

SKRIPSI

**ANALISIS DESAIN *LONG ARM CAST* UNTUK CEDERA
FRAKTUR RADIUS DISTAL BERGESER DENGAN
PROGRAM SIMULASI NUMERIK**



DINDA CYBERPUTRI

**PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK BIOMEDIS
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS AIRLANGGA
2022**

**ANALISIS DESAIN *LONG ARM CAST* UNTUK CEDERA
FRAKTUR RADIUS DISTAL BERGESER DENGAN
PROGRAM SIMULASI NUMERIK**

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Bidang Teknik Biomedis
pada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Airlangga

Dinda Cyberputri
NIM. 081811733016

Disetujui oleh :

Pembimbing I,



Drs. Pujiyanto, M.S.
NIP. 196103251987101001

Pembimbing II,



Alfian Pradigita Putra, S.T., M.Sc.
NIP. 199207232019031014

LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI

Judul : Analisis Desain *Long Arm Cast* untuk Cedera Fraktur
Radius Distal Bergeser dengan Program Simulasi Numerik
Penyusun : Dinda Cyberputri
NIM : 081811731016
Pembimbing I : Drs. Pujiyanto, M.S.
Pembimbing II : Alfian Pramudita Putra, S.T., M.Sc.
Tanggal Ujian : 25 November 2022

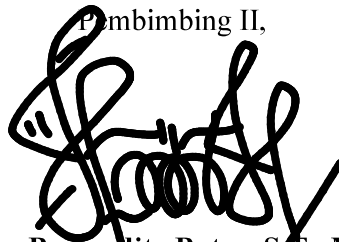
Disetujui oleh,

Pembimbing I,



Drs. Pujiyanto, M.S.
NIP. 196103251987101001

Pembimbing II,



Alfian Pramudita Putra, S.T., M.Sc.
NIP. 199207232019031014

Mengetahui,

Ketua Departemen Fisika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Airlangga



Herri Trilaksana, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP. 197712282003121003

Ketua Program Studi S1 Teknik Biomedis
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Airlangga



Dr. Riries Rulaningtyas, S.T., M.T.
NIP. 197903152003122002

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Skripsi ini tidak dipublikasikan, namun tersedia di perpustakaan dalam lingkungan Universitas Airlangga, diperkenankan untuk dipakai sebagai referensi kepustakaan, tetapi pengutipan harus seizin penyusun dan harus menyebutkan sumbernya sesuai kebiasaan ilmiah.

Dokumen skripsi ini merupakan hak milik Universitas Airlangga.

SURAT PERNYATAAN TENTANG ORISINALITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini, saya:

Nama : Dinda Cyberputri

Nim : 081811733016

Program Studi : Teknik Biomedis

Fakultas : Sains dan Teknologi

Jenjang : Sarjana (S1)

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan tindak plagiat dalam penulisan skripsi saya yang berjudul:

ANALISIS DESAIN LONG ARM CAST UNTUK CEDERA FRAKTUR RADIUS DISTAL BERGESER DENGAN PROGRAM SIMULASI NUMERIK

Apabila suatu saat nanti terbukti melakukan tindakan plagiat, maka saya menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 07 November 2022

Yang membuat pernyataan



Dinda Cyberputri
NIM. 081811733016

Cyberputri, Dinda. 2022. **Analisis Desain *Long Arm Cast* untuk Cedera Fraktur Radius Distal Bergeser dengan Program Simulasi Numerik**. Skripsi ini dibawah bimbingan Drs. Pujiyanto, M.S. dan Alfian Pramudita Putra, S.T., M.Sc., Program Studi S1 Teknik Biomedis, Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga.

ABSTRAK

Kasus fraktur radius distal (DRF) terjadi hingga 35% dari semua kasus fraktur lengan bawah. 80% pasien anak dengan kasus DRF bergeser menggunakan *casting* mendapatkan hasil yang memuaskan. *Casting* dilakukan dari pergelangan tangan sampai atas siku dengan siku fleksi atau ekstensi. Namun, *Fracture re-displacement* sering terjadi yang beresiko *malunion* serta ketidaknyamanan selama pemakaiannya. Beberapa penelitian terbaru mengembangkan *cast* dengan *Computer-Aided Design* (CAD). Teknologi tersebut menghasilkan produk yang pas serta menyelesaikan masalah ketidaknyamanan. Tujuan penelitian ini adalah menemukan desain *long arm cast* yang cocok untuk proses fiksasi fraktur radius distal bergeser. Untuk mengetahui variasi *cast* yang sesuai, dibuat beberapa desain dengan variasi: siku fleksi dan ekstensi; material Acrylonitrile Butadiene Styrene, Polylactic Acid dan Polypropylene; ketebalan 6 dan 8 mm; adanya penguat siku; dan jarak antar lubang 20 dan 40 mm. Pengujian *cast* dilakukan dengan simulasi mekanik FEM dan simulasi fluida FVM. Simulasi mekanik menghasilkan *bending stiffness* dan *safety factor* untuk mengetahui tingkat kekuatan *cast*. Simulasi fluida dilakukan untuk mengetahui kenyamanan termal desain *long arm cast*. Kelima variasi desain terbukti memengaruhi kekuatan, ketahanan, dan *thermal comfort*. Desain yang dinilai sesuai adalah desain posisi ekstensi atau fleksi, material Polylactic Acid, ketebalan 8 mm, ada penguat siku, dan jarak antar lubang ventilasi 20 mm.

