

**RANCANG BANGUN ALAT UJI *FATIGUE* TELAPAK KAKI
PALSU BERDASARKAN STANDAR ISO 10328**

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : Ardhitya Aryo Wicaksono

No. Mahasiswa : 15525068

NIRM 2015060545

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

2021

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa karya tulis ilmiah yang saya buat merupakan karya sendiri bukan hasil plagiarisme dari karya tulis yang dibuat oleh orang lain. Semua referensi dan kutipan yang saya tulis pada karya tulis ini saya cantumkan sitasi dan sumber pustakanya. Apabila dikemudian hari saya dianggap melakukan pelanggaran hak kekayaan intelektual dan yang saya tulis pada karya ilmiah ini tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi dan hukuman yang berlaku.

Yogyakarta, 26 Agustus 2021



Ardhitya Aryo Wicaksono

الجمهورية الإسلامية اندونيسية

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**RANCANG BANGUN ALAT UJI *FATIGUE* TELAPAK KAKI
PALSU BERDASARKAN STANDAR ISO 10328**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Ardhitya Aryo Wicaksono

No. Mahasiswa : 15525068

NIRM 2015060545

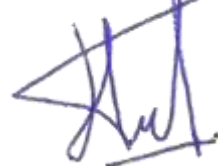
Yogyakarta, 26 Agustus 2021

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 *FATIGUE* TELAPAK KAKI
PALSU BERDASARKAN STANDAR ISO 10328**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Ardhitya Aryo Wicaksono

No. Mahasiswa : 15525068

NIRM 2015060545

Tim Penguji

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

Ketua


Tanggal : 26 Agustus 2021

Agung Nugroho Adi, S.T., M.T.

Anggota I


Tanggal : 26 Agustus 2021

Purtojo, S.T., M.Sc.

Anggota II


Tanggal : 26 Agustus 2021

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin




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

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah rabbil 'alamin,

Segala puja dan puji syukur terhadap kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, Allah SWT, penulis akhirnya dapat menyelesaikan skripsi Tugas Akhir ini yang berjudul “**Rancang Bangun Alat Uji *Fatigue* Telapak Kaki Palsu Berdasarkan Standar ISO 10328**” sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana.

Dengan penelitian ini, penulis mempersembahkan kepada:

1. Orang tua, yang selalu memberikan *support* berupa aspek moral dan materiil sehingga penulis mampu menyelesaikan masa perkuliahan di Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Dr. Eng. Risdiyono, S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Dr. Muhammad Khafidh, S.T., M.T selaku dosen pembimbing 1, dan juga Bapak Donny Suryawan, S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing 2
4. Seluruh Dosen dan *civitas* akademika Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan berbagai ilmu dari *softskill* dan *hardskill*.

HALAMAN MOTTO

“That which does not kill you, make you stronger”

-Friedrich Nietzsche



KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamualaikum Wr. Wb.

Alhamdulillahirobbil'alamin. Puji dan syukur kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi Tugas Akhir yang berjudul “**Rancang Bangun Alat Uji *Fatigue* Telapak Kaki Palsu Berdasarkan Standar ISO 10328**”. Penyusunan skripsi ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan program Sarjana (S1) pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Selama studi dan dalam penyusunan skripsi ini, penulis telah memperoleh bantuan, baik itu doa maupun dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati penulis, mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, Bapak Drs Agus Mulyono M.M dan juga Ibu Ari Luvita yang selalu mendukung, memberikan saran, dan do'a dalam segala hal dan membesarkan saya sampai saat ini.
2. Bapak Dr. Eng. Risdiyono, S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia yang telah mengajarkan anak didiknya menjadi insan yang KSATRIA.
3. Bapak Dr. Muhammad Khafidh, S.T., M.T. Selaku dosen pembimbing 1 yang selalu memberikan waktu, ilmu, saran, serta arahan pada saat bimbingan tugas akhir.
4. Bapak Donny Suryawan, S.T., M.Eng. selaku pembimbing 2 yang telah memberikan waktu luangnya untuk senantiasa memberikan arahan dalam penyusunan tugas akhir ini.
5. Seluruh Dosen Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan berbagai ilmu dari *softskill* dan *hardskill*.
6. Ketua laboratorium Mektaronika dan jajarannya yang telah membantu penulis sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.
7. Kakak saya Dellanisa Aryani yang selalu memberikan saya motivasi, bantuan, suntikan semangat dan menjadi kakak yang sangat membangun.
8. Saudara-saudaraku teknik mesin angkatan 2015 yang selalu menjadi

tempat kembali dan tempat berbagi kisah.

9. Cheby Thertia Soebijanto yang telah memberikan dukungan kepada penulis, menjadi semangat, dan selalu mendengarkan cerita-cerita kecil dari penulis.
10. Teman-teman lembaga/organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin, Lembaga Eksekutif Mahasiswa, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia yang telah mengajarkan banyak ilmunya kepada penulis.
11. Reskia Budi, sebagai *partner* Tugas Akhir yang telah membantu penulis menyelesaikan penelitian ini.

Akhirnya kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu oleh penulis, penulis mengucapkan banyak terimakasih atas segala bantuan yang telah diberikan. Semoga Allah SWT melimpahkan rezeki dan barakah-Nya kepada Bapak, Ibu, dan Saudara yang telah membantu penulis dalam segala hal.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu, kritik dan saran ke arah perbaikan sangat diperlukan. Namun demikian, penulis berharap skripsi ini dapat memberikan sumbangan pemikiran yang bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan untuk kita semua, Aamiin.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Yogyakarta, 20 Agustus 2021

Penulis



Ardhitya Aryo Wicaksono

ABSTRAK

Dari data total penyandang disabilitas di Indonesia, 3,76% nya adalah penyandang disabilitas dalam hal berjalan. (Kementerian Kesehatan RI, 2018). Pengembangan prosthesis telapak kaki palsu sudah banyak berkembang baik dari produk lokal ataupun produk impor. Namun pengujian untuk ketahanan *fatigue* masih sangat sedikit dan belum ada di Indonesia. Sehingga mempengaruhi keterbatasan dalam pengembangan produksi kaki palsu itu sendiri. Pengembangan alat uji *fatigue* sendiri sudah beberapa kali dilakukan, yaitu pada tahun 2001 dengan benda uji SACH Foot, dan pada tahun 2011 pada telapak kaki palsu anak. Pada penelitian dilakukan pembuatan alat uji *fatigue* telapak kaki palsu dengan menggunakan dua silinder pneumatik sebagai aktuator pengujian. Perancangan desain dilakukan menggunakan Software Inventor 2020. Pengujian dilakukan kepada 3 jenis prosthesis yaitu impor A, impor B, dan lokal C setelah dilakukan 72.000 siklus pada beban P5. Hasilnya yaitu alat ini telah mampu dirancang dengan baik, dan semua prosthesis tidak mengalami retakan.

Kata kunci : Disabilitas, Prosthesis, Desain, Fatik, Uji Fatik

ABSTRACT

From the total data of persons with disabilities in Indonesia, 3.76% of them are persons with disabilities in terms of walking. (Ministry of Health RI, 2018). The development of artificial foot prostheses has developed a lot, both from local products and imported products. However, tests for fatigue resistance are still very few and do not yet exist in Indonesia. Thus affecting the limitations in the development of the prosthetic limb itself. The development of the fatigue tester itself has been carried out several times, namely in 2001 with the SACH Foot test object, and in 2011 on the child's prosthetic foot. In this study, a prosthetic foot fatigue test was made using two pneumatic cylinders as test actuators. The design was carried out using Software Inventor 2020. Tests were carried out on 3 types of prostheses, namely imported A, imported B, and local C after 72,000 cycles were carried out at P5 load. The result is that this tool has been able to be designed properly, and all the prosthetic are not cracked.

Keywords : Disability, Prosthetic, Design, Fatigue, Fatigue Tester

DAFTAR ISI

Halaman judul.....	i
Pernyataan Keaslian	ii
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	iii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iv
Halaman Persembahan	v
Halaman Motto	vi
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih.....	vii
Abstrak	ix
<i>Abstract</i>	x
Daftar Isi.....	xi
Daftar Tabel.....	xiii
Daftar Gambar	xiv
Daftar Notasi.....	xvi
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	3
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 Dasar Teori.....	7
2.2.1 <i>Fatigue</i>	7
2.2.2 Uji Fatigue	9
2.2.3 Perancangan.....	10
2.2.4 Desain	11
2.2.5 CAD (<i>Computer Aided Design</i>)	11
2.2.6 Standar Penempatan Benda Uji.....	12
2.2.7 Komponen Pengujian	14

2.2.8	Frekuensi Pengujian	15
Bab 3	Metode Penelitian.....	17
3.1	Alur Penelitian	17
3.2	Konsep Desain	18
3.3	Peralatan dan Bahan.....	27
3.4	Perancangan Desain	29
Bab 4	Hasil dan Pembahasan.....	43
4.1	Analisis Kekuatan Alat	43
4.2	Hasil Pembuatan Alat	46
4.3	Kesesuaian Alat dengan Kriteria Desain	52
4.4	Cara Kerja Alat	54
4.5	Pengujian	58
4.6	Analisis dan Pembahasan.....	65
Bab 5	Penutup.....	69
5.1	Kesimpulan	69
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	69
Daftar Pustaka	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2 - 1 Tabel Pengujian Fatigue Telapak Kaki Palsu (ISO 10328, 2006)	13
Tabel 2 - 2 Frekuensi pengujian (Budi R, 2021)	16
Tabel 3 - 1 Matriks Morfologi	19
Tabel 3 - 2 Tabel Peralatan	27
Tabel 3 - 3 Tabel Bahan	28
Tabel 4 - 1 <i>Analysis Material Assignment</i>	43
Tabel 4 - 2 Pemberian gaya	43
Tabel 4 - 3 <i>Design life</i>	45
Tabel 4 - 4 Kesesuaian alat dengan kriteria desain	52
Tabel 4 - 5 Pengujian untuk P5, P4, dan P3 (ISO 10328, 2006)	60
Tabel 4 - 6 Penyesuaian sudut tekan	61
Tabel 4 - 7 Data Pengujian	64
Tabel 4 - 8 Hasil Pengujian	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2 - 1 Alat Uji Fatigue SACH Foot (Jweeg et. al, 2001).....	5
Gambar 2 - 2 Alat Uji Fatigue Kaki Palsu Anak (Colombo C, et al. 2011).....	6
Gambar 2 - 3 Plane Kaki Palsu (ISO 10328, 2006).....	12
Gambar 2 - 4 Posisi Pengujian Kaki Palsu (ISO 10328, 2006).....	13
Gambar 2 - 5 Posisi Penekanan Telapak kaki palsu (ISO 10328, 2006).....	14
Gambar 2 - 6 Logika silinder (Budi R, 2021).....	15
Gambar 3 - 1 Diagram Alir Pembuatan Alat.....	18
Gambar 3 - 2 Konsep desain 1.....	20
Gambar 3 - 3 Konsep desain 2.....	21
Gambar 3 - 4 Konsep desain 3.....	21
Gambar 3 - 5 Konsep desain 4.....	22
Gambar 3 - 6 Pneumatik Aksi Tunggal (Subhan, 2016)	24
Gambar 3 - 7 Aktuator Rotary (Maryadi, 2017).....	25
Gambar 3 - 8 Pneumatik Aksi Ganda (Subhan, 2016)	25
Gambar 3 - 9 Rangka.....	30
Gambar 3 - 10 Bagian atas rangka.....	31
Gambar 3 - 11 Pipa Penyangga Kaki Atas	32
Gambar 3 - 12 Pipa Penyangga Kaki Bawah	32
Gambar 3 - 13 Dinding besi	33
Gambar 3 - 14 Dimensi lubang pada dinding.....	34
Gambar 3 - 15 Desain Awal Dudukan Pneumatik	35
Gambar 3 - 16 Desain Dudukan Pneumatik	35
Gambar 3 - 17 Dudukan pneumatik depan.....	36
Gambar 3 - 18 Dudukan pneumatik belakang.....	36
Gambar 3 - 19 Dudukan Regulator.....	37
Gambar 3 - 20 Plat penekan kaki depan	38
Gambar 3 - 21 Plat penekan kaki belakang	38
Gambar 3 - 22 Papan meja kayu.....	39
Gambar 3 - 23 Dimensi lubang-lubang pada meja kayu	39
Gambar 3 - 24 <i>Assembly</i> alat tampak depan.....	40

Gambar 3 - 25 <i>Assembly</i> alat tampak samping.....	41
Gambar 3 - 26 <i>Assembly</i> alat keseluruhan.....	41
Gambar 4 - 1 Simulasi usia benda	44
Gambar 4 - 2 Simulasi deformasi benda	45
Gambar 4 - 3 Pembuatan rangka	46
Gambar 4 - 4 Penyangga kaki atas	47
Gambar 4 - 5 Penyangga kaki bawah	48
Gambar 4 - 6 Pembuatan slider / dudukan pneumatik.....	48
Gambar 4 - 7 Dudukan regulator	49
Gambar 4 - 8 Plat penekan	50
Gambar 4 - 9 Papan meja	51
Gambar 4 - 10 Hasil akhir pembuatan alat	51
Gambar 4 - 11 Diameter lubang prostesis kaki palsu	53
Gambar 4 - 12 Dudukan pneumatik menahan pneumatik	54
Gambar 4 - 13 Pemasangan plat penekan depan	55
Gambar 4 - 14 Pemasangan plat penekan belakang	55
Gambar 4 - 15 Cara Kerja Alat.....	56
Gambar 4 - 16 Logika Pengoperasian Pneumatik	56
Gambar 4 - 17 Pertambahan Panjang Arah Vertikal	57
Gambar 4 - 18 Pertambahan Panjang Arah Horizontal	57
Gambar 4 - 19 Pemasangan Kaki Palsu.....	58
Gambar 4 - 20 <i>Load Cycle cyclic test</i> (ISO 10328, 2006).....	59
Gambar 4 - 21 Perhitungan gaya siklik (F_c) (ISO 10328, 2006)	60
Gambar 4 - 22 Sudut awal pemasangan kaki palsu	62
Gambar 4 - 23 Sudut setelah dilakukan penyesuaian	62
Gambar 4 - 24 Pengukuran sudut α	63
Gambar 4 - 25 Pengukuran sudut β	63
Gambar 4 - 26 Penggunaan Shock Pada Kaki Palsu	66
Gambar 4 - 27 Pengujian benda uji	66
Gambar 4 - 28 Plat penekan saat pengujian	67

DAFTAR NOTASI

P_5	= Beban level 100 kg pada saat pengujian
F_{cmax}	= Besar gaya siklik maksimal pada tabel standar beban tubuh (N)
F_{cmin}	= Besar gaya siklik minimal pada tabel standar beban tubuh (N)
$F_{cmax\ uji}$	= Nilai F_{cmax} yang digunakan dalam pengujian <i>fatigue</i> (N)
$F_c(t)$	= Nilai tekanan pada pneumatik untuk pengujian <i>fatigue</i> (N)
F_{cr}	= <i>Cyclic range of test force</i> (N)
F_{ca}	= <i>Cyclic amplitudo of test force</i> (N)
F_{cmean}	= Nilai tengah gaya pengujian
ω	= Omega
t	= Detik/sekon (s)
f	= <i>Frekuensi</i>
α	= Sudut peletakan gaya pada bagian posterior
β	= Sudut peletakan gaya pada bagian anterior
γ	= Sudut pemutaran kaki (<i>toe out</i>) saat pengujian

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Difabilitas merupakan ketidak-mampuan seseorang untuk menjamin seluruh atau sebagian kebutuhan dirinya sendiri untuk memenuhi aktifitas normal dan sosialnya karena kekurangan fisik atau mental pada dirinya. (Declaration of The Rights of Disabled Person 1975). Jumlah penyandang difabilitas di Indonesia pada usia 10 tahun keatas menurut Kementerian Kesehatan RI tahun 2018 adalah 8,56%. Dari data total, sebesar 3,76% nya adalah kesulitan dalam berjalan kaki. (Kementerian Kesehatan RI, 2018)

Karena banyaknya difabilitas organ kaki, terdapat peluang yang besar juga untuk produsen prostesis kaki palsu. Pembuatan prostesis telapak kaki palsu sudah ada di Indonesia, namun produksinya belum banyak. Selain itu banyak juga produk impor yang dijual di pasaran. Dengan banyaknya produk yang bersaing, konsumen ini seharusnya mendapat data yang jelas mengenai kekuatan dan ketahanan produk, agar dapat membandingkan produk satu dan lainnya. Namun, hingga saat ini, pembandingan kekuatan yang terukur secara akurat belum ada di Indonesia.

Pengembangan alat uji fatigue di Indonesia sudah cukup banyak, namun, alat uji fatigue yang ada rata-rata adalah tipe putaran dan pembengkokan (rotary and bending). Pengujian rotary bending lebih sering digunakan di Indonesia karena fungsi pengujian pembebanan terhadap poros berputar. Sedangkan pengembangan alat uji fatigue untuk gaya normal atau aksial masih sangat jarang. Hal ini dapat dibuktikan dengan literatur mesin uji *fatigue* aksial yang minim.

Penggunaan sistem rotary bending sebenarnya sudah cukup memenuhi kebutuhan industri di Indonesia untuk pembuatan poros, batang berongga, dll. Namun, sistem rotary bending tidak dapat digunakan untuk pengujian prostesis bagian tubuh manusia. Karena sebagian besar fungsi gerak anggota tubuh adalah fungsi aksial, seperti tangan untuk mendorong dan kaki untuk berjalan. Berdasarkan hal itu, pembuatan alat uji *fatigue* telapak kaki palsu membutuhkan

sistem yang berbeda dalam pengujiannya. Karena menurut WHO, hasil produk harus sesuai dengan benda tersebut dibuat, dipasang, dan digunakan untuk memastikan layanan prostetik dan ortotik dapat digunakan semua konsumen dan dengan proses pengujian yang sesuai.

Tidak adanya alat uji fatigue untuk kebutuhan prostetik, akan berdampak pada pengujian kelelahan menjadi tidak akurat, sehingga tidak dapat memprediksi waktu kerusakan produk secara pasti, dan *improvement* juga sulit terjadi. Didasari oleh kebutuhan pengujian produk yang harus sesuai dengan fungsi pemakaian produk, dan kebutuhan akurasi pengujian fatigue telapak kaki palsu, maka perlu dilakukan pembuatan rancang bangun alat uji fatigue gaya aksial dengan pendekatan produk prostesis telapak kaki palsu.

