

IR – PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

SCAFFOLD 3D PRINTING POLYCAPROLACTONE
HIDROGEL *SILK FIBROIN-CHITOSAN* SEBAGAI
PENANGANAN DEFEEK MENISKUS LUTUT

SKRIPSI



MUSTIKA AINUN SABRINA

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

**SCAFFOLD 3D PRINTING POLYCAPROLACTONE HIDROGEL SILK
FIBROIN-CHITOSAN SEBAGAI PENANGANAN DEFЕК MENISKUS
LUTUT**

LEMBAR PERNYATAAN

SKRIPSI

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

Mustika Ainun Sabrina
NIM 081811733049

Disetujui oleh :

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Dr. Prihartini Widiyanti drg., M.Kes, S.Blo

NIP. 197502222009122001



Drs. Dionv Izak Rudyardjo, M.Si

NIP. 196802011993031004

LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI

Judul : *Scaffold 3D Printing Polycaprolactone Hidrogel Silk Fibroin-Chitosan* Sebagai Penanganan Defek Meniskus Lutut
Penyusun : Mustika Ainun Sabrina
NIM : 081811733049
Pembimbing I : Dr. Prihartini Widiyanti drg., M.Kes, S. Bio.
Pembimbing II : Drs. Djony Izak Rudyardjo, M.Si
Tanggal Ujian : 26 Oktober 2022

Disetujui oleh,

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Dr. Prihartini Widiyanti drg., M.Kes, S.Bio

NIP. 197502222009122001

Drs. Djony Izak Rudyardjo, M.Si

NIP. 196802011993031004

Mengetahui,

Ketua Departemen Fisika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Airlangga

Herri Trilaksana, M.Si., Ph.D.

NIP. 197712282003121003

Koordinator 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 digunakan sebagai referensi kepustakaan, tetapi pengutipan harus seizin penyusun dan harus menyebutkan sumbernya sesuai kebiasaan ilmiah.

Dokumen skripsi ini merupakan hak milik Universitas Airlangga.

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Mustika Ainun Sabrina

NIM : 081811733049

Program Studi : S-1 Teknik Biomedis

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Skripsi : *Scaffold 3D Printing Polycaprolactone Hidrogel Silk
Fibroin-Chitosan Sebagai Penanganan Defek Meniskus
Lutut*

Menyatakan dengan sungguh-sungguh bahwa bagian atau keseluruhan isi skripsi ini tidak pernah diajukan untuk mendapat gelar akademis pada bidang studi dan/atau universitas lain dan tidak pernah dipublikasikan/ditulis oleh individu selain penyusun kecuali bila dituliskan dengan format kutipan dalam isi skripsi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku di Universitas Airlangga. Pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Surabaya, 22 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,

Mustika Ainun Sabrina

NIM. 081811733049

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat rahmat, hidayah dan karunia-Nya naskah skripsi dengan judul ***“Scaffold 3D Printing Polycaprolactone Hidrogel Silk Fibroin-Chitosan Sebagai Penanganan Defek Meniskus Lutut”*** dapat diselesaikan. Naskah skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat akademik guna mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Biomedis, Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan naskah skripsi ini tidak berjalan dengan lancar tanpa bantuan, arahan, bimbingan, dukungan dan semangat dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan dukungan baik dukungan moril maupun materil, baik secara langsung maupun tidak langsung, terutama kepada

1. Bapak Subiyandono dan Ibu Andi Masrura, selaku orang tua penulis serta Keluarga Besar Marto Sanjoyo yang selalu memberikan doa, waktu, kasih sayang, dan dukungan dalam bentuk apapun agar penulis dapat menyelesaikan pendidikannya dengan baik.
2. Bapak Herri Trilaksana, S.Si, M.Si. Ph.D, selaku Kepala Departemen Fisika Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga.
3. Ibu Dr. Riries Rulaningtyas, S.T, M.T., selaku Koordinator Program Studi S1 Teknik Biomedis Universitas Airlangga yang telah memberikan dukungan dalam proses penulisan proposal skripsi.
4. Ibu Dr. Prihartini Widiyanti drg., M.Kes, S. Bio, CCD, selaku dosen pembimbing I yang senantiasa memberikan ilmu yang bermanfaat, tanpa lelah meluangkan waktu untuk membimbing memberikan arahan dan saran yang membangun dengan penuh kesabaran sehingga penulis selalu bersemangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak Drs. Djony Izak Rudyardjo, M.Si, selaku dosen pembimbing II dan yang telah memberi arahan serta bimbingan dalam penyelesaian proposal.

