DESAIN DAN PEMBUATAN MODEL KAFO (*KNEE ANKLE FOOT ORTHOSIS*) BERDASARKAN ANTROPOMETRI TUBUH ORANG INDONESIA

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin



Disusun Oleh :

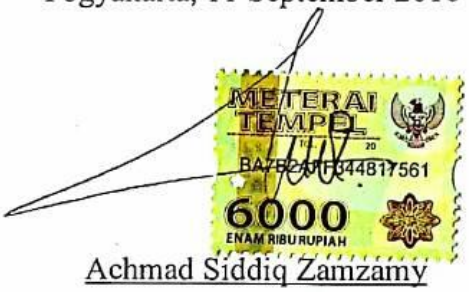
Nama : Achmad Siddiq Zamzamy
No. Mahasiswa : 14525091
NIRM : 2014060933

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2018

PERNYATAAN KEASLIAN

Demi Allah saya akui karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang setiap satunya sudah saya jelaskan sumbernya jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan dalam karya tulis dan hak kekayaan intelektual maka saya sanggup menerima hukum atau sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Yogyakarta, 11 September 2018



Achmad Siddiq Zamzamy

14525091

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

DESAIN DAN PEMBUATAN MODEL KAFO (*KNEE ANKLE FOOT ORTHOSIS*) BERDASARKAN ANTROPOMETRI TUBUH ORANG INDONESIA

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Achmad Sddiq Zamzamy

No. Mahasiswa : 14525091

NIRM : 2014060933

Yogyakarta, 20 September 2018

Pembimbing I,	Pembimbing II,
Muhammad Ridlwan, S.T., M.T.	Donny Suryawan, S.T., M.Eng.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

DESAIN DAN PEMBUATAN MODEL KAFO (*KNEE ANKLE FOOT ORTHOSIS*) BERDASARKAN ANTROPOMETRI TUBUH ORANG INDONESIA

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : **Achmad Sddiq Zamzamy**

No. Mahasiswa : **14525091**

NIRM : **2014060933**

Tim Penguji

Donny Suryawan, S.T., M.Eng.
Ketua
Tanggal : 3 Oktober 2018

Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T.
Anggota I
Tanggal : 3 Oktober 2018

Arif Budi Wicaksono, S.T., M.Eng.
Anggota II
Tanggal : 3 Oktober 2018

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA ★ YOGYAKARTA ★ FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

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

HALAMAN PERSEMBAHAN

Saya persembahkan hasil tugas akhir ini kepada ayah dan ibu tercinta yang tak henti-hentinya memberikan semangat dan doa.

Kaka saya tercinta sebagai sebagai contoh pendidikan kesabaran saya.

Dosen pembimbing bapak Muhammad Ridlwan, ST., MT. dan bapak Donny Suryawan, ST., M. Eng yang selalu memberikan motivasi hidup.

Keluarga Himpunan Teknik Mesin LEM FTI UII sebagai tempat pegaplikasian ilmu.

Sahabat tercinta yang selalu memberikan masukan kepada penulisan tentang laporan tugas akhir ini.

HALAMAN MOTTO

"Pendidikan bukan segala-galanya tapi dengan pendidikan kita bisa meraih segala-galanya"

"Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Dan sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan."

(QS. Al Insyiroh : 5-6)

"Sesungguhnya jika kamu bersyukur, niscaya Aku akan menambahkan (nimat) kepadamu, tetapi jika kamu mengingkari (nikmat-Ku), maka sesungguhnya azab-Ku sangat pedih". "

(Qs. Ibrahim :7)

KATA PENGANTAR



"Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh"

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan lancar. Shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW yang membawa cahaya terang bagi seluruh umat manusia yang mau berpikir, Tugas akhir ini disusun agar memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.

Pelaksanaan dan Penyusunan Laporan Tugas Akhir dapat terselesaikan dengan baik dan lancar tak lepas dari bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Kelurga tercinta Bapak, Ibu dan kakak saya yang selalu mendoakan, membatu dan memberikan motivasi dalam menempuh pendidikan.
2. Bapak Dr.Eng Risdiyono, S.T., M.Eng. selaku Ketua Prodi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Muhammad Ridlwan, S.T., M.T. dan bapak Donny Suryawan, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia yang tidak lelah memberikan semangat dan arahan ketika bimbingan laporan tugas akhir ini.
4. Seluruh Dosen Teknik Mesin FTI UII yang telah banyak mencetak sarjana-sarjana yang berkualitas.
5. Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin FTI UII yang membuat saya menjadi lebih bisa memaknai hidup.
6. Kawan-kawan Teknik Mesin 2014 yang telah memberikan dukungan dalam hal apapun.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini penulis telah berusaha menyusun dengan sebaik-baiknya, namun tidak menutup kemungkinan didalamnya masih terdapat banyak kesalahan-kesalahan. Oleh karena itu, segala

macam kritik dan saran bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan laporan ini. Penulis berharap dengan adanya laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan umumnya bagi pembaca.

“Wabillahitaufiq walhidayah,

“Wassalamu’alaikum Warahmatullahi Wabarakatuhu”

Yogyakarta, 19 September 2018

Penulis,

Achmad Siddiq Zamzamy

ABSTRAK

KAFO (Knee Ankle Foot Orthosis) yang ada di Indonesia saat ini masih banyak ditemukan kekurangan, khususnya dalam mengakomodasi kebutuhan dan keinginan pengguna. Beberapa faktor yang menjadi keluhan adalah tidak praktis serta kurang nyaman. Kenyamanan merupakan parameter yang dapat diukur berdasarkan banyak faktor. Salah satunya adalah kenyamanan berdasarkan faktor ergonomi. Perancangan menggunakan pemodelan pada *software* CAD selanjutnya dilakukan analisis berdasarkan beban yang diberikan. Beban yang diberikan diasumsikan berat rata-rata orang Indonesia dengan *safety factor* 4. Pengujian berdasarkan pada *The Maximum Energy of Distortion Theory (Von Mises Theory).* KAFO mempunyai rentang panjang 751mm – 792mm. KAFO mampu menahan beban pengguna dengan kondisi lumpuh sebesar 60kg dengan tegangan maksimum sebesar 336.8Mpa pada bagian *shaft knee joint*.

Kata kunci: KAFO, ergonomi, pemodelan, Von Mises Theory

ABSTRACT

KAFO (Knee Ankle Foot Orthosis) in Indonesia is still prevalent, especially in accommodating the needs and demands of the user. Some problems found are impractical and uncomfortable. Comfort is a parameter that can be known based on ergonomic factors. The design uses modeling in CAD software for further analysis based on the applied load. The given load is assumed based on average weight of Indonesian people and the safety factor is 4. The testing in constructed on The Maximum Energy of Distortion Theory (Von Mises Theory). KAFO has a length range between 751mm – 792 mm. KAFO is able to hold load until 60 kg with maximum 336.8Mpa von misses stress at the shaft knee joint.

Keywords: KAFO, ergonomic, modeling, Von Mises Theory

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 vii
Abstrak ix
Daftar Isi xi
Daftar Tabel xiv
Daftar Gambar xv
Bab 1 Pendahuluan 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Perancangan 3
1.6 Sistematika Penulisan 3
Bab 2 Tinjauan Pustaka 5
2.1 Kajian Pustaka 5
2.2 Dasar Teori 8
2.2.1 KAFO (Knee Ankle Foot Orthosis) 8
2.2.2 Metode FAST 8
2.2.3 Anatomi Anggota Gerak Bawah 10
2.2.4 Antropometri 12
2.2.5 Elemen Mesin 15
Bab 3 Metode Penelitian 20
3.1 Alur Penelitian 20
3.1.1 Studi Pustaka 20
3.1.2 Pembuatan Desain 21

3.1.3 Simulasi dan Pengujian 21
3.1.4 Pembuatan Model 22
3.2 Identifikasi Masalah 22
3.3 Kriteria Desain 22
3.4 Referensi Desain 23
3.5 Perancangan 23
3.5.1 Antropometri dan Geometri 23
3.5.2 Berdasarkan Distribusi Beban 27
3.5.3 Simulasi dan Pengujian 30
Bab 4 Hasil dan Pembahasan 31
4.1 Hasil Perancangan Desain KAFO 31
4.1.1 *Thigh* 31
4.1.2 *Shank* 35
4.1.3 *Knee Joint* 37
4.1.4 *Ankle Joint* 42
4.1.5 *Footplate* 45
4.1.6 Hasil Pengujian Desain KAFO 46
4.2 Hasil Perbaikan Desain KAFO 48
4.2.1 Perbaikan *Thigh* 48
4.2.2 Perbaikan Keling 49
4.2.3 Hasil Pengujian Perbaikan Desain KAFO 49
4.3 Analisis dan Pembahasan 51
4.3.1 Dimensi KAFO 51
4.3.2 Kekuatan KAFO 53
4.3.3 Pemilihan Material 54
4.4 Perbandingan Produk 55
4.4.1 *Thigh* 56
4.4.2 *Shank* 56
4.4.3 *Knee Joint* 57
4.4.4 *Ankle Joint* 57
4.5 Review Pengguna 58
Bab 5 Penutup 61

5.1 Kesimpulan 61
5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya 61
Daftar Pustaka 62

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Tinjauan Pustaka 7
Tabel 2-2 Antropometri masyarakat Indonesia. 13
Tabel 2-3 Antropometri kaki orang Indonesia. 14
Tabel 3-1 Kriteria Desain 22
Tabel 3-2 Referensi Desain 23
Tabel 4-1 Spesifikasi *Belt* Serat Polyester 32
Tabel 4-2 Sifat Material Polypropylene 33
Tabel 4-3 Sifat Material Stainless Steel Austenitik 304 34
Tabel 4-4 Material Alumunium 6061 36
Tabel 4-5 Sifat Material Besi Cor 41
Tabel 4-6 Material Keling 48
Tabel 4-7 Spesifikasi Material Baja Tahan Karat 51
Tabel 4-8 Hasil Review Pengguna 58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Bagian-bagian KAFO 8
Gambar 2-2 Diagram FAST Metode 9
Gambar 2-3 Gerak Lutut 10
Gambar 2-4 Arterior Kondilus 11
Gambar 2-5 Axis Sendi Lutut 11
Gambar 2-6 Struktur Sendi Lutut 12
Gambar 2-7 Antropometri Tubuh Manusia 14
Gambar 2-8 Antropometri Kaki 15
Gambar 2-9 Tegangan Normal 16
Gambar 2-10 Tegangan Geser Pada Paku Keling 17
Gambar 2-11 Kurva Tegangan Regangan 18
Gambar 3-1 Perancangan *thigh* 24
Gambar 3-2 Perancangan *Shank* 25
Gambar 3-3 Dimensi *Knee Joint* 26
Gambar 3-4 Perancangan *Footplate* 26
Gambar 3-5 Distribusi Beban 27
Gambar 3-6 Gaya Pada *Belt* 28
Gambar 3-7 Beban Pada *Shank* 29
Gambar 3-8 Beban Pada *Knee Joint* 29
Gambar 3-9 Beban Pada *Ankle Joint* 30
Gambar 3-10 Beban Pada *Footplate* 30
Gambar 4-1 Hasil Perancangan *Thigh* 31
Gambar 4-2 Hasil Prototipe *Thigh* 32
Gambar 4-3 Dimensi *Shank* Paha 35
Gambar 4-4 Dimensi *Shank* Betis 35
Gambar 4-5 Mekanisme Pengatur Ketinggian *Shank* Paha 36
Gambar 4-6 *Knee Joint* 38
Gambar 4-7 Perancangan Pengunci *Knee Joint* 38
Gambar 4-8 *Ankle Joint* 42
Gambar 4-9 Mekanisme Pengunci *Fooplate* 43

Gambar 4-10 Hasil Perancangan *Footplate* 45
Gambar 4-11 Hasil Desain KAFO 1 46
Gambar 4-12 Hasil Pengujian Desain 1 47
Gambar 4-13 Tegangan Pada Keling Desain 1 47
Gambar 4-14 Perbaikan Desain *Thigh* 49
Gambar 4-15 Hasil Desain KAFO 2 49
Gambar 4-16 Hasil Pengujian Desain 2 50
Gambar 4-17 Tegangan Maksimum Pada *Shaft* 50
Gambar 4-18 Dimensi *Thigh* Setelah Diperbaiki 52
Gambar 4-19 Pengatur Tinggi Pada *Shank* 52
Gambar 4-20 Perbandingan Dimensi *Knee Joint* 53
Gambar 4-21 Tegangan 60kg-100kg 54
Gambar 4-22 Perbandingan Produk 55
Gambar 2-23 Perbandingan *Thigh* 56
Gambar 2-24 Perbandingan *Shank* 56
Gambar 2-25 Perbandingan *Knee Joint* 57
Gambar 2-26 Perbandingan *Ankle Joint* 57
Gambar 4-27 Mekanisme Menekuk Pada Kaki 60

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan Susenas (Survei Sosial Ekonomi Nasional) 2012 tercatat ada 5.822.212 jiwa penyandang disabilitas yang terdapat di Indonesia, dan berdasarkan umur pada data Riskesdas (Riset Kesehatan Dasar) 2013 Badan Litbangkes (Penelitian dan Pengembangan Kesehatan) Kementerian Kesehatan peningkatan penyandang disabilitas meningkat berbanding lurus terhadap umur dari penyandang disabilitas dengan nilai tertinggi yaitu 55.9% untuk usia lebih dari 75 tahun. Sedangkan berdasarkan data Susenas tahun 2012 terdapat 206.688 jiwa penyandang disabilitas yang masih dalam usia produktif. Berdasarkan persentase umur lebih dari 10 tahun yang mengalami kesulitan fungsional terdapat 1.62% penduduk mengalami kesulitan dalam berjalan serta menaiki tangga. Kesulitan berjalan jarak jauh juga merupakan salah satu komponen disabilitas yang tertinggi berdasarkan Riskesdas 2013 yaitu dengan 6.8% dari jumlah penyandang disabilitas di Indonesia dengan usia lebih dari 15 tahun.

Kesulitan dalam berjalan jarak jauh serta menaiki tangga merupakan salah satu dari berbagai kesulitan yang diakibatkan adanya gangguan pada anggota gerak tubuh bagian bawah. Anggota gerak bawah sendiri memiliki fungsi utama sebagai *support* dan alat penggerak tubuh. Keterbatasan berjalan yang disebabkan gangguan pada anggota gerak tubuh bagian bawah dapat mengakibatkan peningkatan pengeluaran energi sebesar 89% lebih tinggi dibanding dengan pejalan kaki normal (Herdiman, et al., 2011). Gangguan pada anggota gerak bagian bawah sendiri dapat terjadi karena banyak faktor seperti masalah rangka, kelemahan otot dan juga kelumpuhan. Sehingga untuk mengeliminasi atau mengurangi keterbatasan tersebut diperlukan alat bantu gerak bagian bawah atau yang dikenal dengan orthosis kaki. Orthosis kaki mempunyai berbagai macam jenis disesuaikan dengan permasalahan yang ada.

Knee Ankle Foot Orthosis (KAFO) adalah orthosis yang mengkoreksi dari mulai telapak kaki sampai dengan atas lutut. KAFO sendiri mempunyai fungsi

dari mulai menyangga berat badan tubuh, mencegah kecacatan yang lebih lanjut, mengkoreksi kecacatan dan mengontrol atau mengatur gerakan yang terjadi pada tungkai.

Produk KAFO yang ada di Indonesia saat ini masih banyak ditemukan kekurangan, khususnya dalam mengakomodasi kebutuhan dan keinginan pengguna. Beberapa faktor yang menjadi keluhan adalah terlalu kaku pada sambungan, tidak praktis serta kurang nyaman, bagian-bagian yang dikeluhkan diantaranya adalah bagian lutut, dimana pada bagian lutut KAFO mempunyai fungsi pengunci pada *knee joint* (Herdiman et al., 2011).

Kenyamanan merupakan parameter yang dapat diukur berdasarkan banyak faktor. Salah satunya adalah kenyamanan berdasarkan faktor ergonomi. Ergonomi adalah ilmu yang mempelajari hubungan antara manusia dengan dan elemen-elemen lain dalam suatu sistem dan pekerjaan yang mengaplikasikan teori, prinsip, data dan metode untuk merancang suatu sistem yang optimal, dilihat dari sisi manusia dan kinerjanya. Salah satu data yang digunakan dalam ergonomi adalah data antropometri, data antropometri dapat digunakan dalam perancangan suatu sistem kerja yang sasaranya adalah sistem kerja yang efektif, nyaman, aman, sehat dan efisien (Nurmianto, 2004). Pengunci kaku serta efisiensi dalam mekanisme pengunci pada *knee joint* menjadi salah satu permasalahan yang perlu diselesaikan. Produksi massal pada KAFO diperlukan untuk dapat memenuhi kebutuhan konsumen khususnya di Indonesia. Untuk itu perlu adanya penyesuaian KAFO berdasarkan antropometri orang Indonesia. Pernyataan tersebut menunjukan masih perlunya pengembangan yang dilakukan

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah diperlukan untuk mengetahui permasalahan berdasarkan latar belakang yang ada. Sehingga didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan KAFO untuk penyandang lumpuh pada anggota tubuh bagian bawah?
2. Bagaimana rancangan desain KAFO yang dapat diatur ketinggianya dengan berat pengguna 60kg?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah diperlukan untuk membatasi penelitian agar penelitian dapat sesuai dengan rumusan masalah serta latar belakang yang ada. Sehingga didapatkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Perancangan berdasarkan antropometri orang Indonesia.
2. Perancangan berdasarkan berat badan rata-rata orang Indonesia.
3. Pengujian berdasarkan pengujian statis dengan beban 60kg dan SF 4.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Merancang KAFO untuk penyandang lumpuh total pada anggota tubuh bagian bawah
2. Merancang KAFO yang dapat diatur ketinggianya dengan berat penggunna 60kg.

1.5 Manfaat Perancangan

1. Perancangan ini dapat dijadikan salah satu alternatif solusi bagi penyandang disabilitas untuk dapat mengeliminasi keterbatasan gerak tubuh khususnya bagian bawah perut.
2. Perancangan ini dapat menjadi salah satu referensi untuk pengembangan produk bagi dunia industri yang khususnya bergerak dalam bidang *orthotic* bawah perut.
3. Perancangan ini dapat menjadi salah satu referensi untuk perancangan atau penelitian sejenis dalam universitas serta dapat menunjukan kontribusi universitas dalam menanggulangi permasalahan sosial di masyarakat. Khususnya dalam penyandang disabilitas bagian bawah perut.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab I membahas mengenai gambaran umum dari perancangan, yang menyajikan Latar Belakang Masalah, Rumusan Masalah, Batasan Masalah, Tujuan Perancangan, Manfaat Perancangan, serta Sistematika Penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab II membahas mengenai teori yang melandasi perancangan yang diambil dari kutipan buku yang berkaitan dengan topik pembahasan serta beberapa literature review yang berhubungan dengan perancangan.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab III membahas mengenai metode yang digunakan dalam perancangan dari mulai Alur Penelitian atau Perancangan, Peralatan dan Bahan, serta Perancangan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab IV membahas mengenai Hasil Perancangan serta Hasil Pengujian yang kemudian akan dianalisis.