Penelitian ini akan melakukan rancang bangun alat uji *fatigue* telapak kaki palsu yang dapat digunakan untuk menguji kekuatan lelah produk prostesis telapak kaki palsu yang ada di pasar Indonesia. Penelitian ini akan dimulai dengan perancangan desain, dan pembuatan alat uji *fatigue*, serta pengujian telapak kaki palsu. Fokus penelitian ini adalah pada kemampuan produk alat uji untuk dapat merepresentasikan orang berjalan dan berlari. Diharapkan dari penelitian ini, prostesis telapak kaki palsu dapat dibandingkan satu dengan lainnya. Lebih jauh lagi, produsen prostesis telapak kaki palsu khususnya produksi lokal dapat lebih diperhitungkan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di pendahuluan, terdapat beberapa masalah yang di jadikan sebagai rumusan masalah, yaitu:

1. Bagaimana perancangan desain alat uji *fatigue* telapak kaki palsu?
2. Bagaimana hasil pembuatan alat uji *fatigue* prostesis telapak kaki palsu?
3. Bagaimana hasil pengujian alat uji *fatigue* prostesis telapak kaki palsu?

1.3 Batasan Masalah

Pembatasan masalah ini difungsikan untuk menghindari pembahasan yang terlalu meluas dan penyimpangan pembahasan pokok masalah, sehingga tujuan penelitian dapat tercapai.

Berikut adalah batasan masalah pada penelitian ini :

1. Penelitian ini melakukan perancangan desain dengan menggunakan *software* Inventor 2020.
2. Pembuatan dilakukan untuk menguji kaki palsu bagian bawah (*ankle-foot*) tanpa memperhatikan bagian ankle keatas (bagian paha, lutut, dan betis).
3. Rancang bangun digunakan untuk membandingkan 3 jenis prostesis telapak kaki palsu yaitu Impor A, Impor B, dan Lokal C.
4. Hasil yang diinginkan adalah penampakan fisik prostesis telapak kaki palsu akibat uji coba.

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Tujuan dari penelitian perancangan alat uji *fatigue* prostesis telapak kaki palsu ini adalah membuat desain, membuat *prototype* alat uji *fatigue* prostesis telapak kaki palsu dan membandingkan hasil penampakan fisik dari 3 jenis produk (Impor A, Impor B, dan Lokal C).

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Manfaat dari penelitian ini adalah dengan adanya desain dan prototipe alat uji *fatigue* telapak kaki palsu ini, maka bisa didapatkan data yang jelas tentang uji kelelahan prostesis telapak kaki palsu yang ada di pasaran. Sehingga, konsumen dapat membandingkan produk-produk prostesis telapak kaki palsu yang ada di Indonesia. Selain itu produsen juga dapat meningkatkan kualitas produk dengan *upgrade* ketahanan produknya.

Meskipun dalam penelitian ini hanya menggunakan 3 benda uji, namun di harapkan dengan adanya penelitian ini dapat menjadi acuan untuk pembuatan alat uji *fatigue* pada alat bantu difabilitas lainnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Bagian ini berisi runtutan dan sistematika penulisan pada laporan tugas akhir ini. Garis besar pada bab yang ada pada laporan ini akan dijabarkan sesederhana mungkin agar dapat diketahui ide pokok dari setiap bab secara berurutan. Adanya sistematika penulisan ini adalah untuk mempermudah

pembahasan dari laporan ini. Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Bagian ini berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bagian ini berisi penjelasan dasar teori dan kajian pustaka yang digunakan dalam pembuatan rancang bangun.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bagian ini menjelaskan langkah yang dilakukan dalam proses perancangan dan pembuatan rancang bangun.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini berisi tentang pengamatan dan pembahasan berdasarkan benda uji terhadap percobaan yang telah dilakukan.

BAB V PENUTUP

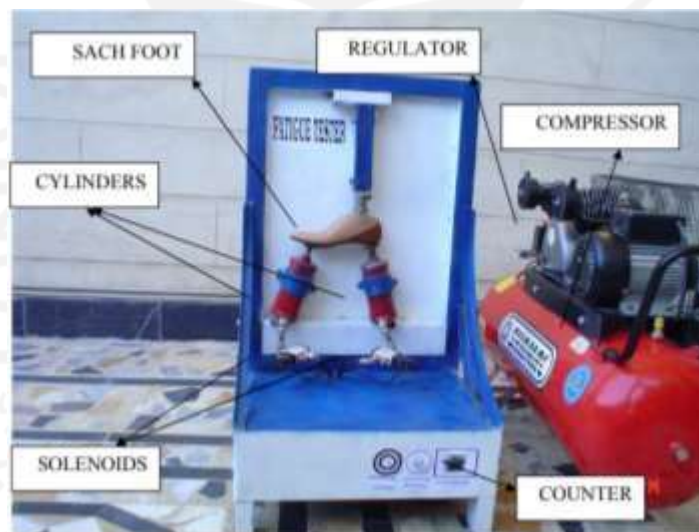
Bagian ini berisi tentang kesimpulan dari percobaan serta saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

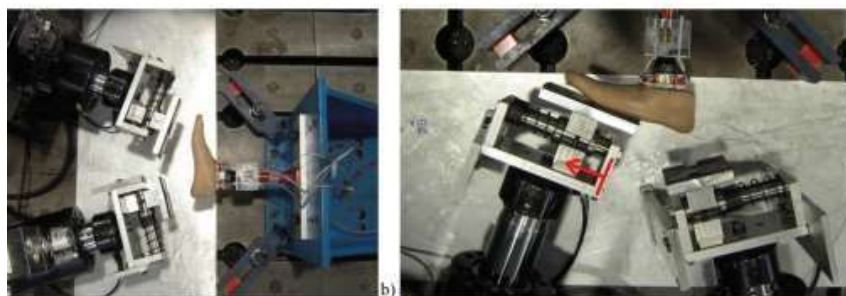
Menurut WHO, Negara-negara di bawah naungan WHO bertanggung jawab untuk memastikan bahwa komponen dan bahan produk terjamin kualitasnya. Termasuk pembuatan produk protesis telapak kaki palsu, harus menggunakan pengujian dengan menerapkan standar nasional dan internasional. Pengujian struktural komponen dan bahan protesis harus sesuai dengan ISO atau persyaratan yang setara dan memastikan bahwa protesis tersebut kuat, tahan lama dan aman. Setiap pembuat produk protesis harus mengetahui penerapan teknologi dan metode pengerjaan produksi. Produk protesis harus memiliki usia yang panjang, mudah untuk disesuaikan dengan pengguna, mudah dirawat, dan mudah diperbaiki.



Gambar 2 - 1 Alat Uji Fatigue SACH Foot (Jweeg et. al, 2001)

Pengembangan tentang alat uji *fatigue* terhadap telapak kaki palsu sudah beberapa kali dilakukan sebelumnya, salah satu pengembangan yang dilakukan adalah “Design and Analysis of a New Prosthetic Feet” pada tahun 2001 yang menguji kaki palsu *SACH Foot* dengan analisa kelelahan menggunakan alat uji *fatigue* (Jweeg et.al, 2001). *SACH Foot* ditempatkan pada penguji alat uji *fatigue*,

lihat gambar 2-1. Piston pertama menghantam tumit kaki dan piston kedua menekan kaki bagian depan. Alat ini menggunakan silinder pneumatik (70.3 mm) *bore* , 90.2 mm *stroke* , *single acting*, pipa penahan (pengganti betis), *counter* untuk mengetahui jumlah penekanan, frame, kompresor, timer, dan katup solenoid. Pada percobaan ini, *SACH Foot* rusak pada 1.233.417 siklus, menimbulkan keretakan pada benda uji. Terdapat lengkungan pada sisi benda uji yang menunjukkan awal terjadinya kerusakan, sedangkan ada retakan kecil yang menunjukkan kerusakan sekunder pada benda uji



Gambar 2 - 2 Alat Uji Fatigue Kaki Palsu Anak (Colombo C, et al. 2011)

Pada tahun 2011 terdapat penelitian yaitu “*Study of an ankle prosthesis for children: adaptation of ISO 10328 and experimental tests*”. Pada penelitian ini dilakukan pengujian lelah terhadap kaki palsu buatan dengan referensi kaki anak usia 3-10 tahun, dengan panjang kaki 18-21 cm dan berat maksimal 45 kg (Colombo C, et al. 2011). Pada gambar 2-2, menunjukkan penelitian Colombo dengan acuan standar ISO 10328:2006, dengan acuan standar orang dewasa dengan penyesuaian tertentu. Kaki dipegang oleh tiang, dan telapak kaki dibebani oleh dua silinder hidrolis yang dapat melebar sesuai dengan kebutuhan telapak kaki. Permasalahan yang terjadi pada alat ini adalah ketidak mampuan alat untuk ekspansi ke arah vertikal (naik-turun) pada bagian penyangga kaki. Sehingga, jika terdapat kaki palsu dengan dimensi yang lebih tinggi atau lebih rendah, alat ini tidak dapat disesuaikan, dan penekanan tidak dapat presisi.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 *Fatigue*

Kelelahan diartikan sebagai proses perubahan struktur permanen dimana itu progresif dan terlokalisasi terhadap suatu kondisi akibat tegangan dan regangan (Swanson, 1973). Progresif mengacu pada proses kelelahan yang terjadi selama jangka waktu tertentu atau selama penggunaan. Terlokalisasi berarti proses kelelahan beroperasi secara lokal daerah yang memiliki tegangan dan regangan tinggi akibat pengaruh beban luar. Ini juga bisa disebabkan oleh perubahan geometri, perubahan suhu, dan sisa tegangan.

Kelelahan adalah kegagalan material atau mesin karena adanya tegangan yang berulang atau fluktuasi pada bagian mesin untuk beberapa kali. Kegagalan ini dimulai dengan sedikit retakan. Kegagalan ini sangat kecil sehingga perlu menggunakan alat *X-ray* untuk mendeteksinya. Retakan kecil ini akan berkembang menjadi retakan yang besar, lubang, maupun takikan. Tidak seperti kegagalan lainnya, kegagalan *fatigue* terjadi secara tiba-tiba, sehingga sangat berbahaya untuk pengguna sebuah produk (Austin, 2013).

Pada tahun 1954, terjadi kegagalan kabin pada pesawat buatan Inggris, COMET 1. Kegagalan itu bermula dari retakan kecil di jendela pesawat. Lalu pada tahun 1988, kegagalan pesawat terbang terjadi lagi, yaitu pada Boeing 737. Di ketinggian 25.000 kaki terjadi kerusakan kabin, yaitu sepertiga bagian kabin terlepas akibat lubang rivet yang retak. Saat kerusakan tersebut, pesawat itu telah menempuh 89.193 jam terbang.

Serangkaian kegagalan yang terjadi di atas disebabkan karena kegagalan *fatigue* atau kelelahan. Kemudian ketahanan terhadap beban berulang menjadi salah satu fokus utama dan juga syarat dalam perancangan. *Fatigue* adalah suatu sifat mekanik bahan yang dapat diketahui setelah melalui serangkaian uji coba. *Fatigue failure* biasanya akan bermula dari sebuah retakan kecil akibat beban berulang-ulang, lalu retakan itu akan merambat perlahan ke daerah tertentu hingga akan mengalami patah.

Setelah banyaknya kegagalan yang telah terjadi, maka fokus kepada ketahanan *fatigue* menjadi yang utama. Seiring berjalannya waktu, perkembangan

ilmu pengetahuan dan teknologi sudah semakin berkembang, maka diharapkan pengujian *fatigue* menjadi lebih baik. Hingga saat ini, sudah sangat banyak pengembangan alat untuk pengujian *fatigue*. Dengan adanya alat uji *fatigue* ini, diharapkan dapat memberikan informasi dengan jelas, lengkap, dan akurat, sehingga resiko kegagalan *fatigue* dapat diperkecil. Selain itu, pengujian *fatigue* selalu dilakukan semirip mungkin dengan kondisi riil.

Beberapa jenis mesin uji *fatigue* adalah :

- a. Mesin uji *fatigue* aksial (Axial Fatigue Testing Machines)
 - b. Mesin uji *fatigue* batang kantilever (Cantilever-Beam fatigue Testing Machines)
 - c. Mesin *fatigue* bengkok putar (Rotating-Bending Fatigue Testing Machines)
 - d. Mesin *fatigue* torsi bolak balik (Reserved Torsion Fatigue Testing Machines)
- (Edwards dan Robert, 1991).

Pada buku Failure of Materials In Mechanical Design, pengujian *fatigue* dilakukan agar kita dapat mengetahui kekakuan suatu material terhadap pembebanan siklik/berulang. Ada beberapa variabel yang dapat mempengaruhi pengujian ini, antara lain : Bentuk penampang sebuah benda, jenis beban, ukuran benda uji, tegangan, konsentrasi tegangan, temperatur, dll. Kekuatan *fatigue* (*Fatigue Strength*) merupakan suatu tegangan yang mengakibatkan kegagalan sebuah benda setelah melalui beberapa siklus tertentu. Sedangkan usia *fatigue* (*Fatigue Life*) merupakan kemampuan menahan siklus kerja akibat suatu tegangan yang berulang.

Di setiap pengujian, terdapat batas yaitu tegangan batas bawah, merupakan tegangan yang tidak mengakibatkan sebuah benda uji mengalami kegagalan setelah melalui rangkaian beban berulang dengan durasi tertentu. Batas tegangan ini disebut dengan *Endurance Limit* atau *Fatigue Limit* (ketahanan bahan atau batas *fatigue*). Batas tersebut merupakan sebuah titik ketahanan bahan, dan untuk menemukan titik tersebut, beberapa benda dilakukan pengujian secara bersamaan, dan berbagai percobaan. Dilakukan percobaan kepada benda uji dengan tegangan

yang bervariasi, dengan penyesuaian jumlah siklus dan waktu, sehingga data yang diperoleh dapat akurat. (Collins, 1993)

Pada buku *Fatigue of Materials* karya Suresh S, kelelahan adalah cabang studi yang menyediakan berbagai kompleks proses mekanis untuk penyelidikan ilmiah. Kelelahan yang terjadi karena mekanisme makro pada sebuah benda. Perubahan-perubahan yang tidak tampak pada fisiknya namun memiliki kerusakan mikro di dalamnya menimbulkan perubahan drastis dalam kegagalan akibat pembebanan fatigue. Efek mikrostruktural dapat sangat mempengaruhi resistensi terhadap retakan benda. Bahkan saat perancangan benda sudah dilakukan secara baik, kegagalan masih bisa terjadi akibat perubahan faktor yang tidak terantisipasi.

Pengujian fatigue yang dilakukan dapat mengetahui fraktur kelelahan, mekanisme mikroskopis kegagalan, dan retakan makro yang terlihat pada benda uji. Kekuatan lelah adalah besarnya tegangan yang menimbulkan patahan setelah dilakukan siklus penekanan tertentu. Ketahanan lelah adalah Kemampuan maksimal benda uji menahan tegangan sebelum benda tersebut mengalami kerusakan.

2.2.2 Uji Fatigue

Menurut Weibull, pengujian kelelahan dapat dilakukan dengan dua variasi cara yaitu *non-destructive test* dan juga *destructive test*. Beberapa cara *non-destructive test* adalah uji mikro, uji partikel magnetik, uji ultrasonik, dsb (Weibull, 1961). Sedangkan untuk *destructive test* beberapa caranya yaitu, metode dampak, penggosokan dengan bahan kimia, rekristalisasi, dsb. Mesin uji kelelahan digolongkan berdasarkan tujuan dari tes, jenis tekanan, sarana penghasil beban, pengoperasian, jenis beban, dsb. Jenis pengujian tersebut dapat dipilih berdasarkan tujuan penelitian yang akan di uji.

Pengujian dan analisa dimungkinkan untuk memahami penyebab kerusakan pada komponen. Tujuan dari percobaan ini adalah sebagai berikut: (Mustika, 2020)

- Untuk menemukan penyebab utama kegagalan

- Untuk menghindari kerusakan yang sama di kemudian hari dengan membentuk langkah-langkah pencegahan.
- Untuk melayani sebagai keluhan teknis terhadap produsen komponen
- Menjadi langkah dalam meningkatkan kualitas komponen
- Untuk membantu menentukan waktu perawatan
- Untuk mengidentifikasi jenis kegagalan.

Kerusakan dapat terjadi karena kerusakan yang tidak wajar atau kerusakan dini. Penyebab utama kerusakan tersebut dikelompokkan sebagai berikut:

- Kesalahan dalam desain
- Kesalahan dalam pemilihan material
- Kesalahan dalam proses kerja
- Kesalahan dalam pemasangan / perakitan
- Kesalahan operasional
- Kesalahan pemeliharaan

Pada penerapannya menurut Galal Shawki, terdapat 6 jenis pembebanan utama, hal itu adalah : Tekanan pegas, gaya sentrifugal gaya hidrolik, gaya pneumatik, gaya thermal, dan gaya elektromagnetik.

Data yang banyak beredar tentang pengujian *fatigue* biasanya diperoleh dari pengujian bengkok-putar. Karena memang dengan pemanfaatan gaya tersebut, maka hasil uji akan lebih mudah dikembangkan dan di aplikasikan ke banyak hal. Namun selain itu kita juga perlu mengetahui pengaruh tiga jenis pembebanan yang berbeda tersebut terhadap kekuatan *fatigue* suatu material. Biasanya, kekuatan *fatigue* bengkok akan lebih besar daripada pembebanan aksial sebesar 10% dibawah batas *fatigue* bengkok-putar, sedangkan pembebanan akibat torsi sebesar 60%. (Juvinall, R. C., & Marshek, K. M. 2000)

2.2.3 Perancangan

Pada buku Pengantar Perancangan Teknik, produk diperlukan oleh masyarakat dengan harapan hasil produksi tersebut dapat meringankan hidupnya, oleh karenanya perlu dilakukan perancangan sebagai tahap awal melakukan produksi. Setelah dilakukan tahap perancangan, proses selanjutnya adalah

pembuatan produk. Seluruh kegiatan yang mencakup proses perancangan disebut sebagai fase, yang harus memiliki perbedaan antara proses satu dan lainnya. Perancangan lebih tepat disebut sebagai proses perancangan, karena merupakan deretan kegiatan yang berkesinambungan dari awal hingga akhir fase yang ada dalam perancangan tersebut.

Secara garis besar, pembuatan produk dapat dibedakan menjadi dua proses pokok yaitu proses perancangan dan proses pembuatan. Deskripsi sebuah proses perancangan dapat meliputi fase-fase berikut, yaitu : identifikasi kebutuhan, penjabaran masalah, menyusun spesifikasi produk dan rencana pembuatan, pembuatan konsep produk, melakukan proses perancangan, penyusunan produk.