6. Ibu Dyah Hikmawati, S.Si., M.Si selaku penguji 1 dan Ibu Fitriyatul Qulub, S.T., M.T selaku Penguji 2 yang telah memberikan banyak saran yang membangun dan arahan dalam penyempurnaan skripsi.
7. Para dosen dan staff S1 Teknik Biomedis yang telah membimbing serta memberikan wawasan ilmu selama di bangku perkuliahan.
8. Mas Firman, Pak Rochman, Pak Kusairi, Bu Indah, Pak Adi, Pak Deny, selaku para laboran yang telah membantu dan menolong saya khususnya dalam pencetakan *scaffold* PCL serta karakterisasi sampel.
9. Teman-teman Teknik Biomedis Universitas Airlangga angkatan 2018, Beatin, yang selalu menemani dan berproses bersama sejak hari pertama kuliah.
10. Teman-teman peminatan Biomaterial TB 18 dan teman-teman seperbimbingan skripsi Dokter Yanti, Salwa, Indira, Cakra, Roshina, Fabian yang telah memberikan banyak dukungan, bantuan, semangat demi kelancaran pengerjaan dan penulisan.
11. Sahabat-sahabat saya yang juga keluarga kosan saya, Salwa, Aini, Zalsabila, Amelia, Cyber, Melly yang mendengarkan 24/7 keluhan keresahan dan kegelisahan saya, tetap menemani menyemangati menghibur dan tertawa bersama selama perkuliahan hingga terselesaikannya naskah skripsi ini.
12. Adik-adik tingkat saya sekaligus tim PKM-PIMNAS 2022, Nabila, Ary, Anita, yang telah banyak membantu memberi dukungan semangat dalam pengerjaan Naskah Skripsi ini.
13. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu melancarkan proses penyusunan proposal ini.
14. *Last but not least, I wanna thank me, I wanna thank me for believing in me, I wanna thank me for doing all these hard work, I wanna thank me for having no days off, I wanna thank me for never quitting, I wanna thank me for always being giver and trying to give more than I receive, I wanna thank me for trying to do more right than wrong, I wanna thank me for just being me at all time.*

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan secara teknis penulisan maupun substansi dalam naskah penelitian skripsi ini. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun dari semua pihak untuk menyempurnakan naskah ini. Penulis berharap naskah ini dapat bermanfaat bagi masyarakat umum dan kalangan mahasiswa Teknik Biomedis pada khususnya.

Surabaya, 22 Agustus 2022

Penulis

Sabrina, Mustika Ainun. 2022. ***Scaffold 3D Printing Polycaprolactone Hidrogel Silk Fibroin-Chitosan sebagai Penanganan Defek Meniskus Lutut***. Skripsi ini di bawah bimbingan Dr. Prihartini Widiyanti, drg., M.Kes., S.Bio., CCD. dan Drs. Djony Izak Rudyarjo, M.Si. Program Studi Teknik Biomedis, Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga.

ABSTRAK

Insiden robek meniskus traumatis mencapai 66-70 per 100.000 kasus tiap tahun di Amerika Serikat. Data *sport clinic* RSUD Soetomo menyebutkan kasus cedera meniskus mencapai 34,44% dalam kurun waktu 2010-2011. Penanganan cedera meniskus pada bagian *avascular* ditangani dengan metode menisektomi yang dapat meningkatkan risiko osteoarthritis pada lutut, efek penyembuhan yang buruk, serta degenerasi tulang rawan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil karakterisasi dan komposisi terbaik *scaffold 3D printing polycaprolactone* hidrogel *silk fibroin-chitosan*. *Scaffold 3D PCL* dicetak menggunakan metode *fused deposition modelling*. Larutan hidrogel terdiri dari campuran larutan *chitosan* 1,5%, larutan *silk fibroin* 2% serta, larutan NaCMC 3% dengan rasio perbandingan volume SF:CS 1:10, 3:20, dan 2:10. *Scaffold 3DP PCL* dilakukan *deep coating* atau *immersed* dalam hidrogel, dioven hingga kering kemudian direndam dalam PBS hingga mengembang. *Scaffold* kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR, morfologi (SEM), sitotoksitas (MTT assay), kuat tarik, kuat tekan, *swelling*, serta degradasi. Hasil analisis diketahui biokomposit terbaik ditemukan pada komposisi kelompok perlakuan SF:CS 2:10 dengan viabilitas sel tertinggi 67,15%, waktu degradasi selama 3,5 bulan sesuai dengan waktu penyembuhan meniskus, serta derajat *swelling* sebesar 25,13% sesuai dengan sifat *swelling scaffold* pada aplikasi meniskus. Modulus tekan terendah sebesar $7,54 \pm 0,64$ MPa serta modulus tarik sebesar $31,80 \pm 3,14$ MPa yang sesuai dengan penelitian sebelumnya tentang *scaffold PCL* untuk regenerasi meniskus. Selain itu hasil karakterisasi FTIR dan morfologi SEM menunjukkan bahwa *scaffold 3DP PCL* hidrogel *silk fibroin-chitosan* memiliki potensi terbaik sebagai *scaffold* pada penanganan defek meniskus lutut.

