

SKRIPSI

**DESAIN DAN *FINITE ELEMENT ANALYSIS* (FEA) SOKET
KAKI PROSTHESIS BAWAH LUTUT BERBASIS CITRA
*PHOTOGRAMMETRY***



Oleh :

Nama : Linda Ziyadatul Faiza

NPM : 20036010017

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"

JAWA TIMUR

SURABAYA

2024

**LEMBAR PENGESAHAN
SKRIPSI**

**DESAIN DAN FINITATE ELEMENT ANALYSIS (FEA) SOKET KAKI
PROSTHESIS BAWAH LUTUT BERBASIS CITRA PHOTOGRAMMETRY**

Skrripsi Ini Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Menyelesaikan Studi Strata Satu Dan Memperoleh Gelar Sarjana di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur.

Oleh:

Nama : Linda Ziyadatul Faiza
NPM : 20036010017
Kosentrasi : Biomedik

Telah Diuji Dalam Ujian Komprehensif Skripsi
Hari/Tanggal: Kamis / 05 September 2024

Telah Disahkan Oleh:

Tim Penguji :
1.



Dr. Ir. Luluk Edahwati, MT
NIP. 19640611 199203 2001

2.



Radissa Dzaky Issafira, S.T., M.Sc.
NIP. 19940428 202203 2 011

Dosen Pembimbing



Dr. Wahyu Dwi Lestari, S.Pd., MT
NPT : 20219910114203



Ndaru Advono, S.Si., M.T.
NPT.20119900125204

Koordinator Program Studi Teknik Mesin



Dr. Ir. Luluk Edahwati, MT
NIP. 19640611 199203 2001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik & Sains
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa timur



Prof. Dr. Dra. Jariyah, MP
NIP. 19650403 199103 2 001

SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Linda Ziyadatul Faiza
NPM : 20036010017
Fakultas/Program Studi : Fakultas Teknik & Sains / Teknik Mesin
Judul Skripsi/Tugas Akhir : Desain dan *Finite Element Analysis* (FEA) Soket Kaki Prosthesis Bawah Lutut Berbasis Citra *Photogrammetry*

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Hasil karya yang saya serahkan ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik baik di UPN "Veteran" Jawa Timur maupun di institusi pendidikan lainnya.
2. Hasil karya saya ini merupakan gagasan, rumusan, dan hasil pelaksanaan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan pembimbing akademik.
3. Hasil karya saya ini merupakan hasil revisi terakhir setelah diujikan yang telah diketahui dan disetujui oleh pembimbing.
4. Dalam karya saya ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali yang digunakan sebagai acuan dalam naskah dengan menyebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya. Apabila di kemudian hari terbukti ada penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima konsekuensi apapun sesuai dengan ketentuan yang berlaku di UPN "Veteran" Jawa Timur.

Mengetahui

Surabaya, 13 September 2024



Rizqa Ruviana, S.T., M.T.

NIP. 19970125 202406 2 001

Yang Menyatakan,



Linda Ziyadatul Faiza

NPM. 20036010017

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Desain dan *Finite Element Analysis* (FEA) Soket Kaki Prosthesis Bawah Lutut Berbasis Citra *Photogrammetry*” 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 Pembangunan Nasional ”Veteran” Jawa Timur.

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. Ibu **Prof. Dr. Dra. Jariyah, M.P.** selaku Dekan Fakultas Teknik dan Sains Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
2. Ibu **Dr. Ir. Luluk Edahwati, M.T.** selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Pembangunan Nasional ”Veteran” Jawa Timur.
3. Ibu **Dr. Wahyu Dwi Lestari, S.Pd., M.T.** selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam pembuatan laporan.
4. Bapak **Ndaru Adyono, S.Si., M.T.** selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam pembuatan laporan.
5. Bapak **Ahmad Khairul Faizin, S.T., M.Sc.** atas semua masukan pada penelitian tugas akhir ini.
6. Seluruh Dosen Teknik Mesin FT UPNVJT yang telah mencetak sarjana-sarjana yang berkualitas.
7. Keluarga tercinta yang selalu mendoakan, membantu dan memberikan motivasi dalam menempuh pendidikan.
8. **Salwa Putri Hermawan, S.H., CCD.,** sebagai teman seperjuangan yang selalu memberi masukan, mendengarkan cerita, keluh kesah, memberi *support* dalam bentuk materiil dan non materiil kepada

penulis.

