

**SKRIPSI**

**OPTIMASI KONSENTRASI MATERIAL *SILICONE* PADA  
*PHANTOM* TANGAN *CARPAL TUNNEL SYNDROME* (CTS)  
UNTUK SIMULASI PEMBEDAHAN DAN PEMASANGAN  
SARAF CONDUIT DENGAN *3D PRINTING***

***OPTIMIZATION OF SILICONE MATERIAL CONCENTRATION  
IN CARPAL TUNNEL SYNDROME (CTS) HAND PHANTOM  
FOR SIMULATING SURGERY AND CONDUIT NERVE  
INSTALLATION WITH 3D PRINTING***



Disusun oleh

**YULI MARFUAH  
20108014**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK BIOMEDIS  
FAKULTAS TEKNIK TELEKOMUNIKASI DAN ELEKTRO  
INSTITUT TEKNOLOGI TELKOM PURWOKERTO**

**2024**

**SKRIPSI**

**OPTIMASI KONSENTRASI MATERIAL *SILICONE* PADA  
*PHANTOM* TANGAN *CARPAL TUNNEL SYNDROME* (CTS)  
UNTUK SIMULASI PEMBEDAHAN DAN PEMASANGAN  
SARAF CONDUIT DENGAN 3D *PRINTING***

***OPTIMIZATION OF SILICONE MATERIAL CONCENTRATION  
IN CARPAL TUNNEL SYNDROME (CTS) HAND PHANTOM  
FOR SIMULATING SURGERY AND CONDUIT NERVE  
INSTALLATION WITH 3D PRINTING***



Disusun oleh

**YULI MARFUAH  
20108014**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK BIOMEDIS  
FAKULTAS TEKNIK TELEKOMUNIKASI DAN ELEKTRO  
INSTITUT TEKNOLOGI TELKOM PURWOKERTO**

**2024**

**OPTIMASI KONSENTRASI MATERIAL *SILICONE* PADA  
*PHANTOM* TANGAN *CARPAL TUNNEL SYNDROME* (CTS)  
UNTUK SIMULASI PEMBEDAHAN DAN PEMASANGAN  
SARAF CONDUIT DENGAN *3D PRINTING***

***OPTIMIZATION OF SILICONE MATERIAL CONCENTRATION  
IN CARPAL TUNNEL SYNDROME (CTS) HAND PHANTOM  
FOR SIMULATING SURGERY AND CONDUIT NERVE  
INSTALLATION WITH 3D PRINTING***

**Skripsi ini digunakan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik (S.T.)  
Di Institut Teknologi Telkom Purwokerto  
2023**

Disusun oleh

**YULI MARFUAH  
20108014**

**DOSEN PEMBIMBING**

**Muhammad Yusro, S.T., M.Biotech  
Nur Afifah Zen, S.Si., M.Si.**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK BIOMEDIS**

**FAKULTAS TEKNIK TELEKOMUNIKASI DAN ELEKTRO**

**INSTITUT TEKNOLOGI TELKOM PURWOKERTO**

**2024**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**OPTIMASI KONSENTRASI MATERIAL *SILICONE* PADA  
PHANTOM TANGAN *CARPAL TUNNEL SYNDROME (CTS)*  
UNTUK SIMULASI PEMBEDAHAN DAN PEMASANGAN  
SARAF CONDUIT DENGAN *3D PRINTING***

***OPTIMIZATION OF SILICONE MATERIAL CONCENTRATION  
IN CARPAL TUNNEL SYNDROME (CTS) HAND PHANTOM  
FOR SIMULATING SURGERY AND CONDUIT NERVE  
INSTALLATION WITH 3D PRINTING***

Disusun oleh  
YULI MARFUAH  
20108014

Telah dipertanggungjawabkan di hadapan Tim Penguji pada tanggal 24 Januari  
2024

Susunan Tim Penguji

Pembimbing Utama : Muhammad Yusro, S.T., M.Biotech  
NIDN. 0619048901

Pembimbing Pendamping : Nur Afifah Zen, S.Si., M.Si  
NIDN. 0627129201

Penguji 1 : Indah Permatasari, S.Si., M.Si  
NIDN. 0625079302

Penguji 2 : Prasetyo Yulianto, S.T., M.T  
NIDN. 0620079201

Mengetahui,

Ketua Program Studi **S1** Teknik Biomedis  
Institut Teknologi Telkom Purwokerto



Irmayatul Hikmah, S.Si., M.Si  
NIDN. 0610069301

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya, **YULI MARFUAH**, menyatakan bahwa skripsi dengan judul **“OPTIMASI KONSENTRASI MATERIAL *SILICONE* PADA *PHANTOM* TANGAN *CARPAL TUNNEL SYNDROME* (CTS) UNTUK SIMULASI PEMBEDAHAN DAN PEMASANGAN SARAF CONDUIT DENGAN 3D *PRINTING*”** adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan kecuali melalui pengutipan sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku. Saya bersedia menanggung risiko ataupun sanksi yang dijatuhkan kepada saya apabila ditemukan pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam skripsi saya ini.