2.2.4 Desain

Gambar hasil perancangan produk, meliputi : seluruh komponen yang terdapat pada produk beserta geometrinya, ukuran, kekasaran permukaan, material, gambar rangkaian keseluruhan produk, keterangan gambar dan penjelasan spesifikasi yang tidak tertera pada gambar, *bill of material*. (Dharmawan, 2000).

2.2.5 CAD (*Computer Aided Design*)

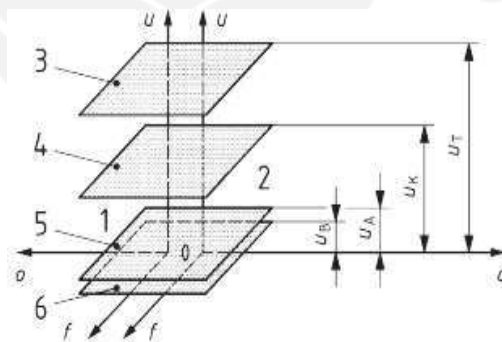
CAD atau *Computer Aided Design* merupakan sebuah perangkat lunak yang memiliki fungsi untuk memudahkan manusia untuk menciptakan, rekayasa, analisa, dan optimasi desain. Semua program perangkat lunak pada komputer yang berfungsi untuk melakukan rekayasa dapat disebut juga dengan software CAD. Fungsi dasar dari CAD yaitu untuk membuat rancang bangun pada bagian mekanik, proses produksi, struktur arsitektur, dll. Dengan software CAD, kita dapat membangun seluruh model dalam ruang imajiner, memungkinkan Anda memvisualisasikan properti seperti tinggi, lebar, jarak, bahan, atau warna sebelum model digunakan untuk aplikasi tertentu.

Software CAD memungkinkan kita untuk memvisualisasikan objek 2D atau 3D dan membuat perubahan sebanyak yang Anda butuhkan dengan lebih mudah daripada menggambarnya di atas kertas dengan pensil. Representasi digital dalam CAD sangat mirip dengan kehidupan nyata, menjadikannya akurat hingga

level tertentu. Kita juga dapat menambahkan detail sebanyak yang kita butuhkan dengan banyak dan beragamnya alat gambar. Perangkat lunak CAD dapat membantu dengan cara yang sangat baik, meskipun tidak sempurna. Program CAD yang lebih canggih bahkan memungkinkan Anda menjalankan simulasi dan pengujian. Selain itu, kita memiliki kemungkinan untuk membawa desain digital kita ke dunia nyata dalam bentuk objek fisik dengan bantuan teknologi fabrikasi (Baxter et. al, 2015).

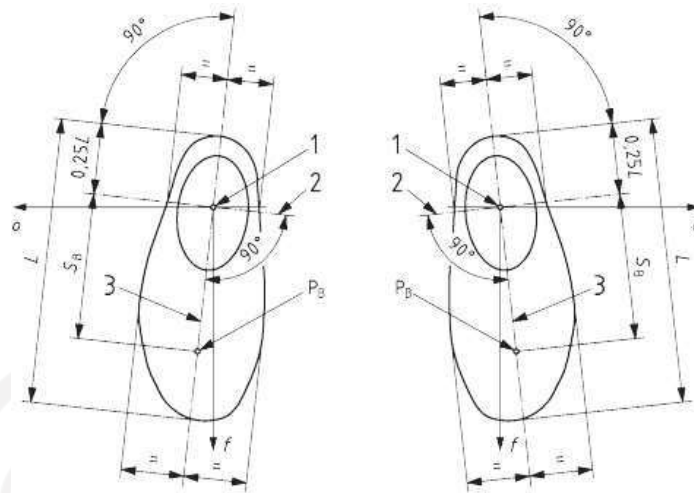
2.2.6 Standar Penempatan Benda Uji

Dalam pengujian, salah satu hal yang utama dan menjadi standar dalam pengujian ini adalah letak kaki palsu pada saat uji coba. Pada Standar ISO 10328, sudah memuat standar dari pembuatan telapak kaki palsu, pembuatan kaki palsu bawah lutut, pengujian statis, pengujian siklik, dll. Pengujian ini, akan berfokus pada pengujian siklik untuk *ankle* hingga *bottom*.



Gambar 2 - 3 Plane Kaki Palsu (ISO 10328, 2006)

Pada ISO 10328, pengujian kaki palsu dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu bagian panggul kebawah, bagian lutut, bagian ankle, dan bagian bawah, lihat gambar 2-3. Gambar tersebut menunjukkan adanya perbedaan bidang acuan yang terbagi-bagi. U_T merupakan *Top References Plan*, U_K merupakan *Knee References Plan*, U_A merupakan *Ankle References Plane*, dan U_B merupakan *Bottom References Plane*.



Gambar 2 - 4 Posisi Pengujian Kaki Palsu (ISO 10328, 2006)

Beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu adalah ukuran kaki dan letak fitur-fiturnya, termasuk saat pengujian. Pada gambar 2-4 dijelaskan bahwa *Offset* merupakan jarak tegak lurus dari *bottom plane* terhadap *ankle plane*. Jarak L_{BT} merupakan jarak antara titik penekanan beban terhadap bagian atas benda kerja. Garis sumbu sambungan engkel (*ankle-joint*) yang efektif terletak tegak lurus dengan garis aksis longitudinal dari kaki palsu. Serta sumbu longitudinal merupakan sumbu yang menentukan simpangan garis terhadap garis sumbu. Garis ini harus melewati bagian paling lebar dari kaki bagian depan, dan simpangan tersebut sama besarnya dengan bagian kaki belakang dari kaki palsu tersebut.

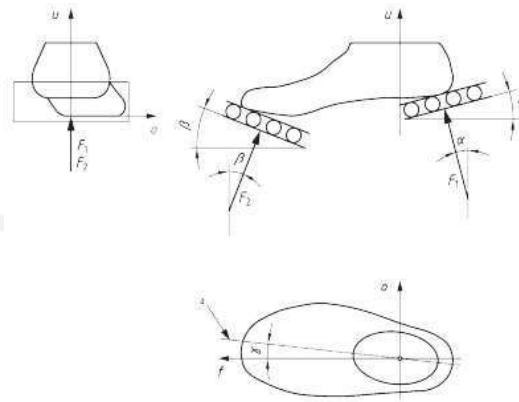
Tabel 2 - 1 Tabel Pengujian Fatigue Telapak Kaki Palsu (ISO 10328, 2006)

Angles	Degrees
α	15
β	20
γ	7

NOTE The specified directions of loading also apply to the additional test loading levels P6, P7 and P8 specified in Annex

Dalam pengujian ini, beberapa hal yang harus diperhatikan adalah letak penekanan dan juga sudut penekanan. Tabel 2-1 menjelaskan bahwa pengujian ini dilakukan dengan dua masukan (*load*), yaitu bagian depan atau disebut dengan anterior, dan juga bagian belakang atau disebut dengan posterior. Sudut α adalah sudut pada posterior sebesar 15° dari sumbu referensi, sumbu u. Sedangkan sudut

β sebesar 20° pada sisi depan atau anterior. Selain itu, kaki juga harus diputar sebesar 7° ke arah luar (*toe out*) dari sumbu referensi, yaitu sumbu f.



Gambar 2 - 5 Posisi Penekanan Telapak kaki palsu (ISO 10328, 2006)

Untuk pengujian *fatigue*, kaki palsu ditempatkan tegak lurus dengan sumbu U, dan 2 buah penekan menyesuaikan dengan sudut yang ada. Letak penekanan bagian depan adalah menempel pada bidang dalam sudut anterior, sedangkan penekan belakang menempel bidang pada sisi posterior, lihat gambar 2-5.

Di dalam ISO 10328 pada sub bab *separated cyclic test for ankle-foot device and foot unit* dijelaskan bahwa untuk pengujian sample dengan uji siklik berkelanjutan harus di berikan tekanan siklik atau *Force Cycle* (Fc) pada bagian depan dan belakang sebagai F1c dan F2c. Serta dilakukan pengamatan secara visual dan dilakukan pencatatan terhadap *crack* yang terjadi

2.2.7 Komponen Pengujian

Pada penelitian kali ini, akan digunakan komponen yang digunakan untuk melakukan pengujian. Komponen-komponen tersebut meliputi: (Budi R, 2021)

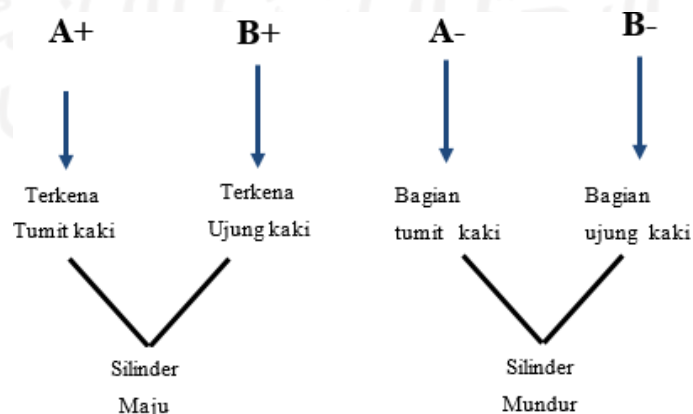
1. *Microcontroller* arduino UNO R3, berfungsi sebagai pengatur gerak utama dari pneumatik, dan juga sebagai kontrol pembacaan pneumatik.
2. *PCB board*, berfungsi sebagai papan untuk seluruh rangkaian elektreonik.
3. Katup 5/2 EP, sebagai kontrol keluaran udara pada silinder ganda.

4. *Push button*, sebagai tombol yang dapat ditekan untuk memutus dan menghubungkan daya pada sistem.
5. Lampu indikator, berfungsi sebagai tanda bahwa sebuah proses sudah berjalan dengan baik
6. *Switch On/Off*, berfungsi sebagai pemutus dan penyambung sistem dengan sumber daya yaitu listrik.
7. *Relay*, berfungsi sebagai mengatur *output* tegangan listrik.
8. *Stepdown* dan *power supply* 24 V, sebagai alat penurun tegangan listrik.

Kemudian, komponen-komponen tersebut akan dirangkai menjadi satu, lalu dihubungkan menggunakan kabel. Peletakkannya adalah pada meja pengujian, agar mudah untuk dilakukan pengaturan. Langkah yang akan dikerjakan yaitu menghubungkan antar komponen elektrik kemudian akan dilakukan validasi terhadap program yang digunakan saat nanti proses pengujian berlangsung. (Budi R, 2021)

2.2.8 Frekuensi Pengujian

Fase kaki manusia menyentuh tanah yaitu kondisi tumit menyentuh tanah, dan kondisi tersebut adalah kondisi A+, kondisi kaki depan menyentuh tanah disebut dengan kondisi B+, kondisi *late flatfoot* atau kondisi semua bagian kaki menyentuh tanah, kondisi tumit mengangkat atau kondisi A-, dan yang terakhir adalah kondisi melayang yaitu B- (lihat pada gambar 2-6), dan kondisi melayang atau kondisi *swing phase* adalah kondisi yang terakhir. (Budi R, 2021)



Gambar 2 - 6 Logika silinder (Budi R, 2021)

Frekuensi adalah banyaknya siklus pada setiap satuan waktu, dalam hal ini adalah jumlah siklus penekanan pneumatik pada kaki palsu. Frekuensi ini dapat meliputi beberapa kondisi, dan dalam hal ini meliputi dua variasi kondisi, yaitu berjalan dan juga berlari.

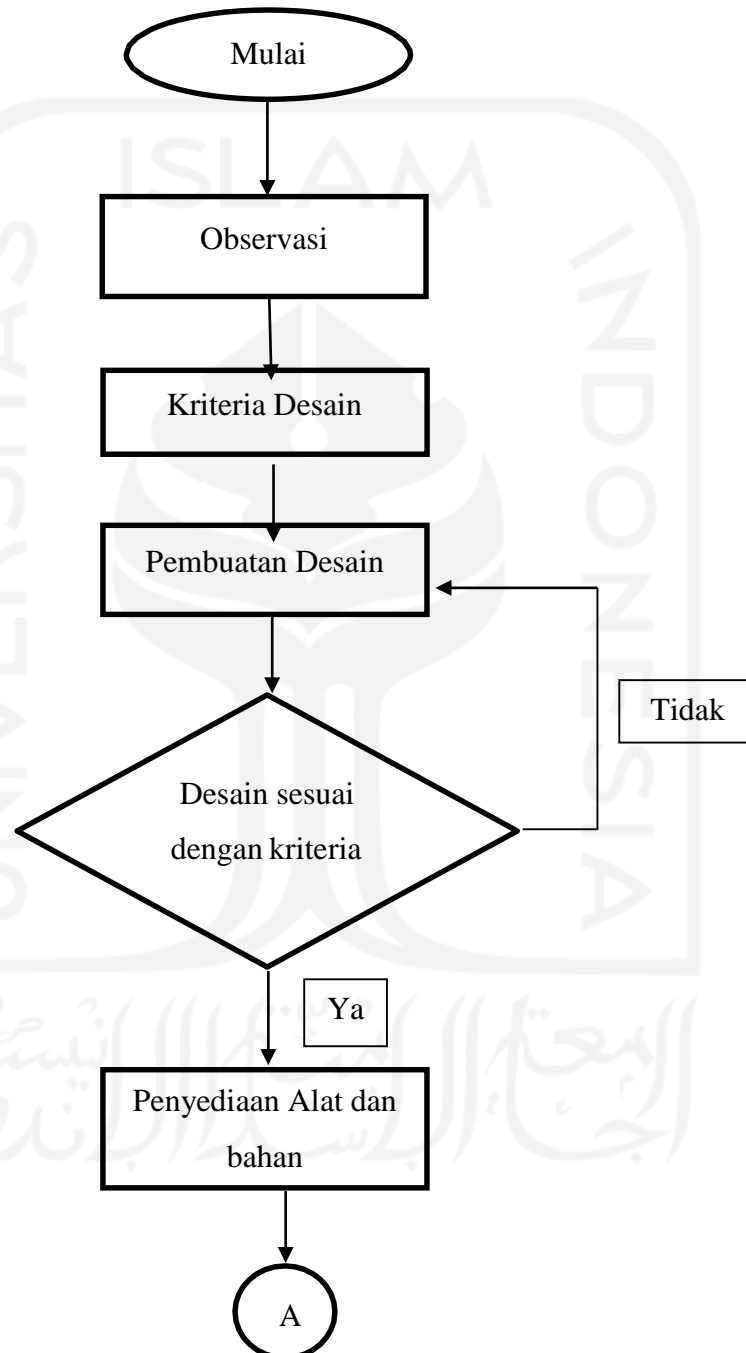
Tabel 2 - 2 Frekuensi pengujian (Budi R, 2021)

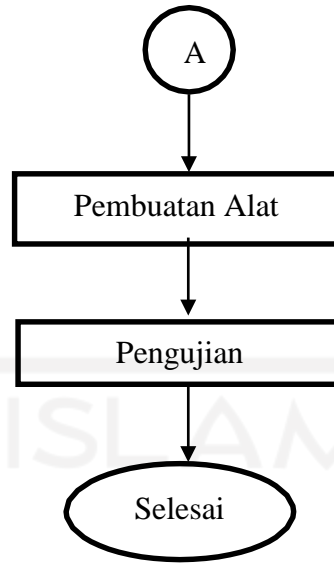
Siklus	A+	B+	A-	B-
Pengujian Jalan	0,3 s	0,2 s	0,3 s	0,2 s
Pengujian Lari	0,15 s	0,1 s	0,15 s	0,1 s

Pada tabel 2-2 ditunjukkan bahwa pada fase berjalan, waktu tumit menyentuh tanah adalah 0,3 sekon, kaki depan menyentuh tanah adalah 0,2 sekon, kondisi tumit mengangkat adalah 0,3 sekon, dan kondisi kaki depan mengangkat adalah 0,2 sekon, sehingga total siklus pada 1 sekon adalah 1 kali siklus. Sedangkan pada kondisi berlari, waktu tumit menyentuh tanah adalah 0,15 sekon, kaki depan menyentuh tanah adalah 0,1 sekon, kondisi tumit mengangkat adalah 0,15 sekon, dan kondisi kaki depan mengangkat adalah 0,1 sekon, sehingga jumlah siklus dalam 1 sekon adalah 2 siklus. (Budi R, 2021)

BAB 3
METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian





Gambar 3 - 1 Diagram Alir Pembuatan Alat

3.2 Konsep Desain

Kriteria desain :

1. Mampu dipasang pada prothesis kaki palsu, dengan diameter lubang sambungan pada produk Impor A adalah 10 mm, Impor B sebesar 10 mm, dan Lokal C sebesar 10 mm.
2. Mampu menekan sesuai dengan titik penekanan berdasarkan ISO 10328, yaitu sudut α sebesar 15° , sudut β sebesar 20° , dan sudut γ sebesar 7° .
3. Mampu menahan pneumatik dengan ukuran 25 mm untuk pengaplikasian gaya.
4. Bahan material yang mudah di fabrikasi.

Metode morfologi adalah metode dengan memanfaatkan struktur fungsi untuk menemukan solusi permasalahan. Metode morfologi dapat menemukan permasalahan lalu menghasilkan beberapa alternatif konsep produk dengan metode sistematis yang sederhana. Metode morfologi ini terbagi menjadi dua langkah: (Dharmawan, 2000)

- 1) Mencari sebanyak mungkin alternatif solusi dari beberapa fungsi, dan sub-fungsi yang ada. Alternatif solusi tersebut harus didefinisikan dengan jelas dan merupakan penjabaran mekanisme yang akan digunakan.

2) Untuk dapat mendefinisikan solusi dan alternatif produk, maka harus menggabungkan masing masing solusi dan setiap kombinasi tersebut diuraikan dari setiap fungsi dan sub-fungsi. Kombinasi solusi yang terjadi akan berjumlah sangat banyak, dan terkadang banyak dari kombinasi itu yang tidak dapat disambungkan.