9. **Silvia Dwi Cahyani, S.Ak.** sebagai teman perjuangan sejak mengenah pertama yang memberikan momen bahagia dan selalu membantu penulis.
10. **Garda, Rizky, Fawwaz, Bagas, dan Ikhsan** yang selalu menjadi teman seperjuangan dalam perkuliahan di Teknik Mesin UPNVJT.
11. **Risa, Rheinka, dan Diva** yang selalu memberikan momen bahagia kepada penulis saat proses perkuliahan dan utamanya saat melewati proses Tugas Akhir.
12. Kawan-kawan Teknik Mesin yang telah memberikan segala dukungan dan mewarnai perjalanan perkuliahan selama empat tahun ini.
13. Dan semua pihak yang telah berjasa dalam kelancaran penyusunan laporan tugas akhir yang tidak dapat penulis satu per satu.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini penulis telah berusaha menyusun dengan sebaik-baiknya, namun tidak menutup kemungkinan masih terdapat kesalahan. Oleh karena itu, segala macam kritik dan saran bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan proposal ini.

Surabaya, Juli 2024

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR NOTASI	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
INTISARI	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Rumusan Masalah.....	3
I.3. Tujuan Penelitian	3
I.4. Batasan Penelitian	4
I.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
II.1. Teori Umum	6
II.1.1. Prosthesis Bawah Lutut.....	6
II.1.2. Photogrammetry	9
II.1.3. Desain Soket.....	10
II.1.4. Analisis Elemen Hingga.....	14
II.2. Landasan Teori.....	16
II.2.1. Konsep Tegangan dan Regangan.....	16
II.2.2. <i>Off-Load Zones</i> dan <i>Load Zones</i>	18
II.2.3. ISO 10328.....	19
II.3. Hipotesa	21
BAB III METODE PENELITIAN.....	22
III.1. Lokasi Penelitian	22
III.2. Peralatan yang Diperlukan	22
III.3. Variabel Penelitian.....	22
III.4. Diagram Alir	24
III.5. Alur Penelitian.....	26
III.5.1. Studi Literatur dan Pengguna.....	26
III.5.2. Scanning Permukaan Kaki pengguna	27
III.5.3. <i>Photogrammetry</i>	27

III.5.4. Retifikasi <i>Stump</i>	28
III.5.5. Konversi Geometri <i>Mesh</i> ke Geometri <i>Solid</i> CAD	29
III.5.6. Perancangan Soket.....	30
III.5.7. Simulasi dan Pengujian FEA.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
IV.1. Desain Soket Prosthesis Bawah Lutut Berdasarkan Hasil Scanning dengan Metode <i>Photogrammetry</i>	34
IV.2. Pengaruh Pembebanan pada Empat Titik Penekanan yang Diijinkan Terhadap Distribusi Tegangan, Regangan, dan Faktor Keamanan	36
IV.2.1. Hasil Simulasi Ketebalan 0,5 mm	37
IV.2.2. Hasil Simulasi Ketebalan 1 mm	40
IV.2.3. Hasil Simulasi Ketebalan 2 mm	44
IV.2.4. Hasil Simulasi Ketebalan 3 mm	47
IV.2.5. Hasil Simulasi Ketebalan 5 mm	51
IV.3. Analisis dan Pembahasan.....	54
IV.3.1. Analisis Respon Tegangan	54
IV.3.2. Analisis Respon Regangan.....	55
IV.3.3. Analisis Respon Faktor Keamanan	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	58
DAFTAR PUSTAKA.....	59
LAMPIRAN	64