BAB V PENUTUP

Bab V membahas mengenai kesimpulan yang didapat pada keseluruhan perancangan serta Saran yang bertujuan untuk memperbaiki penelitian atau perancangan selanjutnya.

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Lutut mempunyai geometri serta kinematika yang kompleks pada saat *extension* maupun *flexion*. Hal tersebut memungkinkan perlu adanya mekanisme dari *knee external* yang sesuai dengan kinematika serta geometri dari lutut. Dengan adanya hal tersebut maka penyangga lutut dapat mengurangi gaya yang diterima oleh lutut serta melindungi ligamen dengan baik. Secara geometri bagian posterior dari kondilus femoralis mempunyai bentuk bulat. Permukaan bulat itu diproyeksikan dalam radiografi dan mendifinisikan permukaan tersebut sebagai sumbu putar dari lutut terhadap *extension* dan *flexion* (Walker et al., 1985).

KAFO dirancang untuk orang-orang yang mempunyai kelemahan otot pada tubuh bagian bawah perut, dan salah satu fungsi dari KAFO adalah mengunci lutut pada saat berjalan. Hal tersebut dimaksudkan untuk menjaga kaki tetap pada posisi statis saat KAFO digunakan berjalan (Yakimovich et al., 2006).

Produk KAFO yang ada di Indonesia saat ini masih banyak ditemukan kekurangan, khususnya dalam mengakomodasi kebutuhan dan keinginan pengguna, hal ini diperkuat dengan adanya keluhan tentang ketidaknyamanan orthosis. Kualitas dan harga merupakan aspek yang saling berkaitan dan menjadi peranan penting dalam pengembangan produk KAFO. FAST method merupakan salah satu metodologi yang digunakan untuk mengidentifikasi aspek-aspek yang berkaitan dalam pengembangan produk dari mulai tahap informasi, tahap kreatif, tahap analisis, tahap perkembangan, dan tahap presentasi. Desain KAFO yang menjadi usulan dari pengguna adalah KAFO tidak mudah rusak, tidak mudah aus, tidak mudah berkarat, nyaman untuk duduk, ringan, mudah untuk digerakan atau fleksibel dan bagus dari segi estetika (Herdiman et al., 2011).

Kenyamanan merupakan parameter yang dapat diukur berdasarka banyak faktor. Salah satunya adalah kenyamanan berdasarkan faktor ergonomi. Antropometri merupakan salah satu bagian yang menunjang ergonomi, khususnya dalam perancangan suatu peralatan berdasarkan prinsip-prinsip

ergonomi. Data antropometri dapat digunakan dalam perancangan suatu sistem kerja yang sasaranya adalah sistem kerja yang efektif, nyaman, aman, sehat dan efisien (Nurmianto, 2004). Penelitian-penelitian sebelumnya (tabel 2-1) dapat menjawab permasalahan-permasalahan serta menjadi dasar pemikiran dan data yang digunakan dalam perancangan KAFO.

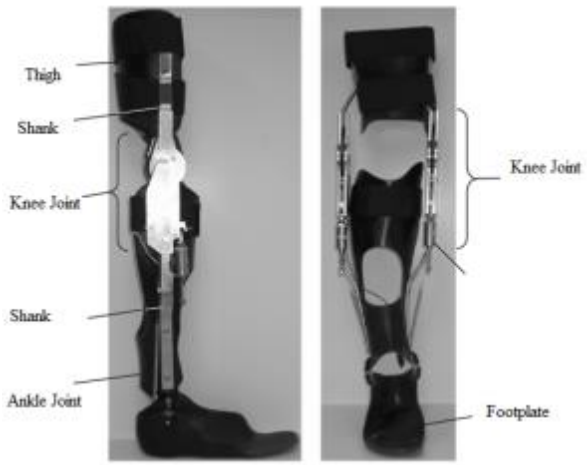
Tabel 2-1 Tinjauan Pustaka

No	Nama Peneliti	Tahun	Judul Penelitian/Buku	Kontribusi Untuk Peneliti	Perbedaan Penelitian
1	Lobe S. Herdiman, Eko Liquiddanu, Dhian Paramita	2011	Perbaikan Rancangan Pada Desain Knee Ankle Foot Orthosis (KAFO) Dengan Pendekatan Metode Function Analysis System Technique	Desain KAFO yang menjadi usulan dari pengguna adalah tidak mudah rusak, tidak mudah aus, tidak mudah berkarat, nyaman untuk duduk, ringan, mudah digerakan atau fleksibel, bagus dari segi estetika	Perbedaan terdapat pada metode penelitian yaitu pada penelitian tersebut menggunakan metode FAST methode untuk mengetahui kebutuhan pengguna KAFO
2	Darmanto	2010	Pengaruh Implantasi Ion Nitrogen Terhadap Kekerasan Permukan Stainless Steel 316L Untuk Aplikasi Sendi Lutut Tiruan	Penentuan beban maksimum yang diterima sendi lutut yaitu mencapai 3,9 kali berat tubuh pada saat berjalan normal	Perbedaan terdapat pada tujuan penelitian yaitu pada penelitian tersebut bertujuan untuk aplikasi sendi lutut tiruan.
3	Mukh Syaifudin, Zubaidah Alatas, Tur Rahardjo, Mugiono	1996	Studi Antropometri Manusia Jawa Dalam Rangka Penyusun Manusia Acuan Indonesia	Berat badan rata-rata laki-laki dewasa orang Indonesia adalah 55,73 ± 2,56kg, sedangkan berat rata-rata wanita dewasa orang Indonesia adalah 49,67 ± 2,46kg.	Perbedaan terdapat pada tujuan penelitian, yaitu penelitian tersebut bertujuan untuk meneliti antropometri manusia jawa sebagai acuan antropometri orang Indonesia.
6	P. S. Walker, Ph. H. Kurosawa, J. S. Rovick, M.A.	1985	External Knee Joint Design Based on Normal Motion	Dimensi *knee joint* yang diukur dan dihitung dari femoralis posterior kondilus yaitu dengan radius putar terhadap axis *knee joint* sebesar 20mm	Perbedaan terdapat pada batasan masalah, dimana batasan masalah pada penelitian tersebut berada pada kesesuai geometri lutut teradap perancangan desain KAFO.
7	Lloyd George Perry	2011	Knee Joint Separation Brace	Mekanisme Knee Joint dan Pengunci	Perbedaan terletak pada desain mekanisme knee joint dan pengunci
8	Robert E. Pirmantgen,	1987	Knee Orthosis and Joint Construction Therefor	Mekanisme dan kontruksi knee joint	Perbedaan terdapat pada batasan masalah, dimana penelitian tersebut dibatasi pada desain knee brace.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 KAFO (Knee Ankle Foot Orthosis)

Orthosis memiliki beberapa jenis, salah satunya adalah KAFO yang mempunyai fungsi untuk mengoreksi anggota tubuh bagian bawah mulai dari telapak kaki sampai atas lutut (Herdiman et al., 2011). KAFO mempunyai beberapa bagian dan mempunyai fungsi yang berbeda. Komponen paha (thigh) merupakan bagian paling atas yang mempunyai fungsi untuk menopang paha atau tulang pantat. *Shank* membantu menopang gaya yang berasal dari anggota tubuh terhadap segmen KAFO dari komponen paha ke *knee joint* dan dari *knee joint* ke *ankle foot*. *Knee joint* berfungsi untuk mengunci lutut agar KAFO tetap pada kondisi statik saat berjalan. *Ankle joint* berfungsi menghubungkan segmen *Shank* terhadap *Footplate. Footplate* merupakan alas atau bagian paling rendah dari KAFO, namun bagian ini memiliki peran mengoreksi tinggi badan sehingga kedua kaki mempunyai tinggi yang sama. seperti yang terlihat pada gambar 2-1.



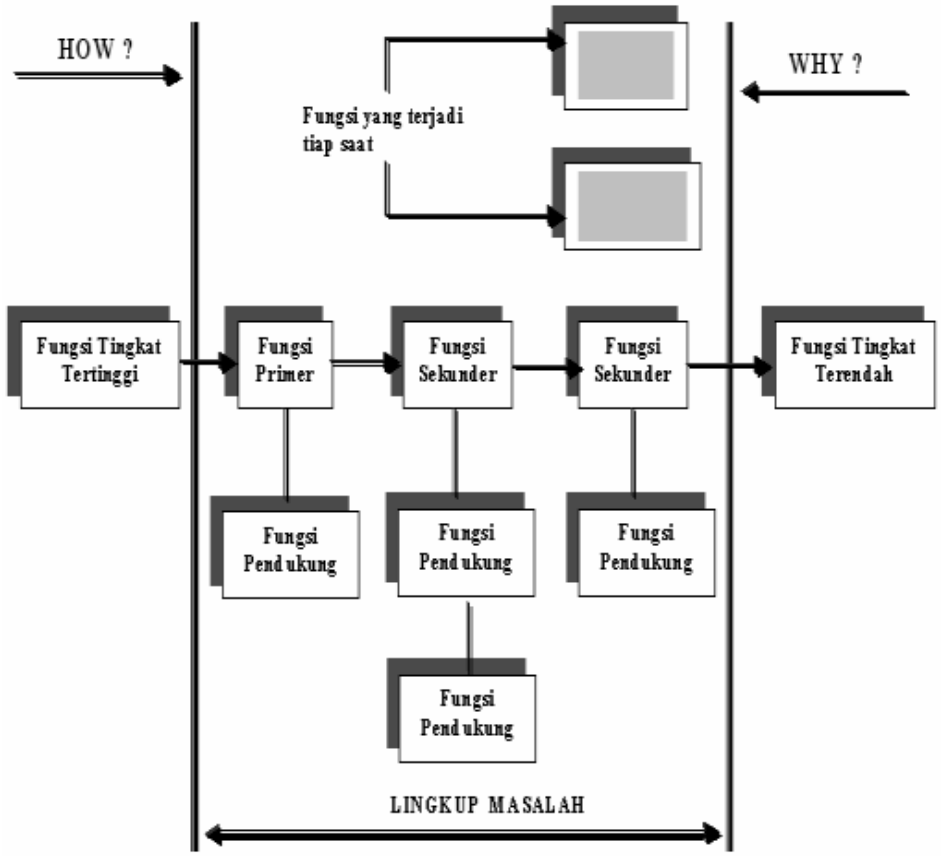
Gambar 2-1 Bagian-bagian KAFO

(Yakimovich et al., 2006)

2.2.2 Metode FAST

Metode FAST (Function Analysis System Technique) adalah metode untuk menjawab keinginan customer berdasarkan pada analisis fungsi dari

produk (Herdiman et al., 2011). Metode FAST mempunyai ruang lingkup fungsi tingkat tinggi sampai fungsi tingkat rendah seperti yang terlihat dalam gambar 2-2. Penyusunan fungsi-fungsi berdasarkan pada dua buah pertanyaan yaitu bagaimana (how) dan mengapa (why).



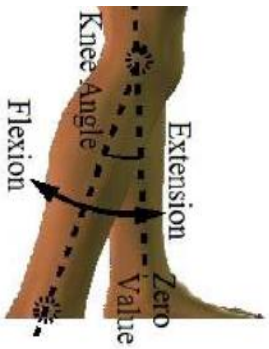
Gambar 2-2 Diagram FAST Metode

Langkah-langkah dalam penyusunan FAST Metode adalah menyiapkan daftar fungsi dari suatu item dengan dasar penyusunan menggunakan dua kata bagaiamana dan mengapa. Untuk kemudian menentukan fungsi utama, fungsi tertinggi, fungsi terendah, fungsi sekunder yang diinginkan sesuai dengan *design requirement.*

Fungsi primer atau utama adalah fungsi yang menjelaskan kegiatan utama pada sistem, dan fungsi sekunder adalah fungsi yang keberadaanya berdasarkan pada fungsi lainya yang lebih tinggi. Sedangkan fungsi pendukung adalah fungsi yang berguna meningkatkan fungsi primer serta sekunder berdasarkan masing-masing tingkatan fungsi dari yang tertinggi sampai terendah (Herdiman et al., 2011).

2.2.3 Anatomi Anggota Gerak Bawah

Anatomi mempelajari susunan tubuh dan hubungan again-bagianya satu sama lain. Tubuh manusia dapat dibagi berdasarkan sistem-sistem yang menunjukan fungsi masing-masing. Salah satunya sistem yang terdapat di tubuh manusia adalah sistem lokomotorik, dalam sistem ini mencakup bagian-bagian yang bersangkutan dengan gerak tubuh. Berdasarkan sistem tersebut kerangka menjadi bagian dalam mempengaruhi gerak tubuh manusia. berdasarkan fungsinya terdapat dua kerangka gerak, yaitu kerangka gerak atas dan kerangka anggota gerak bawah (Pearce, 2009).



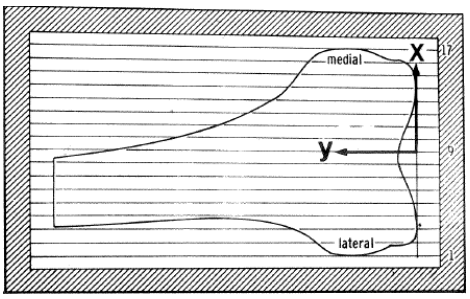
Gambar 2-3 Gerak Lutut

(Lestari et al., 2015)

Sendi lutut komplek terdiri atas: sendi ti-biofemoral, sendi patellafemoral dan sendi proksimal tibiafibular. Sendi-sendi tersebut menghasilkan lutut dapat bergerak yang disebut dengan *flexion-extension*, seperti yang terlihat pada gambar 2-3. Sendi-sendi tersebut dibentuk oleh beberapa tulang (Anwar, 2012), yaitu:

A. Tulang Femur

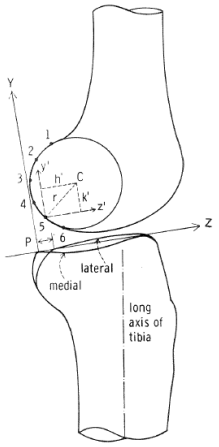
Femur menjadi salah satu bagian penyusun sendi lutut, pada bagian bawah tulang femur memperlihatkan dua kondilus yaitu kondilus medial dan kondilus lateral, seperti yang terlihat dalam gambar 2-4 berikut,



Gambar 2-4 Arterior Kondilus

(Walker et al., 1985)

Kondilus pada bagian bawah tulang femur juga menjadi sumbu putar terhadap sendi lutut saat melakukan *fleksion-ekstension*, secara garis besar bagian posterior dari kondilus mempunyai bentuk menyerupai setengah lingkaran dengan jari-jari pada masing-masing derajat yang hampir sama. Pengukuran yang dilakukan oleh Walker dkk terhadap kondilus posterior pada 22 lutut menunjukan nilai radius rata-rata 20mm (Walker et al., 1985). Dan sumbu dari radius bagian posterior kondilus digunakan sebagai axis sendi lutut untuk melakukan gerakan *flexion* maupun *extension*, seperti yang terlihat pada gambar 2-5.



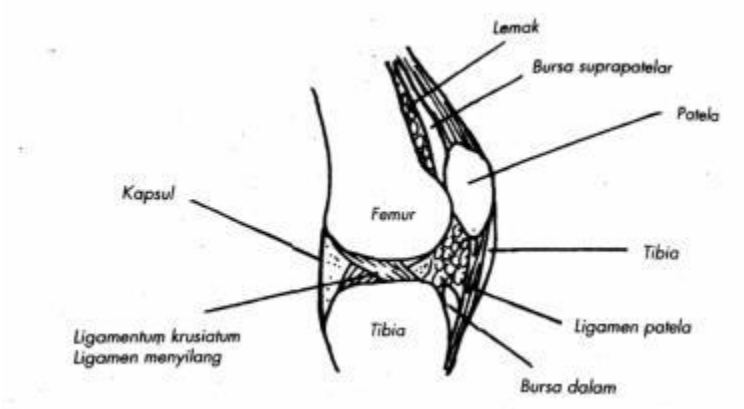
Gambar 2-5 Axis Sendi Lutut

(Walker et al., 1985)

B. Patela

Patela atau tempurung lutut adalah tulang *sesamoid* yang berkembang di dalam tendon otot kuadrisep ekstensor. *Apeks patella* meruncing kebawah. Permukaan anterior tulang kasar. Permukaan posteriornya halus dan bersendi

dengan permukaan pateler ujung bawah femur. Letaknya didepan sendi lutut, tetapi tidak ikut serta di dalamnya (Pearce, 2009). Seperti yang terlihat pada gambar 2-6.



Gambar 2-6 Struktur Sendi Lutut

(Pearce, 2009)

C. Tulang Tibia

Tulang tibia atau tulang kering adalah kerangka utama tungkai bawah dan terletak medial dari fibula atau tulang betis. Pada ujung atas memperlihatkan adanya kondilus medial dan kondilus lateral. Dua kondilus ini merupakan bagian paling atas dan juga paling pinggir dari tulang tibia. Permukaan superiornya memperlihatkan dua dataran permukaan persendian untuk femur dalam formasi sendi lutut (Pearce, 2009).

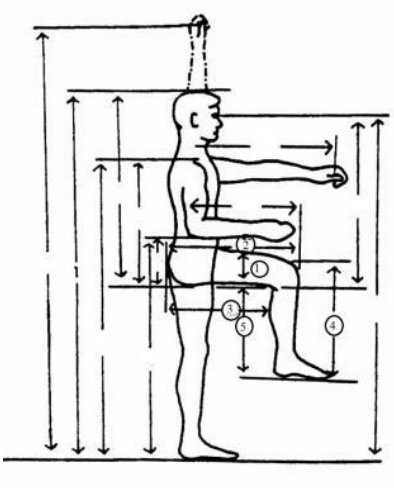
2.2.4 Antropometri

Istilah "ergonomi" berasal dari bahasa Latin yaitu ERGON(KERJA) dan NOMOS (HUKUM ALAM) dan dapat didefinisikan sebagai studi tentang aspek-aspek manusia dan lingkungan kerjanya yang ditinjau secara anatomi, fisiologi, psikologi, engineering, manajemen, dan desain/perancangan. Ergonomi berkenaan pula dengan optimasi, efisiensi, kesehatan, keselamatan dan kenyamanan manusia. Didalam ergonomi dibutuhkan studi tentang sistem dimana manusia, fasilitas kerja dan lingkungan saling berinteraksi dengan tujuan utama yaitu menyesuaikan suasana kerja dengan manusianya (Nurmianto, 2004).