Purwokerto, 15 Januari 2024

Yang menyatakan,

  
METERAI  
TEMPEL  
CAGB2AKX757882741  
(Yuli Marfuah)



## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan kasih dan sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "**OPTIMASI KONSENTRASI MATERIAL *SILICONE* PADA *PHANTOM* TANGAN *CARPAL TUNNEL SYNDROME (CTS)* UNTUK SIMULASI PEMBEDAHAN DAN PEMASANGAN SARAF CONDUIT DENGAN *3D PRINTING*".**Maksud dari penyusunan skripsi ini adalah untuk memenuhi salah satu syarat dalam menempuh ujian sarjana Teknik Biomedis pada Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro Institut Teknologi Telkom Purwokerto.

Dalam penyusunan skripsi ini, banyak pihak yang sangat membantu penulis dalam berbagai hal. Oleh karena itu, penulis sampaikan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan kasih sayang tidak terbatas. Untuk Allah muara dari segala cita-cita.
2. Nabi Muhammad SAW sosok dan panutan hidup penulis untuk selalu tabah dalam menghadapi permasalahan
3. Kedua orang tua saya yang senantiasa memberikan doa dan dukungan penuh secara emosional dan finansial selama tahap demi tahap dalam hidup saya.
4. Ibu Dr. Tenia Wahyuningrum, S.Kom., MT. selaku Rektor Institut Teknologi Telkom Purwokerto.
5. Ibu Dr. Anggun Fitriani Isnawati, S.T.,M.Eng. selaku Dekan Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro (FTTE) Institut Teknologi Telkom Purwokerto.
6. Ibu Irmayatul Hikmah.S.Si.,M.Si. selaku Kepala Program Studi Teknik Biomedis Institut Teknologi Telkom Purwokerto.
7. Bapak Muhammad Yusro, S.T., M.Biotech selaku pembimbing 1, mentor dan semangat dalam menjalani proses perkuliahan hingga tugas akhir saya.
8. Ibu Nur Afifah Zen, S.Si.M.Si selaku pembimbing 2 dalam proses pengerjaan tugas akhir saya.

9. Alm. Adik saya Ahmad Fahri yang menjadi semangat saya dalam menjalani segala urusannya dalam dunia perkuliahan maupun luar dunia perkuliahan.
10. Adik saya Rasyid Al-Kharis, Nenek, Kakek, dan Keluarga besar saya yang selalu mendukung saya dalam masa perkuliahan
11. Seluruh Dosen S1 Teknik Biomedis yang telah memberikan ilmu, semangat, energi positif, dan senantiasa membantu selama masa perkuliahan.
12. Keluarga Besar Pondok Pesantren Al-Ihsan yang menjadi washilah dalam hidup saya.
13. Rekan penelitian saya dan teman-teman kelas S1 TB01-A yang senantiasa menjadi teman suka maupun duka dalam proses perkuliahan saya.
14. Serta orang-orang yang baik dan sayang dengan saya dan senantiasa membantu dalam proses perkuliahan dan tugas akhir saya yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu.

Purwokerto, 16 Januari 2024



(Yuli Marfuah)