DAFTAR TABEL

Tabel III.1	Sifat Mekanik Material	31
Tabel III.2	Data Komponen Gaya Pada Empat Area Pembebanan	33
Tabel IV. 1.	Massa soket (gram) pada variasi material dan ketebalan	35
Tabel IV. 2.	Hasil Respon tegangan pada soket ketebalan 0,5 mm.....	37
Tabel IV. 3.	Hasil respon regangan pada soket ketebalan 0,5 mm.....	39
Tabel IV. 4.	Hasil respon faktor keamanan pada soket ketebalan 0,5 mm.....	40
Tabel IV. 5.	Hasil Respon tegangan pada soket ketebalan 1 mm.....	41
Tabel IV. 6.	Hasil respon regangan pada soket ketebalan 1 mm.....	42
Tabel IV. 7.	Hasil respon faktor keamanan pada soket ketebalan 1 mm.....	43
Tabel IV. 8.	Hasil Respon tegangan pada soket ketebalan 2 mm.....	44
Tabel IV. 9.	Hasil respon regangan pada soket ketebalan 2 mm.....	45
Tabel IV. 10.	Hasil respon faktor keamanan pada soket ketebalan 2 mm.....	47
Tabel IV. 11.	Hasil Respon tegangan pada soket ketebalan 3 mm.....	47
Tabel IV. 12.	Hasil Respon regangan pada soket ketebalan 3 mm	49
Tabel IV. 13.	Hasil respon faktor keamanan pada soket ketebalan 3 mm.....	50
Tabel IV. 14.	Hasil Respon tegangan pada soket ketebalan 5 mm.....	51
Tabel IV. 15.	Hasil respon regangan pada soket ketebalan 5 mm.....	52
Tabel IV. 16.	Hasil respon faktor keamanan pada soket ketebalan 5 mm.....	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1. Prosthesis kaki bawah lutut	7
Gambar II.2. Desain Prosthesis Bawah Lutut	8
Gambar II.3. Desain Prosthesis Pasif Bawah Lutut	8
Gambar II.4. Proses photogrammetry	10
Gambar II.5 a. Soket PTB Panjang b. Soket PTB Medium	11
Gambar II.6 Soket adjustable	12
Gambar II.7 Desain Soket	13
Gambar II.8 Kondisi Batas dan Pembebanan pada Soket	15
Gambar II.9 (a) Prosthesis asli beserta soket PTB yang dilaminasi (b) Model soket bertautan; dan (c) Model meshed beserta kondisi pembebanannya	16
Gambar II.10 Komponen tegangan pada element (a) normal (b) dengan sudut	17
Gambar II.11 Ilustrasi konsep regangan	18
Gambar II.12 Zona pemuatan yang dapat diterima dan tidak dapat diterima untuk desain soket prostetik transtibial	19
Gambar II.13 Data besar pembebanan (ISO 10328, 2016)	20
Gambar III.1 Diagram Alir Penelitian	25
Gambar III.2 Kaki Ari (Dokumentasi Pribadi, 2024)	27
Gambar III.3 <i>Einstar 3D scanner (Einstar.com)</i>	27
Gambar III.4 Proses <i>Photogrammetry</i> (Dokumentasi Pribadi, 2024)	28
Gambar III.5 Retifikasi <i>stump</i>	29
Gambar III.6 Konversi geometri <i>mesh</i> ke geometri <i>solid</i> CAD	29
Gambar III.7 Proses Perancangan Soket	31
Gambar III.8 Hasil <i>meshing</i> pada rancangan soket	32
Gambar III.9 <i>Normal cycle vs gait cycle</i> dengan prosthesis	32
Gambar III.10 Kondisi batas pengujian	33
Gambar IV.1 Hasil perancangan soket	35
Gambar IV.2. Grafik Perbandingan Area Pembebanan pada Respon Tegangan Soket 0,5 mm	37
Gambar IV.3. Hasil simulasi distribusi tegangan pada ketebalan 0,5 mm (a) PLA, (b) PP, (c) ABS	38