Perlunya memperhatikan faktor ergonomi dalam proses perancangan sekarang ini merupakan sesuatu yang penting. Dan untuk itu faktor ergonomi tidak terlepas dari ukuran antropometri tubuh manusianya dan juga penerapan data-data antropometrinya. Data antropometri dapat digunakan dalam perancangan suatu sistem kerja yang sasaranya adalah sistem kerja yang efektif, nyaman, aman, sehat dan efisien. Penerapan antropometri dapat dilakukan jika terdapat nilai mean (rata-rata), dan SD (standar deviasi) dari suatu distribusi normal seperti yang terlihat pada Tabel 2-2. Dalam penerapan antropometri adalah sebuah kesalahan jika menganggap bahwa semua dimensi adalah merupakan rata-rata, sebagai contoh jangkauan kedepan pengguna rata-rata (50 persentil) dalam penyesuaian pemasangan suatu alat kontrol akan menghasilkan bahwa 50% populasi tidak akan mampu menjangkaunya. Dengan kata lain jika seseorang mempunyai dimensi rata-rata populasi, maka belum tentu dia berada pada rata-rata populasi untuk dimensi lainya (Nurmianto, 2004).

Tabel 2-2 Antropometri masyarakat Indonesia yang didapat dari interpolasi masyarakat British dan Hongkong.

NO	DIMENSI TUBUH	PRIA				WANITA			
		5%	X	95%	S.D	5%	X	95%	S.D
1	Tebal Paha	117	140	163	14	115	140	165	15
2	Jarak dari Pantat ke Lutut	500	545	590	27	488	537	586	30
3	Jarak dari Lipat Lutut ke Pantat	405	450	495	27	488	537	586	30
4	Tinggi Lutut	448	496	544	29	428	472	516	27
5	Tinggi Lipat Lutut	361	403	445	26	337	382	428	28



Gambar 2-7 Antropometri Tubuh Manusia

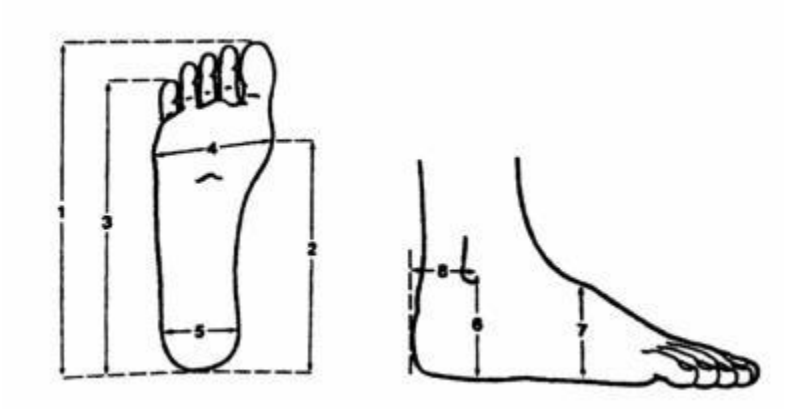
(Nurmianto, 2004)

Dimana X= nilai rata-rata (*mean*), T= nilai standar deviasi (S.D), 5%= nilai 5 persentil, 95%= nilai 95 persentil.

Dalam perancangan KAFO diperlukan antropometri tubuh bagian bawah perut khususnya kaki yang lebih detail seperti yang terlihat pada Tabel 2-3.

Tabel 2-3 Antropometri kaki orang Indonesia yang didapat dari interpolasi data Dempster (1955), Reynolds (1978), dan Nurmianto (1991).

NO	DIMENSI TUBUH	PRIA				WANITA			
		5%	X	95%	S.D	5%	X	95%	S.D
1	Panjang Telapak Kaki	230	248	266	11	212	230	248	11
2	Panjang Telapak Lengan Kaki	165	178	191	8	158	171	184	8
3	Panjang Kaki Sampai Jari Kelingking	186	201	216	9	178	191	204	8
4	Lebar Kaki	82	89	96	4	81	88	95	4
5	Lebar Tangkai Kaki	61	66	71	3	49	54	59	3
6	Tinggi Mata Kaki	61	66	71	3	59	64	69	3
7	Tinggi Bagian Tengah Kaki	68	75	82	4	64	69	74	3
8	Jarak Horisontal Tangkai Mata Kaki	49	52	55	2	46	49	52	2



Gambar 2-8 Antropometri Kaki

(Nurmianto, 2004)

2.2.5 Elemen Mesin

A. Gaya di Panggul dan Paha

Agar tubuh dapat berada dalam keadaan istirahat dan dalam keseimbangan(statik), suatu beban statis adalah suatu gaya atau momen yang bekerja secara diam pada suatu elemen. Agar diam maka gaya atau momen tersebut haruslah mempunyai besaran yang tidak berubah. Titik tangkapnya tidak berubah, dan arahnya tidak berubah (Shigley et al., 1999).

Saat berjalan terdapat saat-saat hanya satu kaki yang menumpu seluruh gaya vertikal kebawah tubuh. Untuk mempertahankan posisi anggota gerak bawah maka diperlukan reaksi terhadap aksi yang diberikan yaitu dengan adanya gaya vertikal keatas pada kaki, yang besarnya setara dengan berat tubuh (Cameron et al., 2013).

Banyak sistem otot dan tulang pada tubuh yang berfungsi sebagai tuas. Dengan adanya tuas pada anggota tubuh memungkinkan adanya momen yang bekerja pada tuas tersebut, momen adalah hubungan antara gaya radial terhadap dengan titik yang menjadi tumpuan, untuk menunjukan hubungan dari parameter diatas maka dibuat persamaan sebagai berikut:

$$\text{Momen Lentur} = \text{Gaya radial} \times \text{Jarak}$$

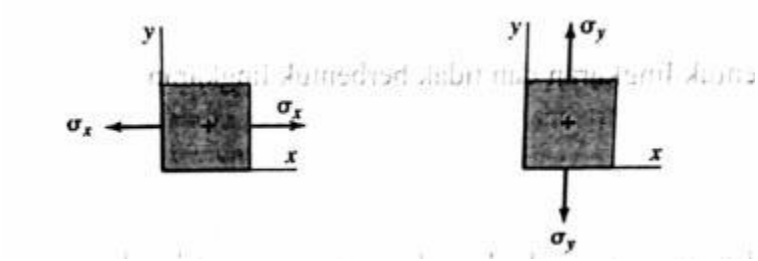
$$M = F \times L \qquad (2.1)$$

B. Tegangan

Salah satu permasalahan dalam perancangan suatu elemen adalah kekuatan dari suatu elemen menahan beban luar yang bekerja padanya, beban luar tersebut yang menyebabkan adanya tegangan dalam pada elemen tersebut (Shigley et al., 1999). Sehingga tegangan dapat didefinisikan sebagai tahanan dalam yang disediakan oleh satu satuan luas bahan kepada beban luar yang diberikan. Salah satu tujuan utama dari analisis tegangan pada suatu elemen adalah menentukan letak titik dengan beban dalam tertinggi pada elemen tersebut. Secara fundamental terdapat dua jenis tegangan (Mott, 2004), yaitu:

Tegangan Normal

Tegangan normal didefinisikan sebagai tegangan yang ada karena arah gaya tegak lurus terhadap permukaan-permukaan elemen yang berlawanan. Tegangan normal menghasilkan dua tegangan yang dipengaruhi arah gaya yang bekerja, yaitu tegangan tarik dan tegangan tekan. Tegangan tarik cenderung meyobek elemen sedangkan tegangan tekan cenderung meremukan elemen (Mott, 2004) seperti yang terlihat pada gambar 2-9.



Gambar 2-9 Tegangan Normal

(Mott, 2004)

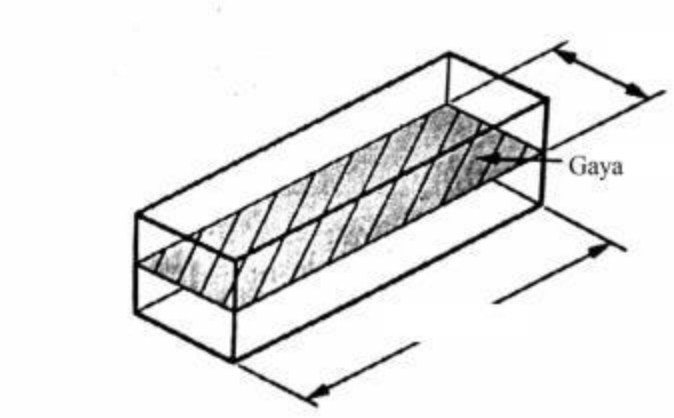
Apabila sebuah elemen mempunyai beban luar yang terdistribusi merata pada keseluruhan luas penampang melintangnya maka besarnya tegangan dapat dihitung dari rumus tegangan normal sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{\text{Gaya}}{\text{Luas}} = \frac{\text{F}}{\text{A}} \qquad (2.2)$$

Tegangan Geser Lurus

Tegangan geser lurus terjadi apabila gaya yang diberikan berkecenderungan memotong material yang dikenai beban (Mott, 2004). Bisa dikatakan tegangan

geser lurus terjadi apabila gaya yang bekerja pada material sejajar dengan luas permukaan bidang kerja, seperti yang terlihat pada gambar 2-10.



Gambar 2-10 Tegangan Geser Pada Paku Keling

(Mott, 2004)

Metode perhitungan tegangan geser lurus serupa dengan metode untuk perhitungan tegangan tarik lurus karena gaya yang diberikan diasumsikan terdistribusi merata pada keseluruhan penampang lintang elemen yang menahan gaya, tetapi jenis tegangan yang digunakan adalah tegangan geser. Dengan demikian, rumus untuk tegangan geser lurus dapat dituliskan:

$$\tau = \frac{\text{Gaya Geser}}{\text{Luas Bidang Geser}} = \frac{F}{A_s} \qquad (2.3)$$

C. *Safety Factor*

Elemen mesin akan mengalami kegagalan jika tegangan yang terjadi lebih besar dari kekuatan material. Begitu juga sebaliknya elemen mesin akan aman jika kekuatan material lebih besar dari tegangan yang terjadi (Sonawan, 2010). Pernyataan tersebut menunjukan adanya hubungan antara kekuatan material dengan tegangan yang terjadi, hubungan keduanya dinyatakan sebagai berikut:

$$F = \frac{\text{Kekuatan Material}}{\text{Tegangan yang Terjadi}} \qquad (2.4)$$

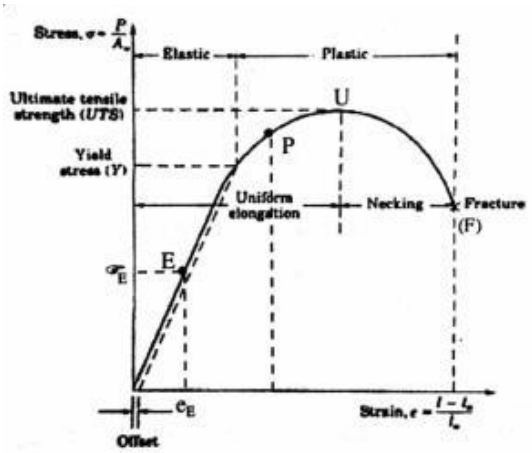
Hubungan diantara kedua variable diatas disebut faktor keamanan (FS). Berdasarkan persamaan diatas suatu elemen mesin dinyatakan aman jika kekuatan material lebih besar dari tegangan yang terjadi. Artinya nilai faktor keamanan juga harus selalu lebih besar dari satu (Sonawan, 2010).

Pada saat berjalan tubuh manusia gaya yang bekerja pada tubuh khususnya anggota gerak tubuh bawah dapat berubah-ubah sesuai dengan kondisi yang mempengaruhi, contoh gaya yang ditimbulkan pada saat berjalan pada kondisi jalan normal berbeda dengan gaya yang ditimbulkan pada saat kondisi jalan yang menurun. Pada saat berjalan gaya yang diterima lutut mencapai 3.9 kali berat tubuh, sedangkan pada jalan yang ekstrim seperti menurun bukit bisa mencapai 8 kali berat tubuh (Kuster et al., 1997).

Secara mendasar kegagalan dari suatu struktur dinyatakan bila stuktur tidak dapat berfungsi lagi dengan baik untuk menerima pembebanan sesuai dengan yang direncanakan. Terdapat beberapa teori kegagalan yang digunakan dalam perancangan, salah satunya adalah *The Maximum Energy of Distortion Theory (Von Mises Theory).* Teori kegagalan ini menyatakan bahwa luluh akan terjadi bila tegangan *octahedral* maksimum yang terjadi melebihi harga limit yang diketahui (Sutikno, 2011). Pada perancangan ini harga limit yang digunakan adalah *yield strenght* (tegangan luluh) dari material.

D. Kekuatan Material

Kekuatan merupakan sifat yang dimiliki oleh setiap material. Kekuatan material bisa diperoleh dari pengujian yang dikenal dengan pengujian tarik, dari pengujian tersebut akan didapatkan hasil berupa kurva uji tarik. Pengujian tarik menggambarkan suatu peristiwa dimana kegagalan material akibat dari pembebanan (Sonawan, 2010). Berikut adalah contoh kurva tegangan regangan:

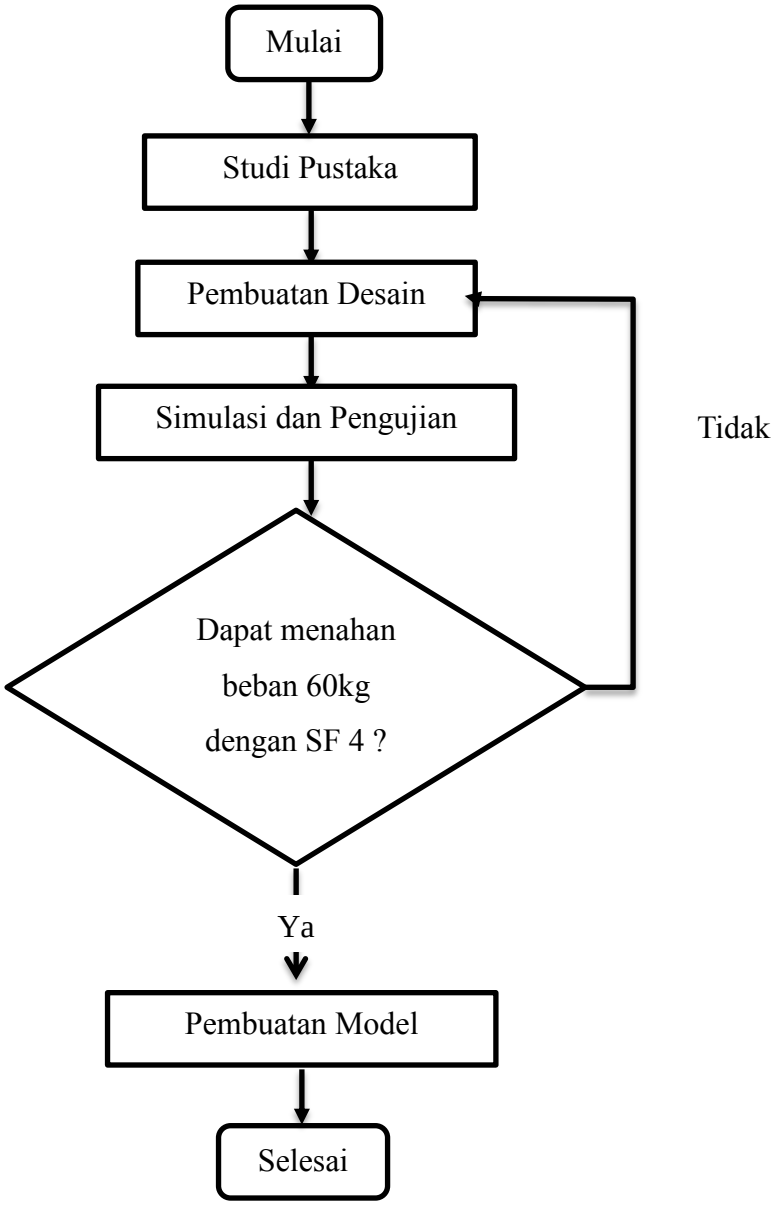


Gambar 2-11 Kurva Tegangan Regangan

Pada dasarnya proses pengujian tarik adalah proses deformasi(perubahan bentuk). Selama kurvanya linier selama itu juga deformasi yang terjadi adalah deformasi elastis(perubahan bentuk sementara), sedangkan dalam kurva yang tidak linier maka deformasi yang terjadi adalah deformasi plastis(perubahan bentuk permanen) seperti yang terlihat pada Gambar 2-11. Dalam perancangan deformasi boleh saja terjadi akan tetapi deformasi yang terjadi dibatasi hanya deformasi elastis bukan deformasi plastis (Sonawan, 2010).

BAB 3
METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

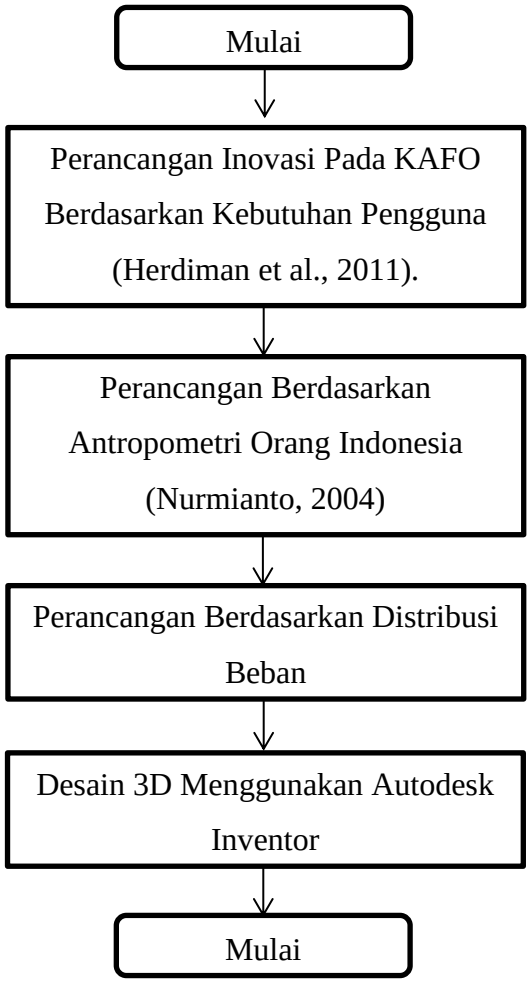


3.1.1 Studi Pustaka

Pada tahapan studi pustaka dilakukan pencarian serta mempelajari penelitian-penelitian sebelumnya (tabel 2-1) yang dapat menjawab permasalahan-permasalahan serta memperkuat perancangan KAFO.