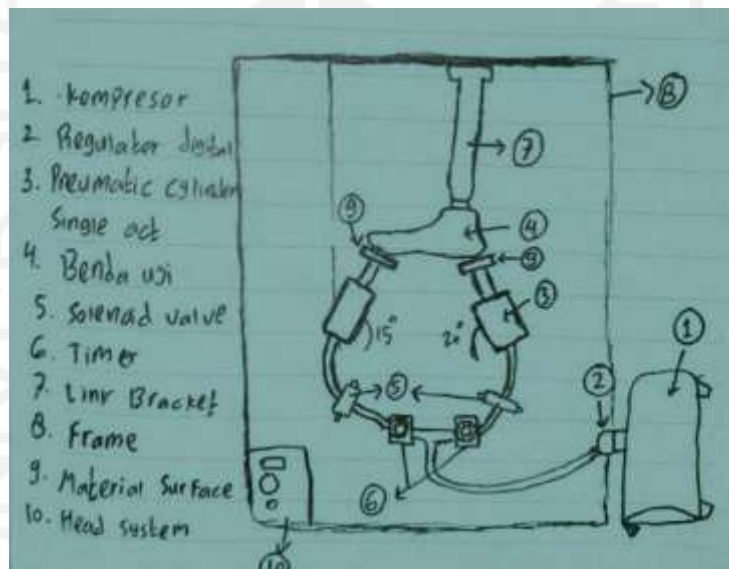
Tabel 3 - 1 Matriks Morfologi

Proses pasang	Pemasangan Material	Dengan Tangan A1	
		Dengan Fixture A2	
Pengaktifan	Sumber Energi	Listrik	PLN B1
		Sumber gerak	Kompresor C1
			Motor DC C2
		Energi diubah	Listrik
	Tekanan angin		Regulator jarum E1
			Regulator digital E2
	Multiplikasi Gaya	Mekanik	Pneumatic F1
			Hidrolik F2
			Piston Connecting rod F3
			Poros Spindel F4
		Katup	Solenoid valve

			G1
		Pengatur Waktu	Timer H1

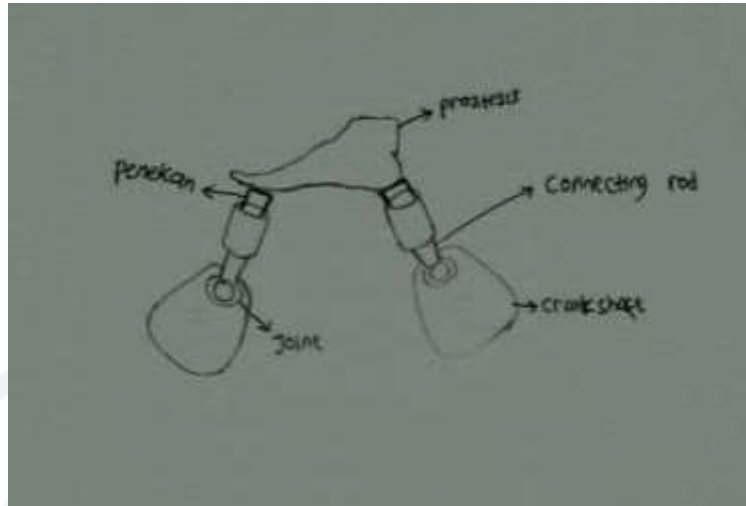
Konsep produk

1. Konsep 1 = A2 + B1+C1+D1+E2+F1+G1+H1
2. Konsep 2 = A2 + B1+C2+D1+ F3+H1
3. Konsep 3 = A2 + B1+C2+D1+ F4+H1
4. Konsep 4= A2 + B1+C2+D1+ F3+H1



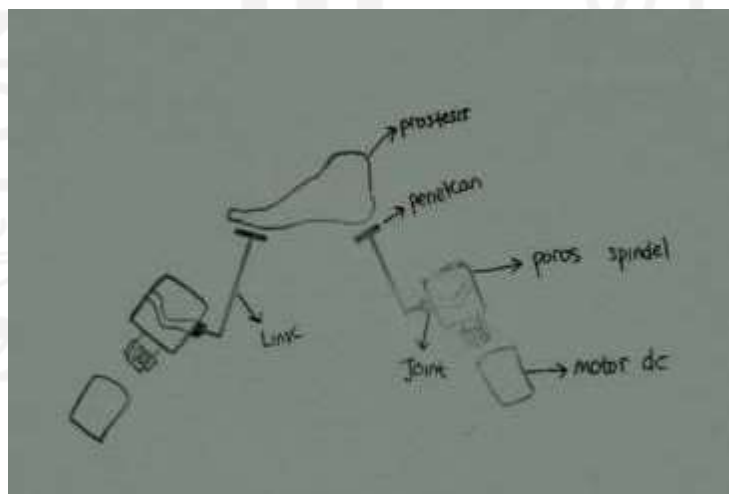
Gambar 3 - 2 Konsep desain 1

Konsep yang dibuat pada penelitian ini, yang pertama adalah kombinasi antara sumber daya listrik dan sumber energi dari kompresor. Energi listrik diubah melalui kabel dari listrik pusat menjadi gaya pada kompresor dan memanfaatkan aktuator berupa pneumatik, menggunakan katup untuk mengontrol pergerakan. Aplikasinya adalah udara mengalir dari kompresor menuju regulator, lalu udara terkompresi akan menggerakkan pneumatik yang dikontrol oleh katup, dan menekan kaki palsu. Kelebihan konsep ini adalah sederhana dan optimal, karena penggunaan pneumatik dapat dikontrol. Kekurangannya adalah suara bising yang ditimbulkan dari kompresor pada saat pengujian.



Gambar 3 - 3 Konsep desain 2

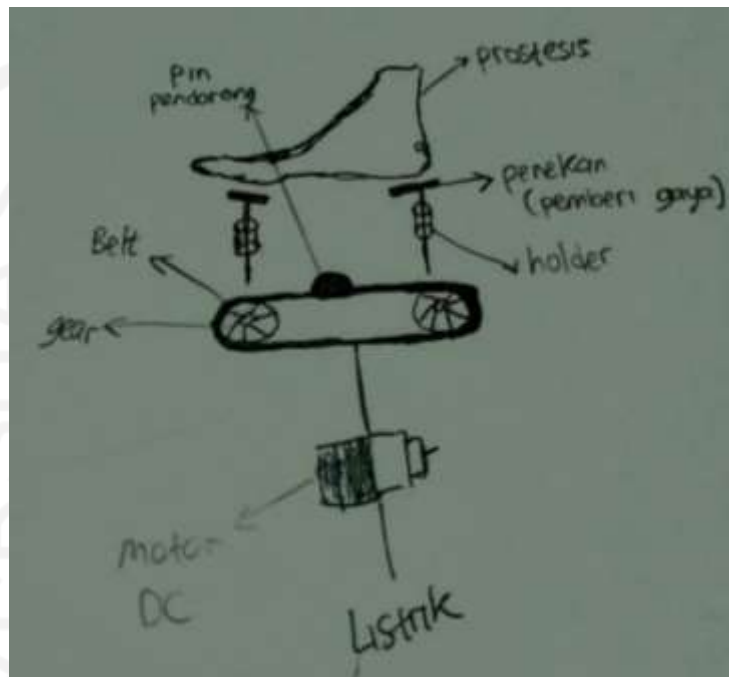
Konsep desain yang kedua adalah menggunakan kombinasi sumber daya listrik dan menggunakan motor DC untuk penggerakannya. Lalu energi disalurkan melalui kabel, menggerakkan piston dan menekan kaki palsu. Prinsip kerja dari konsep ini adalah piston yang bekerja akan berputar dan mengalami pergerakan translasi yang ditahan oleh silinder pada alat uji agar penekanannya selalu sama. Kelebihannya adalah alat ini lebih kuat saat pengujian. Kekurangannya adalah alat ini susah untuk dilakukan *maintenance*, dan lebih susah disesuaikan kecepatannya untuk mencapai kecepatan uji yang tepat.



Gambar 3 - 4 Konsep desain 3

Konsep desain yang ketiga adalah gabungan antara sumber daya listrik, dan menggunakan motor DC sebagai penggerakannya. Lali energi disalurkan ke

poros spindel, yaitu poros dengan takikan melingkar pada silinder. Lalu akan ada penekan yang disambungkan pada takikan tersebut. Penekan ini berbentuk L, dengan penekan persegi di ujungnya, berfungsi sebagai penekan kaki palsu. Kelebihannya adalah alat ini lebih ringan. Kekurangannya adalah alat ini kurang fleksibel untuk dilakukan *setting* pada kecepatannya, sehingga kurang fleksibel.



Gambar 3 - 5 Konsep desain 4

Konsep desain keempat yang digunakan pada penelitian ini adalah kombinasi sumber energi dari listrik dan menggunakan penggerak motor DC. Lalu akan ada dua penekan berbentuk silinder dengan penekan persegi di ujungnya yang berfungsi untuk menekan kaki palsu. Dibawah terdapat *conveyor* yang memiliki pin berbentuk setengah lingkaran berfungsi untuk menggerakkan plat penekan, sehingga menekan kaki palsu. Kelebihannya adalah alat ini cukup mudah untuk diganti perangkatnya sehingga memudahkan perawatan. Kekurangannya adalah alat ini tidak dapat diatur kekuatan penekanannya.

Sehingga, ditentukanlah penggunaan konsep pertama sebagai desain dan prinsip yang digunakan dalam penelitian ini. Pemilihan ini berlandaskan faktor kelebihan yang mampu untuk penggunaan alat secara berkelanjutan. Penggunaan pneumatik dua aksi juga memungkinkan alat dapat di kontrol saat keluar dan

masuk. Pneumatik yang merupakan sumber aplikasi gaya, merupakan sumber gaya yang paling mampu dimanfaatkan untuk kecepatan tinggi sehingga mampu melakukan pengujian lambat maupun cepat, dalam hal ini berjalan dan berlari. Selain itu, faktor kekurangannya tidak berbahaya, sehingga masih dapat ditoleransi.

Menurut Krist dan Ginting (1993), dalam sebuah perancangan, pemilihan sumber energi dan aktuator merupakan salah satu faktor utama dan sangat penting. Selain sumber energi, hal lainnya juga meliputi aktuator, elemen kontrol, dan juga elemen pendukung.

Pada penelitian ini, penggunaan sumber gaya menggunakan silinder pneumatik. Pemilihan pneumatik didasari oleh hal hal berikut. Keunggulan pneumatik dibandingkan sumber gaya yang lain, yaitu :

1. Sumber gaya yang berbentuk udara dapat dijangkau dan diperoleh dimana saja dan sifatnya tak terbatas
2. Perangkat pemasangan untuk aliran lebih mudah, penggunaan selang dapat menjangkau jarak yang cukup jauh.
3. Pencadangan udara cukup sederhana, karena udara bertekanan dapat disimpan dalam kompressor.
4. Udara terkompresi tidak sensitif terhadap suhu di luar tabung, sehingga udara dapat tahan akan perubahan suhu.
5. Udara merupakan sumber energi yang ramah lingkungan.
6. Udara dengan tekanan tinggi merupakan media yang cepat, sehingga pneumatik menjadi media pendukung untuk penggunaan gaya dengan kecepatan tinggi.
7. Pneumatik juga dapat meminimalisir korsleting arus listrik.
8. Tidak mudah terbakar.

(Said, 2012)

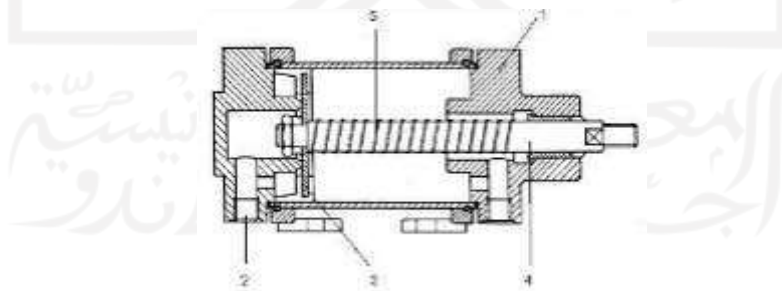
Penggunaan pneumatik dapat menyebabkan kebocoran udara. Hal itu disebabkan karena sifat udara dengan tekanan tinggi selalu mengisi setiap ruang kosong yang ada di sekitarnya. Jika hal itu terjadi maka akan terjadi kesulitan mempertahankan tekanan udara yang stabil. Maka dari itu, diperlukan seal untuk mempertahankan udara agar tidak bocor. Peralatan kedap udara diperlukan pada

sistem pneumatik untuk mengurangi udara bocor sehingga dapat meminimalisir kerugian energi udara.

Penggunaan pneumatik juga harus dicegah dari keausan komponen yang ada pada sistem pneumatik. Untuk pencegahan keausan, saluran udara harus terhindar dari kondensasi dan juga harus bersih dari debu. Selain itu penggunaan pneumatik juga dapat menimbulkan suara bising akibat kekuatan udara kompresi yang cukup besar, untuk meminimalisir hal tersebut, dapat dilakukan dengan pemasangan *silencer* pada saluran pembuangan udara.

Pada penelitian ini, energi utama dari sistem pneumatik adalah udara terkompresi yang sumber udaranya didapatkan dari kompresor. Kompresor adalah sebuah alat dengan fungsi utama menyimpan udara dan lalu memampatkannya pada sebuah tabung. Lalu udara terkompresi akan disalurkan ke tempat lain menggunakan pompa khusus. Biasanya kompresor berfungsi untuk cadangan udara jangka panjang dengan diawali proses pengisian tangki udara. (Anhar dkk, 2016)

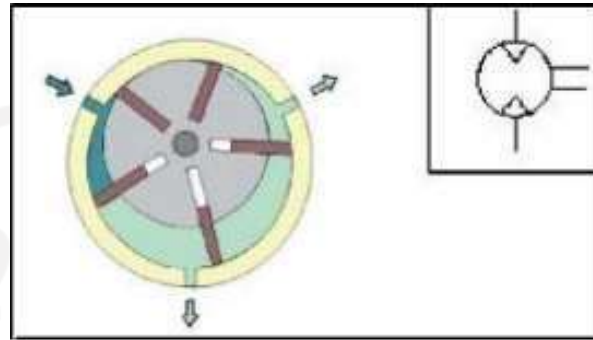
Udara terkompresi yang dikeluarkan dari kompresor, lalu disalurkan pada aktuator. Bagian *output* yang mengkonversikan energi dalam hal ini udara menjadi energi gerak adalah aktuator. Sistem kontrol berfungsi untuk mengontrol sinyal *output*, lalu aktuator berfungsi untuk menggerakkannya (Hakim, 2009). Dalam penelitian ini, aktuator yang digunakan adalah pneumatik dua aksi (*double-action cylinder*).



Gambar 3 - 6 Pneumatik Aksi Tunggal (Subhan, 2016)

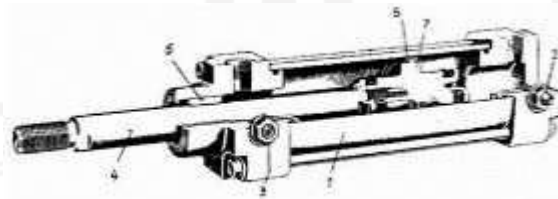
Aktuator lainnya selain pneumatik dua aksi (*double-action cylinder*), adalah seperti pneumatik satu aksi (*single-action cylinder*), dan juga aktuator gerak putar (*rotary*). Pada gambar 3-6, menunjukkan pneumatik satu aksi (*single-*

action cylinder), hanya menggunakan satu port untuk *input* udara bertekanan, lalu masuknya piston dikendalikan menggunakan prinsip pegas untuk kembali ke posisi awal. Sehingga dengan pneumatik ini, kontrol udara hanya bisa dilakukan satu aksi saja yaitu saat mendorong, namun saat kembali tidak dapat dikontrol.



Gambar 3 - 7 Aktuator Rotary (Maryadi, 2017)

Sedangkan untuk *rotary* menurut Maryadi (2017), merupakan aktuator yang dapat dimanfaatkan untuk gerak putar mekanik. Sumber energi dihasilkan dari udara tekanan tinggi yang dikompresi lalu disambungkan pada aktuator untuk menghasilkan gerak putar. Jadi aktuator ini adalah alat untuk menghasilkan gerak memutar pada sebuah poros dengan sumber energi dari udara terkompresi bertekanan tinggi. Sehingga aktuator ini tidak dapat digunakan pada penelitian ini yang menggunakan kerja aksial.



Gambar 3 - 8 Pneumatik Aksi Ganda (Subhan, 2016)

Sehingga pada penelitian ini digunakanlah aktuator pneumatik dua aksi (*double-action cylinder*) karena pneumatik tersebut menggunakan prinsip silinder dengan kerja ganda yang memiliki dua buah port yaitu untuk *instroke* dan juga *outstroke* sehingga udara keluar dan masuk dapat diatur. Pneumatik ini memanfaatkan udara bertekanan untuk melakukan gerakan menekan (piston

keluar), dan juga gerakan dorongan untuk piston kembali ke posisi semula (piston masuk), lihat gambar 3-8. Pneumatik jenis ini memerlukan udara yang lebih banyak daripada pneumatik jenis lainnya. (Subhan, 2016)

Kriteria Seleksi

1. Otomatis : Alat ini diinginkan sudah otomatis dalam hal multiplikasi gaya
2. Pengoperasian : Diinginkan alat ini mudah digunakan
3. Dimensi : Diinginkan alat ini tidak terlalu besar
4. Biaya : Alat ini diharapkan memiliki biaya material yang terjangkau
5. *Maintenance* : Diinginkan alat ini mudah dalam hal perawatannya termasuk perawatan jangka panjang
6. Keamanan : Alat ini diharapkan memiliki standar keamanan saat pengujiannya
7. Komponen : Komponen yang ada di alat ini harus sederhana agar mudah dalam perakitan
8. Efisiensi : Diinginkan alat ini memiliki efisiensi yang baik saat pengujian
9. Ketahanan : Alat ini harus kuat dan tahan getaran saat pengujian
10. Penekanan : Alat ini harus memiliki letak penekanan yang baik pada benda uji

Pada pengujian ini, ditentukan 10 parameter utama untuk pembuatan produk. Beberapa hal tersebut adalah sistem otomatis, kemudahan pengoperasian, ukuran/dimensi, biaya yang terjangkau, kemudahan *maintenance*, keamanan saat pengujian, komponen yang mudah didapatkan, efisiensi pengujian, ketahanan alat, dan terakhir adalah ketepatan *load* gaya pada saat pengujian. Hal tersebut dinilai dan ditentukan menjadi rancangan desain berdasarkan hasil proses diskusi

atau *brain storming* dan juga komparasi terhadap alat-alat uji *fatigue* yang telah ada.

3.3 Peralatan dan Bahan

Untuk dapat melakukan implementasi pengujian, tentunya harus dilakukan perancangan desain dan juga pembuatan alat. Maka, proses pembuatan dilakukan dengan menggunakan beberapa peralatan. Peralatan-peralatan yang dibutuhkan dalam pembuatan alat ini terdapat pada tabel berikut.