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>II</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	<b>III</b>
<b>PRAKATA</b> .....	<b>IV</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VII</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>VIII</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>XI</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>XIII</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 LATAR BELAKANG .....	1
1.2 RUMUSAN MASALAH.....	3
1.3 BATASAN MASALAH.....	3
1.4 TUJUAN.....	3
1.5 MANFAAT .....	4
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN.....	4
<b>BAB 2 DASAR TEORI</b> .....	<b>6</b>
2.1 KAJIAN PUSTAKA.....	6
2.2 DASAR TEORI .....	15
2.2.1 <i>CARPAL TUNNEL SYNDROME</i> (CTS) .....	15
2.2.2 OPTIMASI DESAIN DENGAN <i>COMPUTER AIDED DESIGN</i> (CAD).....	17
2.2.3 <i>SOFTWARE</i> DESAIN.....	17
2.2.4 <i>SOFTWARE</i> PENDUKUNG MATLAB .....	19
2.2.5 PENGAPLIKASIAN <i>SOFTWARE</i> DESAIN PADA DESAIN <i>PHANTOM</i> .....	20
2.2.6 <i>3D PRINTING</i> .....	21
2.2.8 PENCETAKAN <i>PHANTOM</i> .....	23
2.2.9 <i>3D PRINT</i> PADA DESAIN <i>PHANTOM</i> .....	30
2.2.10 OPTIMASI MATERIAL <i>SILICONE</i> .....	32
2.2.11 PARAMETER YANG DIUKUR DALAM PROSES UJI TARIK.....	35
2.2.12 <i>3D PRINTING</i> DAN <i>MOLDING</i> DALAM ORTOPHEDI .....	38
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN</b> .....	<b>41</b>
3.1 FABRIKASI DAN KARAKTERISASI VARIASI FORMULASI KONSENTRASI MATERIAL <i>SILICONE</i> UNTUK <i>PHANTOM</i> SIMULASI PEMBEDAHAN CTS.....	41
3.1.1 PEMBUATAN MOLD SPESIMEN UJI .....	43
3.1.2 OPTIMASI MATERIAL <i>SILICONE</i> DENGAN PROSES <i>MOLDING</i> .....	44
3.1.3 METODE KARAKTERISASI <i>TENSILE STRENGTH</i> .....	49



3.1.4	PENYESUAIAN PARAMETER <i>PHANTOM</i> DENGAN HASIL <i>TENSILE STRENGTH</i> 51	
3.2	FABRIKASI <i>PHANTOM</i> TANGAN CTS MELALUI 3D <i>PRINTING</i> DENGAN VARIASI KONSENTRASI MATERIAL <i>SILICONE</i> .....	52
3.2.1	OPTIMASI 3D DESAIN DENGAN CAD.....	53
3.2.2	PROSES 3D <i>PRINTING</i> .....	55
3.2.3	OPTIMASI PROSES PENCETAKAN <i>PHANTOM</i> .....	56
3.3	SKEMA PENELITIAN .....	57
<b>BAB 4</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>59</b>
4.1	KARAKTERISASI VARIASI FORMULASI KONSENTRASI MATERIAL <i>SILICONE</i> PADA <i>PHANTOM</i> SIMULASI PEMBEDAHAN .....	59
4.1.1	HASIL DESAIN DAN 3D <i>PRINTING MOLD</i> SPESIMEN UJI .....	59
<u>4.1.2</u>	HASIL DAN ANALISIS OPTIMASI MATERIAL .....	61
4.1.3	HASIL DAN ANALISIS KARAKTERISASI VARIASI KONSENTRASI MATERIAL <i>SILICONE</i> .....	71
4.1.3.1	HASIL DAN ANALISIS UJI TARIK <i>SILICONE CONCRETE</i> 1:1 DAN KATALIS .....	71
4.1.3.2	HASIL DAN ANALISIS UJI TARIK <i>SILICONE CONCRETE</i> 1:2 DAN KATALIS .....	76
4.1.3.3	HASIL DAN ANALISIS UJI TARIK <i>SILICONE RTV H-00</i> DENGAN KATALIS.....	81
4.1.3.4	HASIL DAN ANALISIS UJI TARIK <i>SILICONE CONCRETE</i> DAN <i>LATEX</i> .....	85
4.1.3.5	HASIL DAN ANALISIS UJI TARIK <i>SILICONE RTV H-00</i> DENGAN <i>LATEX</i> .....	86
4.1.3.6	HASIL DAN ANALISIS UJI TARIK <i>SILICONE RTV H-00</i> DENGAN <i>THINNER</i> .....	91
4.1.3.7	HASIL DAN ANALISIS UJI TARIK <i>LATEX BIOTEX</i> DENGAN KATALIS .....	95
4.2	FABRIKASI <i>PHANTOM</i> TANGAN CTS DENGAN MATERIAL OPTIMAL.....	100
4.2.1	HASIL 3D PRINT MOLD ANATOMI.....	101
4.2.2	ANALISIS HASIL <i>TENSILE STRENGTH</i> UNTUK PENETAPAN MATERIAL OPTIMAL PADA <i>PHANTOM</i> .....	102
4.2.3	IMPLEMENTASI MATERIAL OPTIMAL DARI HASIL ANALISIS <i>TENSILE</i> <i>STRENGTH</i> .....	103
4.3	IMPLIKASI DAN PENGARUH HASIL PENELITIAN UNTUK PENELITIAN SELANJUTNYA.....	107
4.3.1	ILUSTRASI SIMULASI PEMBEDAHAN PADA <i>PHANTOM</i> .....	107
4.3.2	EVALUASI <i>FINITE ELEMENT SYSTEM (FEA) STRESS, STRAIN, DAN</i> <i>DISPLACEMENT</i> PADA SARAF CONDUIT .....	108
<b>BAB 5</b>	<b>PENUTUP.....</b>	<b>110</b>
5.1	KESIMPULAN .....	110
5.2	SARAN.....	111
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>112</b>