3.1.2 Pembuatan Desain

Pembuatan desain di awali dengan perancangan pada masing-masing part berdasarkan studi pustaka serta dasar teori yang digunakan seperti yang terlihat pada diagram alur berikut.



3.1.3 Simulasi dan Pengujian

Tahapan simulasi serta pengujian dilakukan setelah tahapan desain selesai. Simulasi serta pengujian dilakukan untuk mengetahui distribusi beban yang terjadi pada desain. Jika desain dinyatakan kuat maka akan lanjut ke tahapan pembuatan prototype, jika hasil pengujian tidak dinyatakan kuat maka akan kembali ke tahapan desain untuk diperbaiki.

3.1.4 Pembuatan Model

Tahapan pembuatan model dilakukan setelah hasil simulasi serta pengujian dinyatakan kuat sesuai dengan beban, SF, serta kekuatan material yang digunakan.

3.2 Identifikasi Masalah

KAFO harus dapat mengakomodasi keinginan dari pengguna, seperti yang tercantum dalam tabel 3-1. Yang kemudian disesuaikan berdasarkan antropometri tubuh bagian bawah orang Indonesia serta kesesuaian geometri. *Shank* pada paha dan betis disesuaikan dengan posisi tulang femur dan tulang tibia. Keseuaian geometri pada *knee joint* diukur dari femoralis posterior kondilus yang merupakan titik axis dari gerakan *flexion* dan *extension* pada lutut dengan radius putar pada bagian tersebut 20mm seperti yang terlihat pada gambar 2-5. Serta KAFO harus memperhatikan distribusi gaya yang dihasilkan dari berat tubuh rata-rata orang Indonesia.

3.3 Kriteria Desain

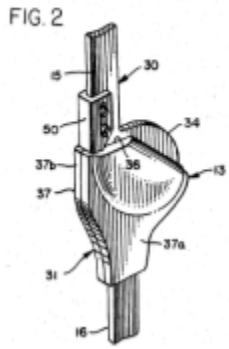
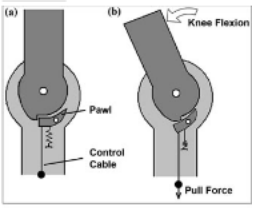
Kriteria desain didapatkan dari studi pustaka yang dilakukan berdasarkan rumusan serta tujuan masalah yang ditentukan. Sehingga didapatkan kriteria dari desain KAFO yang akan dibuat yaitu:

Tabel 3-1 Kriteria Desain

No	Kriteria	Deskripsi
1	Tidak berkarat	Bahan yang digunakan tidak korosif
2	Kuat	KAFO mampu menahan berat rata-rata orang Indonesia sebesar 60kg dengan SF 4 didapatkan dari beban maksimal ketika manusia berjalan normal yaitu 4 kali berat tubuh.
3	Ringan	KAFO mempunyai massa seringan mungkin tanpa menghilangkan faktor kekuatan.
4	Dimensi sesuai dengan Antropometri orang Indonesia	1. Panjang pangkal paha hingga telapak kaki 751mm – 792mm. 2. Axis *knee joint* berada pada femoralis posterior kondilus dengan radius putar pada tulang femur 20mm.

3.4 Referensi Desain

Tabel 3-2 Referensi Desain

No	Part	Referensi Desain	Kelebihan	Kekurangan
1	Shank	 http://ultraflexsystems.com	Pengaturan tinggi pada *shank* dapat presisi karena shank dapat bergeser mengikuti lubang yang ada.	*Shank* hanya bertumpu pada gaya gesek baut yang menahan *shank*. Apabila baut tidak kencang maka *shank* akan bergeser.
2	*Knee joint*	 (Pirmantgen, 1984)	*Knee joint* bagian bawah dapat menopang *knee joint* bagian atas dengan baik.	Tidak ada mekanisme yang digunakan untuk mengunci kedua sisi *knee joint* bagian bawah.
3	Pengunci *Knee Joint*	 (Yakimovich, D. Lemaire, & Kofman, 2009)	*Knee joint* dapat terkunci secara otomatis ketika kembali ke posisi semula.	Tuas kunci berada dibawah *knee joint* sehingga jauh dari jangkauan pengguna.

3.5 Perancangan

3.5.1 Antropometri dan Geometri

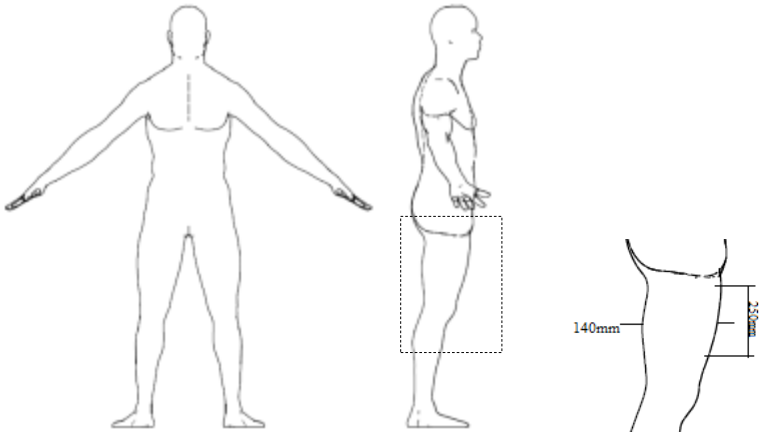
Perancangan diawali dengan merancang bagian-bagian dari KAFO berdasarkan Antropometri tubuh orang Indonesia seperti yang terlihat pada tabel 2-2 dan tabel 2-3. Serta geometri dari masing-masing tulang yang menyusun

anggota gerak tubuh bagian bawah yaitu tulang femur, *knee joint*, dan tulang tibia.

A. *Thigh*

Berdasarkan kriteria desain pada tabel 3-1 desain *thigh* harus dapat menyesuaikan dengan antropometri paha orang Indonesia seperti pada tabel 2-2. Sehingga didapatkan dimensi sebagai berikut:

1. Diameter *thigh* berdasarkan tebal paha: 140mm
2. Panjang *thigh* maksimal berdasarkan sumbu putar lutut ke paha: 250mm



Gambar 3-1 Perancangan *thigh*

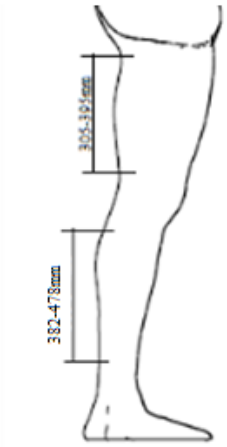
Diameter *thigh* harus menyesuaikan dengan dimensi paha, seperti yang terlihat pada gambar 3-1 paha mempunyai diameter yang berbeda dari pangkal pantat sampai ke lutut. Diameter atas menggunakan nilai pada 95 persentil yaitu 165mm dan diameter bawah menggunakan nilai 5 persentil yaitu 117mm. Penggunaan nilai 5persentil – 95persentil merupakan nilai yang minimum serta maksimum yang tertera pada data Antropometri.

Panjang *thigh* menggunakan nilai 250mm hal tersebut dikarenakan jika *thigh* terlalu panjang tidak dapat menyangga pantat pada bagian atas dan akan mengganggu mekanisme lutut pada bagian bawah.

B. *Shank*

Berdasarkan kriteria desain pada tabel 3-1 desain *shank* harus dapat menyesuaikan dengan antropometri tubuh bagian bawah orang Indonesia seperti

pada tabel 2-2. Seperti yang terlihat pada gambar 2-2 *shank* terbagi menjadi dua yaitu pada bagian paha dan bagian betis. Sehingga didapatkan hasil perancangan sebgai berikut:



Gambar 3-2 Perancangan *Shank*

1. *Shank* bagian paha

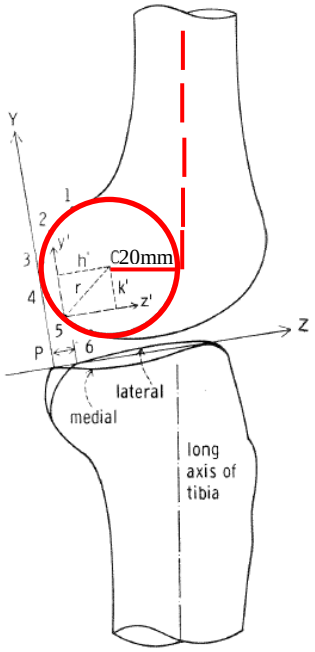
   Panjang *shank* pada bagian paha yaitu 305mm sampai 395mm. Panjang *shank* didapatkan dari 5 persentil sampai 95 persentil panjang lipat lutut sampai pantat. Akan tetapi panjang dikurangi agar dapat berada pada pangkal paha sehingga *thigh* dapat mencekam paha dengan sempurna.

2. *Shank* bagian betis

   Panjang *shank* pada bagian betis yaitu 382mm sampai 478mm. Panjang *shank* didapatkan dari 5 persentil sampai 95 persentil tinggi lutut dikurangi rata-rata tinggi mata kaki yaitu 66mm, hal tersebut dikarenakan *shank* hanya sampai mata kaki yang kemudian akan dilanjutkan oleh *ankle joint*.

C. *Knee Joint*

Knee joint dirancang untuk dapat mengakomodasi gerak dari sendi lutut yaitu *flexion* dan *extension* yang kemudian didasarkan pada geometri *knee joint* dan menentukan axis dari *knee joint* yaitu berada pada femoralis posterior kondilus seperti yang terlihat pada gambar 3-3 dan dengan radius putar dari gerak rotasi pada tulang femur yaitu 20mm.



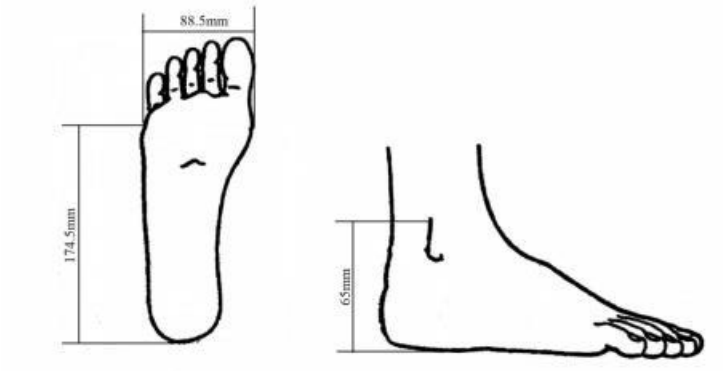
Gambar 3-3 Dimensi *Knee Joint*

D. *Ankle Joint*

Ankle joint dirancang untuk dapat menghubungkan antara *footplate* dengan *shank*. Dimensi dari *ankle joint* dipengaruhi oleh distribusi beban dan material yang diterima dari *shank* yang kemudian akan diteruskan ke *footplate*.

E. *Footplate*

Footplate dirancang sesuai dengan antropometri kaki orang Indonesia seperti yang terdapat pada tabel 2-3. Sehingga didapatkan hasil seperti pada gambar 3-4 sebagai berikut:

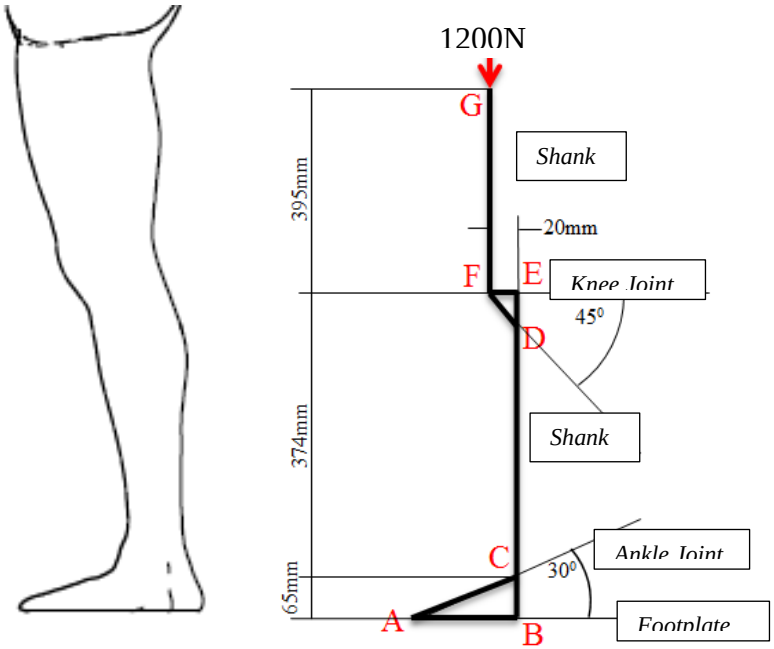


Gambar 3-4 Perancangan *Footplate*

1. Tinggi *Footplate* : 66mm yang merupakan nilai rata-rata dari tinggi mata kaki orang Indonesia.
2. Panjang *FootPlate* : 174.5mm yang merupakan nilai rata-rata dari panjang telapak kaki orang Indonesia.
3. Lebar *Footplate* : 88.5 yang merupakan nilai rata-rata dari lebar telapak kaki orang Indonesia.

3.5.2 Berdasarkan Distribusi Beban

KAFO dimaksudkan untuk menjaga kaki tetap pada posisi statis saat bekerja. Pada posisi statis beban yang diterima KAFO sama dengan berat tubuh pengguna. Dan pada saat berjalan beban yang diterima kaki adalah 3.9 kali berat tubuh. Sehingga beban yang digunakan pada perancangan adalah 60kg berdasarkan pada berat rata-rata orang Indonesia dengan SF 4 berdasarkan pada beban yang diterima KAFO saat berjalan(Kuster et al., 1997). Berdasarkan pada penjelasan diatas dan perancangan berdasarkan antropometri serta geometri anggota tubuh bagian bawah maka didapatkan distribusi gaya sebagai berikut:



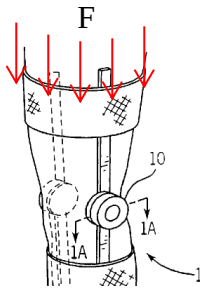
Gambar 3-5 Distribusi Beban

Seperti yang terlihat pada gambar 2-2 KAFO bekerja dengan 2 penyangga yaitu penyangga bagian dalam dan bagian luar. Sehingga beban yang diterima pada paha terbagi menjadi dua yaitu bagian penyangga dalam dan luar. Untuk

mempermudah perancangan pada masing-masing part maka bagian KAFO di bagi menjadi dua yaitu kanan dan kiri dengan penampang melintang seperti yang terlihat pada gambar 3-5.

A. Beban Pada *Thigh*

Thigh merupakan bagian dari KAFO yang langsung menerima distribusi beban pada bagian paha. *Belt* merupakan bagian penting dari *thigh* yang berguna untuk menopang paha secara langsung seperti yang terlihat pada gambar 3-6.



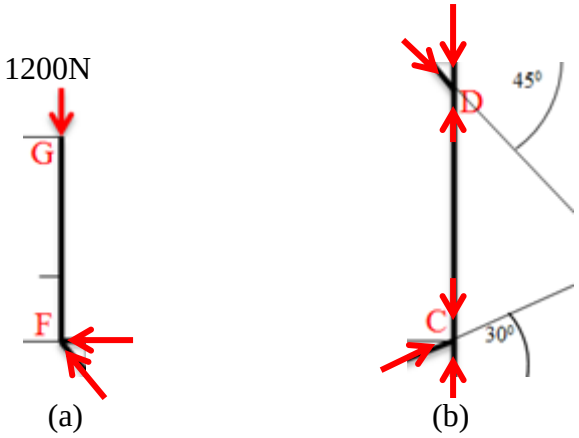
Gambar 3-6 Gaya Pada *Belt*

(M. Naft, S. Newman, & Heights, 2004)

Bagian bantalan *thigh* juga berperan penting sebagai penghubung *belt* dengan *shank* paha yang kemudian dikunci menggunakan baut seperti yang terlihat pada gambar 2-1. Sehingga perlu dilakukan perhitungan guna mengetahui tegangan yang terjadi pada lubang baut *thigh* serta baut penghubung antara *thigh* dengan *shank* paha.

B. Beban Pada *Shank*

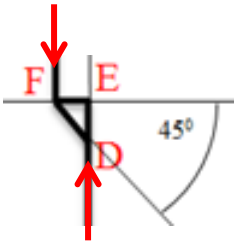
Shank berfungsi untuk meneruskan gaya dari part KAFO satu ke part yang lain seperti yang terlihat pada gambar 2-1. *Shank* terbagi menjadi 2 yaitu *shank* paha juga *shank* betis. Pada gambar 3-7 *shank* paha diasumsikan sebagai batang G-F dan *shank* betis diasumsikan sebagai batang D-C. Kedua *shank* diasumsikan menerima gaya vertical kebawah sebesar 1200N. Sehingga perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui luas penampang minimal dari *shank* serta diameter minimal lubang baut agar shank aman pada saat digunakan.



Gambar 3-7 Beban Pada *Shank*

C. Beban Pada *Knee Joint*

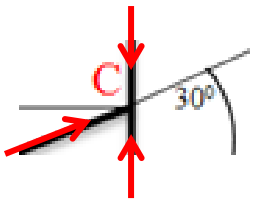
Knee joint mempunyai beberapa bagian penting yang harus diperhitungkan dalam perancangan. Pertama adalah *shaft, shaft* mempunyai fungsi sebagai sumbu putar pada *knee joint*. Yang kedua bagian sambungan *knee joint* yang menghubungkan *knee joint* dengan *shank*. Pada gambar 3-8 *shaft* berada pada simpul E. dan bagian sambungan pada *knee joint* baik atas maupun bawah diasumsikan menjadi satu dengan *shank* pada saat dikenai gaya.



Gambar 3-8 Beban Pada *Knee Joint*

D. Beban Pada *Ankle Joint*

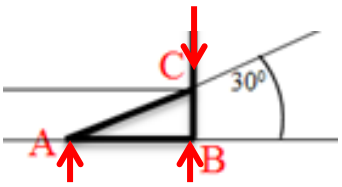
Ankle joint mendistribusikan gaya dari *shank* betis yang kemudian diteruskan ke bagian *footplate*. Pada gambar 3-9 *ankle joint* berada pada simpul C. Dalam perancangan *ankle joint* perlu memperhitungkan tegangan yang terjadi pada simpul C guna mengetahui perancangan yang aman pada sambungan *ankle joint.* Terdapat dua sambungan pada *ankle joint* yang pertama sambungan antara *ankle joint* dengan *shank* betis, dan yang kedua sambungan antara *ankle joint* dengan *footplate.*



Gambar 3-9 Beban Pada *Ankle Joint*

E. Beban Pada *Footplate*

Perancangan *footplate* bertujuan untuk mengetahui luas penampang minimal pada batang *footplat*. Pada gambar 3-10 batang *footplate* diasumsikan sebagai batang A-C dan C-B dengan simpul A serta B sebagai tumpuan dari KAFO pada saat digunakan. Sehingga simpul A serta B memberikan reaksi vertikal ketas pada KAFO.