Tabel 3 - 2 Tabel Peralatan

NO	Alat	Fungsi
1	PC/Laptop	Perangkat utama melakukan desain
2	Software Inventor 2020	Perangkat lunak pembuatan desain
3	Las Listrik	Menyatukan permukaan besi
4	Mesin Bor	Melubangi permukaan benda
5	Kunci	Mengencangkan baut
6	Penggaris/mistar	Mengukur ukuran benda
7	Gerinda	Untuk memangkas permukaan, menghaluskan permukaan, dan menyesuaikan ukuran

Proses desain dilakukan dengan *software* Inventor 2020, untuk dapat memudahkan memproyeksikan ide dalam bentuk sketsa menjadi bentuk 3D. Setelah itu, dilakukan proses pembuatan alat sesuai desain, seperti penggabungan

rangka, penyesuaian lubang, memangkas dan merapikan permukaan, dan penyesuaian ukuran dengan desain. Sehingga semua proses tersebut dilakukan menggunakan peralatan yang ada pada tabel 3-2.

Tabel 3 - 3 Tabel Bahan

NO	Bahan	Fungsi
1	Besi <i>hollow square</i> 4mmx4mmx1.8mm	Kerangka Alat Uji Fatigue
2	Plat Besi 1000mm x 700 mm x 3mm	Sebagai papan belakang
3	Besi Silinder	Pengganti kaki <i>below knee</i>
4	Baut M8	Menyatukan dua permukaan antara plat dan rangka
5	Mur	Pengunci baut
6	Ring	Menjaga benda dari tekanan mur dan baut
7	Plat besi 1 mm	Untuk pembuatan plat penekan dan dudukan pneumatik
8	Kayu	Untuk pembuatan dudukan pneumatik dan meja pengujian
9	Plat besi 2 mm	Untuk pembuatan penyangga pneumatik
10	Kompresor	Sumber daya utama energi udara
11	Regulator	Untuk mengatur jumlah energi udara
12	Solenoid	Mengatur energi udara ke pneumatik

13	Selang angin	Untuk menyalurkan udara dari kompressor ke pneumatik
----	--------------	--

Pada tabel 3-3 dijelaskan bahan yang diperlukan untuk melengkapi semua kebutuhan pembuatan alat. Mulai dari besi *hollow square* sebagai bahan utama yaitu kerangka pembuatan alat. Papan belakang terbuat dari baja dengan tebal 3mm, dinding ini harus cukup kuat untuk menahan beban pneumatik dan juga getaran yang akan dihasilkan oleh pneumatik, sehingga papan belakang tersebut harus bersifat kuat dan kaku. Pembuatan papan slider terbuat dari kayu dan disambungkan dengan pengunci pneumatik. Plat penekan terbuat dari plat besi yang akan disambungkan dengan pneumatik. Terdapat juga meja pengujian, berbahan kayu agar alat dapat lebih ringan.

3.4 Perancangan Desain

Setelah melakukan penyesuaian dengan benda yang akan diuji, selanjutnya dilakukan proses desain dengan menggunakan *software Autodesk Inventor 2020*. Alat ini terdiri dari susunan rangka, dudukan pneumatik, penyangga kaki, dudukan regulator dan juga meja pengujian. Pada alat ini, penulis menggunakan 2 silinder pneumatik yang akan dipasang pada sisi kanan dan kiri sebagai penekan kepada kaki palsu.

Pada desain alat uji *fatigue* prosthesis telapak kaki palsu ini, terdapat beberapa bagian dengan fungsi yang berbeda-beda, yaitu sebagai berikut :

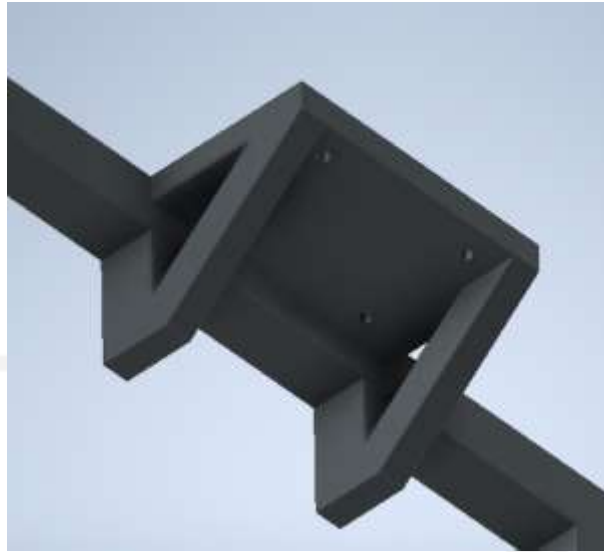
1. Rangka

Struktur rangka merupakan komponen utama dalam pembuatan alat ini. Rangka harus bersifat kuat, keras dan kaku, karena berfungsi untuk menahan komponen-komponen yang ada. Struktur rangka akan meneruskan beban vertikal, horizontal, statis dan juga dinamis ke tanah.



Gambar 3 - 9 Rangka

Rangka digunakan sebagai dudukan utama bagian-bagian lain yang digunakan pada alat ini. Rangka yang digunakan menggunakan besi baja profil L, dengan tipe *hollow square* secara keseluruhan. Untuk ukuran besi *hollow square*, penulis menggunakan ukuran panjang 4mm, lebar 4mm, dengan ketebalan 1.8 mm. Ukuran rangka ini adalah panjang total 1200 mm dan lebar 700 mm. Terdapat rangka sambungan di kanan dan kiri yang berfungsi sebagai penyeimbang, agar distribusi gaya dapat lebih merata. Terdapat juga bagian tengah yang berfungsi untuk tempat meja setinggi 300 mm, dengan ukuran panjang 700 mm x lebar 400 mm. Desain rangka alat uji *fatigue* protesis telapak kaki palsu dapat dilihat pada gambar 3-9. Desain ini dipilih dengan mempertimbangkan keseimbangan dari alat ini, dengan bentuk persegi dan memiliki lengan di kanan kirinya sehingga persebaran gaya akan merata sehingga alat ini dapat lebih seimbang.



Gambar 3 - 10 Bagian atas rangka

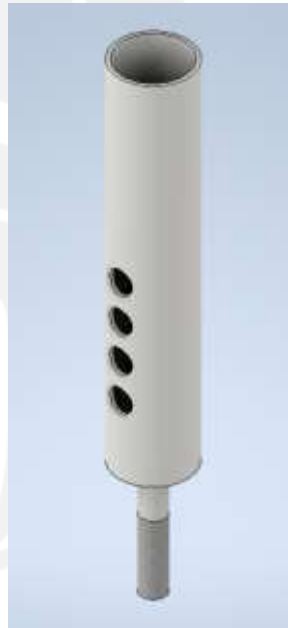
Pada struktur rangka ini juga terdapat bagian yang akan disambungkan pada penyangga kaki. Terletak pada bagian atas rangka, dan terdapat 4 lubang yang disambungkan menggunakan baut. Pada sisi kanan dan kirinya terdapat lengan tambahan sebagai penyangga agar bagian ini lebih kuat karena akan menerima gaya lebih banyak.

2. Pipa penyangga kaki

Untuk pengujian *fatigue* prosthesis telapak kaki palsu membutuhkan penyangga kaki sebagai pengganti betis dan tulang kering (sebagai pengganti kaki *below-knee*). Pada penelitian ini terdapat dua konsep perancangan yang dibuat.



Gambar 3 - 11 Pipa Penyangga Kaki Atas

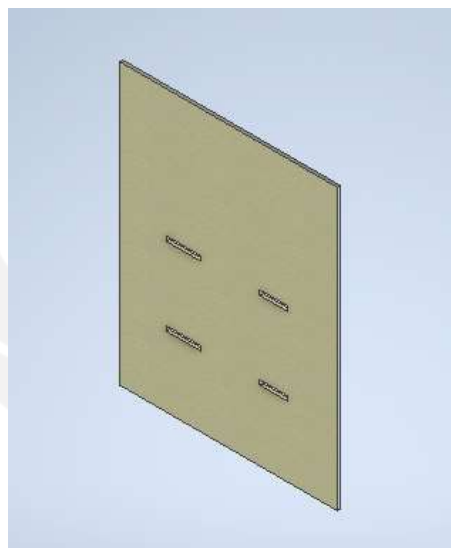


Gambar 3 - 12 Pipa Penyangga Kaki Bawah

Menggunakan dua pipa *hollow cylinder* dengan diameter yang berbeda. Fungsinya adalah sebagai *slider* naik dan turun. Pipa yang digunakan adalah pipa silinder dengan diameter 31 mm dengan ketebalan 3 mm dengan panjang 170 mm (lihat gambar 3-11) dan juga pipa silinder dengan diameter 30 mm dengan ketebalan 3 mm dengan panjang 120 mm (lihat gambar 3-12). Pipa ini dibuat dengan beberapa lubang berjarak 15 mm dengan diameter 10 mm tiap lubang. Lubang ini berfungsi sebagai slot, yang nantinya akan dikunci menggunakan mur

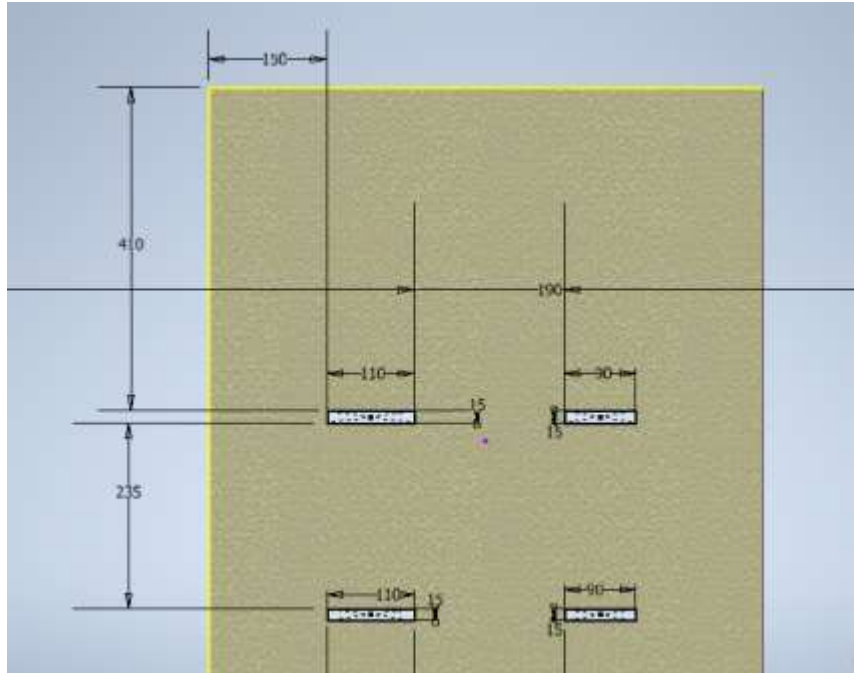
dan baut agar dapat digerakkan naik dan juga turun searah dengan sumbu Y. Pergerakan ini berfungsi untuk penyesuaian ukuran tinggi prosthesis telapak kaki palsu. Pada bagian atas, terdapat plat berukuran panjang 140 mm, lebar 120 mm, dan tebal 1.5 mm yang akan disambung ke bagian rangka menggunakan baut. Pada bagian bawah pipa ini, disambung dengan pipa besi dengan *bracket* dan ulir untuk dapat disambungkan dengan prosthesis telapak kaki palsu menggunakan mur dan baut.

3. Dinding besi



Gambar 3 - 13 Dinding besi

Merupakan plat yang terletak di belakang rangka sebagai penutup, berukuran panjang 1000 mm x lebar 700mm, berbahan baja yang kuat, keras, dan mampu menahan getaran. Memiliki lubang slider di kanan dan kiri untuk pneumatik, lubang tersebut akan disesuaikan dengan ukuran baut. Pada tiap sisi papan tersebut terdapat juga lubang lingkaran untuk dapat dibaut dengan rangka utama.



Gambar 3 - 14 Dimensi lubang pada dinding

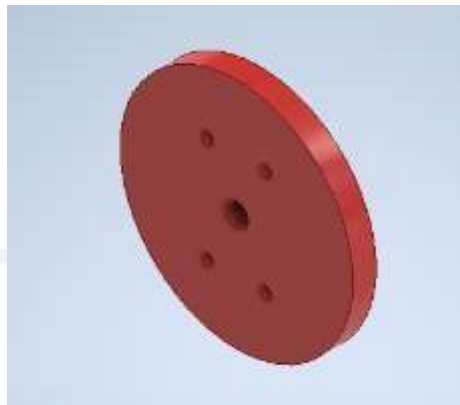
Lubang untuk slider pneumatik yang terdapat pada dinding ini adalah lubang berbentuk persegi panjang, berjumlah 4 lubang yang dibagi menjadi dua bagian, yaitu kanan dan kiri. Lubang di kiri papan berukuran panjang 110 mm x lebar 15 mm adalah untuk pneumatik depan, dan papan slider kanan berukuran panjang 90 mm x lebar 15 mm adalah untuk pneumatik bagian belakang. Jarak horizontal antara lubang adalah 190 mm dan jarak vertikalnya adalah 235 mm. Pembuatan lubang ini mengikuti referensi dari sisi terluar dinding. Pada lubang kiri atas, berjarak 410 mm dari sisi teratas dinding, dan 150 mm dari sisi kiri dinding, sehingga lubang yang lain juga menyesuaikan.

4. Sistem Slider Pneumatik

Dirancang dengan bahan kayu, berbentuk persegi panjang dan memiliki fungsi utama untuk dudukan pneumatik. Selain itu, sistem *slider* berguna untuk menyesuaikan dimensi panjang dari kaki palsu. Dapat bergerak pada sumbu X dengan sistem pengunci baut. Terdapat dua sistem slider di kanan dan kiri yang dapat bergerak keduanya.

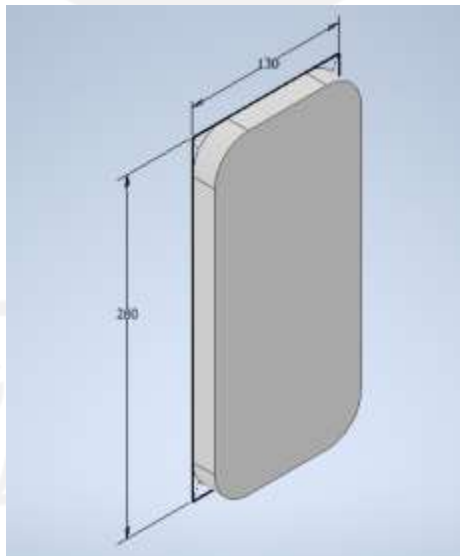
Pada desain awal, terdapat perbedaan dalam dudukan pneumatik. Pada awalnya, dudukan pneumatik yang digunakan adalah berbentuk lingkaran dengan

diameter 200 mm dan ketebalan 3 mm. Dengan prinsip gerak yang juga sama yaitu slider.



Gambar 3 - 15 Desain Awal Dudukan Pneumatik

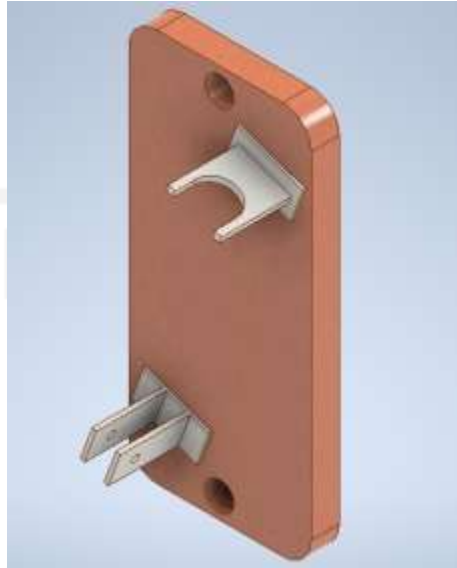
Lingkaran dipilih agar sudut dapat disesuaikan. Namun saat dilakukan percobaan, maka kedua sisi dudukan akan menabrak antara satu dan lainnya. Hal itu disebabkan karena diameter yang ada harus dapat mencakup panjangnya pneumatik, sehingga diameternya cukup besar. Sedangkan ada sisi yang tidak diperlukan, yang menjadikan kedua dudukan menjadi bertabrakan.



Gambar 3 - 16 Desain Dudukan Pneumatik

Sehingga untuk mensolusikan hal tersebut, dipilihlah bentuk persegi panjang dengan dimensi panjang 280 mm x lebar 130 mm. Dengan prinsip gerak slider yang akan dipasang dengan 2 baut di tiap dudukan. Akan diberi penyangga

pada dudukan tersebut dengan pemberian sudut sesuai dengan ISO 10328. Slider akan bergerak lurus pada sumbu horizontal, sehingga panjang pendeknya kaki tidak akan mempengaruhi sudut pada penekanan kaki.



Gambar 3 - 17 Dudukan pneumatik depan

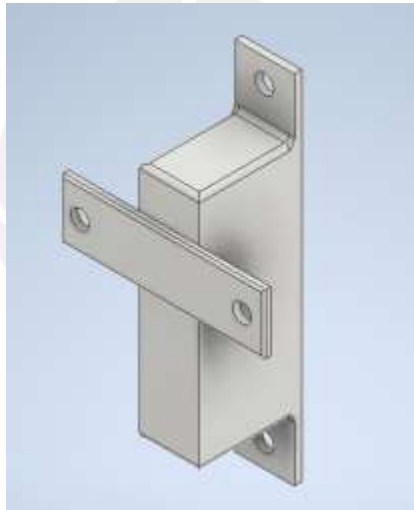


Gambar 3 - 18 Dudukan pneumatik belakang

Terdapat juga dua penyangga diatas dan dibawah untuk mengunci pneumatik. Pengunci dibawah berukuran panjang 25 mm x lebar 3 mm dan pada jarak 15 mm dan terdapat lubang 8 mm yang berfungsi untuk mengunci pneumatik. Di bagian atasnya terdapat plat dengan potongan setengah diameter sebesar 25 mm, sesuai dengan pneumatik yang digunakan.

Menyesuaikan dengan ISO 10328, kedua dudukan pneumatik memiliki dua sudut yang berbeda, yaitu sebesar 20° depan dan 15° pada bagian belakang. Selain itu, penyangga kaki selalu diberi jarak terhadap dinding agar adaptif terhadap berbagai ukuran kaki, dan supaya tidak menyangkut saat pemasangan. Dudukan sangat diperlukan untuk mendukung tingkat akurasi penekanan pneumatik terhadap kaki palsu. Jika tidak diberi dudukan, maka jarak antara pneumatik dan kaki palsu terhadap dinding akan terdapat perbedaan. Dudukan ini merupakan solusi dari jarak kaki palsu ke dinding agar pengujian tetap presisi.