Kata kunci:

Meniskus, Scaffold, 3D Printing, Hidrogel, PCL, Silk Fibroin, Chitosan

Sabrina, Mustika Ainun. 2022. **Scaffold 3D Printing Polycaprolactone Hydrogel Silk Fibroin-Chitosan as Treatment of Meniscus Defect**. Undergraduate thesis supervised by Dr. Prihartini Widiyanti, drg., M.Kes., S.Bio and Drs. Djony Izak Rudyarjo, M.Si, Biomedical Engineering Bachelor Program, Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Airlangga University.

ABSTRACT

The incidence of traumatic meniscus tears is 66-70 per 100,000 cases annually in the USA. Sport clinic data from Soetomo Hospital that meniscus injury cases reached 34.44% from 2010-2011. Meniscus injuries in the avascular section were treated with the meniscectomy method, which can increase the risk of knee osteoarthritis, poor healing effects, and cartilage degeneration. This research aims to determine the characterization result and the best composition of scaffold 3DP polycaprolactone hydrogel silk fibroin-chitosan. The 3D PCL scaffold was printed using the fused deposition modeling method. The hydrogel solution consisted of 1.5% chitosan, 2% silk fibroin, and 3% NaCMC with a volume ratio of SF : CS 1:10, 3:20, and 2:10. The 3DP PCL scaffold was immersed in the hydrogel, dried in an oven and then soaked in PBS until it swelled. The scaffolds were characterized using FTIR, morphology (SEM), cytotoxicity (MTT assay), tensile strength, compressive test, swelling, and degradation. Analysis revealed that the best biocomposite was found in the treatment group of SF:CS 2:10 with the highest cell viability at 67.15%, the degradation time at 3,5 months according to the meniscus healing time, the degree of swelling at 25.13% same with meniscus scaffold swelling properties. The lowest compressive modulus at 7.54 ± 0.64 MPa and the tensile modulus at $31,80 \pm 3,14$ MPa, which is in accordance with previous research on PCL scaffolds for meniscus regeneration. In addition, FTIR and SEM morphology characterization showed that the 3DP PCL hydrogel silk fibroin-chitosan scaffold has good potential as a scaffold for treating knee meniscus defects.

Keywords :

Meniscus, Scaffold, 3D Printing, Hydrogel, PCL, Silk Fibroin, Chitosan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERNYATAAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI.....	iii
PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI	iv
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Batasan Masalah	8
1.4 Tujuan Penelitian.....	8
1.5 Manfaat Penelitian.....	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1 Anatomi dan Fisiologi Meniskus.....	10
2.2 Epidemiologi dan Patofisiologi Defek Meniskus.....	12
2.3 Penanganan Cedera Meniskus	14
2.4 <i>Scaffold</i>	16
2.5 Hidrogel	18
2.6 <i>Polycaprolactone</i>	18
2.7 <i>Chitosan</i>	20
2.8 <i>Silk Fibroin</i>	22
2.9 3D-Printing - Fused Deposition Modelling (FDM)	24
2.10 Uji Gugus Fungsi <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR)	25
2.11 Uji Morfologi <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	26