Gambar 3-10 Beban Pada *Footplate*

3.5.3 Simulasi dan Pengujian

Simulasi dan Pengujian yang dilakukan merupakan pengujian statis dengan menggunakan *software* Autodesk Inventor. Pengujian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui keberhasilan perancangan serta distribusi tegangan yang terjadi pada keseluruhan KAFO.

Pengujian dilakukan dengan pemodelan paha seperti pada gambar 3-6 yang kemudian dipasangkan pada *thigh* KAFO dan diberikan gaya sebesar 2400N dengan arah vertikal kebawah sesuai dengan arah grafitasi. Gaya yang digunakan di asumsikan berat rata-rata orang Indonesia sebesar 60kg dikali *Safety Factor* 4. Bagian bawah *footplate* digunakan sebagai tumpuan. Dengan *bonded* digunakan sebagai kontak pada masing-masing part dari pemodelan KAFO.

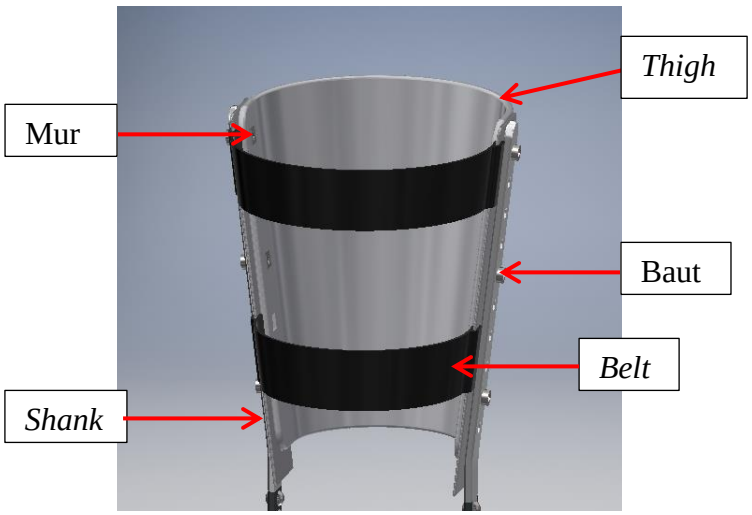
BAB 4
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan Desain KAFO

Hasil perancangan KAFO telah melalui beberapa tahapan seperti yang terlihat pada alur penelitian. Studi pustaka merupakan dasar penelitian yang menjawab permasalahan-permasalahan pada perancangan KAFO. Dari hasil studi pustaka maka dilakukan perancangan KAFO sesuai dengan kebutuhan berdasarkan pada studi pustaka serta perancangan yang sudah dilakukan. Sehingga didapatkan hasil perancangan sebagai berikut:

4.1.1 *Thigh*

Thigh mempunyai fungsi untuk dapat menahan paha pada saat KAFO digunakan serta *thigh* dirancang agar dapat menyesuaikan antropometri dari pengguna, baik lebar lingkar *thigh* maupun posisi tinggi *thigh* terhadap paha. Sehingga didapatkan hasil perancangan seperti pada gambar 4-1.



Gambar 4-1 Hasil Perancangan *Thigh*

Untuk dapat mengakomodasi lebar paha yang bervariasi dari pengguna maka *thigh* dirancang menggunakan *belt* yang dapat memanjang serta memendek seperti yang terlihat pada gambar 4-2.



Gambar 4-2 Hasil Prototipe *Thigh*

Terdapat beberapa part pada *thigh* yang mempunyai fungsi serta kegunaan masing-masing. Setiap part harus diperhitungkan sesuai dengan distribusi beban dan dimensi yang digunakan sehingga didapatkan perhitungan masing-masing part sebagai berikut:

A. *Belt*

Tabel 4-1 Spesifikasi *Belt* Serat Polyester

No	Jenis	Kekuatan Tarik	Lebar	Tebal
1	Serat Polyester	260Mpa	47mm	2mm

Belt pada *thigh* digunakan untuk menopang berat tubuh yang terdistribusi melalui paha pengguna, untuk selanjutnya gaya diteruskan ke KAFO. Sehingga gaya pada *belt* diasumsikan sebagai berat badan rata-rata orang Indonesia dengan SF 4 seperti yang terlihat dalam kriteria desain (tabel 3-1). Sehingga didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\text{Kekuatan} > \text{Beban}$$

$$260\text{Mpa} > \frac{F \times SF}{A}$$

$$A > \frac{2400\text{N mm}^2}{260\text{N}}$$

$$A > 9.23\ \text{mm}^2$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka didapatkan luas permukaan melintang pada sabuk harus lebih besar dari 9.23mm^2. Pada tabel 4-1 tebal *belt* sudah ditentukan sehingga perhitungan selanjutnya bertujuan untuk mencari lebar minimal pada *belt.* Sehingga didapatkan hasil sebagai berikut:

$$A > 9.23mm^2$$

$$Lebar \times Tebal > 9.23mm^2$$

$$Lebar > \frac{9.23mm^2}{2mm}$$

$$Lebar > 4.615mm$$

Lebar minimal pada *belt* adalah 4.615mm sedangkan lebar *belt* dari pasaran adalah 47mm sehingga *belt* dinyatakan aman menggunakan lebar *belt* pada pasaran.

B. Lubang Baut Pada *Thigh*

Tabel 4-2 Sifat Material Polypropylene

(Mott, 2004)

No	Jenis	Kekuatan Tarik	Tegangan Luluh
1	Nylon	30Mpa	2900Mpa

Perhitungan lubang baut dimaksudkan untuk mengetahui diameter minimal pada lubang baut yang menghubungkan *thigh* pada *shank* berdasarkan pada beban yang diterima. Sehingga didapatkan hasil sebagai berikut:

$$Kekuatan > Beban$$

$$30Mpa > \frac{F \times SF}{A}$$

$$A > \frac{2400N\ mm^2}{30N}$$

$$A > 80mm^2$$

Lubang baut pada *thigh* diasumsikan 4 lubang, 2 lubang pada masing-masing sisi kiri dan kanan. Hal tersebut dimaksudkan agar *thigh* terkunci pada posisi atas dan bawah. *Thigh* diasumsikan setebal 3mm sehingga didapatkan diameter minimal lubang sebagai berikut:

$$A > 80mm^2$$

$$n \times d \times t > 80mm^2$$

$$4 \times d \times 3 > 80mm^2$$

$$d > 6.6mm$$

Dari perhitungan diatas didapatkan diameter minimal lubang baut pada *thigh* adalah $6.6mm^2$.

C. Baut

Tabel 4-3 Sifat Material Stainless Steel Austenitik 304

(Mott, 2004)

No	Jenis	Kekuatan Tarik	Tegangan Luluh
1	Stainless Steel Austenitik 304	552Mpa	207Mpa

Baut digunakan untuk menghubungkan antara *thigh* dengan *shank.* Dan perhitungan dimaksudkan untuk mencari diameter minimal baut dengan material pada tabel 4-3. Sehingga didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\text{Kekuatan} > \text{Beban}$$

$$207Mpa > \frac{F \times SF}{A}$$

$$A > \frac{2400N \ mm^2}{207N}$$

$$A > 11.59mm^2$$

Jumlah baut disesuaikan dengan jumlah lubang pada *thigh* yaitu 4 baut. Sehingga didapatkan hasil perancangan sebagai berikut:

$$A > 11.59mm^2$$

$$n \times \frac{1}{4}\pi \times d^2 > 11.59mm^2$$

$$d^2 > \frac{11.59mm^2 \times 4}{3.14 \times 4}$$

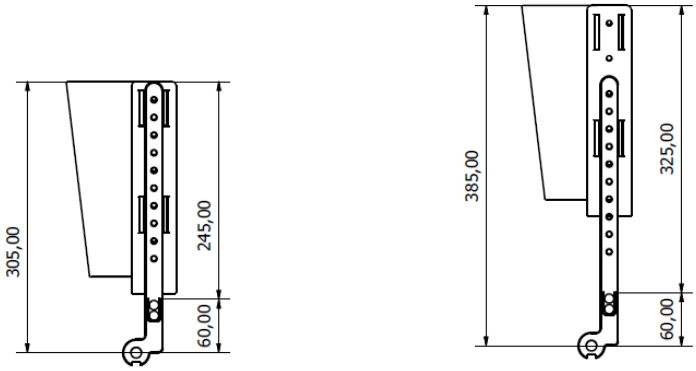
$$d > \sqrt{3.7}$$

$$d > 1.92mm$$

Dari perhitungan diatas didapatkan diameter minimal baut dengan material stainless steel adalah 1.92mm.

4.1.2 *Shank*

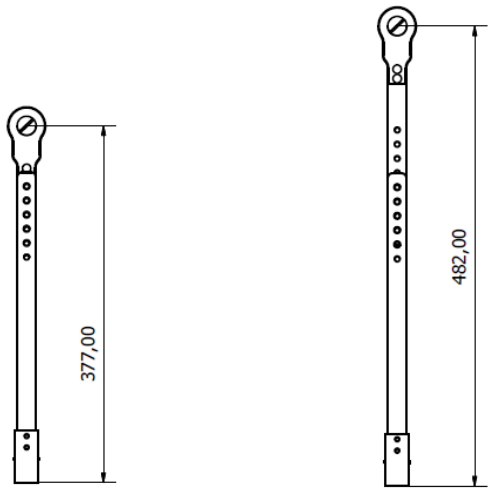
Seperti yang terlihat pada gambar 2-1 *shank* terbagi menjadi dua yaitu *shank* paha dan juga *shank* betis. Panjang *shank* paha diukur dari sumbu putar *knee joint* sampai pada pangkal paha bagian atas. Sehingga didapatkan hasil panjang minimum serta maksimum seperti pada gambar 4-3.



Panjang minimum 305mm Panjang maksimum 385mm

Gambar 4-3 Dimensi *Shank* Paha

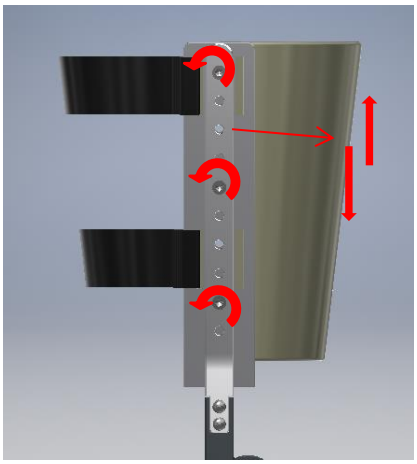
Shank betis juga mempunyai fungsi yang sama dengan *shank* paha yaitu digunakan untuk mengatur ketinggian pada KAFO. Sehingga mekanisme pengaturan ketinggian pada *shank* paha dan betis hampir sama tetapi dengan dimensi yang berbeda. Sehingga didapatkan hasil seperti yang terlihat pada gambar 4-4.



Panjang minimum 377mm Panjang maksimum 482mm

Gambar 4-4 Dimensi *Shank* Betis

Kedua *shank* mempunyai fungsi serta mekanisme yang sama guna mengatur ketinggian pada keseluruhan KAFO. Pengaturan ketinggian pada *shank* menggunakan mekanisme lubang-lubang pada *shank* yang kemudian posisi lubang akan diatur sesuai dengan kebutuhan pengguna seperti yang terlihat pada gambar 4-5. Untuk selanjutnya lubang akan dikunci menggunakan baut.



Gambar 4-5 Mekanisme Pengatur Ketinggian *Shank* Paha

Shank mempunyai fungsi untuk menopang tubuh pengguna, sehingga perlu diperhatikan dimensi pada *shank* harus sesuai dengan tegangan yang terjadi pada *shank*, baik pada batang serta tegangan pada lubang baut guna menjamin kekuatan KAFO pada saat digunakan. Sehingga didapatkan hasil perhitungan pada masing-masing bagian sebagai berikut:

A. Luas Penampang *Shank*

Shank dirancang menggunakan material alumunium 6061 dengan tegangan luluh 275Mpa, spesifikasi seperti yang terlihat pada gambar 4-7 berikut:

Tabel 4-4 Material Alumunium 6061

No	Jenis	Kekuatan Tarik	Tegangan Luluh	Dimensi (Lebar x Tebal)
1	Alumunium 6061	310Mpa	276Mpa	25mm x 5 mm

Berdasarkan material pada tabel 4-4 dan distribusi beban pada gambar 3-4 maka didapatkan hasil perhitungan luas penampang *shank* sebagai berikut:

$$\text{Kekuatan} > \text{Beban}$$

$$276\text{Mpa} > \frac{F \times SF}{A}$$

$$A > \frac{1200\text{N mm}^2}{276\text{N}}$$

$$A > 4.34\text{mm}^2$$

B. Perancangan Lubang Baut Pada *Shank*

Perhitungan lubang baut pada shank dimaksudkan untuk memastikan diameter minimal lubang baut agar shank aman saat digunakan. Maka didapatkan hasil analisis tegangan lubang baut pada *shank* sebagai berikut:

$$\text{Kekuatan} > \text{Beban}$$

$$276\text{Mpa} > \frac{F \times SF}{A}$$

$$A > \frac{1200\text{N mm}^2}{276\text{N}}$$

$$A > 4.34\text{mm}^2$$

Jumlah lubang baut disesuaikan dengan jumlah baut pada perancangan *thigh* yaitu dua baut pada masing-masing sisinya dan dengan ketebalan alumunium sesuai dengan spesifikasi alumunium 6061 yaitu 5mm.

$$A > 4.34\text{mm}^2$$

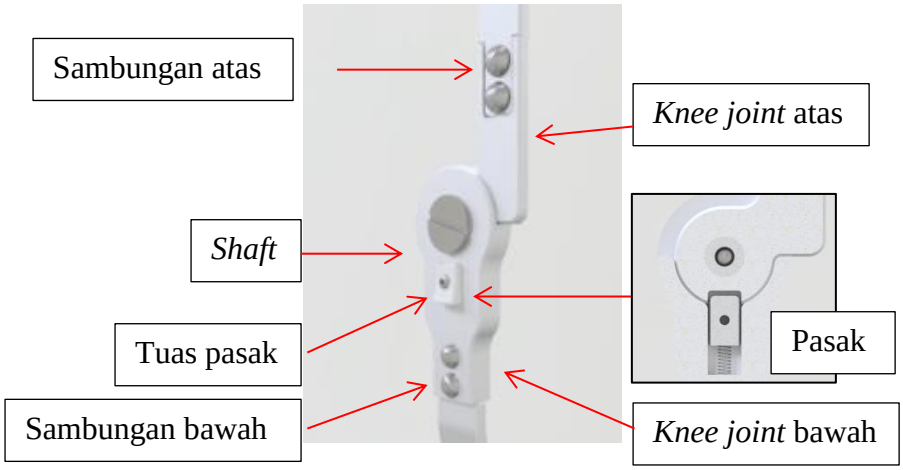
$$n \times d \times t > 4.34\text{mm}^2$$

$$2 \times d \times 5 > 4.34\text{mm}^2$$

$$d > 0.434\text{mm}$$

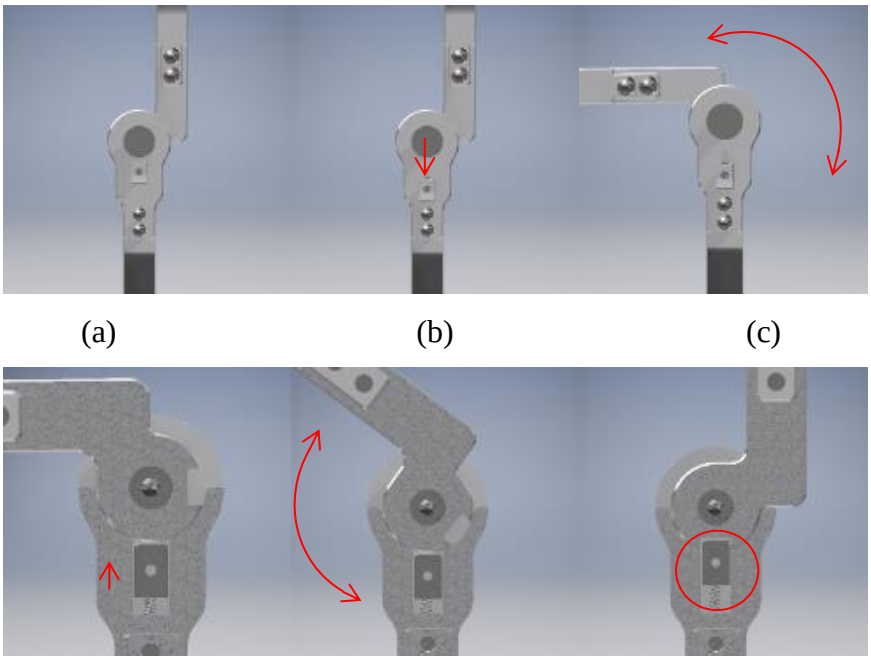
4.1.3 *Knee Joint*

Knee joint mempunyai fungsi ganda yaitu untuk mengunci KAFO pada saat pengguna berdiri serta sebagai sumbu putar pada saat lutut bergerak. Dimensi pada *knee joint* menyesuaikan dengan sumbu putar pada lutut. Sehingga didapatkan hasil perancangan *knee joint* sepert pada gambar 4-6.



Gambar 4-6 *Knee Joint*

Lutut mempunyai sendi engsel yang memungkinkan tulang-tulang penyusun lutut dapat bergerak sesuai dengan sendi yang bekerja. Seperti yang sudah dijelaskan pada dasar teori gerak lutut terbagi menjadi gerak *extension* dan *flexion.* Akan tetapi *knee joint* juga mempunyai fungsi untuk mengunci lutut pada saat KAFO digunakan untuk berjalan atau berdiri. Mekanisme pengunci pada *knee joint* dirancang berdasarkan kemudahan bagi pengguna baik pada saat melakukan *flexion* maupun *extension.* Sehingga didapatkan perancangan seperti pada gambar 4-7.



