

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PERNYATAAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI	iii
PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI	iv
SURAT PERNYATAAN TENTANG ORISINALITAS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Penelitian	5
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tulang Belakang	6
2.2 Tuberkulosis Tulang Belakang	7
2.3 Rekayasa Jaringan Tulang	8
2.3.1 <i>Scaffold</i>	8
2.3.2 Desain dan Ukuran Pori <i>Scaffold</i>	9
2.3.3 <i>Polylactid Acid</i> (PLA)	11
2.4 <i>Injectable Bone Substitute</i> Berbasis HA, Gelatin, HPMC, Streptomisin..	11
2.4.1 <i>Injectable Bone Substitute</i> (IBS)	11
2.4.2 Hidroksiapatit	13

2.4.3	Gelatin	14
2.4.4	<i>Hydroxypropyl Metilcellulose</i>	15
2.4.5	Streptomisin	15
2.5	Teknologi 3D <i>Printing</i>	16
2.5.1	3D <i>Printing</i> Metode <i>Fused Deposition Modelling</i>	16
2.5.2	<i>Solidworks</i>	17
2.6	Karakterisasi <i>Scaffold</i>	18
2.6.1	Uji <i>Digital Microscope</i>	18
2.6.2	UJI SEM.....	19
2.6.3	Uji Kuat Tekan (<i>Compressive Strength</i>).....	20
2.6.4	Uji Kuat Tarik (<i>Tensile Strength</i>)	20
2.6.5	Uji Bending	21
2.6.6	Uji UV-Vis	22
2.6.7	Uji Porositas	23
2.6.8	Uji Sudut Kontak	24
BAB III METODE PENELITIAN.....		25
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	25
3.2	Bahan dan Alat Penelitian.....	25
3.2.1.	Bahan Penelitian.....	25
3.2.2.	Alat Penelitian.....	26
3.3	Variabel Penelitian	26
3.4	Prosedur Penelitian.....	27
3.5	Penjelasan Skema Langkah Penelitian.....	27
3.5.1	Pembuatan <i>Scaffold</i> 3D	27
3.5.2	Pembuatan Pasta IBS	32
3.5.3	Pengisian Pasta IBS pada <i>scaffold</i>	32
3.5.4	Karakterisasi <i>Scaffold</i> dan <i>Scaffold</i> berpasta IBS	33
3.5.4.1	Uji <i>Digital Microscope</i>	33
3.5.4.2	UJI SEM.....	33
3.5.4.3	Uji Kuat Tekan.....	34
3.5.4.4	Uji Tarik	35

3.5.4.5 Uji Bending	36
3.5.4.6 Uji UV-Vis	36
3.5.4.7 Uji Porositas	37
3.5.4.8 Uji Sudut Kontak	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Hasil Desain	39
4.2 Hasil Sintesis	41
4.2.1 Hasil 3D <i>Printing Scaffold Tulang</i>	41
4.2.2 Hasil Sintesis Pasta IBS	43
4.2.3 Injeksi Pasta IBS ke dalam <i>Scaffold</i> Hasil Cetak	44
4.3 Hasil Karakterisasi	47
4.3.1 Hasil Uji <i>Digital Microscope</i>	47
4.3.2 Hasil Uji SEM	50
4.3.3 Hasil Uji Kuat Tekan	53
4.3.4 Hasil Uji Tarik	56
4.3.4.1 Hasil Uji Nilai <i>Tensile Strength</i>	57
4.3.4.2 Hasil Uji Nilai <i>Elongation</i>	59
4.3.4.3 Hasil Uji Nilai <i>Modulus Elastisitas</i>	61
4.3.5 Hasil Uji <i>Bending Strength</i>	63
4.3.6 Hasil Uji UV-Vis	65
4.3.7 Hasil Uji Porositas	69
4.3.8 Hasil Uji Sudut Kontak	71
4.4 Pembahasan	73
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	77
5.1 Kesimpulan	77
5.2 Saran	78
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN	83
Lampiran 1. Pembuatan Desain <i>Scaffold</i>	83
Lampiran 2. Analisis Uji <i>Digital Microscope</i>	90
Lampiran 3. Analisis Uji SEM-EDX	97

