

**DAFTAR ISI**

LEMBAR JUDUL .....	i
LEMBAR PERNYATAAN .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI .....	iii
PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI .....	iv
SURAT PERNYATAAN TENTANG ORISINILITAS.....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	vii
KATA PENGANTAR .....	viii
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah .....	4
1.4. Tujuan Penelitian .....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1. Tuberkulosis Tulang Belakang.....	5
2.1.1. Defisit Neurologis.....	7
2.1.2. Deformitas.....	8
2.2. Siklus Gait .....	11
2.3. Ankle Foot Orthosis (AFO).....	12
2.3.1. Klasifikasi AFO.....	12
2.4. Simulasi Numerik .....	15
2.4.1. <i>Finite Element Method</i> .....	15
2.4.2. <i>Prosedur Dasar Finite Element Method</i> .....	16
2.4.3. Evaluasi.....	17
2.5. <i>Polypropylene</i> .....	19
2.6. <i>Carbon Fiber</i> .....	20
BAB III METODE PENELITIAN .....	21
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian .....	21
3.2. Alat dan Bahan Penelitian.....	21
3.3. Prosedur Penelitian .....	21
3.4. Proses Perancangan.....	22

3.4.1.	Pengumpulan Data Sekunder .....	22
3.4.2.	Perancangan Desain 3D AFO .....	23
3.4.3.	Simulasi Model AFO .....	27
3.4.3.1.	Pengaturan Material Penyusun untuk Model AFO .....	27
3.4.3.2.	Pengaplikasian <i>Convergence Study</i> untuk Model AFO.....	29
3.4.3.3.	Penentuan <i>Fixed Support</i> dan Pembebanan ( <i>Loading Force</i> ) untuk Model AFO .....	29
3.4.4.	Metode Analisis Hasil.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		35
4.1.	Hasil <i>Convergence Study</i> untuk Desain Model AFO .....	35
4.2.	Hasil Simulasi Desain Model AFO .....	39
4.2.1.	Hasil Simulasi Desain Model AFO untuk Analisis Deformasi.....	39
4.2.2.	Hasil Simulasi Desain untuk Analisis <i>Strain</i> .....	41
4.2.3.	Hasil Simulasi Desain untuk Analisis <i>Stress</i> .....	43
4.2.4.	Hasil Perhitungan <i>Safety Factor</i> .....	46
4.3.	<i>Convergence Study</i> .....	47
4.4.	Pengaruh Variasi Model AFO Terhadap Deformasi, <i>Deflection</i> , <i>Strain</i> , <i>Stress</i> , dan <i>Safety Factor</i> .....	48
4.3.1.	Pengaruh Variasi Tinggi <i>Cuff</i> Model AFO Terhadap Deformasi, <i>Deflection</i> , <i>Strain</i> , <i>Stress</i> , dan <i>Safety Factor</i> .....	48
4.3.2.	Pengaruh Variasi Ketebalan Model AFO Terhadap Deformasi, <i>Deflection</i> , <i>Strain</i> , <i>Stress</i> , dan <i>Safety Factor</i> .....	52
4.3.3.	Pengaruh Variasi Material Model AFO Terhadap Deformasi, <i>Deflection</i> , <i>Strain</i> , <i>Stress</i> , dan <i>Safety Factor</i> .....	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		60
5.1.	Kesimpulan.....	60
5.2.	Saran .....	60
DAFTAR PUSTAKA .....		62
LAMPIRAN .....		65