(a) (b) (c)

(d) (e) (f)

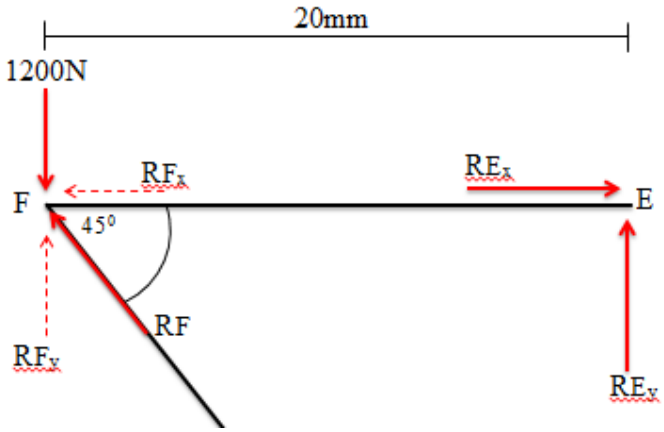
Gambar 4-7 Perancangan Pengunci *Knee Joint*

Pada saat KAFO digunakan posisi *knee joint* harus pada posisi lurus seperti pada gambar 4-7 (a). Untuk dapat mengakomodasi gerak *flexion* pada lutut maka mekanisme yang dilakukan pertama adalah menggeser tuas ke arah bawah seperti pada gambar 4-7 (b). Sehingga pengunci yaitu pasak dapat terbuka sehingga pengguna dapat melakukan gerak *flexion* seperti yang terlihat pada gambar 4-7(c). Pada gambar 4-7(d) menunjukan *spring* akan menekan pasak ke arah *knee joint* atas. Sehingga pada saat pengguna melakukan gerak *extension spring* akan menekan pasak ke arah *knee joint* bagian atas seperti terlihat pada gambar 4-7(e). Maka ketika *knee joint* pada posisi lurus pasak akan masuk ke lubang pasak *knee joint* atas seperti pada gambar 4-7(f), sehingga *knee joint* akan terkunci.

Pada *knee joint* terdapat dua bagian yang diperhitungkan berdasarkan distribusi beban guna menjamin kekuatan pada saat KAFO digunakan. Yaitu bagian *shaft* dan sambungan pada *knee joint*. Sehingga didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut:

A. Perancangan *Shaft*

Shaft merupakan bagian yang digunakan menjadi sumbu putar pada KAFO untuk melakukan gerak *extension* dan *flexion*. Sehingga diperlukan material dengan nilai kekuatan dan kekerasan yang tinggi, hal tersebut karena pada saat gerak *extension* dan *flexion shaft* harus mampu menahan gesekan. Berdasarkan pada gambar 3-4 *shaft* berada pada simpul E. Nilai tegangan pada simpul E didapatkan melalui analisis sebagai berikut:



$$\sum F_y = 0$$

$$RF_y + RE_y - 1200N = 0$$

$$RF_y + RE_y = 1200N$$

$$\sum F_x = 0$$

$$RF_x + RE_x = 0$$

$$\sum M_E = 0$$

$$RF_y \times 20mm - 1200N \times 20mm = 0$$

$$RF_y = \frac{24000N.mm}{20mm}$$

$$RF_y = 1200N$$

$$RF_y = RF \times \sin 45^0$$

$$1200N = RF \times \frac{1}{2}\sqrt{2}$$

$$\frac{2400N}{\sqrt{2}} = RF$$

$$1714.3N = RF$$

$$RF_x = RF \times \cos 45^0$$

$$RF_x = RF \times \frac{1}{2}\sqrt{2}$$

$$RF_x = 1714.3 \times \frac{1}{2}\sqrt{2}$$

$$RF_x = 1200N$$

Berdasarkan nilai tegangan yang didapat dari analisis diatas maka dilakukan perancangan *shaft* guna mengetahui diameter minimal yang digunakan. Sehingga didapat hasil perancangan sebagai berikut:

$$\text{Kekuatan} > \text{Beban}$$

$$207Mpa > \frac{F \times SF}{A}$$

$$A > \frac{1200N \ mm^2}{207N}$$

$$A > 5.79 \ mm^2$$

Dari luas permukaan yang didapat selanjutnya mencari diameter minimal *shaf*, sehingga didapatkan hasil sebagai berikut:

$$A > 5.79mm^2$$

$$\frac{1}{4}\pi \times d^2 > 5.79mm^2$$

$$d^2 > \frac{5.79mm^2 \times 4}{3.14}$$

$$d^2 > 7.38$$

$$d^2 > \sqrt{7.38}$$

$$d > 2.7mm$$

B. Perancangan Sambungan Pada *Knee Joint*

Sambungan pada *knee joint* meneruskan gaya dari *shank* dengan gaya 1200N. Material *knee joint* yaitu besi cor mampu tempa dengan sifat material pada tabel 4-5. Pemilihan material berdasarkan pada proses *manufacturing knee joint* yaitu dengan cara pengecoran. Sehingga didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4-5 Sifat Material Besi Cor

(Mott, 2004)

No	Jenis	Kekuatan Tarik	Tegangan Luluh
1	Besi Cor	345Mpa	221Mpa

$$Kekuatan > Beban$$

$$221Mpa > \frac{F \times SF}{A}$$

$$A > \frac{1200N \ mm^2}{221N}$$

$$A > 5.43 \ mm^2$$

Dari luas permukaan minimal diatas maka dapat dicari diameter minimal lubang pada sambungan *knee joint*. Sehingga didapatkan hasil sebagai berikut:

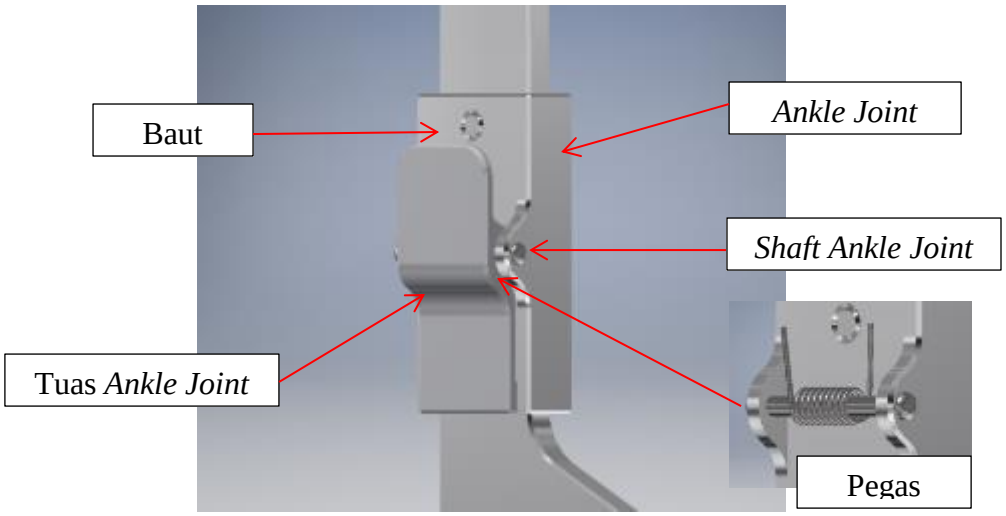
$$A > 5.43mm^2$$

$$2 \times d \times 2.5 > 5.43mm^2$$

$$d > 1.086mm$$

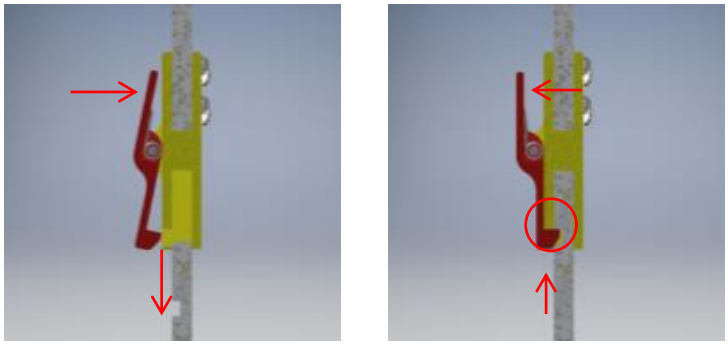
4.1.4 *Ankle Joint*

Ankle Joint berfungsi untuk menghubungkan *Shank* betis dengan *Footplate*. *Ankle joint* dirancang agar dapat melepas serta memasang fooplate dengan mudah. Sehingga didapatkan perancangan seperti yang terlihat pada gambar 4-8.



Gambar 4-8 *Ankle Joint*

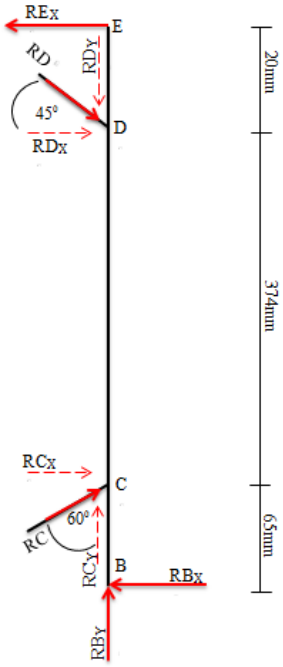
Tuas *ankle joint* berfungsi untuk mengunci pada saat footplate terpasang seperti yang terlihat pada gambar 4-9. Untuk dapat melepas *footplate* maka tuas ditekan kearah dalam sehingga ujung tuas akan terangkat dan melepaskan *footplate* seperti yang terlihat pada gambar 4-9 (a). Tuas dirancang agar selalu pada kondisi semula dengan menfaatkan mekanisme pengungkit serta pegas seperti yang terlihat pada gambar 4-8. Dengan begitu pada saat pemasangan *footplate*, pengguna cukup memasukan ujung atas *footplate* pada lubang bawah *ankle joint* dan menekan *footplate* ke atas dan ujung tuas akan masuk ke dalam lubang pada *footplate* maka *footplate* akan terkunci secara otomatis seperti yang terlihat pada gambar 4-9 (b).



(a) (b)

Gambar 4-9 Mekanisme Pengunci *Fooplate*

Dalam perancangan *ankle joint* perlu memperhitungkan distribusi tegangan yang terjadi *ankle joint* guna mengetahui perancangan sambungan yang aman pada saat KAFO digunakan. Sehingga didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut:



- $RE_x = 1200N$
- $RD_x = 1200N$
- $RD_y = 1200N$

$$\sum F_y = 0$$

$$RD_y - RC_y - RB_y = 0$$

$$RC_y + RB_y = 1200N$$

$$\sum F_x = 0$$

$$RD_x + RC_x - RE_X - RB_x = 0$$

$$RC_x - RB_x = RE_x - RD_x$$

$$RC_x - RB_x = 1200N - 1200N$$

$$RC_x - RB_x = 0$$

$$RC_x = RB_x$$

$$\sum M_B = 0$$

$$RD_x \times 439mm - RE_x \times 459mm + RC_x \times 65mm - RB_x \times 0 = 0$$

$$RC_x \times 65mm = RE_x \times 459mm - RD_x \times 439mm$$

$$RC_x \times 65mm = 1200N \times 459mm - 1200N \times 439mm$$

$$RC_x = \frac{24000Nmm}{65mm}$$

$$RC_x = 369.2N$$

Dari hasil analisis gaya diatas maka dapat diketahui gaya pada *ankle joint* 369.2N pada sumbu x dan 1200N pada sumbu y. sambungan *ankle joint* menggunakan mekanisme baut. Dalam perancangan baut mengunakan gaya 1200N, hal tersebut dimaksudkan untuk menjamin keamanan sambungan. Material menggunakan stainless steel dengan sifat material pada tabel 4-3. Maka didapatkan hasil perancangan baut pada sambungan *ankle joint* sebagai berikut:

$$\text{Kekuatan} > \text{Beban}$$

$$221Mpa > \frac{F \times SF}{A}$$

$$A > \frac{1200\ N\ mm^2}{207N}$$

$$A > 5.43\ mm^2$$

Lubang pada baut diasumsikan berjumlah dua, hal tersebut dimaksudkan untuk menghindari adanya gaya momen pada sambungan. Sehingga didapatkan diameter baut sebagai berikut:

$$A > 5.43mm^2$$

$$n \times \frac{1}{4}\pi \times d^2 > 5.43mm^2$$

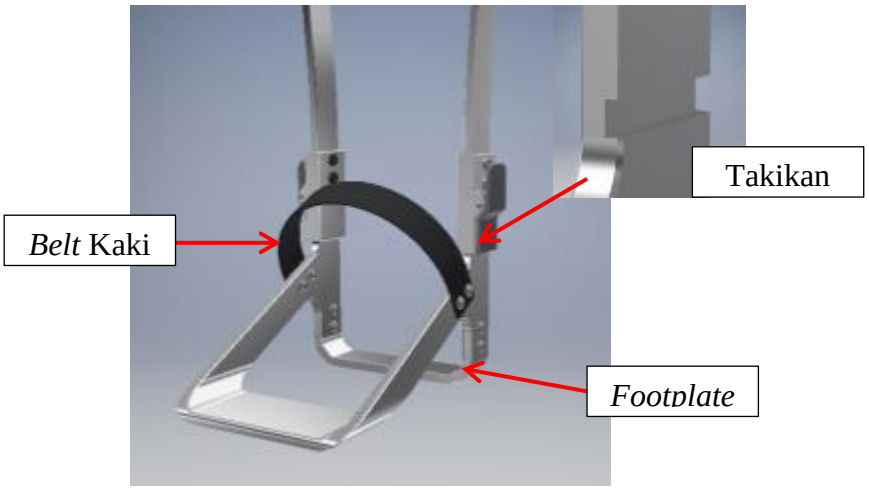
$$d^2 > \frac{5.43\text{mm}^2 \times 4}{3.14 \times 2}$$

$$d > \sqrt{3.5}$$

$$d > 1.87\text{mm}$$

4.1.5 *Footplate*

Footplate mempunyai fungsi untuk menopang seluruh part KAFO, serta menahan kaki sampai ke mata kaki. *Footplate* menggunakan material alumunium 6061 serta dimensi yang disesuaikan dengan antropometri kaki rata-rata orang Indonesia, sehingga didapatkan hasil perancangan seperti pada gambar 4-10.



Gambar 4-10 Hasil Perancangan *Footplate*

Dimensi *footplate* berdasarkan antropometri rata-rata kaki orang Indonesia seperti yang terlihat pada gambar 3-4. *Footplate* harus menyesuaikan ukuran kaki dari masing-masing pengguna karena adanya keterbatasan *footplate* tidak mempunyai fitur untuk mengatur dimensi. Pada bagian atas *footplate* terdapat takikan yang digunakan untuk mendukung salah satu fungsi dari *ankle joint* yaitu mudah diapasang serta dilepas seperti yang terlihat pada gambar 4-9. Hal tersebut dimaksudkan agar pengguna dapat memilih ukuran *footplate* yang sesuai dengan ukuran kaki pengguna serta dapat menyesuaikan pada KAFO.

Dalam perancangan *footplate* perlu diperhitungkan kekuatan pada batang *footplate* dengan berdasarkan distribusi beban yang ada. Berdasarkan gambar 3-4 batang *footplate* diasumsikan sebagai batang A-C dan B-C, terlihat pada hasil

perhitungan *ankle joint* gaya yang bekerja pada batang B-C yang diasumsikan dengan gaya RBy memiliki gaya sebesar 1200N. Gaya pada batang B-C dipilih sebagai beban yang bekerja pada perancangan *footplate* karena merupakan gaya terbesar yang bekerja pada simpul C. pemilihan nilai gaya terbesar bertujuan untuk memastikan keamanan KAFO. Perancangan menggunakan material alumunium 6061 seperti yang terlihat pada tabel 4-4. Sehingga didapatkan hasil perancangan sebagai berikut:

$$\text{Kekuatan} > \text{Beban}$$

$$207\text{Mpa} > \frac{F \times SF}{A}$$

$$A > \frac{1200\text{N} \ \text{mm}^2}{276\text{N}}$$

$$A > 4.34\ \text{mm}^2$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka diperlukan minimal luas penampang pada batang *footplate* sebesar 4.34mm^2.

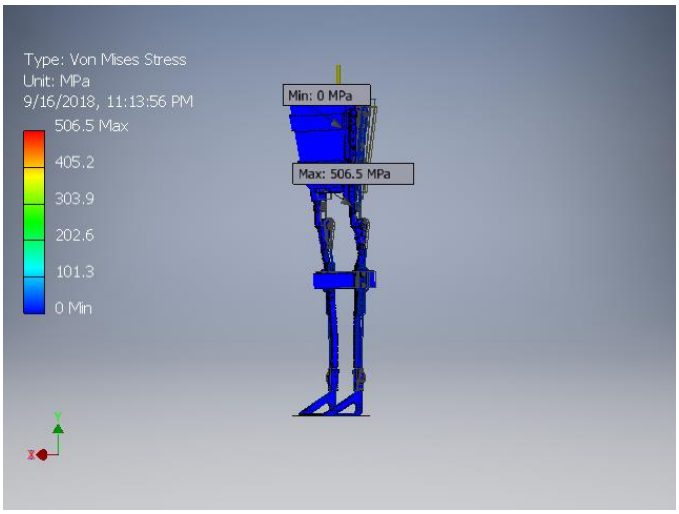
4.1.6 Hasil Pengujian Desain KAFO

Berdasarkan perancangan serta perhitungan maka didapatkan hasil perancangan KAFO 1 seperti pada gambar 4-11.



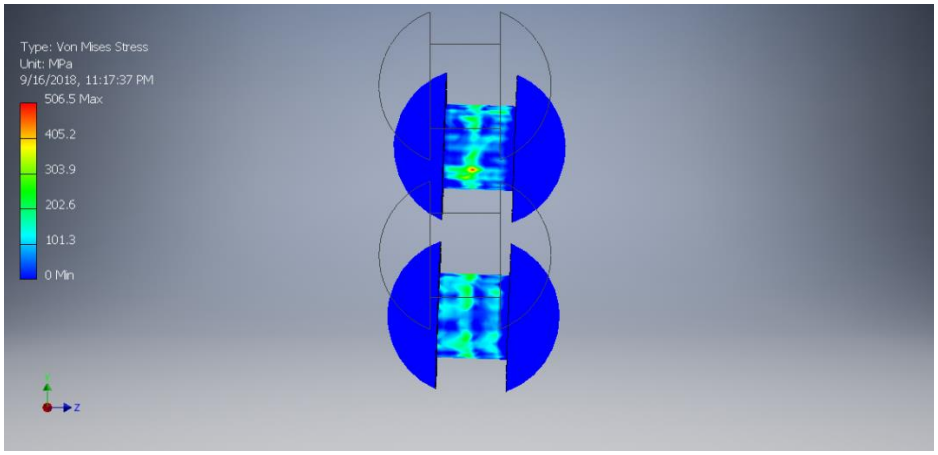
Gambar 4-11 Hasil Desain KAFO 1

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kekuatan perancangan KAFO. Pengujian dilakukan menggunakan pemodelan pada *software* Inventor. Pengujian menggunakan beban 2400N dengan pemodelan seperti yang terlihat pada gambar 3-7. Sehingga didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 4-12 Hasil Pengujian Desain 1

Pengujian desain 1 menghasilkan tegangan maksimum 506.5MPa pada keling sambungan *knee joint* atas seperti yang terlihat pada gambar 4-13.