Kata kunci : Fraktur Radius Distal Bergeser, *Long Arm Cast*, Simulasi Numerik.

Cyberputri, Dinda. 2022. **Design Analysis of Long Arm Cast for Displaced Distal Radius Fracture Case Using Numerical Simulation Program**. This thesis is under the guidance of Drs. Pujiyanto, M.S. and Alfian Pramudita Putra, S.T., M.Sc., Biomedical Engineering Undergraduate Study Program, Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Airlangga University.

ABSTRAC

Distal radius fractures (DRF) account for up to 35% of all forearm fractures. 80% of pediatric patients with displaced DRF cases using casting get satisfactory results. Casting is done from the wrist to above the elbow with elbow flexion or extension. However, re-displacement fractures often pose a risk of malunion and discomfort during use. Several recent studies have developed casts with Computer-Aided Design (CAD). The technology produces a product that fits perfectly and solves the problem of discomfort. The aim of this study was to find a long arm cast design that is suitable for the fixation of distal radius fractures. To determine the appropriate cast variation, several designs were made with variations: elbow flexion and extension; materials Acrylonitrile Butadiene Styrene, Polylactic Acid, and Polypropylene; thickness of 6 and 8 mm; the presence of flange; and the distance between the holes is 20 and 40 mm. Cast testing is done by FEM mechanical simulation and FVM fluid simulation. The mechanical simulation produces bending stiffness and safety factors to determine the level of cast strength. Fluid simulation is carried out to determine thermal comfort. The five design variations are proven to affect strength, durability, and thermal comfort of long arm cast design. The design that is considered appropriate is the extension or flexion position, Polylactic Acid material, 8 mm thickness, flange, and the distance between ventilation holes is 20 mm.

Keyword : Displaced Distal Radius Fracture, Long Arm Cast, Numerical Simulation.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT berkat rahmat, hidayah dan karunia-Nya naskah skripsi dapat diselesaikan dengan judul **Analisis Desain Long Arm Cast untuk Cedera Fraktur Radius Distal Bergeser dengan Program Simulasi Numerik**. Naskah skripsi ini disusun sebagai acuan penyusunan skripsi yang merupakan salah satu syarat akademik untuk mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Biomedis, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis mendapatkan banyak bantuan, bimbingan serta arahan dari berbagai pihak. Oleh karenanya, pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih yang tulus kepada :

1. Kedua orang tua, kadina, dan lalapo yang telah memberikan doa, dan dukungan sepenuhnya kepada penulis baik moral dan materil.
2. Bapak Herri Trilaksana S.Si., M.Si. selaku Ketua Departemen Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga.
3. Ibu Dr. Riries Rulaningtyas, S.T., M.Si. selaku Ketua Program Studi S-1 Teknik Biomedis Fakultas Sains Teknologi Universitas Airlangga yang telah membantu proses kelancaran penulisan proposal skripsi.
4. Bapak Fadli Ama, S.T., M.T. selaku Dosen Wali yang senantiasa memberikan bimbingan demi kelancaran urusan akademik di perkuliahan.
5. Bapak Drs. Pujiyanto, M.S. dan Bapak Alfian Pramudita Putra, S.T., M.Sc selaku Dosen Pembimbing I dan II yang senantiasa memberikan ilmu dan nasihat serta meluangkan waktu dan tenaga selama proses konsultasi penulis.
6. Keluarga bambank (salwa, sasa, aini, mustika, ame, melly), amah partner skripsiku, people ibe reality, icha & anggi sobat sma, dan teman-teman semasa kuliah yang selalu menemani dan memberi support tulus kepada penulis.

Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat baik bagi penyusun maupun bagi pembaca. Namun, penulis juga menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna. Sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran pembangun agar dapat menghasilkan tulisan yang lebih baik lagi.

Surabaya, 07 November 2022

Penulis,

Dinda Cyberputri

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI.....	iii
PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI	iv
SURAT PERNYATAAN TENTANG ORISINALITAS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRAC	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II.....	7
2.1 Anatomi Lengan Bawah	7
2.2 Fraktur Lengan Bawah.....	7
2.2.1 Fraktur Radius Distal	8
2.3 Penanganan Fraktur	10
2.4 <i>Cast</i>	14
2.5 <i>Computer-Aided Design</i>	14
2.6 Metode Numerik	15
2.6.1 <i>Finite Element Methode</i>	17
2.6.2 <i>Finite Volume Methode</i>	18
2.6.3 Prosedur Dasar Metode Numerik.....	19
2.6.4 Evaluasi Simulasi Numerik.....	22
2.7 <i>Polypropylene (PP)</i>	30
2.8 <i>Polylactic Acid (PLA)</i>	31
2.9 <i>Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)</i>	31
BAB III	33
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	33
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	33
3.3 Prosedur Penelitian	33
3.4 Proses Perancangan.....	34