Lampiran 4. Analisis Uji Kuat Tekan	98
Lampiran 5. Hasil Uji Kuat Tarik	103
Lampiran 5.1 Hasil Uji <i>Tensile Strength</i>	103
Lampiran 5.2 Analisis Nilai <i>Elongation</i>	110
Lampiran 5.3 Hasil Uji <i>Modulus Elastisitas</i>	116
Lampiran 6. Hasil Uji <i>Bending Strength</i>	122
Lampiran 7. Analisis Uji UV-VIS	130
Lampiran 8. Analisis Porositas	132
Lampiran 9. Analisis Sudut Kontak	138

DAFTAR TABEL

Nomor	Judul Tabel	Halaman
2.1	Sifat Mekanik Hidroksiapatit	13
3.1	Variabel Terikat yang Dipakai	26
3.2	Ukuran <i>Strut</i> dan Jarak antar <i>Strut</i> Desain <i>Scaffold</i>	29
4.1	Hasil Massa <i>Scaffold</i> Sebelum dan Sesudah Injeksi IBS	46
4.2	Hasil Uji Ukuran Pori <i>scaffold</i> 3D <i>Printing</i>	49
4.3	Rasio Komposisi Ca dan P	52
4.4	Hasil Uji Kuat Tekan <i>Scaffold</i> 3D <i>Printing</i>	55
4.5	Hasil Uji <i>Tensile Strength Scaffold</i> 3D <i>Printing</i>	58
4.6	Hasil Uji <i>Elongation Scaffold</i> 3D <i>Printing</i>	60
4.7	Hasil Uji <i>Modulus Elastisitas Scaffold</i> 3D <i>Printing</i>	62
4.8	Hasil Uji Bending <i>Scaffold</i> 3D <i>Printing</i>	64
4.9	Hasil Konsentrasi Streptomisin yang Terlepas	68
4.10	Hasil Porositas <i>Scaffold</i> 3D <i>Printing</i>	70
4.11	Hasil Sudut Kontak <i>Scaffold</i> 3D <i>Printing</i>	71
L.2.1	Data Ukuran Pori <i>Scaffold</i> Hasil Uji <i>digital Microscope</i>	93
L.2.2	Data Ukuran Pori <i>Scaffold</i> Berpasta IBS Hasil Uji <i>digital Microscope</i>	96
L.3.1	Hasil Uji SEM-EDX <i>Scaffold</i> setelah Injeksi Pasta IBS	97
L.4.1	Perhitungan <i>Compressive Strength Scaffold</i> 3D <i>Printing</i>	98
L.4.2	Perhitungan <i>Compressive Strength Scaffold</i> berpasta IBS	98
L.4.3	Perhitungan Rata-rata dan Simpangan Baku Gaya <i>Scaffold</i> PLA	99
L.4.4	Perhitungan Rata-rata dan Simpangan Baku Gaya <i>Scaffold</i> berpasta IBS	99
L.5.1.1	Perhitungan <i>Tensile Strength Scaffold</i> 3D <i>Printing</i>	103
L.5.1.2	Perhitungan <i>Tensile Strength Scaffold</i> berpasta IBS	103