Gambar 4-13 Tegangan Pada Keling Desain 1

Pada desain KAFO 1 bagian keling *knee joint* atas menggunakan material seperti pada tabel 4-6 sebagai berikut:

Tabel 4-6 Material Keling

Name	Stainless Steel, Austenitic	
General	Mass Density	8 g/cm^3
	Yield Strength	228 MPa
	Ultimate Tensile Strength	540 MPa
Stress	Young's Modulus	190.3 GPa
	Poisson's Ratio	0.305 ul
	Shear Modulus	72.9119 GPa
Part Name(s)	keling 5 keling 5 keling 5 keling 5	

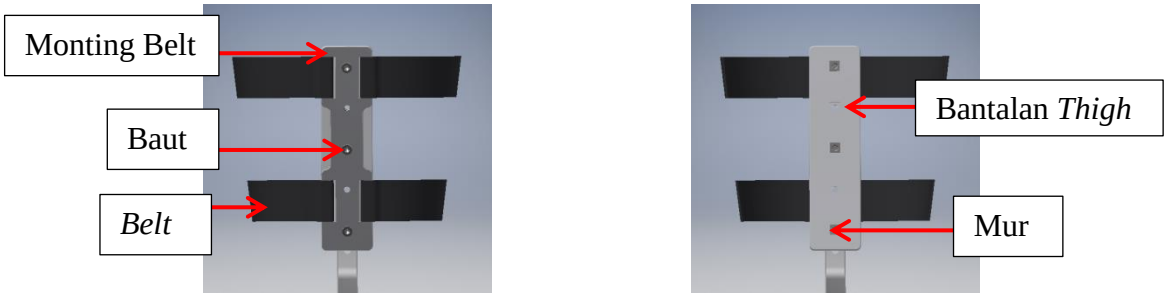
Hasil pengujian diatas menunjukan tegangan maksimum yang terjadi pada desain KAFO 1 terjadi pada keling *knee joint* atas sebesar 506.5MPa. Berdasarkan dasar teori dijelaskan kegagalan pada struktur akan terjadi jika tegangan maksimal *von mises* melebihi tegangan luluh material. Sehingga dapat disimpulkan desain KAFO 1 gagal pada bagian keling *knee joint* atas. Struktur *thigh* pada desain KAFO 1 juga mempunyai kelemahan tidak dapat mengakomodasi lebar paha pengguna yang bervariasi. Sehingga perlu dilakukan perbaikan desain *thigh* agar dapat mengakomodasi lebar paha yang bervariasi dari pengguna dengan tetap memperhatikan beban yang bekerja pada *thigh* serta memperbesar diameter pada keling yang digunakan pada sambungan *knee joint*.

4.2 Hasil Perbaikan Desain KAFO

Berdasarkan hasil pengujian pada desain KAFO 1 maka dilakukan perbaikan perancangan pada *thigh* serta penyesuaian diameter pada keling pada sambungan *knee joint* sehingga didapatkan hasil perancangan desain KAFO 2 sebagai berikut:

4.2.1 Perbaikan *Thigh*

Perbaikan desain *thigh* berdasarkan pada salah satu kriteria desain yaitu sesuai dengan antropometri orang Indonesia. Bukan hanya tinggi rendah pada KAFO akan tetapi lebar KAFO juga harus dapat menyesuaikan lebar anggota gerak bagian bawah dari pengguna yang bervariasi. Sehingga didapatkan desain *thigh* seperti pada gambar 4-14.



Tampak Luar Tampak Dalam

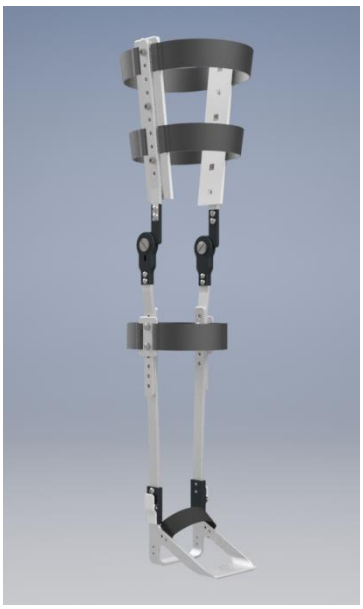
Gambar 4-14 Perbaikan Desain *Thigh*

4.2.2 Perbaikan Keling

Dimensi keling sambungan *knee joint* bagian atas pada desain KAFO 1 berdiameter 5mm dengan material seperti pada tabel 4-6, sehingga berdasarkan pengujian yang dilakukan terjadi tegangan maksimum sebesar 506.5Mpa pada keling. Perbaikan dilakukan dengan memperbesar diameter keling menjadi berdiameter 6mm dengan material yang sama.

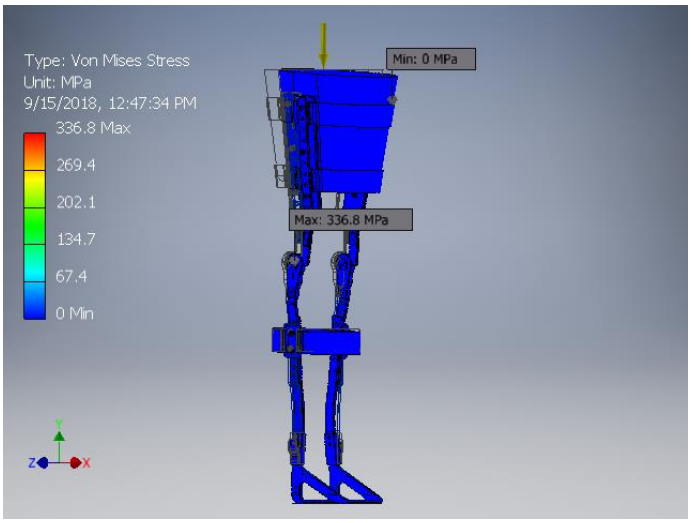
4.2.3 Hasil Pengujian Perbaikan Desain KAFO

Berdasarkan pada perbaikan yang sudah dilakukan maka didapatkan hasil perancangan desain KAFO 2 seperti pada gambar 4-15.



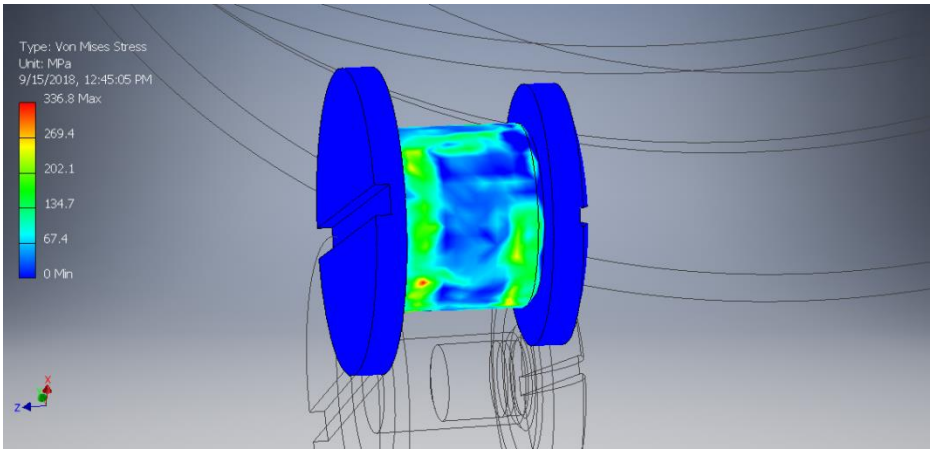
Gambar 4-15 Hasil Desain KAFO 2

Dengan pemodelan serta simulasi yang sama dengan pengujian desain KAFO 1 maka didapatkan hasil pengujian sebagai berikut.



Gambar 4-16 Hasil Pengujian Desain 2

Pengujian desain 2 menghasilkan tegangan maksimum 336.8MPa pada *shaft knee joint* seperti yang terlihat pada gambar 4-17.



Gambar 4-17 Tegangan Maksimum Pada *Shaft*

Hasil pengujian diatas menunjukan tegangan maksimum terjadi pada *shaft knee joint* sebesar 336.8MPa. Pada desain KAFO 2 telah dilakukan perbaikan pada bagian *thigh* sehingga didapatkan hasil perancangan *thigh* seperti pada gambar 4-15. Dengan menggunakan mekanisme *thigh* terdiri dari bantalan *thigh* dengan material Polypropylene serta bagian monting *belt* yang sekaligus berfungsi untuk memperkuat *thigh* dengan material Alumunium 6061.

Berdasarkan pada hasil pengujian diatas maka pemilihan material pada bagian *shaft* harus disesuaikan dengan tegangan yang bekerja. Berdasarkan hal tersebut material yang digunakan pada bagian *shaft* seperti pada tabel 4-7. Material yang digunakan adalah Baja Tahan Karat dengan no. AISI 301 kondisi ¼ keras.

Tabel 4-7 Spesifikasi Material Baja Tahan Karat

(Mott, 2004)

Penandaan bahan			Kekuatan tarik		Tegangan luluh		
No. AISI	UNS	Kondisi	(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)	el
Baja Austenitik							
201	S20100	Dianil	115	793	55	379	
		¼ keras	125	862	75	517	
		½ keras	150	1030	110	758	
		¾ keras	175	1210	135	931	
		Keras penuh	185	1280	140	966	
301	S30100	Dianil	110	758	40	276	
		¼ keras	125	862	75	517	
		½ keras	150	1030	110	758	
		¾ keras	175	1210	135	931	
		Keras penuh	185	1280	140	966	
304	S30400	Dianil	85	586	35	241	
		Dianil	95	655	45	310	
		Dianil	80	552	30	207	

Sehingga berdasarkan pengujian serta pembahasan diatas dapat disimpulkan perancangan desain KAFO 2 dapat menahan beban pengguna dengan berat 60kg serta SF 4.

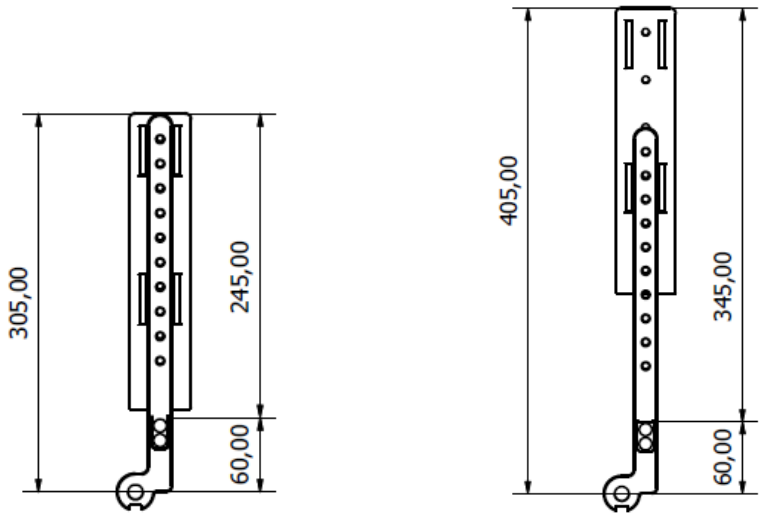
4.3 Analisis dan Pembahasan

Analisis dalam perancangan KAFO berdasarkan pada kriteria desain seperti yang terlihat pada tabel 3-1 dan juga hasil perancangan serta pengujian. Sehingga didapatkan analisis dan pembahasan sebagai berikut:

4.3.1 Dimensi KAFO

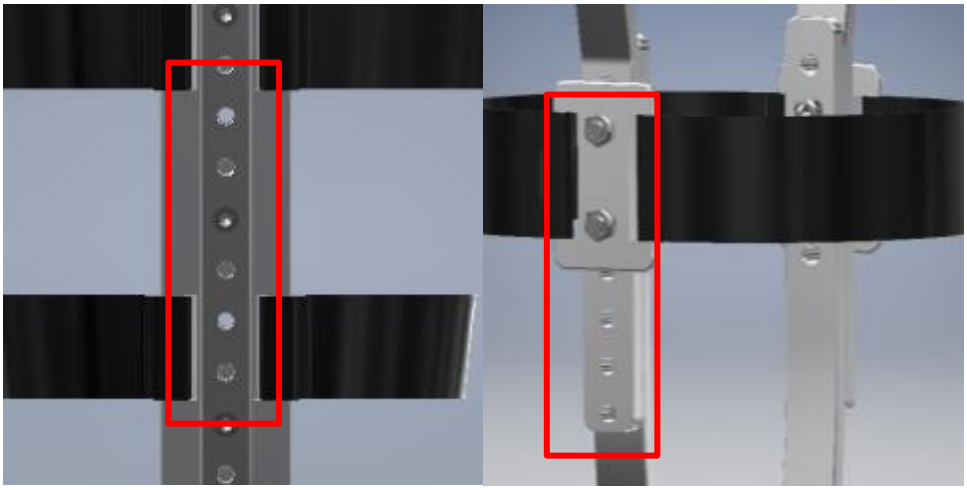
Berdasarkan kriteria desain dimensi dari KAFO harus sesuai dengan antropometri orang Indonesia yaitu memiliki rentang panjang pangkal paha hingga telapak kaki 751mm – 792mm. Terdapat dua bagian yang digunakan untuk dapat mengatur ketinggian pada KAFO, yaitu pada bagian *shank* paha dan betis. Seperti yang terlihat pada gambar 3-2 pada perancangan *shank*. Panjang shank paha memilik panjang yaitu 305mm sampai 395mm dan pada *shank* betis

yaitu 382mm sampai 478mm diukur dari sumbu putar pada *knee joint.* Dan didapatkan hasil perancangan *shank* paha setelah *thigh* diperbaiki mampu mencakup rentang panjang dari panjang minimum sebesar 305mm sampai panjang maksimal sebesar 405mm seperti pada gambar 4-18.



Gambar 4-18 Dimensi *Thigh* Setelah Diperbaiki

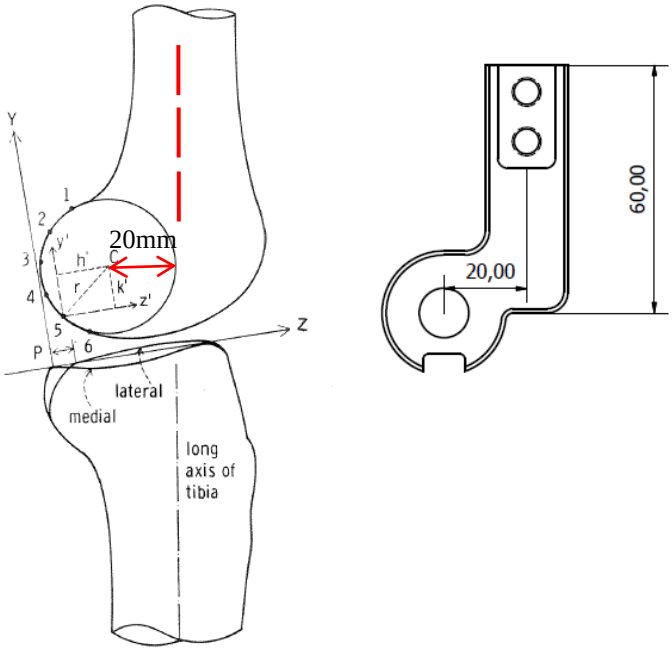
Serta pada *shank* betis mampu mencakup rentang dari panjang minimum 377mm sampai panjang maksimum 482mm . Berdasarkan hasil perancangan tersebut maka KAFO dapat mencakup dimensi dari nilai 5 persentil sampai dengan 95 persentil dari Antropometri orang Indonesia.



Gambar 4-19 Pengatur Tinggi Pada *Shank*

Pengaturan tinggi pada shank paha dan juga betis mempunyai mekanisme yang sama seperti yang terlihat pada gambar 4-5. Yaitu dengan memanfaatkan lubang-lubang pada *shank* juga *thigh* yang kemudian di kunci menggunakan baut. Pemilihan mekanisme tersebut membuat pengaturan tinggi pada KAFO tidak dapat presisi sesuai dengan dimensi dari pengguna. Akan tetapi pengaturan tinggi pada *shank* harus disesuaikan dengan rentang jarak dari lubang ke lubang seperti yang terlihat pada gambar 4-19.

Pada bagian *knee joint* berdasarkan kriteria desain maka sumbu putar *knee joint* harus sesuai dengan sumbu putar pada lutut. Sumbu putar pada lutut berada pada daerah kondilus posterior dengan nilai radius rata-rata 20mm. sehingga pada tahap perancangan knee joint bagian atas dimensi *knee joint* bagian atas di rancang untuk menyesuaikan dimensi dari tulang femur seperti yang terlihat pada gambar 4-20. Sehingga KAFO dapat menyesuaikan sendi lutut saat melakukan *flexion* maupun *extension*.

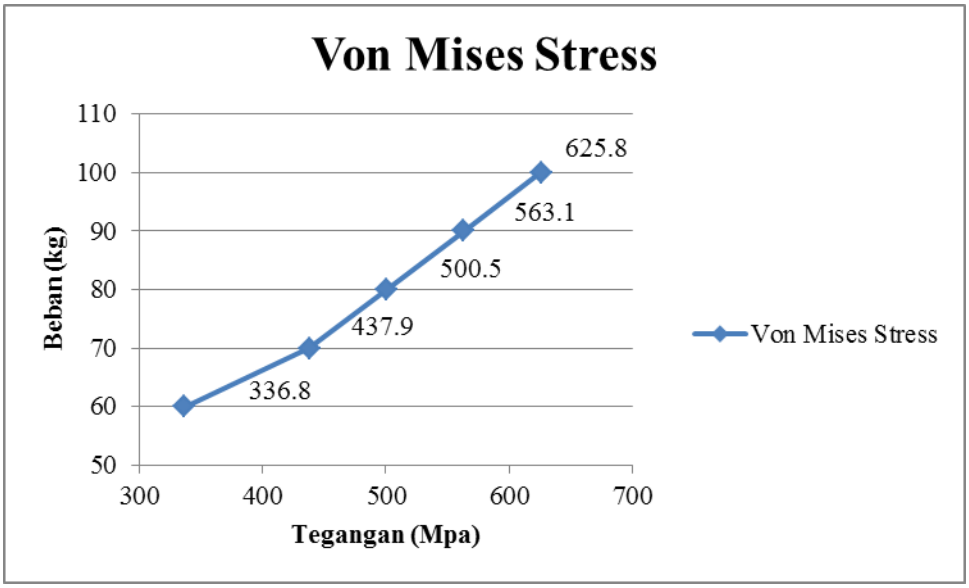


Gambar 4-20 Perbandingan Dimensi *Knee Joint*

4.3.2 Kekuatan KAFO

KAFO diharapkan dapat diproduksi secara massal sehingga dapat memenuhi kebutuhan manusia dengan cepat serta mencakup sebanyak-banyaknya pengguna. Hal tersebut memungkinkan KAFO tidak hanya digunakan pengguna dengan

berat rata-rata Indonesia saja, akan tetapi juga digunakan oleh pengguna dengan berat rata-rata yang kurang dari berat rata-rata bahkan berat badan melebihi berat rata-rata orang Indonesia. Berdasarkan permasalahan tersebut maka dilakukan pengujian dengan beban dari mulai 60kg-100kg pada KAFO sehingga didapatkan hasil pengujian sebagai berikut:



Gambar 4-21 Tegangan 60kg-100kg

Hasil tegangan pada gambar 4-21 merupakan tegangan maksimum yang diterima KAFO dengan *stress* maksimal berada pada bagian *shaft knee joint*. Berdasarkan analisis diatas maka untuk meningkatkan keamanan KAFO dapat digunakan material dengan tegangan luluh lebih dari *stress* maksimal yang terjadi yaitu 625.8Mpa. Material AISI 301kondisi ½ keras dapat digunakan untuk dapat meningkatkan faktor keamanan dengan tegangan luluh mencapai 758Mpa.