3.4.1	Penetapan Data Sekunder.....	34
3.4.2	Perancangan Desain <i>Long Arm Cast</i>	35
3.4.3	Simulasi Desain <i>Long Arm Cast</i>	38
BAB IV		46
4.1	Hasil Penelitian	46
4.1.1.	Hasil Desain <i>Long Arm Cast</i>	46
4.1.2.	Hasil <i>Meshing</i> dan <i>Convergence Study</i> Desain <i>Long Arm Cast</i>	47
4.1.3.	Hasil Simulasi Mekanika Desain <i>Long Arm Cast</i>	48
4.1.4.	Hasil Analisis Simulasi Mekanika	50
4.1.5.	Hasil Desain Volume Udara dalam <i>Long Arm Cast</i> , <i>Meshing</i> dan <i>Grid Independence Study</i> untuk Simulasi Fluida	53
4.1.6.	Hasil Simulasi Fluida Desain <i>Long Arm Cast</i>	55
4.1.7.	Hasil Analisis Data Hasil Simulasi Fluida	57
4.2	Pembahasan Penelitian.....	58
4.2.1.	<i>Meshing</i> dan <i>Convergence Study</i> Desain <i>Long Arm Cast</i>	58
4.2.2.	Pengaruh Variasi Posisi Siku pada Desain <i>Long Arm Cast</i> Terhadap Bending Stiffness dan Safety Factor.....	60
4.2.3.	Pengaruh Variasi Material pada Desain <i>Long Arm Cast</i> Terhadap Bending Stiffness dan Safety Factor	66
4.2.4.	Pengaruh Variasi Ketebalan pada Desain <i>Long Arm Cast</i> Terhadap Bending Stiffness dan Safety Factor.....	72
4.2.5.	Pengaruh Variasi Penguat Siku pada Desain <i>Long Arm Cast</i> Terhadap Bending Stiffness dan Safety Factor.....	78
4.2.6.	Pengaruh Variasi Jarak antar Lubang pada Desain <i>Long Arm Cast</i> Terhadap Bending Stiffness dan Safety Factor.....	83
4.2.7.	<i>Meshing</i> dan <i>Grid Independence Study</i> untuk Desain <i>Long Arm Cast</i>	88
4.2.8.	Pengaruh Variasi Jarak Antar Lubang pada Desain <i>Long Arm Cast</i> Terhadap Thermal Comfort dalam <i>Cast</i>	90
BAB V.....		92
5.1	Kesimpulan	92
5.2	Saran	92
DAFTAR PUSTAKA		93
LAMPIRAN		97

DAFTAR TABEL

No	Judul Tabel	Hal
2.1	Insulasi pakaian (Kuehn <i>et al.</i> , 1995 dalam Mustahana, 2018)	26
2.2	Skala sensasi termal Predicted Mean Vote (PMV) (Dyvia dan Arif, 2021).	28
2.3	Sifat mekanik Polypropylene (Ashby M, 2016)	30
2.4	Sifat mekanik Polylactic Acid (Ashby M, 2016)	30
2.5	Sifat mekanik Acrylonitrile Butadiene Styrene (Ashby M, 2016)	31
3.1	Data Antropometri Subjek Penelitian (Rostamzadeh <i>et al.</i> , 2021)	33
3.2	Variasi Desain Long Arm Cast	35
3.3	Karakteristik Termal Material (Rugh dan Bharatan, 2005; Shi <i>et al.</i> , 2017; Zmeskal <i>et al.</i> , 2020)	42
4.1	Data Convergence Study Long Arm Cast Ke-1.	46
4.2	Hasil Pengujian Fatigue Failure dan Perhitungan Average Life Desain Long Arm Cast	49
4.3	Perbandingan Hasil Analisis Data Pasangan Desain Long Arm Cast dengan Variasi Sama Kecuali Variasi Posisi Siku	49
4.4	Perbandingan Hasil Analisis Data Pasangan Desain Long Arm Cast dengan Variasi Sama Kecuali Variasi Material	50
4.5	Perbandingan Hasil Analisis Data Pasangan Desain Long Arm Cast dengan Variasi Sama Kecuali Variasi Ketebalan	50
4.6	Perbandingan Hasil Analisis Data Pasangan Desain Long Arm Cast dengan Variasi Sama Kecuali Variasi Penguat	51
4.7	Perbandingan Hasil Analisis Data Pasangan Desain Long Arm Cast dengan Variasi Sama Kecuali Variasi Jarak antar Lubang	51
4.8	Data Grid Independence Study Desain Long Arm Cast Variasi 22	53
4.9	Perbandingan Data Distribusi Suhu Ruangan dalam Long Arm Cast Beberapa Variasi: variasi 22 (a), variasi 24 (b), variasi 30 (c), variasi 32 (d)	54
4.10	Perbandingan Data Distribusi Kecepatan Udara dalam Long Arm Cast Beberapa Variasi: variasi 22 (a), variasi 24, variasi 30 (c), variasi 32 (d)	55
4.11	Perbandingan Thermal Comfort dalam Long Arm Cast Beberapa Variasi: variasi 22 (a), variasi 24 (b), variasi 30 (c), variasi 32 (d)	55