## DAFTAR TABEL

Nomor	Judul Tabel	Halaman
2.1	Klasifikasi TB tulang belakang berdasarkan GATA	6
2.2	Klasifikasi Paraplegia Akibat TB Tulang Belakang	8
2.3	Sifat mekanik <i>polypropylene</i>	20
2.4	Sifat mekanik <i>carbon fiber</i> berdasarkan material mentahnya	20
3.1	Data antropometri subjek penelitian	22
3.2	Data material <i>Polypropylene</i> dari <i>software</i> ANSYS R2 2019	28
3.3	Data material <i>Carbon Fiber</i> 230 GPa dari <i>software</i> ANSYS R2 2019	28
3.4	Data material <i>Carbon Fiber</i> 290 GPa dari <i>software</i> ANSYS R2 2019	28
3.5	Data material <i>Carbon Fiber</i> 395 GPa dari <i>software</i> ANSYS R2 2019	29
4.1	Data <i>Convergence Study</i> untuk Desain AFO Variasi 1 dan 2	35
4.2	Data <i>Convergence Study</i> untuk Desain AFO Variasi 3 dan 4	37
4.3	Data hasil deformasi dari simulasi model desain AFO yang diberi pembebanan sesuai siklus <i>gait</i> dan pada bagian <i>cuff</i>	40
4.4	Data sudut pergerakan tungkai dari simulasi model desain AFO yang diberi pembebanan sesuai pada bagian <i>cuff</i>	41
4.5	Data hasil <i>strain</i> dari simulasi model desain AFO yang diberi pembebanan sesuai siklus <i>gait</i> dan pada bagian <i>cuff</i>	43

4.6	Data hasil <i>stress</i> dari simulasi model desain AFO yang diberi pembebanan sesuai siklus <i>gait</i>	45
4.7	Data hasil <i>stress</i> dari simulasi model desain AFO yang diberi pembebanan pada bagian <i>cuff</i>	46
4.8	Data <i>safety factor</i> variasi model AFO	47

## DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul Gambar	Halaman
2.1	Ruas tulang belakang	5
2.2	Mekanisme kompensasi pada tulang belakang, panggul, dan kaki ketika terdapat ketidakseimbangan sagital	9
2.3	Posisi lengan gaya panggul dan lutut pada <i>gait</i> dengan <i>knee flessum</i>	10
2.4	Tahapan siklus <i>gait</i>	11
2.5	Siklus <i>gait</i> pada satu periode berjalan	12
2.6	Tiga titik gaya pada desain AFO statis: a) <i>solid-ankle</i> AFO dan b) GRAFO	14
2.7	<i>Posterior spring</i> AFO	14
2.8	Gaya tekanan <i>Von mises</i> pada objek 3D	18
3.1	Diagram alir penelitian	21
3.2	Ilustrasi parameter pada AFO ventral. Keterangan: a)Tinggi anterior atas AFO ( <i>cuff</i> ), b)Tinggi posterior AFO, c)Panjang <i>footplate</i> AFO, d)Keliling bagian betis AFO, e)Diameter <i>forefoot</i> AFO, f)Diameter malleoli AFO	23
3.3	<i>Solid model</i> AFO variasi 1 tampak samping (kiri) dan tampak atas (kanan), ukuran dalam satuan milimeter	24
3.4	<i>Solid model</i> AFO variasi 2 tampak samping (kiri) dan tampak atas (kanan), ukuran dalam satuan milimeter	25
3.5	<i>Solid model</i> AFO variasi 3 tampak samping (kiri) dan tampak atas (kanan), ukuran dalam satuan milimeter	26
3.6	<i>Solid model</i> AFO variasi 4 tampak samping (kiri) dan tampak atas (kanan), ukuran dalam satuan milimeter	27

3.7	Titik pembebanan (merah) dan <i>fixed support</i> (biru) untuk fase <i>initial contact</i>	30
3.8	Titik pembebanan (merah) dan <i>fixed support</i> (biru) untuk fase <i>middle stance</i>	31
3.9	Titik pembebanan (merah) dan <i>fixed support</i> (biru) untuk fase <i>terminal stance</i>	32
3.10	Titik pembebanan (merah) dan <i>fixed support</i> (biru) untuk gaya pada <i>cuff</i>	32
3.11	Perhitungan sudut defleksi ( $\theta$ ) pada model AFO yang diberi gaya terhadap bagian <i>cuff</i>	33
4.1	Grafik <i>convergence study</i> untuk desain AFO dengan ketinggian <i>cuff</i> 6 cm	35
4.2	<i>Solid model</i> AFO variasi 1: a)Sebelum melalui proses <i>meshing</i> , b)Setelah melalui proses <i>meshing</i> , c)Ukuran elemen yang diperbesar pada area persegi merah	36
4.3	<i>Solid model</i> AFO variasi 2: a)Sebelum melalui proses <i>meshing</i> , b)Setelah melalui proses <i>meshing</i> , c)Ukuran elemen yang diperbesar pada area persegi merah	36
4.4	Grafik <i>convergence study</i> untuk desain AFO dengan ketinggian <i>cuff</i> 9 cm	37
4.5	<i>Solid model</i> AFO variasi 3: a)Sebelum melalui proses <i>meshing</i> , b)Setelah melalui proses <i>meshing</i> , c)Ukuran elemen yang diperbesar pada area persegi merah	38
4.6	<i>Solid model</i> AFO variasi 4: a)Sebelum melalui proses <i>meshing</i> , b)Setelah melalui proses <i>meshing</i> , c)Ukuran elemen yang diperbesar pada area persegi merah	38
4.7	Tampilan hasil simulasi deformasi pada model AFO	39
4.8	Tampilan hasil simulasi <i>strain</i> pada model AFO	42
4.9	Tampilan hasil simulasi <i>stress</i> pada model AFO	44
4.10	Variasi <i>vertical reaction force</i> untuk orang dengan <i>gait</i> yang memiliki <i>knee flossum</i>	58