4.3.3 Pemilihan Material

Berdasarkan pada kriteria desain material yang digunakan harus mempunyai kemampuan tahan terhadap korosi, ringan dan kuat. Sehingga pada hasil perancangan material yang digunakan mempunyai kemampuan tahan terhadap korosi yang baik serta ringan dan kuat.

Kemudahan manufaktur juga menjadi salah satu pertimbangan dalam perancangan KAFO. Pada part *knee joint* serta *ankle joint* manufaktur yang digunakan adalah proses cor. Hal tersebut dimaksudkan untuk mempermudah

pada proses *assembly*. Proses pengecoran logam khususnya di Indonesia untuk skala kecil mempunyai keterbatasan dalam bahan baku cor logam. Bahan baku cor logam terbatas pada besi cor, alumunium, kuningan, tembaga, serta logam mulia tanpa menyertakan spesifikasi masing-masing logam.

Berdasarkan permasalahan tersebut maka perancangan pada *knee joint* serta *ankle joint* menggunakan proses manufaktur cor dengan material besi cor untuk memastikan kekuatan logam serta menggunakan *chrome* untuk melapisi material agar memiliki kemampuan tahan terhadap korosi yang baik.

4.4 Perbandingan Produk

Setelah tahapan desain serta pengujian selesai maka perancangan dilanjutkan pada tahapan pembuatan model, sehingga didapatkan hasil model seperti pada gambar 4-21.



Model Pembanding

Gambar 4-22 Perbandingan Produk

Perbandingan produk diperlukan guna mengetahui kelebihan serta kekurangan produk KAFO tugas akhir terhadap produk KAFO yang sudah ada khususnya di Indonesia seperti yang terlihat pada gambar 4-21. Sehingga didapatkan hasil perbandingan sebagai berikut:

4.4.1 *Thigh*



Pembanding



Model

Gambar 2-23 Perbandingan *Thigh*

Kontruksi *thigh* pada produk pembanding menggunakan material plastik untuk menopang paha dengan kontruksi yang *rigid.* Sedangkan kontruksi *thigh* pada produk KAFO tugas akhir menggunakan material *belt* pada bagian depan serta belakang paha. Hal tersebut dimaksudkan agar *thigh* dapat mengakomodasi lebar paha pengguna yang bervariasi untuk produksi masal KAFO.

4.4.2 *Shank*



Pembanding

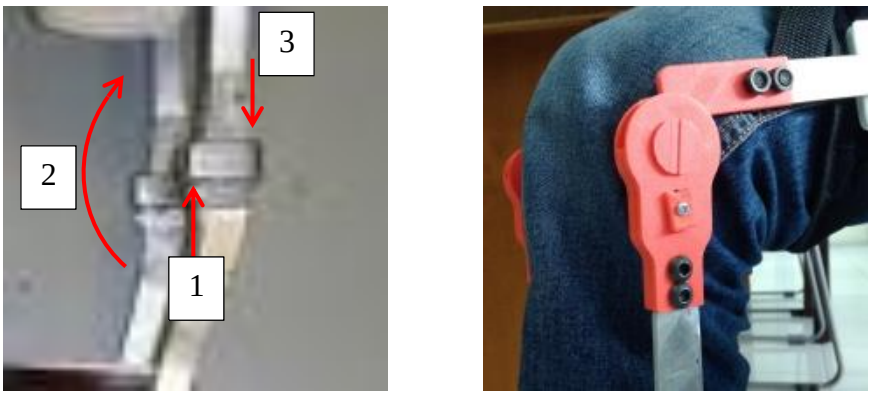


Model

Gambar 2-24 Perbandingan *Shank*

Pada produk pembanding *shank* hanya memiliki fungsi untuk menopang KAFO. Sedangkan pada produk KAFO tugas akhir *shank* mempunyai fungsi lain yaitu mekanisme pengaturan tinggi rendah KAFO. Sehingga KAFO dapat diatur oleh pengguna agar sesuai dengan antropometri dari pengguna sendiri. Sehingga diharapkan KAFO dapat memberikan kenyamanan bagi pengguna.

4.4.3 *Knee Joint*



Pembanding Model

Gambar 2-25 Perbandingan *Knee Joint*

Mekanisme pengunci pada produk pendamping mempunyai 3 langkah penguncian, langkah yang pertama melepaskan pengunci, langkah yang kedua meluruskan lutut, langkah ketiga pengunci dimasukan kembali ke tempat semula. Sedangkan pada produk KAFO tugas akhir ini mekanisme pengunci cukup dengan meluruskan lutut maka *knee joint* akan otomatis terkunci seperti yang terlihat pada gambar 4-7.

4.4.4 *Ankle Joint*



Gambar 2-26 Perbandingan *Ankle Joint*

Pada produk pembanding *ankle joint* mempunyai struktur yang *rigid.* Sedangkan pada produk KAFO tugas akhir mempunyai struktur yang dapat melepas dan memasang *footplate* dengan mudah seperti yang terlihat pada gambar 4-9.

4.5 Review Pengguna

Review pengguna ditujukan untuk mengetahui kelemahan serta kelebihan perancangan KAFO dari sudut pandang pengguna. Sehingga didapatkan review pengguna sebagai berikut:

Tabel 4-8 Hasil Review Pengguna

Kelebihan	Kekurangan
1. Fitur adjustment (dibandingkan dengan produk yang digunakan) 2. Fitur kemudahan *assembly*, sehingga apabila ada salah satu part yang rusak cukup diganti salah satu part tersebut 3. Fitur pengunci pada *knee joint* dinilai lebih praktis (dibandingkan dengan produk yang digunakan) 4. Fitur pada *ankle joint* memudahkan produksi massal (dibandingkan dengan produk yang digunakan)	1. Perlunya pertimbangan pada kekuatan baut 2. Perlunya pertimbangan pemilihan material pada *belt.* 3. Perlunya pertimbangan adanya engsel pada *ankle joint* 4. Perlunya pertimbangan tambahan part penyangga pada paha dan juga betis untuk menjamin kekuatan.

Berdasarkan hasil review dari pengguna maka dilakukan analisis pada kekurangan perancangan KAFO dari sudut pandang pengguna.

A. Perlunya pertimbangan pada kekuatan baut

Penggunaan baut dinilai pengguna dapat mengurangi kekuatan dari KAFO sehingga dapat mempengaruhi umur dari KAFO. Berdasarkan pengujian desain 3 kekuatan baut dengan material stainless steel dapat menahan beban yang bekerja pada pemodelan KAFO. Sehingga kekuatan

dari baut dinilai mampu menahan beban yang bekerja pada KAFO. Selain itu penggunaan baut dimaksudkan untuk mempermudah pengguna dalam mengatur dimensi dari KAFO sesuai dengan kebutuhan pengguna seperti.

B. Perlunya pertimbangan pemilihan material pada *belt*

Penggunaan *belt* dengan material serat polyester dinilai pengguna susah kering apabila terkena air, sehingga perlu adanya pertimbangan pemilihan material *belt.* Pertimbangan pemilihan belt berdasarkan pada kriteria desain seperti yang terlihat pada tabel 3-1. Yaitu material memiliki mempunyai sifat tahan korosi, ringan, serta kuat. Kuat serta ringan menjadi salah satu faktor dalam pemilihan material belt tersebut. Serat polyester mempunyai kekuatan yang baik serta massa yang ringan jika dibandingkan material material kulit sintetis yang banyak digunakan pada produk KAFO. Kemudahan manufaktur, mendapatkan material serta mudah dalam membersihkan menjadi faktor lain dalam pemilihan belt dengan material serat polyester.

C. Perlunya pertimbangan adanya engsel pada *ankle joint*

Pengguna berpendapat perlu adanya engsel pada *ankle joint*. Hal tersebut dimaksudkan untuk dapat memudahkan pengguna pada saat berjalan. Penggunaan engsel pada *ankle joint* KAFO harus disesuaikan dengan kondisi kelumpuhan pada masing-masing pengguna. Sedangkan perancangan KAFO ini bertujuan untuk dapat digunakan pada semua kondisi lumpuh total. Sehingga pemilihan fitur pada perancangan *ankle joint* dinilai tepat untuk menjawab tujuan perancangan tersebut. Dimensi pada *footplate* juga dirancang untuk memudahkan pengguna pada saat berjalan dengan cara menyesuaikan panjang maksimal *footplate* terhadap panjang telapak kaki seperti yang terlihat pada gambar 4-26. Sehingga pada pangkal jari kaki tetap dapat bergerak untuk memudahkan pengguna pada saat berjalan.



Gambar 4-27 Mekanisme Menekuk Pada Kaki

D. Perlunya pertimbangan tambahan part penyangga pada paha dan juga betis untuk menjamin kekuatan.

Pengguna berpendapat perlu adanya tambahan part penyangga pada bagian paha dan juga betis untuk menjamin kekuatan. Selain menjamin kekuatan juga agar *shank* paha dan juga betis tidak bergeser pada saat digunakan. Akan tetapi dengan adanya penampang tersebut menjadikan salah satu fungsi dari *belt* menjadi berkurang. *Belt* dengan mekanisme yang dapat diatur besar kecilnya lingkar paha dimaksudkan untuk dapat mengakomodasi rentang lingkar paha yang berbeda-beda sehingga ketika produk dibuat secara massal dapat mengakomodasi mayoritas pengguna.

BAB 5
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. KAFO mampu menahan beban pengguna sebesar 60kg dengan tegangan maksimum pada pengujian sebesar 336.8Mpa pada bagian *shaft knee joint.*
2. Pengaturan ketinggian terdapat pada *shank* pada dan juga betis. *Shank* paha mampu mencakup rentang panjang minimum sebesar 305mm sampai panjang maksimal sebesar 404mm. Serta pada *shank* betis mampu mencakup rentang dari panjang minimum 377mm sampai panjang maksimum 482mm

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

1. Realisasi perancangan KAFO dengan memperhatikan proses manufaktur serta pemilihan material yang tepat pada masing-masing part KAFO.
2. Perlu adanya pengujian *fatigue* guna memperkirakan umur dari KAFO.

DAFTAR PUSTAKA

Al-kinani, K. K., Sakran, S., Jawad, A., & Zeki, A. (2011). *Design and Manufacturing of Knee Ankle Foot Orthosis (KAFO).* International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics.

Anwar. (2012). *Efek Penambahan Roll-Slide Fleksi Ektensi Terhadap Penurunan Nyeri Pada Osteoartritis Sendi*. RS Hasan Sadikin Bandung, 12.

Cameron, J. R., Skofronick, J. G., & Grant, R. M. (2013). *Fisika Tubuh Manusia* (2nd ed.). Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.

Herdiman, L. S., Liquiddanu, E., & Paramita, D. (2011). *Perbaikan Rancangan Pada Desain Knee Ankle Foot Orthosis (KAFO) Dengan Pendekatan Metode Function Analysis System Technique*, *6*.

Kuster, M. S., Wood, G. A., Stachwoiak, G. W., & Gachter, A. (1997). *Joint Load Considerations in Total Knee Replacment*. University of Western Australia, 79-B.

Lestari, H., Izzhati, D. N., Rachmat, N., Setyawan, D., Saputra, E., & Ismail, R. (2015). *Pengukuran Jangkauan Gerak Pada Lutut Orang Indonesia Sebagai Data Awal Perancangan Kaki Tiruan Atas Lutut*. Universitas Wahid Hasyim Semarang.

M. Naft, J., S. Newman, W., & Heights, C. (2004). *Orthosis Knee Joint*. United States Patent.

Mott, R. L. (2004). *Elemen-Elemen Mesin dalam Perancangan Mekanis* (1st ed.). New Jersey: Pearson Education.

Nurmianto, E. (2004). *Ergonomi* (2nd ed.). Surabaya, Indonesia: Penerbit Guna Widya.

Pearce, E. C. (2009). *Anatomi dan Fisiologi Untuk Paramedis*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.

Pirmantgen, R. E. (1984). *Knee Orthosis and Joint Contruction Therefor*. Northwestern University.

Shigley, J. E., & Mitchell, L. D. (1999). *Perencanaan Teknik Mesin* (4th ed., Vol. 1). Erlangga.

Sonawan, H. (2010). *Perancangan Elemen Mesin*. Bandung: Alfabeta.

Sutikno, E. (2011). *Analisis Tegangan Akibat Pembebanan Statis Pada Desain Carbody Tec Railbus Dengan Metode Elemen Hingga*. Jurnal Rekayasa Mesin, Vol.2, 65–81.

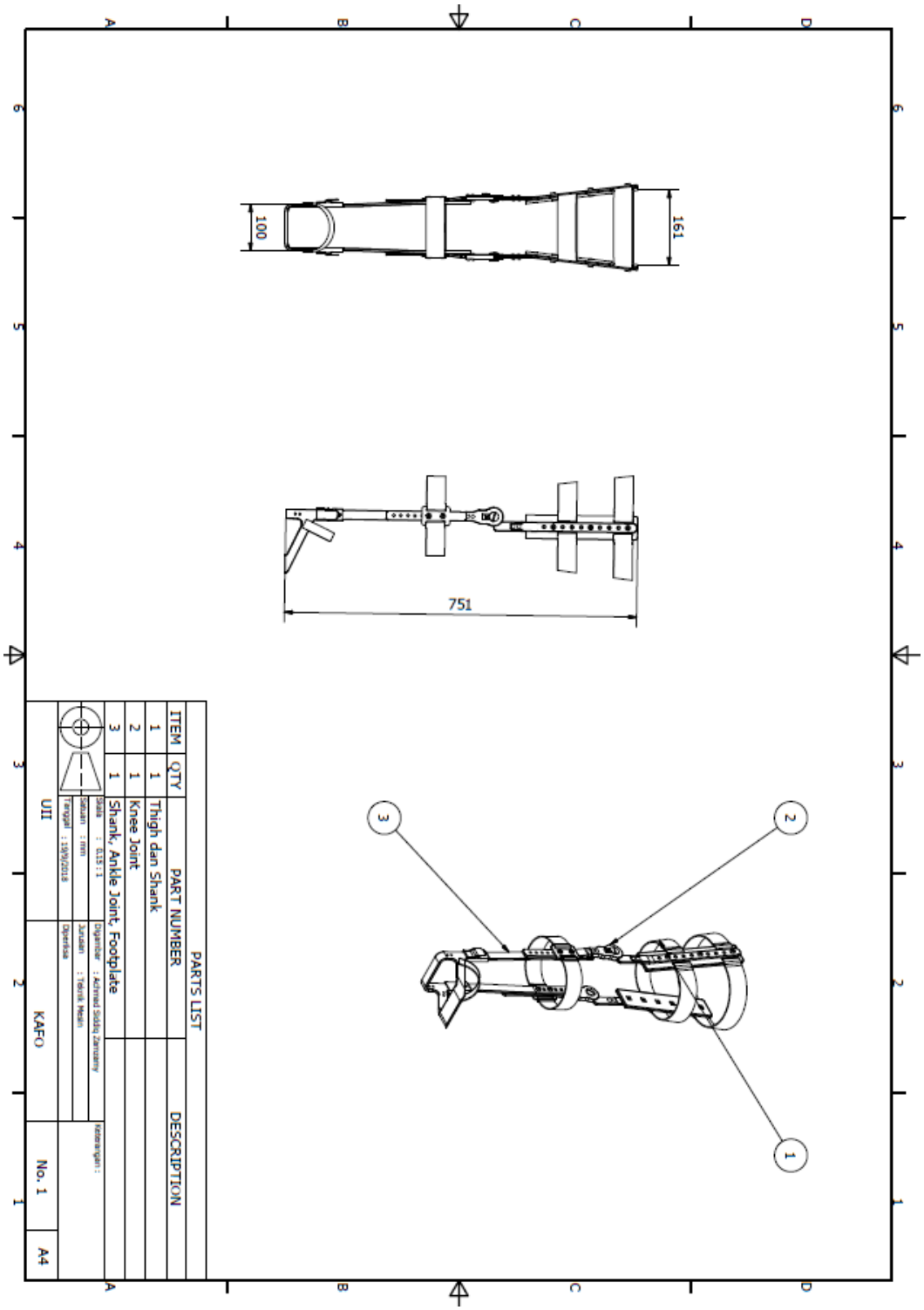
Syaifudin, M., Alatas, Z., Rahardjo, T., & Mugiono. (1996). *Studi Antropometri Manusia Jawa Dalam Rangka Penyusun Manusia Acuan Indonesia*. Prosiding Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi Dan Lingkungan.

Walker, P. S., Kurosawa, H., Rovick, J. S., & Zimmerman, R. A. (1985). *External Knee Joint Design Based on Normal Motion*. Journal of Rehabilitation Research and Development, 22.

Yakimovich, T., D. Lemaire, E., & Kofman, J. (2009). *Engineering design review of stance-control knee-ankle-foot orthoses*. Journal of Rehabilitation Research and Development, 46, 257 — 268.

Yakimovich, T., Kofman, J., & D. Lemaire, E. (2006). *Design and Evaluation of a Stance-Control Knee-Ankle-Foot Orthosis Knee Joint*. IEEE Transactions On Neural Systems And Rehabilitation Engineering, 14.

LAMPIRAN 1
DESAIN KAFO (KNEE ANKLE FOOT ORTHOSIS)



LAMPIRAN 2
MODEL KAFO (KNEE ANKLE FOOT ORTHOSIS)