L.5.1.3	Perhitungan Rata-rata dan Simpangan Baku Gaya <i>Scaffold</i> PLA	105
L.5.1.4	Perhitungan Rata-rata dan Simpangan Baku Lebar <i>Scaffold</i> PLA	105
L.5.1.5	Perhitungan Rata-rata dan Simpangan Baku Tebal <i>Scaffold</i> berpasta IBS	105
L.5.1.6	Perhitungan Rata-rata dan Simpangan Baku Gaya <i>Scaffold</i> berpasta IBS	106
L.5.1.7	Perhitungan Rata-rata dan Simpangan Baku Lebar <i>Scaffold</i> berpasta IBS	106
L.5.1.8	Perhitungan Rata-rata dan Simpangan Baku Tebal <i>Scaffold</i> PLA	106
L.5.2.1	Perhitungan <i>Elongation</i> sampel <i>scaffold</i> 3D <i>Printing</i>	110
L.5.2.2	Perhitungan <i>Elongation</i> sampel <i>scaffold</i> berpasta IBS	110
L.5.2.3	Perhitungan Rata-rata dan Simpangan Baku Panjang Mula-mula <i>Scaffold</i> PLA	110
L.5.2.4	Perhitungan Rata-rata dan Simpangan Baku Perubahan Panjang <i>Scaffold</i> PLA	112
L.5.2.5	Perhitungan Rata-rata dan Simpangan Baku Panjang Mula-mula <i>Scaffold</i> berpasta IBS	112
L.5.2.6	Perhitungan Rata-rata dan Simpangan Baku Perubahan Panjang <i>Scaffold</i> berpasta IBS	112
L.5.3.1	Perhitungan <i>Modulus Elastisitas Scaffold</i> 3D <i>Printing</i>	116
L.5.3.2	Perhitungan <i>Modulus Elastisitas Scaffold</i> Berpasta IBS	116
L.6.1	Perhitungan <i>Bending Strength Scaffold</i> 3D <i>Printing</i>	122
L.6.2	Perhitungan <i>Bending Strength Scaffold</i> berpasta IBS	122
L.6.3	Perhitungan Rata-rata dan Simpangan Baku Gaya <i>Scaffold</i> PLA	124
L.6.4	Perhitungan Rata-rata dan Simpangan Baku Lebar <i>Scaffold</i> PLA	124

L.6.5	Perhitungan Rata-rata dan Simpangan Baku Tebal <i>Scaffold</i> PLA	124
L.6.6	Perhitungan Rata-rata dan Simpangan Baku Gaya <i>Scaffold</i> berpasta IBS	125
L.6.7	Perhitungan Rata-rata dan Simpangan Baku Lebar <i>Scaffold</i> berpasta IBS	125
L.6.8	Perhitungan Rata-rata dan Simpangan Baku Tebal <i>Scaffold</i> berpasta IBS	125
L.7.1	Data Panjang Gelombang dan Absorbansi Streptomisin Sampel 5 Variasi Ukuran Pori	130
L.8.1	Data Awal Perhitungan $V_{scaffold}$	132
L.8.2	Hasil Perhitungan $V_{scaffold}$	134
L.8.3	Perhitungan Rata-rata dan Simpangan Baku Massa <i>Scaffold</i>	134
L.8.4	Hasil Perhitungan $V_{polimer}$	136

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul Gambar	Halaman
2.1	Struktur Tulang Belakang Tampak Depan	6
2.2	Kerusakan (B) Kompresi Tulang Vertebra T6-7	8
2.3	Perbaikan <i>Bone Defect</i> dengan <i>Scaffold</i>	9
2.4	Desain Geometri <i>Polyhedron</i>	10
2.5	Struktur Kimia Asam Laktat	11
2.6	Pasta IBS	12
2.7	Struktur Kimia HA	13
2.8	Struktur Kimia Gelatin	14
2.9	Struktur Molekul HPMC	15
2.10	Struktur Kimia Streptomisin	16
2.11	3D <i>Printing</i> menggunakan FDM	17
2.12	Tampilan Awal <i>Solidworks</i>	18
2.13	Mekanisme Kerja SEM	19
2.14	Grafik Hubungan <i>Stain-Stress</i>	21
2.15	Model Teoritis <i>Bending Test</i>	22
2.16	Perilaku Tetesan Air dan Nilai Sudut Kontak	24
3.1	Diagram Alir Penelitian	27
3.2	Desain alas segi delapan	28
3.3	Proses Pembuatan Kerangka Desain <i>Truncated Hexahedron</i>	28
3.4	Kerangka Desain <i>Truncated Hexahedron</i>	29
3.5	Proses Pengaturan Ukuran Jari-jari <i>Strut</i>	30
3.6	Proses <i>Swept</i> Kerangka Desain	30
3.7	Desain Satuan <i>Truncated Hexahedron</i>	31
3.8	Desain Geometri <i>Truncated Hexahedron</i> Hasil <i>Assembly</i>	31
3.9	Alat <i>Digital Microscope</i>	33
3.10	Alat Uji Tekan, Tarik, dan Bending	35
3.11	Spektrofotometer Uv-Vis Shimadzu 1800	37