**DAFTAR LAMPIRAN**

Nomor	Judul
1	Distribusi deformasi untuk pembebanan fase <i>initial stance</i> pada model AFO berbahan PP: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
2	Distribusi deformasi untuk pembebanan fase <i>initial stance</i> pada model AFO berbahan CF 230 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
3	Distribusi deformasi untuk pembebanan fase <i>initial stance</i> pada model AFO berbahan CF 290 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
4	Distribusi deformasi untuk pembebanan fase <i>initial stance</i> pada model AFO berbahan CF 395 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
5	Distribusi deformasi untuk pembebanan fase <i>midstance</i> pada model AFO berbahan PP: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
6	Distribusi deformasi untuk pembebanan fase <i>midstance</i> pada model AFO berbahan CF 230 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
7	Distribusi deformasi untuk pembebanan fase <i>midstance</i> pada model AFO berbahan CF 290 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
8	Distribusi deformasi untuk pembebanan fase <i>midstance</i> pada model AFO berbahan CF 395 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
9	Distribusi deformasi untuk pembebanan fase <i>terminal stance</i> pada model AFO berbahan PP: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
10	Distribusi deformasi untuk pembebanan fase <i>terminal stance</i> pada model AFO berbahan CF 230 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
11	Distribusi deformasi untuk pembebanan fase <i>terminal stance</i> pada model AFO berbahan CF 290 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4

- 12 Distribusi deformasi untuk pembebanan fase *terminal stance* pada model AFO berbahan CF 395 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 13 Distribusi deformasi untuk pembebanan terhadap *cuff* pada model AFO berbahan PP: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 14 Distribusi deformasi untuk pembebanan terhadap *cuff* pada model AFO berbahan CF 230 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 15 Distribusi deformasi untuk pembebanan terhadap *cuff* pada model AFO berbahan CF 290 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 16 Distribusi deformasi untuk pembebanan terhadap *cuff* pada model AFO berbahan CF 395 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 17 Distribusi *strain* untuk pembebanan fase *initial contact* pada model AFO berbahan PP: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 18 Distribusi *strain* untuk pembebanan fase *initial contact* pada model AFO berbahan CF 230 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 19 Distribusi *strain* untuk pembebanan fase *initial contact* pada model AFO berbahan CF 290 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 20 Distribusi *strain* untuk pembebanan fase *initial contact* pada model AFO berbahan CF 395 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 21 Distribusi *strain* untuk pembebanan fase *midstance* pada model AFO berbahan PP: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 22 Distribusi *strain* untuk pembebanan fase *midstance* pada model AFO berbahan CF 230 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 23 Distribusi *strain* untuk pembebanan fase *midstance* pada model AFO berbahan CF 290 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4