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul Gambar	Halaman
2.1	Struktur Tulang Lengan Bawah (Chia <i>et al.</i> , 2015)	7
2.2	Fraktur Lengan Bawah (Forearm and Humerus Fractures Children's Mercy Kansas City, n.d.)	7
2.3	Fraktur Radius Distal (Langdon <i>et al.</i> , 2010)	9
2.4	Macam Tipe Fraktur Radius Distal (Shehovich <i>et al.</i> , 2016)	9
2.5	Tahap Penyembuhan Fraktur (Schindeler <i>et al.</i> , 2008)	11
2.6	Macam Teknik Imobilisasi Fraktur: Gips atau Cast (kiri), Splint, Plate and Screw, Intramedullary Fixation (kanan) (Caruso <i>et al.</i> , 2020).	11
2.7	Gips atau Cast (Caruso <i>et al.</i> , 2020).	13
2.8	Penerapan Computer-Aided Design (Alessandro dan Francesco, 2011)	14
2.9	Metode Simulasi Numerik: (a) Finite Element Method dan (b) Finite Volume Method (Karthik <i>et al.</i> , 2021; Y. E. Lim <i>et al.</i> , 2018)	15
2.1	Bentuk mesh (Karthik <i>et al.</i> , 2021)	19
2.11	Representasi dari mesh terstruktur untuk dua metode diskritisasi: (a) diskritisasi FEM, dan (b) diskritisasi FVM (Molina-Aiz <i>et al.</i> , 2010)	20
2.12	Boundary Condition: Simulasi mekanika struktural menggunakan Finite Element Method (atas) dan Simulasi dinamika fluida menggunakan Finite Volume Method (bawah) (Salim <i>et al.</i> , 2011)	21
2.13	Von mises stress (Callister & Rethwisch, 2010)	22
2.14	Grafik Deformasi Material (Callister & Rethwisch, 2010)	24
2.15	Hubungan antara indeks PDD dengan PMV (Mustahana, 2018)	29
3.1	Rancangan Tahapan Penelitian	32
3.2	Ilustrasi parameter pada long arm cast . Keterangan: 1) Panjang lengan bawah, 2) Panjang lengan atas, 3) Lingkaran pergelangan tangan, 4) Lingkaran lengan bawah, 5) Lingkaran siku, 6) Lingkaran lengan atas	33
3.3	Desain long arm cast dengan berbagai variasi yang akan dibuat: Variasi lengan ekstensi (a), Variasi lengan fleksi (b), Variasi berpenguat (c), Variasi tanpa penguat (d), Variasi jarak antar lubang 20mm (e), Variasi jarak antar lubang 40mm (f), Variasi ketebalan 6 mm (g), Variasi ketebalan 8mm (h), Variasi material PLA (i), Variasi material ABS (j), Variasi material PP (k).	35

3.4	S-N Curve Material: (a) polypropylene (Lucas <i>et al.</i> , 2011), (b) polylactide acid (Ezeh dan Susmel, 2018), (c) acrylonitrile butadiene styrene (Yoshida dan Bishop, 2016)	38
3.5	Lokasi Boundary Condition Desain Long arm cast untuk simulasi mekanik: Pembebanan Satu Arah yakni Posterior ke Anterior (PA) (a), Anterior ke Posteri	or
3.6	Lokasi Boundary Condition Volume Udara Sekitar Desain Long Arm Cast untuk Simulasi Fluida: inlet (a), outlet (b), wall (c), long arm cast (d), lengan manusia(AP) (b), Medial ke Lateral (ML) (c), dan Lateral ke Medial (LM) (d), Pembebanan Rotasi (R) (e), dan Fix Support (f) 40 (e).	43
3.7	Hasil Pengujian Thermal Comfort pada CBE Thermal Comfort Tool	44
4.1	Desain Long Arm Cast Ke-1 (a) dan Ke-9 (b) Tampak Samping (Atas) dan Depan (Bawah)	45
4.2	Hasil Meshing dengan Adaptive Refinement ke-4 Desain Long Arm Cast	46
4.3	Grafik Cast Convergence Study Long Arm Cast Ke 1-8	47
4.4	Grafik Convergence Study Long Arm Cast Ke 9-16	47
4.5	Distribusi Deformasi Desain Long Arm Cast beberapa variasi: variasi 18 (a) dan variasi 32 (b)	47
4.6	Distribusi Stress Desain Long Arm Cast beberapa variasi: variasi 18 (a) dan variasi 32 (b)	48
4.7	Distribusi Strain Desain Long Arm Cast beberapa variasi: variasi 18 (a) dan variasi 32 (b)	48
4.8	Hasil Fatigue Desain Long Arm Cast Beberapa Variasi: variasi 22 (a) dan variasi 32 (b).	48
4.9	Desain Volume Udara dalam Long Arm Cast : variasi 32 (a) dan variasi 18 (b)	52
4.10	Hasil Meshing Desain Volume Udara dalam Long Arm Cast	53
4.11	Grafik Grid Independence Study Long Arm Cast Empat Variasi	53
4.12	Distribusi Suhu Ruangan dalam Long Arm Cast Beberapa Variasi: variasi 22 (a), variasi 24 (b), variasi 30 (c), variasi 32 (d).	54
4.13	Distribusi Kecepatan Udara dalam Desain Long Arm Cast Beberapa Variasi: variasi 22 (a), variasi 24 (b), variasi 30 (c), variasi 32 (d).	55
4.14	Grafik Hubungan Indeks PMV dan PPD dalam Desain Long Arm Cast Beberapa Variasi: variasi 22 (a), variasi 24 (b), variasi 30 (c), variasi 32 (d).	56
4.15	Area Face Sizing Pada Desain Long Arm Cast	57
4.16	Distribusi Deformasi Desain Long Arm Cast Beberapa Variasi: variasi 30 (a), variasi 22 (b), variasi 32 (c), dan variasi 24 (d)	60