4.1	Hasil Desain <i>Scaffold</i> untuk Uji Tekan dengan Ukuran Pori (A) 600 μm , (B) 800 μm , (C) 1000 μm , (D) 1200 μm , (E) 1400 μm	40
4.2	Hasil Desain <i>Scaffold</i> untuk Uji Tarik dengan Ukuran Pori (A) 600 μm , (B) 800 μm , (C) 1000 μm , (D) 1200 μm , (E) 1400 μm	40
4.3	Hasil Desain <i>Scaffold</i> Uji Bending dengan Ukuran Pori (A) 600 μm , (B) 800 μm , (C) 1000 μm , (D) 1200 μm , (E) 1400 μm	41
4.4	<i>Scaffold</i> Hasil Cetak 3D <i>Printer</i> untuk Uji Tekan dengan Ukuran Pori (A) 600 μm , (B) 800 μm , (C) 1000 μm , (D) 1200 μm , (E) 1400 μm	42
4.5	<i>Scaffold</i> Hasil Cetak 3D <i>Printer</i> untuk Uji Tarik dengan Ukuran Pori (A) 600 μm , (B) 800 μm , (C) 1000 μm , (D) 1200 μm , (E) 1400 μm	42
4.6	<i>Scaffold</i> Hasil Cetak 3D <i>Printer</i> untuk Uji Bending dengan Ukuran Pori (A) 600 μm , (B) 800 μm , (C) 1000 μm , (D) 1200 μm , (E) 1400 μm	43
4.7	Hasil Sintesis Pasta IBS	44
4.8	<i>Scaffold</i> telah diinjeksi IBS untuk Uji Tekan dengan Ukuran Pori (A) 600 μm , (B) 800 μm , (C) 1000 μm , (D) 1200 μm , (E) 1400 μm	45
4.9	<i>Scaffold</i> telah diinjeksi IBS untuk Uji Tarik dengan Ukuran Pori (A) 600 μm , (B) 800 μm , (C) 1000 μm , (D) 1200 μm , (E) 1400 μm	45
4.10	<i>Scaffold</i> telah diinjeksi IBS untuk Uji Bending dengan Ukuran Pori (A) 600 μm , (B) 800 μm , (C) 1000 μm , (D) 1200 μm , (E) 1400 μm	46
4.11	Hasil Morfologi Ukuran Pori <i>scaffold</i> PLA	48
4.12	Hasil Morfologi Ukuran Pori <i>scaffold</i> PLA dengan Injeksi IBS	49
4.13	Hasil Pengujian SEM <i>Scaffold</i> setelah Injeksi Pasta IBS	51
4.14	Analisis EDX <i>Scaffold</i> setelah Injeksi Pasta IBS	52