5. Dudukan regulator



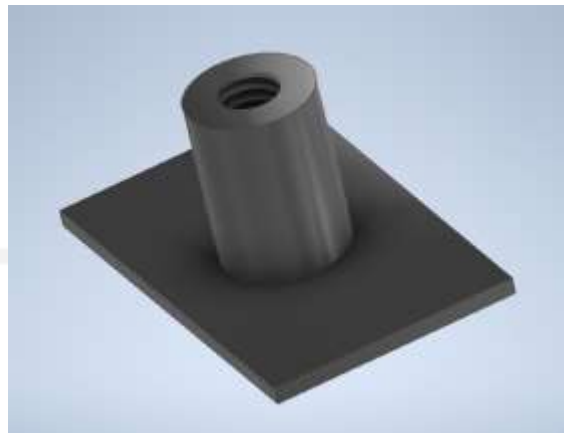
Gambar 3 - 19 Dudukan Regulator

Dudukan ini terletak pada salah satu sisi pada rangka, berfungsi untuk penyangga regulator agar mudah dilihat oleh penguji. Dudukan ini berbentuk balok dengan ukuran panjang 100mm x lebar 20mm x tebal 70mm dengan lubang baut di atas dan bawahnya untuk langsung disambungkan ke rangka.

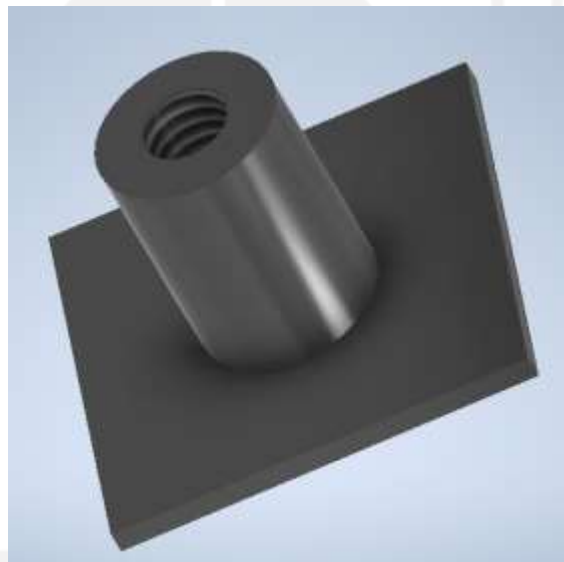
6. Plat Penekan

Pada kehidupan nyata, kaki akan menapak pada sebuah benda datar seperti lantai, dapat berupa kayu, keramik, besi, konblok, dll. Begitu pula dengan pengujian yang akan dilakukan dibuat semirip mungkin dengan kondisi aslinya. Dalam hal ini, penulis menggunakan 2 buah plat besi setebal 2mm. Plat tersebut

disambungkan pada silinder 8 mm dengan ulir dalam, yang nantinya akan dipasang pada ujung pneumatik.



Gambar 3 - 20 Plat penekan kaki depan



Gambar 3 - 21 Plat penekan kaki belakang

Terdapat perbedaan ukuran plat yang akan dipasang didepan maupun belakang. Plat penekan kaki depan dibuat dengan ukuran panjang 50 mm x lebar 30 mm berbentuk persegi panjang dan pada plat penekan kaki belakang berukuran panjang 35 mm x lebar 35 mm dengan bentuk persegi. Diferensiasi ukuran tersebut berfungsi untuk optimasi area penekanan plat terhadap kaki palsu.

7. Papan meja kayu



Gambar 3 - 22 Papan meja kayu

Untuk pengujian *fatigue* prostesis telapak kaki palsu ini, membutuhkan beberapa alat seperti katup, *push button*, lampu LED. Semua peralatan tersebut akan dihubungkan ke pneumatik sehingga harus berada dekat dengan pneumatiknya. Untuk itu, diperlukan meja yang berfungsi sebagai tempat meletakkan peralatan-peralatan tersebut. Meja ini berukuran panjang 700 mm x lebar 382 mm, dengan tebal 10 mm berbahan kayu agar ringan. Terdapat juga lubang-lubang, yang disesuaikan dengan ukuran peralatan tersebut, yang akan ditempelkan pada akrilik, lalu di baut pada papan meja kayu.



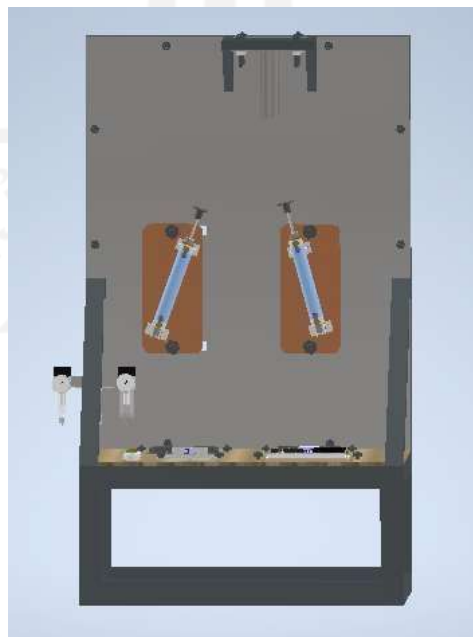
Gambar 3 - 23 Dimensi lubang-lubang pada meja kayu

Lubang untuk lampu LED berbentuk lingkaran dengan diameter 30 mm, lubang untuk *push button* berukuran panjang 110 mm dan lebar 50 mm, lubang penempatan *motherboard* adalah panjang 200 mm dan lebar 132 mm, lubang katup berjumlah 2 pada kanan dan kiri dengan panjang 170 mm dan lebar 120 mm.

8. Mur dan Baut

Pada perancangan ini, sambungan dilakukan menggunakan 2 jenis, yaitu permanen dan non permanen. Sambungan permanen menggunakan las, dan sambungan non permanen menggunakan baut. Baut dan mur digunakan untuk beberapa hal yaitu : Sambungan plat dan rangka, sistem *slider*, pengunci kaki palsu, pipa penyangga kaki, dan pengunci pada meja. Terdapat 12 baut 10 mm pada pengunci plat terhadap rangka, 4 baut pada penyangga kaki palsu, 4 baut pada katup, dan *push button*, 2 baut pada dudukan regulator, 4 baut pada penyangga kaki terhadap rangka, 1 baut pengunci penyangga kaki, 1 baut pada penyangga terhadap kaki palsu, dan juga 4 baut 20 mm sebagai pengunci pneumatik yang juga sekaligus sistem *slider* pada alat ini.

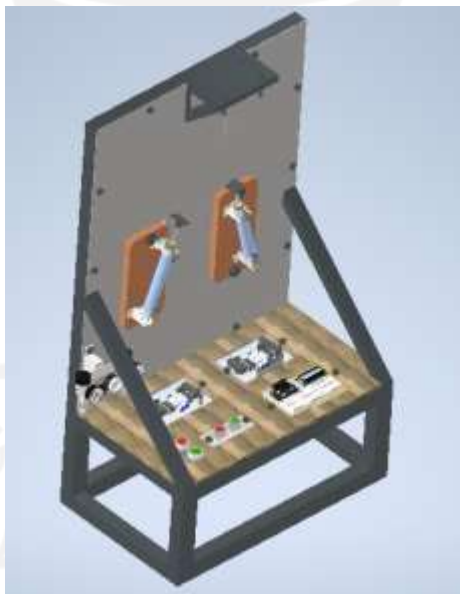
9. Assembly Design



Gambar 3 - 24 *Assembly* alat tampak depan



Gambar 3 - 25 *Assembly* alat tampak samping



Gambar 3 - 26 *Assembly* alat keseluruhan

Setelah melakukan proses desain selanjutnya dilakukan proses desain mulai dari susunan rangka, dudukan pneumatik, penyangga kaki, dinding belakang, plat penekan, meja kayu dudukan regulator dan juga meja pengujian, selanjutnya dilakukan penggabungan atau *assembly design* menggunakan

software Autodesk Inventor 2020. Hasil *assembly design* dapat dilihat pada gambar 3-26.

Penggabungan dilakukan dengan penambahan pneumatik dan juga regulator. Selain itu penambahan seperti lampu LED, *push button*, *motherboard*, dan katup juga ditambahkan pada desain. Pembuatan desain *assembly* pada *software Inventor 2020* selanjutnya dibuat dengan dengan ukuran asli sehingga nantinya alat dapat digunakan untuk pengujian *fatigue* telapak kaki palsu.



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Kekuatan Alat

Simulasi pengujian perlu dilakukan untuk dapat memperkirakan kekuatan alat. Beban *fatigue* adalah beban pengujian dalam sebuah fungsi waktu. Beban yang diberikan terhadap benda uji dapat berupa beban kejut atau biasa disebut impact, atau bisa juga pembebanan fluktuatif (*alternating*). Beban kejut diberikan kepada benda uji pada waktu yang sangat singkat (mendadak) dan diberikan pada kecepatan yang tinggi. Sedangkan beban fluktuasi adalah beban yang diberikan terhadap benda uji secara terus menerus pada pengujian yang konstan. (Kurniawan, 2015)

Pada penelitian ini, analisa kekuatan dilakukan menggunakan *software Ansys* dengan melakukan *stress analysis* untuk mengetahui *fatigue life* sehingga mengetahui kuat atau tidaknya alat ini menahan beban berulang. Analisa kekuatan dilakukan pada bagian tertentu yang mendapatkan gaya terbesar pada alat ini. Pada alat ini, bagian akan menerima banyak gaya adalah pada bagian penyangga kaki yang akan menerima gaya terus menerus, menahan gaya dari pneumatik.

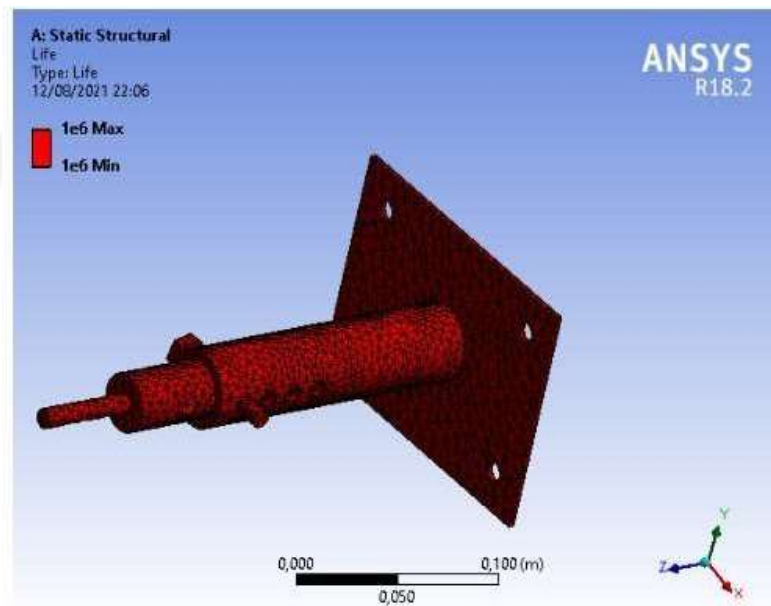
Tabel 4 - 1 *Analysis Material Assignment*

Material	
Assignment	Structural Steel
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes

Tabel 4 - 2 Pemberian gaya

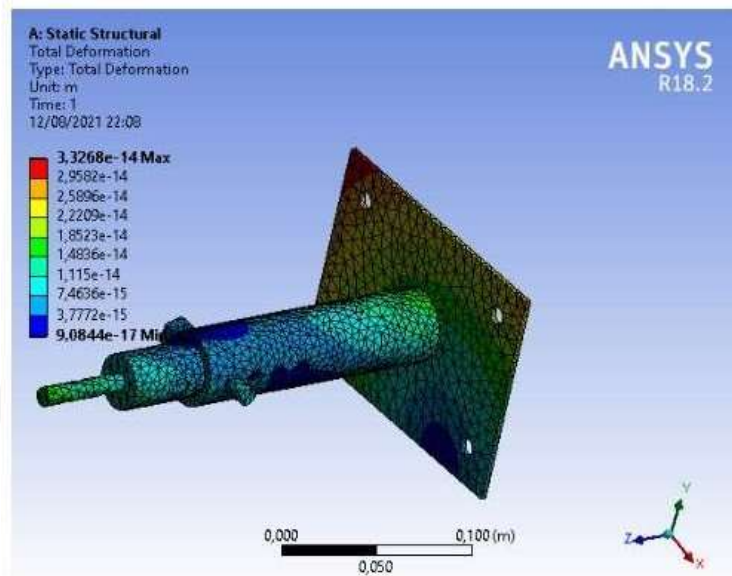
Definition	
Type	Force
Define By	Components
Coordinate System	Global Coordinate System
X Component	-190, N (ramped) 190, N (ramped)
Y Component	0, N (ramped)
Z Component	0, N (ramped)
Suppressed	No

Untuk memulai analisis, maka diberikan input material untuk struktur dan juga pembebanan uji, lihat tabel 4-1 dan tabel 4-2. Input material yang diberikan yaitu baja struktur (*structural steel*) dengan parameter asumsi suhu 22°C. Selanjutnya diberikan pembebanan pada komponen sambungan kaki, dengan arah tegak lurus dengan sumbu X sebesar 190 N atau 19 kg.



Gambar 4 - 1 Simulasi usia benda

Setelah dilakukan input parameter material, suhu, pembebanan, dan juga letak pembebanan, selanjutnya dilakukan simulasi pengujian pada desain *assembly*, lihat gambar 4-1. Pada benda ini, setiap struktur pada benda ini memiliki ketahanan yang sama. Pada *software Ansys*, pengujian maksimal yang dapat disimulasikan hanya satu juta siklus, sehingga batas minimal yang ada pada pengujian hanya dapat 1 juta kali saja ($1e^6$ cycle). Pada struktur ini, menunjukkan angka minimum $1e^6$, yang berarti alat ini mampu menahan 0 siklus sampai dengan 1.000.000 siklus tanpa adanya kerusakan. Batas maksimum yang ditunjukkan adalah juga $1e^6$, tidak menunjukkan angka dibawah itu, berarti struktur mampu menahan beban sampai $1e^6$ siklus.



Gambar 4 - 2 Simulasi deformasi benda

Selanjutnya dilakukan simulasi deformasi pada benda untuk mengetahui di bagian mana benda ini akan paling banyak terdeformasi, lihat gambar 4-2. Deformasi terkecil yang terjadi adalah $9,0844e^{-17}$ m, sedangkan deformasi terbesar yang terjadi adalah $3,3268e^{-14}$ m. Jika dikonversikan ke mm, maka deformasi terkecil adalah $9,0844e^{-14}$ mm, dan deformasi terbesar sebesar $3,3268e^{-11}$ mm. Deformasi terbesar terletak pada sambungan kaki atas yang terhubung dengan rangka. Sedangkan deformasi terkecil terletak pada badan sambungan kaki tanpa lubang.

Tabel 4 - 3 *Design life*

Object Name	Life	Safety Factor
State	Solved	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
Definition		
Type	Life	Safety Factor
Identifier		
Suppressed	No	
Design Life	1,e+009 cycles	
Integration Point Results		
Average Across Bodies	No	
Results		
Minimum	1,e+006 cycles	> 15
Minimum Occurs On	Baut	

Setelah dilakukan simulasi terhadap 1 juta siklus, kemudian yang ingin diketahui adalah seberapa lama penyangga kaki ini dapat melakukan pengujian. Maka pada data *ansys* dapat diprediksi dengan parameter *input* yang ada pada simulasi. Hasilnya adalah, pada perancangan desain ini diprediksikan dapat tetap digunakan hingga $1e^9$ siklus, atau 1.000.000.000 kali siklus dengan amplitudo gelombang konstan pada beban gaya 190 N dan suhu 22° C. Jika di asumsikan sekali pengujian membutuhkan 1.000.000 siklus, maka struktur ini mampu melakukan 1000 pengujian.

4.2 Hasil Pembuatan Alat

Setelah dilakukan proses perancangan desain menggunakan *software Autodesk Inventor*, dan dilakukan proses simulasi menggunakan *software Ansys*, maka alat telah dianggap mampu untuk melakukan pengujian. Proses selanjutnya adalah dilakukan proses pengerjaan dan pembuatan alat.

1. Rangka



Gambar 4 - 3 Pembuatan rangka

Pada pembuatan alat pertama, dilakukan dengan penyatuan besi *hollow square* berukuran 4 mm x 4 mm x 1,8 mm dipotong menjadi 13 bagian. Pemotongan dilakukan untuk ukuran 1200 mm dan 700 mm, lalu ukuran 542 mm

sebagai rangka penguat. Kemudian dilakukan pemotongan plat berbentuk persegi panjang 200 mm x lebar 120 mm, sebagai tempat untuk penyangga kaki. Setelah dilakukan pemotongan lalu besi-besi tersebut disambungkan menggunakan las listrik dengan membentuk rangka sesuai desain. Setelah terpasang, dilakukan pembuatan lubang untuk baut pada sisi rangka menggunakan mesin bor. *Finishing* dilakukan dengan melakukan gerinda pada hasil las.

2. Dinding belakang

Pembuatan dinding besi dimulai dengan membeli plat besi dengan ketebalan 3mm, dengan ukuran panjang 1000 mm x lebar 700 mm. Setelah itu dilakukan pengukuran sesuai dengan jarak yang diinginkan. Lalu dilakukan pembuatan lubang berbentuk persegi panjang menggunakan gerinda potong. Setelah dilakukan pemotongan, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan lubang untuk pemasangan baut menggunakan mesin bor.

3. Penyangga kaki



Gambar 4 - 4 Penyangga kaki atas

Pembuatan penyangga kaki dilakukan dengan pemotongan plat besi 1,5 mm, dengan ukuran panjang 140 mm dan lebar 120 mm. Lalu pemotongan pipa besi *hollow cylinder* diameter 31 mm dan ketebalan 3 mm dengan panjang 170

mm. Plat dan pipa besi tersebut disambungkan menggunakan las listrik tepat di tengah plat tersebut.



Gambar 4 - 5 Penyangga kaki bawah

Selanjutnya dilakukan pemotongan pipa besi *hollow cylinder* lagi dengan diameter 30 mm dengan tebal 3 mm, dipotong sepanjang 120 mm. Pada besi silinder yang kedua ini, disambungkan dengan silinder pejal, sepanjang 60 mm dan dilas pada ujung silinder. Proses selanjutnya yaitu pembuatan ulir pada ujung sebaliknya. Setelah selesai, lalu dilakukan pembuatan lubang 10 mm dengan jarak 15 mm menggunakan bor duduk.