Gambar IV.4. Grafik Perbandingan Area Pembebanan pada Respon Regangan Soket 0,5 mm.....	39
Gambar IV.5. Hasil simulasi distribusi regangan pada ketebalan 0,5 mm (a) PLA, (b) PP, (c) ABS	39
Gambar IV.6. Grafik Perbandingan Area Pembebanan pada Respon Tegangan Soket 1 mm.....	41
Gambar IV.7. Hasil simulasi distribusi tegangan pada ketebalan 1 mm (a) PLA, (b) PP, (c) ABS	41
Gambar IV.8. Grafik Perbandingan Area Pembebanan pada Respon Regangan Soket 1 mm.....	42
Gambar IV.9. Hasil simulasi distribusi regangan pada ketebalan 1 mm (a) PLA, (b) PP, (c) ABS	43
Gambar IV.10. Grafik Perbandingan Area Pembebanan pada Respon Tegangan Soket 2 mm.....	44
Gambar IV.11. Hasil simulasi distribusi tegangan pada ketebalan 2 mm (a) PLA, (b) PP, (c) ABS	45
Gambar IV.12. Grafik Perbandingan Area Pembebanan pada Respon Tegangan Soket 2 mm.....	46
Gambar IV.13. Hasil simulasi distribusi regangan pada ketebalan 2 mm (a) PLA, (b) PP, (c) ABS	46
Gambar IV. 14. Grafik Perbandingan Area Pembebanan pada Respon Tegangan Soket 3 mm.....	48
Gambar IV. 15. Hasil simulasi distribusi tegangan pada ketebalan 3 mm (a) PLA, (b) PP, (c) ABS	48
Gambar IV. 16. Grafik Perbandingan Area Pembebanan pada Respon Regangan Soket 3 mm.....	49
Gambar IV. 17. Hasil simulasi distribusi regangan pada ketebalan 3 mm (a) PLA, (b) PP, (c) ABS	50
Gambar IV. 18. Grafik Perbandingan Area Pembebanan pada Respon Tegangan Soket 5 mm.....	51
Gambar IV. 19. Hasil simulasi distribusi tegangan pada ketebalan 5 mm (a) PLA, (b) PP, (c) ABS	52

Gambar IV. 20. Grafik Perbandingan Area Pembebanan pada Respon Regangan Soket 5 mm.....	53
Gambar IV. 21. Hasil simulasi distribusi regangan pada ketebalan 5 mm (a) PLA, (b) PP, (c) ABS	53
Gambar IV. 22. Perbandingan Nilai Tegangan dengan Variasi Ketebalan Soket	55
Gambar IV. 23. Perbandingan Nilai Regangan dengan Variasi Ketebalan Soket	56
Gambar IV. 24. Perbandingan Nilai Faktor Keamanan dengan Variasi Ketebalan Soket	57

DAFTAR NOTASI

σ = Tegangan Normal (MPa)

P = Gaya Normal (N)

A = Luas Permukaan (mm^2)

τ = Tegangan Geser (MPa)

V = Resultan Gaya Geser pada Permukaan (N)

A = Luas Permukaan (mm^2)

ε = Regangan

ΔL = Pertambahan Panjang (mm)

L_0 = Panjang mula-mula (mm)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Curriculum Vitae.....	64
Lampiran 2. Dokumentasi Photogrammetry.....	66
Lampiran 3. Grafik pembebanan pada Ansys.....	67
Lampiran 4. Tabel laju pembebanan pada simulasi Ansys.....	67

INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk merancang soket prosthesis kaki bawah lutut berbasis citra *photogrammetry* serta melakukan simulasi pembebanan statis pada empat titik yang telah ditetapkan untuk mendapatkan respon berupa tegangan, regangan, dan *safety factor*. Objek penelitian adalah *stump* kaki Bapak Ari, seorang penderita amputasi transtibial akibat kecelakaan saat mengendarai motor. Tim *Biomedical Engineering* UPN "Veteran" Jawa Timur, dengan bantuan Politeknik Kesehatan Kemenkes Surakarta, mencoba membuat kaki palsu untuk mempermudah Bapak Ari dalam melakukan aktivitas sehari-hari.

Desain soket dibuat berdasarkan data kaki Bapak Ari yang diperoleh melalui metode *Reverse Engineering* dengan teknik *Photogrammetry*. Data dari *scanning stump* kemudian diolah untuk menciptakan permukaan yang halus menggunakan perangkat lunak seperti Autodesk Meshmixer. Selanjutnya, untuk menghasilkan geometri yang tepat dalam format CAD, model *stump* diimpor ke perangkat lunak seperti Solidworks. Simulasi menggunakan perangkat lunak Ansys 19.2 dengan jenis simulasi *static structural*. Beban simulasi yang diberikan sesuai dengan data *proof strength test* ISO 10328 adalah 3864 N, yang didistribusikan pada empat titik pembebanan, yaitu *patellar ligament*, *medial shaft of tibia*, *posterior compartment*, dan *anterior compartment*. Hasil simulasi ini memberikan informasi mengenai tegangan, regangan, dan *safety factor* dari soket yang dirancang dengan soket PLA dan ketebalan 2 mm adalah soket yang optimal.

Kata Kunci: *Transtibial Amputation*, Soket, Desain, *Finite Element Analysis*.