4.15	Hasil Kurva Uji Tekan <i>Scaffold</i> PLA	53
4.16	Hasil Kurva Uji Tekan <i>Scaffold</i> Injeksi Pasta IBS	54
4.17	Grafik Hasil Uji Kuat Tekan <i>Scaffold</i> PLA, dan PLA+IBS	55
4.18	Hasil Uji Kuat Tarik <i>Scaffold</i> PLA	56
4.19	Hasil Uji Kuat Tarik <i>Scaffold</i> Injeksi Pasta IBS	57
4.20	Grafik Hasil Uji <i>Tensile Strength Scaffold</i> PLA, dan PLA+IBS	58
4.21	Grafik Hasil Uji <i>Elongation Scaffold</i> PLA, dan PLA+IBS	60
4.22	Grafik Hasil Uji <i>Modulus Elastisitas Scaffold</i> PLA, dan PLA+IBS	62
4.23	Hasil Uji Bending <i>Scaffold</i> PLA	63
4.24	Hasil Uji Bending <i>Scaffold</i> Injeksi Pasta IBS	64
4.25	Grafik Hasil Uji Bending <i>Scaffold</i> PLA, dan PLA+IBS	65
4.26	Absorbansi Hasil UV-Vis untuk Larutan Kalibrasi	66
4.27	Kurva Standar Konsentrasi Streptomisin	67
4.28	Absorbansi Hasil UV-Vis untuk Streptomisin yang Terlepas dari 5 Variasi Ukuran Pori <i>Scaffold</i> Berpasta IBS	67
4.29	Hasil Uji Konsentrasi Streptomisin yang Terlepas	68
4.30	Hasil Porositas <i>Scaffold</i>	70
4.31	Hasil Sudut Kontak <i>Scaffold</i> PLA	71
4.32	Hasil Sudut Kontak <i>Scaffold</i> PLA setelah Injeksi IBS	72
L.2.1	Hasil <i>Digital Microscope Scaffold</i> Ukuran Pori 600 μm	90
L.2.2	Hasil <i>Digital Microscope Scaffold</i> Ukuran Pori 800 μm	91
L.2.3	Hasil <i>Digital Microscope Scaffold</i> Ukuran Pori 1000 μm	91
L.2.4	Hasil <i>Digital Microscope Scaffold</i> Ukuran Pori 1200 μm	92
L.2.5	Hasil <i>Digital Microscope Scaffold</i> Ukuran Pori 1400 μm	92
L.2.6	Hasil <i>Digital Microscope Scaffold</i> Berpasta IBS Ukuran Pori 600 μm	93
L.2.7	Hasil <i>Digital Microscope Scaffold</i> Berpasta IBS Ukuran Pori 800 μm	94

L.2.8	Hasil <i>Digital Microscope Scaffold</i> Berpasta IBS Ukuran Pori 1000 μm	94
L.2.9	Hasil <i>Digital Microscope Scaffold</i> Berpasta IBS Ukuran Pori 1200 μm	95
L.2.10	Hasil <i>Digital Microscope Scaffold</i> Berpasta IBS Ukuran Pori 1400 μm	95
L.3.1	Hasil Uji SEM-EDX <i>Scaffold</i> setelah Injeksi Pasta IBS	97
L.9.1	Sudut Kontak <i>Scaffold</i> 600 μm	138
L.9.2	Sudut Kontak <i>Scaffold</i> 800 μm	138
L.9.3	Sudut Kontak <i>Scaffold</i> 1000 μm	139
L.9.4	Sudut Kontak <i>Scaffold</i> 1200 μm	139
L.9.5	Sudut Kontak <i>Scaffold</i> 1400 μm	139
L.9.6	Sudut Kontak <i>Scaffold</i> Berpasta IBS 600 μm	140
L.9.7	Sudut Kontak <i>Scaffold</i> Berpasta IBS 800 μm	140
L.9.8	Sudut Kontak <i>Scaffold</i> Berpasta IBS 1000 μm	141
L.9.9	Sudut Kontak <i>Scaffold</i> Berpasta IBS 1200 μm	141
L.9.10	Sudut Kontak <i>Scaffold</i> Berpasta IBS 1400 μm	141

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Judul Lampiran	Halaman
1	Pembuatan Desain <i>Scaffold</i>	83
2	Analisis Uji <i>Digital Microscope</i>	90
3	Analisis Uji SEM-EDX	97
4	Analisis Uji Kuat Tekan	98
5	Analisis Uji Kuat Tarik	103
6	Analisis Uji <i>Bending Strength</i>	122
7	Analisis UV-Vis	130
8	Analisis Porositas	132
9	Analisis Sudut Kontak	138