4. Sistem Slider / Dudukan pneumatik



Gambar 4 - 6 Pembuatan slider / dudukan pneumatik

Pembuatan dudukan pneumatik dilakukan dengan pertama-tama memotong kayu berbentuk persegi panjang dengan ketebalan ukuran panjang 280 mm x lebar 130 mm menggunakan gergaji potong. Lalu dilakukan pembuatan *fillet*

keempat sudutnya dengan gerinda, pembuatan *fillet* ini bertujuan agarudukan pneumatik tidak tajam. *Fillet* ini sebesar 50 mm. Setelah dipotong dan dilakukan pembuatan *fillet*, setelah itu dilakukan pembuatan lubang sebesar 20 mm. Pertama tama dengan membuat titik referensi berjarak 15 mm dan berada di tengah. Setelah itu dilakukan pembuatan lubang menggunakan bor sebesar 20 mm. Kayu ini kemudia dilapisi dengan plat besi 2 mm dengan menggunakan paku. Hal ini dibuat agarudukan pneumatik dapat lebih awet masa penggnaannya, selain itu agarudukan pneumatik dapat di las, sehingga lebih kuat.

Setelah bagian pertama jadi, selanjutnya dilakukan pengukuran sudut mengikuti standar yang ada. Setelah diberi titik referensi dan penyesuaian dengan pneumatik, dilakukan pemotongan besi 50 mm x 25 mm setebal 2mm. Kemudian disambung dengan plat besi 2 mm dengan ukuran 25 mm dengan tinggi 50 mm, dan dilakukan pelubangan menggunakan bor sebesar 8 mm. Di bagian depan, dilakukan pembuatan bentuk setengah lingkaran sebesar 25 mm.

5. Dudukan regulator



Gambar 4 - 7 Dudukan regulator

Dudukan regulator ini dilakukan dengan pemotongan besi pejal panjang 100 mm lebar 25 mm dan tebal 40 mm. Setelah itu disambungkan dengan plat besi tebal 3 mm, dengan ukuran panjang 150 mm lebar 25 mm, dilakukan dengan proses

pengelasan dan selanjutnya dilakukan pemberian lubang dengan alat bor sebesar 10 mm di sisi atas dan bawahnya. Terakhir dilakukan penyambungan dengan plat 3 mm dengan ukuran panjang 85 mm x lebar 25 mm, lalu dilakukan pembuatan lubang menggunakan bor di sisi kiri dan kanannya. Proses *finishing* dilakukan dengan perataan hasil las dengan gerinda.

6. Plat penekan



Gambar 4 - 8 Plat penekan

Pada bagian plat penekan, dilakukan pemotongan plat besi menggunakan gerinda sesuai dengan ukuran, lalu disambungkan dengan besi *hollow cylinder* dengan menggunakan las. Setelah itu dilakukan pembuatan ulir dalam dengan tap, dan dengan ukuran yang disesuaikan dengan ulir pada pneumatik. Pada pembuatan awal, ujung dari plat tersebut masih tajam, sehingga dilakukan proses gerinda pada sisi-sisinya, agar tidak tajam dan menyobek kaki palsu. Selanjutnya plat penekan diuji coba pemasangan pada pneumatik. Pada percobaan alat ini, plat penekan sudah langsung dapat dipasang dan di aplikasikan pada pneumatik.

7. Papan Meja



Gambar 4 - 9 Papan meja

Pembuatan kayu ini dimulai dengan pemotongan kayu menggunakan gergaji. Pemotongan dilakukan pada kayu setebal 10 mm, dengan panjang 700 mm dan tebal 382 mm. Selanjutnya dilakukan pengukuran seperti desain yang sudah ada, lalu dilakukan pemotongan menggunakan gergaji. Selanjutnya setelah jadi, dilakukan pengeboran pada sisi sisi lubang sebesar 10 mm untuk pemasangan baut. *Finishing* dilakukan dengan mengamplas sisi-sisi kayu tersebut agar tidak tajam

8. *Assembly* Alat



Gambar 4 - 10 Hasil akhir pembuatan alat

Alat ini telah mampu dirancang sesuai dengan desain yang ada dengan baik, lihat gambar 4-10. Dalam hal ini, kaki palsu dapat terpasang pada penyangga kaki, kaki palsu mampu tertahan oleh penyangga kaki, dudukan pneumatik mampu menahan pneumatik beserta getarannya, dan alat mampu disesuaikan levelnya. Selain itu kriteria desain yang diinginkan juga dapat dipenuhi yaitu kuat dan mampu menahan getaran. Selain itu bahan yang digunakan sangat sederhana sehingga mudah dicari, dirakit, dan dioperasikan.

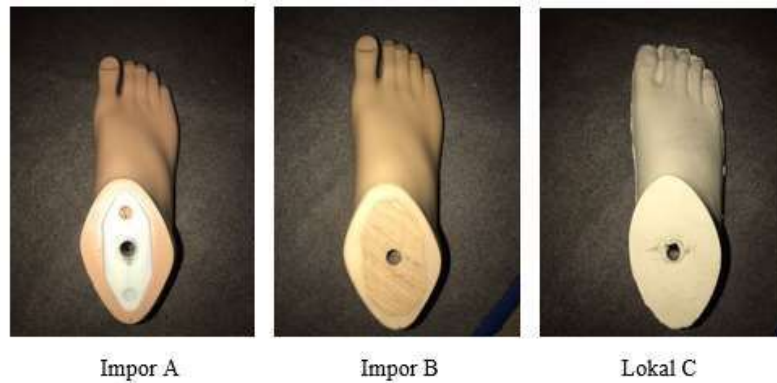
4.3 Kesesuaian Alat dengan Kriteria Desain

Setelah dilakukan pemilihan pada beberapa konsep desain yang ada, dan setelah alat dibuat, maka kemampuan alat yang telah dibuat dilakukan pengecekan kembali terhadap kriteria desain yang ada. Kesesuaian alat dengan kriteria desain dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 - 4 Kesesuaian alat dengan kriteria desain

No	Kriteria Desain	Kesesuaian Alat	
		Ya	Tidak
1.	Mampu dipasang pada prostesis kaki palsu	√	
2.	Menekan sesuai sudut tekan	√	
3.	Mampu menahan pneumatik	√	
4.	Bahan material mudah di fabrikasi	√	

Setelah dilakukan *assembly* alat (lihat gambar 4-10), dan dilakukan percobaan untuk pemasangan kaki palsu, pemasangan pneumatik, dan memulai gerakan pneumatik, maka alat dapat dilihat kesesuaiannya terhadap kriteria desain. Pada tabel 4-4 ditunjukkan bahwa alat telah mampu memenuhi kriteria desain yang telah dibuat.



Gambar 4 - 11 Diameter lubang prostesis kaki palsu

Prostesis kaki palsu impor A, impor B, dan lokal C, memiliki diameter lubang 10 mm, dan baut pada penyangga kaki sebesar 10 mm, sehingga alat ini telah mampu menahan ketiga prostesis kaki palsu. Pengencangan prostesis kaki palsu menggunakan baut telah mampu menahan kaki palsu tetap pada posisinya sehingga dapat dilakukan pengujian.

Sudut tekan pada pneumatik adalah sudut α sebesar 15° , sudut β sebesar 20° , dan sudut γ sebesar 7° , dan alat telah disesuaikan untuk dapat memenuhi kriteria tersebut. Sudut α dan β telah disesuaikan dengan dudukan pneumatik. Karena pada semua pengujian (kecepatan lari maupun berjalan) sudut penekanan sama maka pembuatan dudukan pneumatik dibuat *fixed* dan tidak dapat diubah sudutnya yaitu akan tetap berada pada sudut α sebesar 15° dan sudut β sebesar 20° . Namun pada penyesuaian sudut γ harus dilakukan manual untuk semua pengujian.



Gambar 4 - 12 Dudukan pneumatik menahan pneumatik

Pada dudukan pneumatik, terdapat dua bagian plat besi yang berfungsi sebagai *holder* pneumatik, dan membuat pneumatik dapat tertahan tetap pada posisinya, lihat gambar 4-12. Terdapat dua bagian *holder*, yaitu bagian atas dan pada bagian bawah. Plat besi bagian atas berbentuk persegi panjang dan terdapat potongan setengah lingkaran pada atasnya, sehingga pneumatik dapat diletakkan pada setengah lingkaran tersebut, dan dikencangkan menggunakan mur yang terdapat pada pneumatiknya. Plat besi bagian bawah terdapat dua plat besi yang akan menjepit bagian bawah pneumatik dan akan dilakukan pengencangan menggunakan baut.

Bahan yang digunakan pada alat ini merupakan bahan-bahan yang mudah didapatkan sehingga alat mudah untuk dibuat, dan jika perlu melakukan perawatan atau penggantian *part*, maka bahan-bahan tersebut mudah untuk didapatkan. Rangka dengan material besi struktur bangunan tipe *hollow square*, kayu, plat besi, baut 10 mm, baut 20mm, ring, dan mur. Bahan-bahan tersebut mudah dicari dan didapatkan sehingga alat ini dapat mudah di fabrikasi dan dilakukan *maintenance*.

4.4 Cara Kerja Alat

Pengaturan penekanan pneumatik dilakukan dengan menggeser baut-baut yang ada pada *slider* pneumatik. Pengaturan dilakukan di kedua pneumatik agar mendapatkan hasil penekanan yang presisi. Plat penekan dipasang pada ujung pneumatik dengan ulir pada kedua bagian. Plat 50 mm x 30 mm dipasang pada

pneumatik 1 (bagian anterior), dan plat 35 mm x 35 mm dipasang pada pneumatik 2 (bagian posterior). Plat tersebut kemudian diletakkan tepat pada titik tekan kaki palsu dan sudut γ . Pemasangan plat penekan dapat dilihat pada gambar 4-13 dan gambar 4-14.



Gambar 4 - 13 Pemasangan plat penekan depan

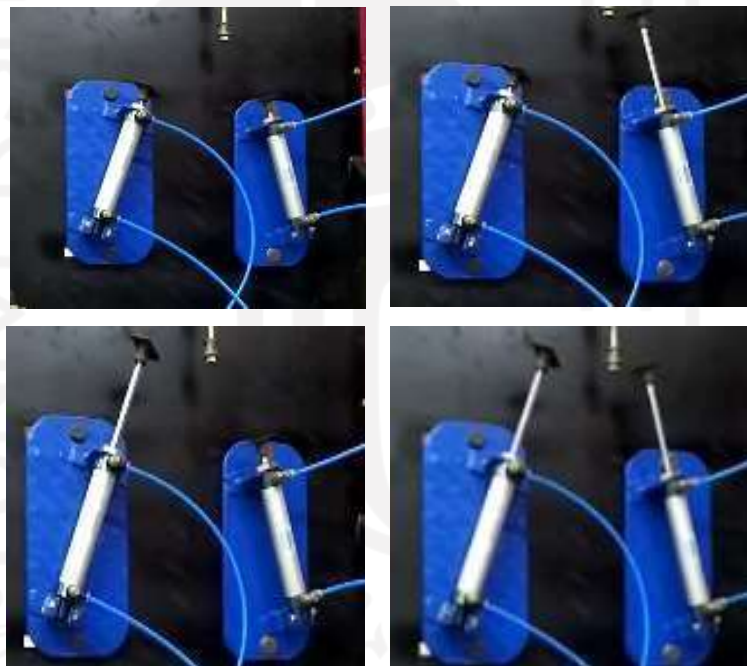


Gambar 4 - 14 Pemasangan plat penekan belakang

Cara kerja alat ini adalah selang kompresor akan dihubungkan pada regulator lalu dilakukan penyesuaian tekanan pada regulator agar *output* pada pneumatik dapat sesuai dengan tekanan yang diinginkan. Lalu regulator kemudian disambungkan pada pneumatik sebagai aktuator, dalam hal ini adalah pemberian gaya terhadap kaki palsu. Plat penekan dipasang pada pipa pneumatik dan akan menekan kaki palsu, lihat gambar 4-15.



Gambar 4 - 15 Cara Kerja Alat



Gambar 4 - 16 Logika Pengoperasian Pneumatik

Setelah disambungkan dengan kompresor dan regulator, pneumatik akan bergerak seperti orang jalan, yaitu tumit menyentuh tanah, lalu bagian depan menyembuth tanah, tumit diangkat, dan terakhir bagian depan diangkat. Sehingga dalam pengujian ini, alat telah mampu bergerak bergantian untuk bagian depan dan belakang sehingga sudah dapat menyerupai orang berjalan atau berlari, lihat gambar 4-16.

Alat ini dapat disesuaikan panjang dari jarak 16 cm sampai dengan 37 cm. Berarti alat ini dapat dilakukan penambahan panjang arah horizontal sebesar 21 cm. Pertambahan panjang diukur dari slider dudukan pneumatik. Sedangkan untuk ketinggian, alat ini dapat diatur dengan rentang 0 cm – 9 cm, lihat gambar 4-17 dan gambar 4-18.



Gambar 4 - 17 Pertambahan Panjang Arah Vertikal



Gambar 4 - 18 Pertambahan Panjang Arah Horizontal

Kaki palsu dipasang pada pipa penopang menggunakan baut, Lalu ketinggiannya disesuaikan dengan menaik-turunkan baut dengan lubang yang telah tersedia. Penambahan ring di bagian bawah dapat dilakukan untuk menambah tinggi kaki palsu, lihat gambar 4-10.



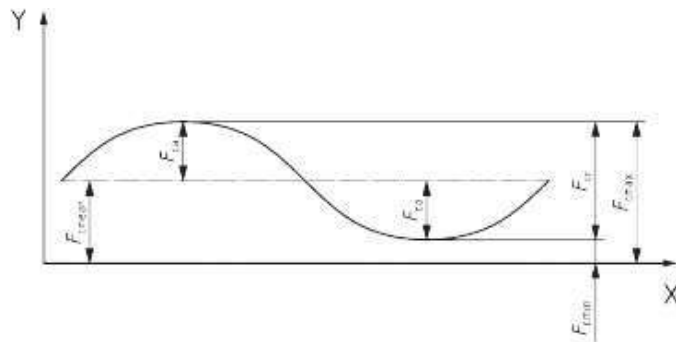
Gambar 4 - 19 Pemasangan Kaki Palsu

4.5 Pengujian

Peralatan test uji *fatigue* harus mampu menghasilkan gaya siklik sesuai dengan kebutuhan. Peralatan ini harus dapat membuat tekanan tunggal membentuk gaya $F_c(t)$ atau *Force Cyclic*. Gaya $F_c(t)$ dibuat tanpa menghasilkan *overshoot spike*, atau biasa disebut simpangan. (ISO 10328, 2016).

Terdapat beberapa parameter untuk menghitung gaya siklik yang akan digunakan untuk pengujian, yaitu :

1. *Minimum test force* (F_{cmin})
2. *Range of the pulsating force* (F_{cr})
3. *Maximum test force* (F_{cmax})
4. *Mean test force* (F_{cmean})
5. *Amplitude of the pulsating test force* (F_{ca})



Key			
X	time	F_{er}	cyclic range of test force
Y	test force	F_{ca}	cyclic amplitude of test force
F_{max}	maximum test force	F_{mean}	mean test force
F_{min}	minimum test force		

Gambar 4 - 20 Load Cycle cyclic test (ISO 10328, 2006)

Jika peralatan kontrol mekanisme pada sebuah alat yang menghasilkan gelombang uji seperti pada gambar tersebut, maka pada tiap periode gelombang pada pengujian harus tanpa *overshoot*, dan gaya tertinggi pada pengujian (F_{cmax}) tidak boleh lebih dari 10% data pada tabel. Penggunaan F_{cmax} lebih dari 10%, dapat mengakibatkan deteriorasi (perusakan) yang lebih cepat pada benda uji.

Masih mengacu pada ISO 10328 untuk pengujian setiap kaki palsu, terdapat standar penentuan untuk referensi pengujian. Terdapat 2 kondisi yaitu kondisi I dan kondisi II. Kondisi I adalah kondisi permulaan/awal pada fase manusia berjalan, sedangkan kondisi II adalah kondisi akhir pada fase berjalan.

Untuk pengujian kaki dewasa, terdapat P3, P4, P5, P6, P7, dan juga P8. Standar P3 adalah standar pengujian untuk kaki palsu dengan massa tubuh 60 kg. P4 adalah standar pengujian untuk kaki palsu dengan massa tubuh 80 kg. P5 adalah standar pengujian untuk kaki palsu dengan massa tubuh 100 kg. P6 dan P7 adalah standar pengujian untuk kaki palsu dengan massa tubuh kurang dari 125 kg dan 150 kg, sedangkan P8 adalah standar pengujian untuk kaki palsu dengan massa tubuh kurang dari 175 kg.

Pada pengujian kali ini, dilakukan penghitungan yang sama terhadap 3 jenis kaki palsu (Impor A, Impor B, dan Lokal C) dengan asumsi P5 atau kaki palsu dengan massa tubuh 100 kg. Untuk pengujian siklik, gaya yang digunakan adalah F1c dan F2c. F1c adalah gaya pneumatik pertama dalam siklus berkelanjutan,

sedangkan F2c adalah gaya pneumatik dua dalam siklus berkelanjutan. Untuk pengujian kali ini dilakukan penyesuaian terhadap standar P5 pada tabel berikut.

Tabel 4 - 5 Pengujian untuk P5, P4, dan P3 (ISO 10328, 2006)

Test procedure and test load			Unit	Test loading level (P ₃) and test loading condition (I; II)					
				P5		P4		P3	
				I	II	I	II	I	II
Static and cyclic test procedures	Stabilizing test force	F_{stab}	N	50					
	Settling test force	F_{set}	N	1 024	920	944	828	736	638
Static test procedure	Proof test force	F_{sp}	N	2 240	2 013	2 065	1 811	1 610	1 395
	Ultimate static test force	$F_{su, lower level}$	N	3 360	3 019	3 098	2 717	2 415	2 09
		$F_{su, upper level}$	N	4 480	4 025	4 130	3 623	3 220	2 790
Cyclic test procedure	Minimum test force	F_{cmin}	N	5					
	Cyclic range	F_{cr}	N	1 280	1 150	1 180	1 035	920	797
	Maximum test force	F_{cmax} $F_{cmax} = F_{cmin} + F_{cr}$	N	1 330	1 200	1 230	1 085	970	847
	Mean test force	F_{cmean} $F_{cmean} = 0,5 (F_{cmin} + F_{cmax})$	N	690	625	640	568	510	44
	Cyclic amplitude	F_{ca} $F_{ca} = 0,5 F_{cr}$	N	640	575	590	518	460	399
	Final static force	F_{fin}	N	2 240	2 013	2 065	1 811	1 610	1 395
		$F_{fin} = F_{sp}$							
Prescribed number of cycles			1	3×10^6					

NOTE For the additional test loading levels P6, P7 and P8 the values of the test forces and the prescribed number of cycles are specified in Table D.2

Maka dari tabel 4-5 tersebut, diperoleh gaya minimum (F_{cmin}) sebesar 5 N, gaya maksimal (F_{cmax}) sebesar 1330 N, *cyclic range* (F_{cr}) sebesar 1280 N, Nilai tengah (F_{cmean}) sebesar 690 N, dan juga gaya amplitudo (F_{ca}) sebesar 640 N. Data yang telah didapat dari tabel kemudian diolah dan diimplementasikan ke pneumatik dan tekanan pada regulator. Pada ISO 10328, perhitungan gaya siklik adalah sebagai berikut :

$$F_c(t) = F_{cmean} + F_{ca} \sin(\omega t) \text{ with } F_{cmean} = 0,5 (F_{cmin} + F_{cmax}) \text{ and } F_{ca} = 0,5 F_{cr}$$

where $\sin(\omega t)$ describes a sine wave with the frequency $f = \omega/(2\pi)$ Hz.