**LAMPIRAN..... 120**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Endoscopic Carpal Tunnel Release[21].	16
Gambar 2.2 Tampilan Depan Software Solidworks 2022	18
Gambar 2.3 Tampilan Depan Mesmixer	19
Gambar 2.4 3D Print FDM[32].	22
Gambar 2.5 3D Print SLA[35].	23
Gambar 2.6 Struktur Molekular PLA[38].	24
Gambar 2.7 Filament PLA[39].	25
Gambar 2.8 Esun Resin Bio-PLA[35].	26
Gambar 2.9 Rantai Utama Polidimetilsiloksan[44].	27
Gambar 2.10 User Interface Utimaker Cura	29
Gambar 3.1 Penyesuaian Ukuran Spesimen Uji pada Mold	43
Gambar 3.2 Ilustrasi Proses Optimasi Konsentrasi Material Silicone	44
Gambar 3.3 Alat Tensile strength	50
Gambar 3.4 Ilustrasi Proses Fabrikasi Phantom Tangan CTS	52
Gambar 3.5 Ilustrasi Proses Optimasi Desain 3D dengan Computer Aided Desain (CAD)	54
Gambar 3.6 Ilustrasi Proses 3D Printing	55
Gambar 3.7 Ilustrasi Molding Tangan dengan Silicone Rubber[12].	56
Gambar 3.8 Ilustrasi Tahapan Penelitian.	58
Gambar 3.9 Flowchart Tahapan Penelitian	58
Gambar 4.1 Hasil 3D Print FDM Mold Spesimen Uji	60
Gambar 4.2 Hasil Molding Silicone Concrete 50A A:B (2,5% Katalis)	62
Gambar 4.3 Hasil Molding Silicone Concrete 50a A:B (3% Katalis)	63
Gambar 4.4 Hasil Molding Silicone RTVH-00 (4 Variasi Konsentrasi Katalis)	64
Gambar 4.5 Hasil Molding Silicone Concrete+( 3 Variasi Konsentrasi Penambahan Latex) + (2,5% Konsentrasi Katalis)	66
Gambar 4.6 Hasil Molding Silicone RTV H-00+(3 Variasi Konsentrasi Penambahan Latex) + (2,5% Katalis)	67
Gambar 4.7 Hasil Molding Silicone RTV H-00+(3 Variasi Variasi Konsentrasi Penambahan Thinner) + (2,5% Katalis)	68
Gambar 4.8 Hasil Molding Latex Cair Biotex (Variasi Konsentrasi Katalis)	70
Gambar 4.9 Grafik Silicone Concrete 1-1 (2,5% dan 3% Katalis)	75
Gambar 4.10 Grafik Silicone Concrete 1:2 (2,5% Dan 3% Katalis)	80
Gambar 4.11 Grafik Uji Tarik Silicone Rtv H-00 (2,5%,4,5%, dan 6,5% Katalis)	85
Gambar 4.12 Grafik Uji Tarik Silicone RTV H00 dan Penambahan (2,5%, 5%, dan 7,5% Latex)	90
Gambar 4.13 Grafik Uji Tarik Silicone RTV H-00 dengan Penambahan (7,5%, 10%, dan 12,5% Thinner)	95
Gambar 4.14 Grafik Uji Tarik Latex dengan Penambahan (20%, 50%, dan 80% Katalis)	100
Gambar 4.15 Hasil 3D Print Mold Anatomi dan 3D Print SLA Anatomi...	101
Gambar 4.16 Hasil Implementasi Material Optimal pada Detail Anatomi Phantom Tangan CTS	104

