lain untuk penguncian batang poros.
2. Perlu menggantikan material dari selongsong kaki, agar tidak mudah patah saat pengujian.

3. Menambahkan alternatif baru pada plat penekan, dengan metode TRIZ (*nested doll*) dan bisa fleksibel, supaya tidak ada lagi selisih jarak terhadap telapak kaki palsu.
4. Pengujian dilakukan menggunakan meja yang tersedia, penulis tidak membuat desain meja tersebut. Perlu mendesain meja sesuai ukuran alat uji dan terdapat posisi untuk meletakkan laptop / PC, terlihat pada Gambar 4-35.



## DAFTAR PUSTAKA

- Cochran, G. V. B. (1982). *A primer of orthopaedic biomechanics*. Churchill Livingstone.
- Csapo, R., Maganaris, C. N., Seynnes, O. R., & Narici, M. V. (2010). On muscle, tendon and high heels. *The Journal of Experimental Biology*, 213(Pt 15), 2582–2588. <https://doi.org/10.1242/jeb.044271>
- d’Hooghe, P. P., & Kerkhoffs, G. M. (2014). *The ankle in football*. Springer.
- DiGiovanni, C. W., & Langer, P. (2007). The role of isolated gastrocnemius and combined Achilles contractures in the flatfoot. *Foot and Ankle Clinics*, 12(2), 363–379, viii. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2007.03.005>
- Fitrianto, T. R., & Dharmastiti, R. (2019). Evaluasi produk kaki prostetik bawah lutut berdasarkan persepsi pengguna usia 15-64 tahun. *Program Studi Magister Teknik Industri, Departemen Teknik Mesin Dan Industri Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada*, 71.
- H. Darmawan, H. (2004). *Pengantar Perancangan Teknik (II)*. ITB.
- Jweeg, M. J., Al-Beirut, A. A., & Al-Kinani, K. K. (2007). *Design and Analysis of New Prosthetic Foot*. 1, 15.
- Kabra, S. G., & Narayanan, R. (1991). Equipment and methods for laboratory testing of ankle-foot prostheses as exemplified by the Jaipur foot. *The Journal of Rehabilitation Research and Development*, 28(3), 23. <https://doi.org/10.1682/JRRD.1991.07.0023>
- Kementrian Kesehatan RI. (2018). *Berat badan ideal orang indonesia*. Direktorat P2PTM. <http://p2ptm.kemkes.go.id/infographic-p2ptm/obesitas/apakah->

berat-badan-anda-sudah-ideal-berikut-ini-tabel-berat-badan-yang-  
disarankan-untuk-pria#

PDII. (2012). *Pusat Data Informasi Nasional*.

Perry, J., & Shanfield, S. (1993). Efficiency of dynamic elastic response prosthetic feet. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 30(1), 137–143.

Rahman, A., & Istiqomah. (2020). *Panduan kalibrasi Dial Gauge* (Vol. 20). Badan Standarisasi Nasional (BSN). [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)

Russe, O., Gerhardt, J. J., & Burgess, E. M. (1975). *International SFTR method of measuring and recording joint motion*. Huber.

Utama, D. widya. (2017). *Modul Product design with autodesek fusion 360*. Universitas Tarumanagara Faculty of Engineering. <https://s3.amazonaws.com/adsk-designacademy-content-live/s3fs-public/Modul%20PKM%20Fusion360-Product%20Design.pdf>

Vaughan, C. L. (1999). *Dynamics of Human Gait*. Kiboho Publishers.

Ziqla, A. U. (2010). *Solidworks alat bantu merancang komponen dengan mudah*. Modula, Bandung.