Gambar 4 - 21 Perhitungan gaya siklik (F_c) (ISO 10328, 2006)

Sehingga didapatkan perhitungan sebagai berikut :

$$F_{cmax} = 1330 \text{ N} \times 10\% = 133 \text{ N}$$

$$F_{cmaxuji} = 133 \text{ N}$$

$$F_{cmin} = 5 \text{ N}$$

$$F_{cr} = F_{cmaxuji} - F_{cmin}$$

$$\begin{aligned}
 &= 133 \text{ N} - 5 \text{ N} \\
 &= 128 \text{ N} \\
 F_{ca} &= \frac{F_{cr}}{2} \\
 &= \frac{128 \text{ N}}{2} \\
 &= 64 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{cmean} &= F_{ca} + F_{cmin} \\
 &= 64 + 5 \\
 &= 69 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$F_c(t) = F_{cmean} + F_{ca} \sin(\omega.t)$$

Dimana $\sin \omega.t$ adalah frekuensi yang digunakan dalam satuan Hertz (Hz). Pada ISO 10328, disebutkan bahwa untuk pengujian *fatigue*, frekuensi yang dapat digunakan adalah antara 0,5 Hz-3 Hz, tergantung dari asumsi pengujian. Pada pengujian ini dilakukan frekuensi 2 Hz, yang berarti terdapat dua kali ketukan pada setiap detiknya, sehingga

$$\begin{aligned}
 F_c(t) &= F_{cmean} + F_{ca} \sin(\omega.t) \\
 &= 69 \text{ N} + 64.2 \\
 &= 197 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Atau, $F_c(t) = 19,7 \text{ kg}$

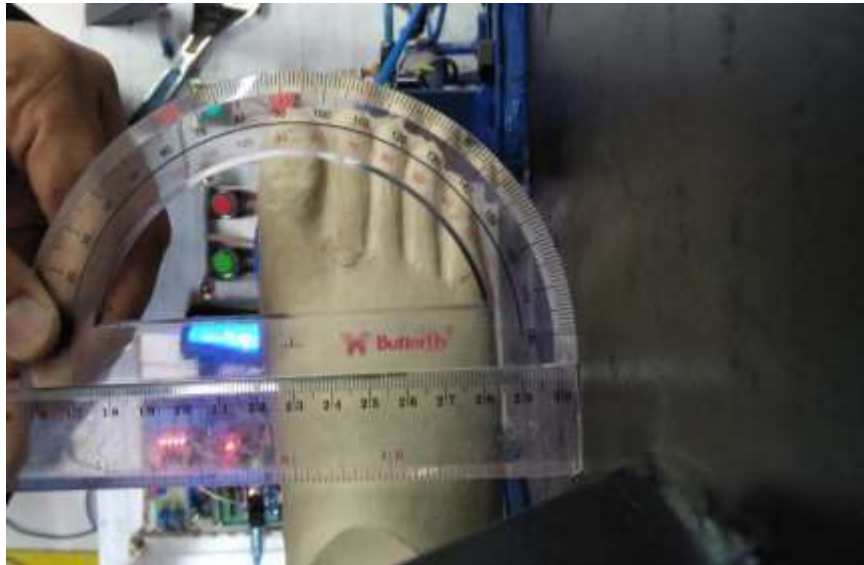
Jadi didapatkan hasil untuk frekuensi 2 Hz untuk kaki palsu P5 yaitu sebesar 19,7 kg.

Tabel 4 - 6 Penyesuaian sudut tekan

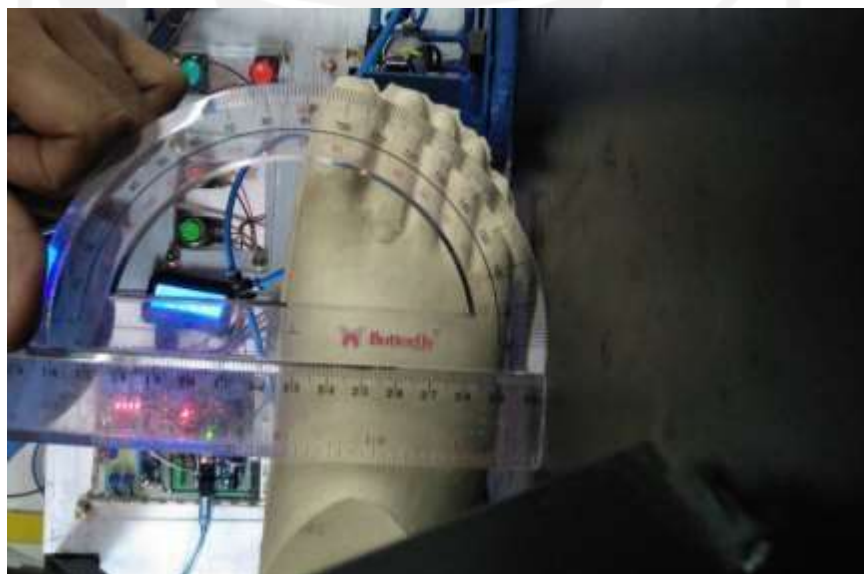
No	Sudut	Kesesuaian alat dengan sudut	
		Ya	Tidak
1	α	✓	
2	β	✓	
3	γ	✓	

Sesuai dengan standar ISO 10328, maka sebelum pengujian harus dilakukan pengukuran terhadap 3 sudut, yaitu sudut α , sudut β , dan juga sudut γ . Sudut α adalah pada bagian posterior belakang dengan sudut sebesar 15° dari

sumbu referensi, sumbu u. Sedangkan sudut β sebesar 20° pada sisi depan atau anterior. Selain itu, kaki juga harus disesuaikan dengan sudut γ sebesar 7° ke arah luar (*toe out*). Hasilnya setiap sudut telah mampu sesuai dengan standar yang ada pada ISO 10328, lihat tabel 4-6.



Gambar 4 - 22 Sudut awal pemasangan kaki palsu



Gambar 4 - 23 Sudut setelah dilakukan penyesuaian

Pada setiap melakukan pengujian pengukuran terhadap sudut selalu dilakukan untuk memastikan sudut telah sesuai standar. Pada standar ISO 10328 juga telah menetapkan toleransi untuk pengukuran sudut untuk pemutaran kaki atau "*toe out*" sebesar $\pm 3^\circ$.

Dudukan pneumatik disesuaikan panjangnya dengan panjang kaki, dan harus menempel pada pijakan kaki, sehingga dilakukan penyesuaian panjang kaki dengan menambah dan mengurangi jarak pada slider. Setelah itu dilakukan penyesuaian ulang pada dudukan pneumatik untuk memastikan sudut yang ada pada dudukan pneumatik sesuai dengan standar. Untuk semua sudut kecuali sudut *toe out*, maka toleransinya sebesar $\pm 1^\circ$.



Gambar 4 - 24 Pengukuran sudut α



Gambar 4 - 25 Pengukuran sudut β

Setelah semua alat terpasang, kaki palsu sudah terpasang, dan semua ukuran telah disesuaikan, maka selanjutnya akan dilakukan percobaan terhadap 3

jenis kaki palsu yang berbeda, yaitu Impor A, Impor B, dan Lokal C. Semua pengujian dilakukan dengan parameter yang sama, yaitu pemberian gaya untuk standar P5 dan pengujian dilakukan sebanyak 72.000 siklus.

Tabel 4 - 7 Data Pengujian

Produk	Siklus yang diinginkan							Total Siklus
	1	2	3	4	5	6	7	
Produk impor A	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	12.000	72.000
Produk impor B	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	12.000	72.000
Produk lokal C	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	12.000	72.000



Keterangan:

Waktu siklus Pengujian = 1 siklus (0.5 detik)

1 kali pengujian = 12.000 Siklus /1.7 jam

Total waktu pengujian pada 1 produk = 6 kali x 12.000 = 72.000 Siklus

Tabel 4 - 8 Hasil Pengujian

Produk	Sebelum pengujian	Sesudah pengujian
Impor A		

Impor B		
Lokal C		

Pada pengujian terhadap 3 benda uji yaitu prostesis kaki palsu impor A, impor B, dan lokal C (lihat tabel 4-8), terjadi fenomena perubahan bentuk fisik prostesis kaki palsu tersebut, khususnya pada produk impor A dan juga lokal C. Pada produk impor A, terdapat sobekan/goresan pada area jari kaki prostesis kaki palsu. Pada produk lokal C, terdapat kerusakan pada permukaan prostesis kaki palsu dan membuat beberapa bagian permukaan menjadi tidak rata. Permukaan yang mengalami kerusakan pada produk lokal C adalah pada bagian *forefoot*/kaki bagian depan.

4.6 Analisis dan Pembahasan

Pada percobaan awal kaki palsu, dilakukan untuk mengetahui apakah alat sudah mampu berjalan sebagaimana mestinya atau belum. Hasilnya, alat sudah mampu bekerja sebagaimana mestinya. Namun pada pengoperasian sistem slider masih ditemukan kendala yaitu masih susah untuk di geser kanan-kiri. Hal itu karena diameter baut yang besar dan jarang digerakkan sehingga membuat baut menjadi berat untuk digeser.

Pada alat ini sistem pergerakan vertikal menggunakan baut. Pada awalnya, konsep desain adalah menggunakan ulir. Baut digunakan sebagai pengunci pada

pipa penyangga kaki, karena jika menggunakan ulir, maka dikhawatirkan akan terjadi perubahan level ketinggian kaki palsu saat pengujian. Selain itu, penggunaan ulir, juga dapat menyebabkan perubahan sudut γ saat pengujian. Karena pengujian yang lama, maka dibutuhkan pengunci yang kuat dan mampu menahan getaran siklik. Untuk penambahan ketinggian dalam dimensi kecil, maka dilakukan penambahan ring agar mampu melakukan mencapai ketinggian secara lebih akurat.



Gambar 4 - 26 Penggunaan Shock Pada Kaki Palsu

Pada awal pemasangannya, terdapat kesulitan dalam memasang baut karena kedalaman lubang pada kaki palsu. Sehingga dalam pengujian ini diperlukan tambahan yaitu *shock* untuk pengganjal pada lubang kaki palsu. Penggunaan *shock* sudah mampu membantu pemasangan mur pada kaki palsu sehingga baut lebih mudah untuk dilepas pasang kepada kaki, lihat gambar 4-26.



Gambar 4 - 27 Pengujian benda uji

Setelah melakukan percobaan 72.000 siklus pada setiap kaki palsu (Impor A, Impor B, dan Lokal C) tidak terjadi *crack* apapun pada prosthesis kaki palsu. Namun pada percobaan kaki palsu Impor A dan lokal C, terdapat sobekan pada kaki palsu yang terdapat pada jari di kaki palsu. Hal ini terjadi pada siklus ke ± 50.000 pada pengujian impor A, dan terjadi pada siklus ± 30.000 pada lokal C. Sedangkan untuk produk B tidak terjadi apa-apa.

Sobekan ini terjadi bisa karena dua faktor, yaitu karena material benda uji dan juga bisa karena plat penekan depan yang terlalu tajam. Namun karena pada produk prosthesis impor B tidak terjadi sobekan, maka fenomena ini dapat disebabkan karena kemampuan material saat terkena aus abrasi. Sehingga kedepannya, pengecekan material juga dapat dilakukan untuk melakukan validasi pengujian dengan menambah pengujian terhadap material.

Faktor kedua yaitu sobekan terjadi disebabkan karena plat terbuat dari besi, dan karena beban berulang kali dan menyentuh permukaan yang sama, maka mengikis permukaan kaki palsu. Hal ini dapat diatasi dengan menambah karet atau melapisi plat lebih tebal. Namun penambahan lapisan jangan dilakukan dengan bahan yang terlalu lunak, karena pada aslinya, kaki palsu juga akan mendapatkan medan yang keras.



Gambar 4 - 28 Plat penekan saat pengujian

Plat penekan kurang lebar, karena hanya menyentuh beberapa bagian dari kaki bagian depan. Maka, agar mampu menekan lebih baik dan lebih menyerupai lantai yang akan disentuh kaki palsu. Pada pengujian kedepannya plat penekan depan dapat diperbesar agar lebih menyerupai aslinya.

Pada saat pengujian kami menggunakan jarak penekanan yang sama antara Impor A, Impor B, dan Lokal C yaitu sebesar ± 3 cm (panjang pneumatik 13,5 cm, menyentuh kaki pada 10,5 cm). Jarak ini diukur dari titik 0 pneumatik hingga pada saat plat penekan menyentuh kaki. Pada setiap pengujian, plat penekan mampu mendorong kaki secara sempurna (semua permukaan plat penekan mampu menyentuh permukaan kaki).

Pada pengujian produk Lokal C, terjadi bengkokan yang cukup besar pada bagian kaki depan (*anterior*), sedangkan produk Impor B dan Impor A mengalami bengkokan yang tidak terlalu besar. Bengkokan yang terjadi pada bagian depan kaki palsu dapat terjadi karena perbedaan material yang ada pada prostesis kaki palsu. Plat penekan sisi belakang juga mampu menyentuh permukaan dari bagian belakang kaki atau tumit (*posterior*).

Pada saat uji pengujian, sempat terjadi putaran pada kaki palsu, yaitu pada pengujian impor A dan juga impor B. Hal ini terjadi pada saat memulai siklus 60.000 pada impor A, dan terjadi pada siklus 30.000 pada impor B. Maka pengujian dihentikan, dilakukan pengencangan kaki palsu, menyesuaikan sudut kembali, lalu pengujian dilanjutkan. Untuk mengatasi hal tersebut, maka perlu ditambahkan pengunci pada benda uji, agar kaki dapat tertahan lebih sempurna.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Perancangan desain alat pengujian *fatigue* prosthesis telapak kaki palsu terdiri telah dilakukan, terdiri dari susunan rangka, dudukan pneumatik, penyangga kaki, dudukan regulator dan juga meja pengujian
2. Pembuatan alat uji *fatigue* sudah berhasil dan mampu untuk dilakukan pertambahan panjang ke arah vertikal maupun horizontal, sudah dapat menahan kaki palsu dengan baik, serta dudukan pneumatik sudah mampu menahan pneumatik beserta getarannya.
3. Ketiga produk kaki palsu masih dalam keadaan baik setelah dilakukan 72.000 kali pengujian dengan pengujian P5. Produk impor A dan lokal C mengalami kikisan lapisan permukaan, sedangkan impor B tidak mengalami kikisan pada permukaan dan dibutuhkan pengujian lanjutan untuk dapat mengetahui produk yang memiliki ketahanan *fatigue* paling baik.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

1. Perlunya penambahan sistem gerak mekanik untuk slider agar pengoperasian lebih mudah.
2. Pengujian keausan dapat dilakukan untuk setiap produk yang akan dilakukan pengujian *fatigue*.
3. Perlu dibuat pengunci pada alat uji, untuk meminimalisir putaran benda uji pada saat pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- Kementerian Kesehatan RI. (2018).
Buletin Jendela Data & Informasi Kesehatan: Situasi Penyandang Disabilitas.
- WHO. (2017a).
Standards for prosthetics and orthotics. Part 1. World Health Organization.
- WHO. (2017b).
Standards for prosthetics and orthotics. Part 2. World Health Organization.
- Disable World. (2019). *Prostheses—Prosthetics: Artificial Limb Information.*
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2008). *Product design and development.*
- Jweeg, et al. (2001). *Design and Analysis of a New Prosthetic Feet*
- Colombo C, et al. (2011). *Study of an ankle prosthesis for children: adaptation of ISO 10328 and experimental tests.*
- Swanson, S. R. (1974). *Handbook of fatigue testing: Sponsored By Astm Commitee E-9 On fatigue.*
- G. A. Ikechukwu (2013). *Design and Characterization of a Fatigue Testing Machine*
- Edwards, Jr dan Robert B. McKee. (1991). *Fundamentals of Mechanical Component Design.* McGraw-Hill
- Collins J. A. (1993). *Failure of materials in mechanical design : analysis, prediction, prevention.* New York : J. Wiley
- Suresh, S. (1991). *Fatigue of material.* Cambridge University Press.

- Weibull, Waloddi. (1961). *Fatigue Testing and Analysis of Report*
- V Mustika et al. (2020). *Process simulation of power screw failure on fatigue load using autodesk inventor*
- Shawki, Galal, S. A. (1990). *A Review Of Fatigue Testing Machine*
- Juvinall, R. C., & Marshek, K. M. (2000). *Fundamentals of machine component design*. New York: John Wiley & Sons
- Dharmawan, Harsokusoemo. (2000). *Pengantar Perancangan Teknik*. Jakarta : Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi
- Baxter, M. (1995). *Product design: A practical guide to systematic methods of new product design and development*. Chapman & Hall.
- ISO 10328. (2016). *Prosthetic – Structural Testing of Lower Limb Prostheses Requirement and Test Method*.
- Budi, R. (2021). *Sistem Otomasi Alat Uji Fatigue Telapak Kaki Buatan Berbasis Arduino*.
- Krist, T. dan D. Ginting. (1993). *Dasar Pneumatik: Prinsip Dasar Perhitungan Komponen Pneumatik*. Jakarta: Erlangga.
- Said, H. (2012). *Aplikasi PLC dan Sistem Pneumatik pada Manufaktur Industri*. Yogyakarta: CV. Andi Offset.
- Anhar, K. (2016). *Rancang Bangun Simulasi Sistem Pneumatik untuk Pemindah Barang*. Jurnal INTEKNA 16 (1): 39-44.
- Hakim, L. (2009). *Analisa Sistem Pneumatik untuk Penggerak Alat Panen Kelapa Sawit*. Jurnal Aptek 1 (1):23-34.
- Subhan, M. (2016). *Perancangan Peralatan Secara Ergonomi untuk Meminimalkan Kelelahan di Pabrik Kerupuk*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi. Universitas Muhammadiyah Jakarta. Jakarta. 1-5

Maryadi. (2017). *Modul Elektronika dan Mekanika*. Jakarta: Direktorat Jenderal Pendidikan Dasar dan Menengah.