<b>Gambar 4.17 Hasil Penataan Phantom Tangan Carpal Tunnel Syndrome</b>	<b>106</b>
<b>Gambar 4.18 Ilustrasi Simulasi Pembedahan pada Phantom .....</b>	<b>107</b>
<b>Gambar 4.19 Tabel Parameter Tensile Strength Clear Resin[65]. .....</b>	<b>108</b>
<b>Gambar 4.20 Evaluasi FEA pada Saraf Conduit.....</b>	<b>108</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Referensi Penelitian.....	9
Tabel 2 Sifat Fisik dan Mekanis Silicone Rubber[44]. .....	27
Tabel 2.3 Parameter Material Phantom .....	32
Tabel 3.1 Alat dan Bahan yang Digunakan pada Fabrikasi dan Karakterisasi Variasi Konsentrasi Material Silicone .....	41
Tabel 3.2 Molding Variasi Konsentrasi Silicone Tanpa Kombinasi Material Lain.....	46
Tabel 3.3 Molding Variasi Konsentrasi Silicone dan Kombinasi dengan Material Lain.....	47
Tabel 3.4 Molding Variasi Konsentrasi Latex Cair Biotex .....	49
Tabel 3.5 Alat dan Bahan yang Digunakan .....	52
Tabel 4.1 Hasil Data Force Silicone Concrete 1:1 dan Katalis .....	72
Tabel 4.2 Hasil Data Elongation dan Modulus Elastisitas (Et) pada Silicone Concrete 1:1 dan Katalis .....	73
Tabel 4.3 Hasil Data Tensile Modulus (Kekakuan) (Et) dan Tensile Strength ( $\sigma_M$ ) pada Silicone Concrete 1:1 dan Katalis.....	73
Tabel 4.4 Hasil Data Strain-Stress pada Silicone Concrete 1:1 dan Katalis .	74
Tabel 4.5 Hasil Force Silicone Concrete 1:2 dan Katalis .....	76
Tabel 4.6 Hasil Data Elongation dan Modulus Elastisitas (Et) pada Silicone Concrete 1:2 dan Katalis .....	77
Tabel 4.7 Hasil Data Tensile Modulus (Kekakuan) (Et) dan Tensile Strength ( $\sigma_M$ ) pada Silicone Concrete 1:2 dan Katalis.....	78
Tabel 4.8 Hasil Data Strain-Stress pada Silicone Concrete 1:2 dan Katalis .	79
Tabel 4.9 Hasil Force RTV H00 dengan Katalis .....	81
Tabel 4.10 Hasil Data Elongation dan Modulus Elastisitas (Et) pada RTV H00 dengan Katalis .....	82
Tabel 4.11 Hasil Data Tensile Modulus (Kekakuan) (Et) dan Tensile Strength ( $\sigma_M$ ) pada Silicone RTV H00 dengan Katalis .....	83
Tabel 4.12 Hasil Data Strain-Stress pada Silicone RTV H00 dengan Katalis	84
Tabel 4.13 Hasil Data Pengujian Silicone Concrete dengan Latex .....	86
Tabel 4.14 Hasil Data Force Silicone RTV H-00 dengan Latex.....	87
Tabel 4.15 Hasil Data Elongation dan Modulus Elastisitas Silicone RTV H-00 dengan Latex .....	88
Tabel 4.16 Hasil Data Modulus Elastisitas dengan Tensile Strength Silicone RTV H-00 dan Latex.....	89
Tabel 4.17 Hasil Data Strain-Stress Silicone RTV H-00 dengan Latex .....	89
Tabel 4. 18 Hasil Data Force Silicone RTV H-00 dengan Thinner .....	91
Tabel 4.19 Hasil Data Elongation dan Modulus Elastisitas Silicone RTV H-00 dengan Thinner .....	92
Tabel 4.20 Hasil Data Modulus Elastisitas dan Tensile Strength Silicone RTV H-00 dengan Thinner.....	93
Tabel 4. 21 Hasil Data Strain-Stress Silicone RTV H-00 dengan Thinner ...	94
Tabel 4.22 Hasil Data Force Latex Biotex dengan Katalis.....	96

<b>Tabel 4.23 Hasil data Elongation dan Modulus Elastisitas Latex Biotex dengan Katalis .....</b>	<b>97</b>
<b>Tabel 4.24 Hasil Data Tensile Modulus dan Tensile Strength Latex Biotex dengan Katalis .....</b>	<b>98</b>
<b>Tabel 4.25 Hasil Data Strain-Stress Latex Biotex dengan Katalis .....</b>	<b>99</b>