4.17	Distribusi Stress Desain Long Arm Cast Beberapa Variasi: variasi 30 (a), variasi 22 (b), variasi 32 (c), dan variasi 24 (d)	62
4.18	Distribusi Strain Desain Long Arm Cast Beberapa Variasi: variasi 30 (a), variasi 22 (b), variasi 32 (c), dan variasi 24 (d)	62
4.19	Distribusi Deformasi Desain Long Arm Cast Beberapa Variasi: variasi 6 (a), variasi 22 (b), variasi 38 (c), variasi 14 (d), variasi 32 (e), dan variasi 48 (f)	65
4.20	Distribusi Stress Desain Long Arm Cast Beberapa Variasi: variasi 6 (a), variasi 22 (b), variasi 38 (c), variasi 14 (d), variasi 32 (e), dan variasi 48 (f)	67
4.21	Distribusi Strain Desain Long Arm Cast Beberapa Variasi: variasi 6 (a), variasi 22 (b), variasi 38 (c), variasi 14 (d), variasi 32 (e), dan variasi 48 (f)	68
4.22	Distribusi Deformasi Desain Long Arm Cast Beberapa Variasi: variasi 18 (a), variasi 22 (b), variasi 28 (c), dan variasi 32 (d)	72
4.23	Distribusi Stress Desain Long Arm Cast Beberapa Variasi: variasi 18 (a), variasi 22 (b), variasi 28 (c), dan variasi 32 (d)	74
4.24	Distribusi Strain Desain Long Arm Cast Beberapa Variasi: variasi 18 (a), variasi 22 (b), variasi 28 (c), dan variasi 32 (d)	75
4.25	Distribusi Deformasi Desain Long Arm Cast Beberapa Variasi: variasi 17 (a), variasi 18 (b), variasi 31 (c), dan variasi 32 (d)	77
4.26	Distribusi Stress Desain Long Arm Cast Beberapa Variasi: variasi 17 (a), variasi 18 (b), variasi 31 (c), dan variasi 32 (d)	79
4.27	Distribusi Strain Desain Long Arm Cast Beberapa Variasi: variasi 17 (a), variasi 18 (b), variasi 31 (c), dan variasi 32 (d)	80
4.28	Distribusi Deformasi Desain Long Arm Cast Beberapa Variasi: variasi 18 (a), variasi 20 (b), variasi 30 (c), dan variasi 32 (d).	83
4.29	Distribusi Stress Desain Long Arm Cast Beberapa Variasi: variasi 18 (a), variasi 20 (b), variasi 30 (c), & variasi 32 (d)	84
4.30	Distribusi Strain Desain Long Arm Cast Beberapa Variasi: variasi 18 (a), variasi 20 (b), variasi 30 (c), & variasi 32 (d)	85
4.31	Dua Daerah Sizing pada Desain: Luas Permukaan Objek Lengan (biru) & Garis Pinggir Kedua Ujung Long Arm Cast (kuning)	87

DAFTAR LAMPIRAN

No	Lampiran
97	Gambar Hasil Desain Long Arm Cast
99	Grafik Hasil Convergence Study Seluruh Desain Long Arm Cast
101	Tabel Hasil Pengujian Deformasi Desain yang Diberi Pembebanan
104	Gambar Distribusi Deformasi dengan Pembebanan Anterior-Posterior (AP): variasi 1 (a), variasi 2 (b), variasi 3 (c), variasi 4 (d), variasi 5 (e), variasi 6 (f), variasi 7 (g), variasi 8 (h), variasi 9 (i), variasi 10 (j), variasi 11 (k), variasi 12 (l), variasi 13 (m), variasi 14 (n), variasi 15 (o), variasi 16 (p), variasi 17 (q), variasi 18 (r), variasi 19 (s), variasi 20 (t), variasi 21 (u), variasi 22 (v), variasi 23 (w), variasi 24 (x).
105	Gambar Distribusi Deformasi dengan Pembebanan Anterior-Posterior (AP): variasi 25 (a), variasi 26 (b), variasi 27 (c), variasi 28 (d), variasi 29 (e), variasi 30 (f), variasi 31 (g), variasi 32 (h), variasi 33 (i), variasi 34 (j), variasi 35 (k), variasi 36 (l), variasi 37 (m), variasi 38 (n), variasi 39 (o), variasi 40 (p), variasi 41 (q), variasi 42 (r), variasi 43 (s), variasi 44 (t), variasi 45 (u), variasi 46 (v), variasi 47 (w), variasi 48 (x).
106	Gambar Distribusi Deformasi dengan Pembebanan Posterior-Anterior (PA): variasi 1 (a), variasi 2 (b), variasi 3 (c), variasi 4 (d), variasi 5 (e), variasi 6 (f), variasi 7 (g), variasi 8 (h), variasi 9 (i), variasi 10 (j), variasi 11 (k), variasi 12 (l), variasi 13 (m), variasi 14 (n), variasi 15 (o), variasi 16 (p), variasi 17 (q), variasi 18 (r), variasi 19 (s), variasi 20 (t), variasi 21 (u), variasi 22 (v), variasi 23 (w), variasi 24 (x).
107	Gambar Distribusi Deformasi dengan Pembebanan Posterior-Anterior (PA): variasi 25 (a), variasi 26 (b), variasi 27 (c), variasi 28 (d), variasi 29 (e), variasi 30 (f), variasi 31 (g), variasi 32 (h), variasi 33 (i), variasi 34 (j), variasi 35 (k), variasi 36 (l), variasi 37 (m), variasi 38 (n), variasi 39 (o), variasi 40 (p), variasi 41 (q), variasi 42 (r), variasi 43 (s), variasi 44 (t), variasi 45 (u), variasi 46 (v), variasi 47 (w), variasi 48 (x).
108	Gambar Distribusi Deformasi dengan Pembebanan Medial-Lateral (ML): variasi 1 (a), variasi 2 (b), variasi 3 (c), variasi 4 (d), variasi 5 (e), variasi 6 (f), variasi 7 (g), variasi 8 (h), variasi 9 (i), variasi 10 (j), variasi 11 (k), variasi 12 (l), variasi 13 (m), variasi 14 (n), variasi 15 (o), variasi 16 (p), variasi 17 (q), variasi 18 (r), variasi 19 (s), variasi 20 (t), variasi 21 (u), variasi 22 (v), variasi 23 (w), variasi 24 (x).
109	Gambar Distribusi Deformasi dengan Pembebanan Medial-Lateral (ML): variasi 25 (a), variasi 26 (b), variasi 27 (c), variasi 28 (d), variasi 29 (e), variasi 30 (f), variasi 31 (g), variasi 32 (h), variasi 33 (i), variasi 34 (j), variasi 35 (k), variasi 36 (l), variasi 37 (m), variasi 38 (n), variasi 39 (o), variasi 40 (p), variasi 41 (q), variasi 42 (r), variasi 43 (s), variasi 44 (t), variasi 45 (u), variasi 46 (v), variasi 47 (w), variasi 48 (x).
110	Gambar Distribusi Deformasi dengan Pembebanan Lateral-Medial (LM): variasi 1 (a), variasi 2 (b), variasi 3 (c), variasi 4 (d), variasi 5 (e), variasi 6 (f), variasi 7 (g), variasi 8 (h), variasi 9 (i), variasi 10 (j),