2.12 Uji Sitotoksitas MTT Assay.....	28
2.13 Uji Kuat Tarik.....	29
2.14 Uji Kuat Tekan	31
2.15 Uji <i>Swelling</i>	31
2.16 Uji Degradasi.....	32
BAB III METODE PENELITIAN.....	33
3.1 Waktu dan Tempat penelitian.....	33
3.2 Alat dan Bahan	33
3.3 Variabel Penelitian.....	34
3.4 Rancangan Penelitian	35
3.4 Skema Penelitian	36
3.6 Prosedur Penelitian.....	37
3.6.1 Sintesis Sampel	37
3.6.1.1 Pembuatan <i>Scaffold</i> 3D <i>Printing</i> PCL	37
3.6.1.2 Preparasi Larutan <i>Silk Fibroin</i>	40
3.6.1.3 Sintesis 3D <i>Scaffold</i> PCL Hidrogel <i>Silk Fibroin/Chitosan</i>	41
3.6.2 Uji Karakterisasi	42
3.6.2.1 Uji Fourier <i>Transform Infra-Red</i> (FTIR)	42
3.6.2.2 Uji <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	43
3.6.2.3 Uji Sitotoksitas MTT Assay.....	43
3.6.2.4 Uji Kuat Tarik	44
3.6.2.5 Uji Kuat Tekan.....	45
3.6.2.6 Uji <i>Swelling</i>	46
3.6.2.7 Uji Degradasi	47
3.6.2.8 Analisis Data	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	49
4.1 Sintesis <i>Scaffold</i> PCL Hidrogel <i>Silk Fibroin-Chitosan</i>	49
4.1.1 Pencetakan <i>Scaffold</i> 3D PCL.....	49
4.1.2 Sintesis Larutan <i>Silk Fibroin</i>	52
4.1.3 Sintesis <i>Scaffold</i> 3D <i>Printing</i> PCL Hidrogel <i>Silk Fibroin-Chitosan</i>	53
4.2 Uji Karakterisasi	55

4.2.1 Uji Gugus Fungsi <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR)	56
4.2.2 Uji Morfologi <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	65
4.2.3 Uji Sitotoksitas <i>MTT Assay</i>	71
4.2.4 Uji Kuat Tarik	75
4.2.5 Uji Kuat Tekan	78
4.2.6 Uji <i>Swelling</i>	81
4.2.7 Uji Degradasi	84
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	91
5.1 Kesimpulan	91
5.2 Saran	92
DAFTAR PUSTAKA	93
LAMPIRAN	111

DAFTAR TABEL

Nomor	Judul Tabel	Halaman
Tabel 2. 1	Pertimbangan Desain Perancah untuk Regenerasi Jaringan Meniskus yang Efektif	17
Tabel 2. 2	Ringkasan Kelebihan dan Kekurangan <i>Scaffold</i> 3D <i>Printing</i> pada Rekayasa Jaringan dan Pengobatan Regeneratif	24
Tabel 3. 1	Variasi Kelompok Penelitian	35
Tabel 4. 1	Parameter Pencetakan PCL	52
Tabel 4. 2	Gelombang Serapan dan Analisis Gugus Fungsi	63
Tabel 4. 3	Modulus Tarik	75
Tabel 4. 4	Modulus Tekan	79

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul Gambar	Halaman
Gambar 2. 1	Struktur Anatomi Meniskus	11
Gambar 2. 2	Zona Vaskularisasi Meniskus	11
Gambar 2. 3	Orientasi Fiber Kolagen meniskus	12
Gambar 2. 4	Tipe Robek Meniskus Menurut Klasifikasi <i>Casscells</i>	14
Gambar 2. 5	<i>Knee Arthroscopy</i>	15
Gambar 2. 6	Struktur Kimia <i>Poly(ϵ-caprolactone)</i>	19
Gambar 2. 7	Sifat-Sifat PCL	19
Gambar 2. 8	Struktur Molekul dari Beberapa Unit Berulang <i>Chitosan</i>	21
Gambar 2. 9	Struktur Fiber Sutera dan Urutan Asam Amino Primer <i>Fibroin</i>	23
Gambar 2. 10	Representasi Skematis dari FDM	25
Gambar 2. 11	Instrumentasi <i>Double Beam</i> dan <i>Single Beam</i> Spektrometer IR	26
Gambar 2. 12	Skema Diagram SEM	27
Gambar 2. 13	Struktur MTT dan Formazan	29
Gambar 2. 14	Kurva <i>Stress-Strain</i>	30
Gambar 3. 1	Skema Prosedur Penelitian	36
Gambar 3. 2	Desain 3D <i>Scaffold</i> PCL, (a) 3D Model, (b) <i>Cross-Section XZ View</i> , (c) <i>Cross-Section YZ View</i> , (d) <i>Top XY View</i> (dalam mm)	38
Gambar 3. 3	Desain <i>Scaffold Dogbone</i> PCL (a) Sketsa Ukuran <i>Dogbone</i> ASTM D638-14 'Standard Test Method For <i>Tensile Properties of Plastics</i> ' Type V specimen, (b) <i>Top View</i> , (c) <i>Cross-Section View</i> , (d) 3D Model <i>Dogbone</i>	39
Gambar 3. 4	Instrumen 3D <i>Printing</i>	39
Gambar 3. 5	Proses Pelarutan Serat Sutera Menggunakan Larutan Ajisawa Dalam <i>Water Bath</i>	41