- 24 Distribusi *strain* untuk pembebanan fase *midstance* pada model AFO berbahan CF 395 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 25 Distribusi *strain* untuk pembebanan fase *terminal stance* pada model AFO berbahan PP: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 26 Distribusi *strain* untuk pembebanan fase *terminal stance* pada model AFO berbahan CF 230 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 27 Distribusi *strain* untuk pembebanan fase *terminal stance* pada model AFO berbahan CF 290 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 28 Distribusi *strain* untuk pembebanan fase *terminal stance* pada model AFO berbahan CF 395 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 29 Distribusi *strain* untuk pembebanan terhadap *cuff* pada model AFO berbahan PP: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 30 Distribusi *strain* untuk pembebanan terhadap *cuff* pada model AFO berbahan CF 230 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 31 Distribusi *strain* untuk pembebanan terhadap *cuff* pada model AFO berbahan CF 290 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 32 Distribusi *strain* untuk pembebanan terhadap *cuff* pada model AFO berbahan CF 395 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 33 Distribusi *stress* untuk pembebanan fase *initial contact* pada model AFO berbahan PP: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 34 Lokasi *stress* maksimal untuk pembebanan fase *initial contact* pada model AFO berbahan PP: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 35 Distribusi *stress* untuk pembebanan fase *initial contact* pada model AFO berbahan CF 230 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4

- 36 Lokasi *stress* maksimal untuk pembebanan fase *initial contact* pada model AFO berbahan CF 230 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 37 Distribusi *stress* untuk pembebanan fase *initial contact* pada model AFO berbahan CF 290 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 38 Lokasi *stress* maksimal untuk pembebanan fase *initial contact* pada model AFO berbahan CF 290 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 39 Distribusi *stress* untuk pembebanan fase *initial contact* pada model AFO berbahan CF 395 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 40 Lokasi *stress* maksimal untuk pembebanan fase *initial contact* pada model AFO berbahan CF 395 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 41 Distribusi *stress* untuk pembebanan fase *midstance* pada model AFO berbahan PP: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 42 Lokasi *stress* maksimal untuk pembebanan fase *midstance* pada model AFO berbahan PP: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 43 Distribusi *stress* untuk pembebanan fase *midstance* pada model AFO berbahan CF 230 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 44 Lokasi *stress* maksimal untuk pembebanan fase *midstance* pada model AFO berbahan CF 230 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 45 Distribusi *stress* untuk pembebanan fase *midstance* pada model AFO berbahan CF 290 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 46 Lokasi *stress* maksimal untuk pembebanan fase *midstance* pada model AFO berbahan CF 290 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 47 Distribusi *stress* untuk pembebanan fase *midstance* pada model AFO berbahan CF 395 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4

- 48 Lokasi *stress* maksimal untuk pembebanan fase *midstance* pada model AFO berbahan CF 395 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 49 Distribusi *stress* untuk pembebanan fase *terminal stance* pada model AFO berbahan PP: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 50 Lokasi *stress* maksimal untuk pembebanan fase *terminal stance* pada model AFO berbahan PP: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 51 Distribusi *stress* untuk pembebanan fase *terminal stance* pada model AFO berbahan CF 230 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 52 Lokasi *stress* maksimal untuk pembebanan fase *terminal stance* pada model AFO berbahan CF 230 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 53 Distribusi *stress* untuk pembebanan fase *terminal stance* pada model AFO berbahan CF 290 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 54 Lokasi *stress* maksimal untuk pembebanan fase *terminal stance* pada model AFO berbahan CF 290 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 55 Distribusi *stress* untuk pembebanan fase *terminal stance* pada model AFO berbahan CF 395 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 56 Lokasi *stress* maksimal untuk pembebanan fase *terminal stance* pada model AFO berbahan CF 395 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 57 Distribusi *stress* untuk pembebanan terhadap *cuff* pada model AFO berbahan PP: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 58 Lokasi *stress* maksimal untuk pembebanan terhadap *cuff* pada model AFO berbahan PP: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 59 Distribusi *stress* untuk pembebanan terhadap *cuff* pada model AFO berbahan CF 230 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4

- 60 Lokasi *stress* maksimal untuk pembebanan terhadap *cuff* pada model AFO berbahan CF 230 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 61 Distribusi *stress* untuk pembebanan terhadap *cuff* pada model AFO berbahan CF 290 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 62 Lokasi *stress* maksimal untuk pembebanan terhadap *cuff* pada model AFO berbahan CF 290 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 63 Distribusi *stress* untuk pembebanan terhadap *cuff* pada model AFO berbahan CF 395 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4
- 64 Lokasi *stress* maksimal untuk pembebanan terhadap *cuff* pada model AFO berbahan CF 395 GPa: a)Variasi 1, b)Variasi 2, c)Variasi 3, d)Variasi 4