- variasi 11 (k), variasi 12 (l), variasi 13 (m), variasi 14 (n), variasi 15 (o), variasi 16 (p), variasi 17 (q), variasi 18 (r), variasi 19 (s), variasi 20 (t), variasi 21 (u), variasi 22 (v), variasi 23 (w), variasi 24 (x).
- 111 Gambar Distribusi Deformasi dengan Pembebanan Lateral-Medial (LM): variasi 25 (a), variasi 26 (b), variasi 27 (c), variasi 28 (d), variasi 29 (e), variasi 30 (f), variasi 31 (g), variasi 32 (h), variasi 33 (i), variasi 34 (j), variasi 35 (k), variasi 36 (l), variasi 37 (m), variasi 38 (n), variasi 39 (o), variasi 40 (p), variasi 41 (q), variasi 42 (r), variasi 43 (s), variasi 44 (t), variasi 45 (u), variasi 46 (v), variasi 47 (w), variasi 48 (x).
- 112 Gambar Distribusi Deformasi dengan Pembebanan Rotasi: variasi 1 (a), variasi 2 (b), variasi 3 (c), variasi 4 (d), variasi 5 (e), variasi 6 (f), variasi 7 (g), variasi 8 (h), variasi 9 (i), variasi 10 (j), variasi 11 (k), variasi 12 (l), variasi 13 (m), variasi 14 (n), variasi 15 (o), variasi 16 (p), variasi 17 (q), variasi 18 (r), variasi 19 (s), variasi 20 (t), variasi 21 (u), variasi 22 (v), variasi 23 (w), variasi 24 (x).
- 113 Gambar Distribusi Deformasi dengan Pembebanan Rotasi: variasi 25 (a), variasi 26 (b), variasi 27 (c), variasi 28 (d), variasi 29 (e), variasi 30 (f), variasi 31 (g), variasi 32 (h), variasi 33 (i), variasi 34 (j), variasi 35 (k), variasi 36 (l), variasi 37 (m), variasi 38 (n), variasi 39 (o), variasi 40 (p), variasi 41 (q), variasi 42 (r), variasi 43 (s), variasi 44 (t), variasi 45 (u), variasi 46 (v), variasi 47 (w), variasi 48 (x).
- 114 Tabel Hasil Pengujian Stress Desain yang Diberi Pembebanan
- 117 Gambar Distribusi Stress dengan Pembebanan Anterior-Posterior (AP): variasi 1 (a), variasi 2 (b), variasi 3 (c), variasi 4 (d), variasi 5 (e), variasi 6 (f), variasi 7 (g), variasi 8 (h), variasi 9 (i), variasi 10 (j), variasi 11 (k), variasi 12 (l), variasi 13 (m), variasi 14 (n), variasi 15 (o), variasi 16 (p), variasi 17 (q), variasi 18 (r), variasi 19 (s), variasi 20 (t), variasi 21 (u), variasi 22 (v), variasi 23 (w), variasi 24 (x).
- 118 . Distribusi Stress dengan Pembebanan Anterior-Posterior (AP): variasi 25 (a), variasi 26 (b), variasi 27 (c), variasi 28 (d), variasi 29 (e), variasi 30 (f), variasi 31 (g), variasi 32 (h), variasi 33 (i), variasi 34 (j), variasi 35 (k), variasi 36 (l), variasi 37 (m), variasi 38 (n), variasi 39 (o), variasi 40 (p), variasi 41 (q), variasi 42 (r), variasi 43 (s), variasi 44 (t), variasi 45 (u), variasi 46 (v), variasi 47 (w), variasi 48 (x).
- 119 . Gambar Distribusi Stress dengan Pembebanan Posterior-Anterior (PA): variasi 1 (a), variasi 2 (b), variasi 3 (c), variasi 4 (d), variasi 5 (e), variasi 6 (f), variasi 7 (g), variasi 8 (h), variasi 9 (i), variasi 10 (j), variasi 11 (k), variasi 12 (l), variasi 13 (m), variasi 14 (n), variasi 15 (o), variasi 16 (p), variasi 17 (q), variasi 18 (r), variasi 19 (s), variasi 20 (t), variasi 21 (u), variasi 22 (v), variasi 23 (w), variasi 24 (x).
- 120 Distribusi Stress dengan Pembebanan Posterior-Anterior (PA): variasi 25 (a), variasi 26 (b), variasi 27 (c), variasi 28 (d), variasi 29 (e), variasi 30 (f), variasi 31 (g), variasi 32 (h), variasi 33 (i), variasi 34 (j), variasi 35 (k), variasi 36 (l), variasi 37 (m), variasi 38 (n), variasi 39 (o), variasi 40 (p), variasi 41 (q), variasi 42 (r), variasi 43 (s), variasi 44 (t), variasi 45 (u), variasi 46 (v), variasi 47 (w), variasi 48 (x).

- 121 Gambar Distribusi Stress dengan Pembebanan Medial-Lateral (ML): variasi 1 (a), variasi 2 (b), variasi 3 (c), variasi 4 (d), variasi 5 (e), variasi 6 (f), variasi 7 (g), variasi 8 (h), variasi 9 (i), variasi 10 (j), variasi 11 (k), variasi 12 (l), variasi 13 (m), variasi 14 (n), variasi 15 (o), variasi 16 (p), variasi 17 (q), variasi 18 (r), variasi 19 (s), variasi 20 (t), variasi 21 (u), variasi 22 (v), variasi 23 (w), variasi 24 (x).
- 122 Gambar Distribusi Stress dengan Pembebanan Medial-Lateral (ML): variasi 25 (a), variasi 26 (b), variasi 27 (c), variasi 28 (d), variasi 29 (e), variasi 30 (f), variasi 31 (g), variasi 32 (h), variasi 33 (i), variasi 34 (j), variasi 35 (k), variasi 36 (l), variasi 37 (m), variasi 38 (n), variasi 39 (o), variasi 40 (p), variasi 41 (q), variasi 42 (r), variasi 43 (s), variasi 44 (t), variasi 45 (u), variasi 46 (v), variasi 47 (w), variasi 48 (x).
- 123 Gambar Distribusi Stress dengan Pembebanan Lateral-Medial (LM): variasi 1 (a), variasi 2 (b), variasi 3 (c), variasi 4 (d), variasi 5 (e), variasi 6 (f), variasi 7 (g), variasi 8 (h), variasi 9 (i), variasi 10 (j), variasi 11 (k), variasi 12 (l), variasi 13 (m), variasi 14 (n), variasi 15 (o), variasi 16 (p), variasi 17 (q), variasi 18 (r), variasi 19 (s), variasi 20 (t), variasi 21 (u), variasi 22 (v), variasi 23 (w), variasi 24 (x).
- 124 Gambar Distribusi Stress dengan Pembebanan Lateral-Medial (LM): variasi 25 (a), variasi 26 (b), variasi 27 (c), variasi 28 (d), variasi 29 (e), variasi 30 (f), variasi 31 (g), variasi 32 (h), variasi 33 (i), variasi 34 (j), variasi 35 (k), variasi 36 (l), variasi 37 (m), variasi 38 (n), variasi 39 (o), variasi 40 (p), variasi 41 (q), variasi 42 (r), variasi 43 (s), variasi 44 (t), variasi 45 (u), variasi 46 (v), variasi 47 (w), variasi 48 (x).
- 125 Gambar Distribusi Stress dengan Pembebanan Rotasi: variasi 1 (a), variasi 2 (b), variasi 3 (c), variasi 4 (d), variasi 5 (e), variasi 6 (f), variasi 7 (g), variasi 8 (h), variasi 9 (i), variasi 10 (j), variasi 11 (k), variasi 12 (l), variasi 13 (m), variasi 14 (n), variasi 15 (o), variasi 16 (p), variasi 17 (q), variasi 18 (r), variasi 19 (s), variasi 20 (t), variasi 21 (u), variasi 22 (v), variasi 23 (w), variasi 24 (x).
- 126 Gambar Distribusi Stress dengan Pembebanan Rotasi: variasi 25 (a), variasi 26 (b), variasi 27 (c), variasi 28 (d), variasi 29 (e), variasi 30 (f), variasi 31 (g), variasi 32 (h), variasi 33 (i), variasi 34 (j), variasi 35 (k), variasi 36 (l), variasi 37 (m), variasi 38 (n), variasi 39 (o), variasi 40 (p), variasi 41 (q), variasi 42 (r), variasi 43 (s), variasi 44 (t), variasi 45 (u), variasi 46 (v), variasi 47 (w), variasi 48 (x).
- 127 Tabel Hasil Pengujian Strain Desain yang Diberi Pembebanan
- 130 Gambar Distribusi Deformasi dengan Pembebanan Anterior-Posterior (AP): variasi 1 (a), variasi 2 (b), variasi 3 (c), variasi 4 (d), variasi 5 (e), variasi 6 (f), variasi 7 (g), variasi 8 (h), variasi 9 (i), variasi 10 (j), variasi 11 (k), variasi 12 (l), variasi 13 (m), variasi 14 (n), variasi 15 (o), variasi 16 (p), variasi 17 (q), variasi 18 (r), variasi 19 (s), variasi 20 (t), variasi 21 (u), variasi 22 (v), variasi 23 (w), variasi 24 (x).
- 131 . Distribusi Strain dengan Pembebanan Anterior-Posterior (AP): variasi 25 (a), variasi 26 (b), variasi 27 (c), variasi 28 (d), variasi 29 (e), variasi 30 (f), variasi 31 (g), variasi 32 (h), variasi 33 (i), variasi 34 (j), variasi

- 35 (k), variasi 36 (l), variasi 37 (m), variasi 38 (n), variasi 39 (o), variasi 40 (p), variasi 41 (q), variasi 42 (r), variasi 43 (s), variasi 44 (t), variasi 45 (u), variasi 46 (v), variasi 47 (w), variasi 48 (x).
- 132 . Gambar Distribusi Strain dengan Pembebanan Posterior-Anterior (PA): variasi 1 (a), variasi 2 (b), variasi 3 (c), variasi 4 (d), variasi 5 (e), variasi 6 (f), variasi 7 (g), variasi 8 (h), variasi 9 (i), variasi 10 (j), variasi 11 (k), variasi 12 (l), variasi 13 (m), variasi 14 (n), variasi 15 (o), variasi 16 (p), variasi 17 (q), variasi 18 (r), variasi 19 (s), variasi 20 (t), variasi 21 (u), variasi 22 (v), variasi 23 (w), variasi 24 (x).
- 133 Distribusi Stress dengan Pembebanan Posterior-Anterior (PA): variasi 25 (a), variasi 26 (b), variasi 27 (c), variasi 28 (d), variasi 29 (e), variasi 30 (f), variasi 31 (g), variasi 32 (h), variasi 33 (i), variasi 34 (j), variasi 35 (k), variasi 36 (l), variasi 37 (m), variasi 38 (n), variasi 39 (o), variasi 40 (p), variasi 41 (q), variasi 42 (r), variasi 43 (s), variasi 44 (t), variasi 45 (u), variasi 46 (v), variasi 47 (w), variasi 48 (x).
- 134 Gambar Distribusi Strain dengan Pembebanan Medial-Lateral (ML): variasi 1 (a), variasi 2 (b), variasi 3 (c), variasi 4 (d), variasi 5 (e), variasi 6 (f), variasi 7 (g), variasi 8 (h), variasi 9 (i), variasi 10 (j), variasi 11 (k), variasi 12 (l), variasi 13 (m), variasi 14 (n), variasi 15 (o), variasi 16 (p), variasi 17 (q), variasi 18 (r), variasi 19 (s), variasi 20 (t), variasi 21 (u), variasi 22 (v), variasi 23 (w), variasi 24 (x).
- 135 Gambar Distribusi Strain dengan Pembebanan Medial-Lateral (ML): variasi 25 (a), variasi 26 (b), variasi 27 (c), variasi 28 (d), variasi 29 (e), variasi 30 (f), variasi 31 (g), variasi 32 (h), variasi 33 (i), variasi 34 (j), variasi 35 (k), variasi 36 (l), variasi 37 (m), variasi 38 (n), variasi 39 (o), variasi 40 (p), variasi 41 (q), variasi 42 (r), variasi 43 (s), variasi 44 (t), variasi 45 (u), variasi 46 (v), variasi 47 (w), variasi 48 (x).
- 136 Gambar Distribusi Strain dengan Pembebanan Lateral-Medial (LM): variasi 1 (a), variasi 2 (b), variasi 3 (c), variasi 4 (d), variasi 5 (e), variasi 6 (f), variasi 7 (g), variasi 8 (h), variasi 9 (i), variasi 10 (j), variasi 11 (k), variasi 12 (l), variasi 13 (m), variasi 14 (n), variasi 15 (o), variasi 16 (p), variasi 17 (q), variasi 18 (r), variasi 19 (s), variasi 20 (t), variasi 21 (u), variasi 22 (v), variasi 23 (w), variasi 24 (x).
- 137 Gambar Distribusi Strain dengan Pembebanan Lateral-Medial (LM): variasi 25 (a), variasi 26 (b), variasi 27 (c), variasi 28 (d), variasi 29 (e), variasi 30 (f), variasi 31 (g), variasi 32 (h), variasi 33 (i), variasi 34 (j), variasi 35 (k), variasi 36 (l), variasi 37 (m), variasi 38 (n), variasi 39 (o), variasi 40 (p), variasi 41 (q), variasi 42 (r), variasi 43 (s), variasi 44 (t), variasi 45 (u), variasi 46 (v), variasi 47 (w), variasi 48 (x).
- 138 Gambar Distribusi Strain dengan Pembebanan Rotasi: variasi 1 (a), variasi 2 (b), variasi 3 (c), variasi 4 (d), variasi 5 (e), variasi 6 (f), variasi 7 (g), variasi 8 (h), variasi 9 (i), variasi 10 (j), variasi 11 (k), variasi 12 (l), variasi 13 (m), variasi 14 (n), variasi 15 (o), variasi 16 (p), variasi 17 (q), variasi 18 (r), variasi 19 (s), variasi 20 (t), variasi 21 (u), variasi 22 (v), variasi 23 (w), variasi 24 (x).

- 139 Gambar Distribusi Strain dengan Pembebanan Rotasi: variasi 25 (a), variasi 26 (b), variasi 27 (c), variasi 28 (d), variasi 29 (e), variasi 30 (f), variasi 31 (g), variasi 32 (h), variasi 33 (i), variasi 34 (j), variasi 35 (k), variasi 36 (l), variasi 37 (m), variasi 38 (n), variasi 39 (o), variasi 40 (p), variasi 41 (q), variasi 42 (r), variasi 43 (s), variasi 44 (t), variasi 45 (u), variasi 46 (v), variasi 47 (w), variasi 48 (x).
- 140 Tabel Hasil Perhitungan Bending Stiffness
- 143 Tabel Hasil Perhitungan Safety Factor
- 146 Grafik Hasil Grid Independence Study Seluruh Desain Volume dalam Long Arm Cast