Gambar 3. 6	Instrumen FTIR	42
Gambar 3. 7	Instrumen SEM Phenom ProX Desktop with EDX	43
Gambar 3. 8	Instrumen Epoch Microplate Spectrophotometer	44
Gambar 3. 9	Intrument <i>Universal Testing Machine</i>	45
Gambar 3. 10	Instrumen Tarno Grocki	46
Gambar 3. 11	Uji <i>Swelling</i>	47
Gambar 3. 12	Uji Degradasi	47
Gambar 4. 1	<i>Scaffold</i> PCL Gagal Tercetak	50
Gambar 4. 2	<i>Scaffold</i> PCL yang Berhasil Tercetak	50
Gambar 4. 3	<i>Scaffold Dogbone</i> yang Berhasil Tercetak	51
Gambar 4. 4	Proses Sintesis <i>Silk Fibroin</i>	53
Gambar 4. 5	Proses Pembuatan Hidrogel	54
Gambar 4. 6	Larutan Hidrogel	54
Gambar 4. 7	<i>Scaffold</i> 3DP PCL yang Terlapisi Hidrogel <i>Silk Fibroin</i> / <i>Chitosan</i> . (a) Bentuk Balok (b) Bentuk <i>Dogbone</i>	55
Gambar 4. 8	Spektra FTIR Filamen PCL	57
Gambar 4. 9	Spektra FTIR Larutan <i>Chitosan</i>	58
Gambar 4. 10	Spektra FTIR Larutan <i>Silk Fibroin</i>	58
Gambar 4. 11	Spektra FTIR Sampel Perlakuan (A) SF:CS 1:10 (B) SF:CS 3:20 (C) SF:CS 2:10	61
Gambar 4. 12	Perbandingan Spektra FTIR Bahan dan Sampel Perlakuan	63
Gambar 4. 13	<i>Scaffold</i> 3DP PCL (kontrol), tanpa perbesaran SEM (kiri), dengan perbesaran SEM 3000X (kanan)	66
Gambar 4. 14	Morfologi Permukaan Sampel Perbesaran 3000X (A) <i>Scaffold</i> 3DP PCL + Hidrogel SF:CS (1:10) (B) <i>Scaffold</i> 3DP PCL + Hidrogel SF:CS (3:20) (C) <i>Scaffold</i> 3DP PCL + Hidrogel SF:CS (2:10)	68
Gambar 4. 15	Persentase Viabilitas Sel Hidup	72
Gambar 4. 16	Persentase Derajat <i>Swelling</i>	82
Gambar 4. 17	Laju Degradasi	85
Gambar 4. 18	Waktu Degradasi	88

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Judul Lampiran	Halaman
Lampiran 1	Alat dan Bahan	111
Lampiran 2	Proses Pencetakan <i>Scaffold</i> 3D PCL	117
Lampiran 3	Proses Degumisasi Serat Kepompong Sutera	118
Lampiran 4	Proses Pembuatan Larutan <i>Silk Fibroin</i>	121
Lampiran 5	Proses Pembuatan Larutan Hidrogel	124
Lampiran 6	Proses Pembuatan Scaffold 3DP PCL Terlapisi Hidrogel <i>Silk Fibroin-Chitosan</i>	126
Lampiran 7	Uji Karakterisasi	127
Lampiran 8	Hasil Uji FTIR	131
Lampiran 9	Hasil Uji Morfologi SEM	135
Lampiran 10	Hasil Sitotoksitas Uji MTT <i>Assay</i>	140
Lampiran 11	Hasil Uji Kuat Tarik	141
Lampiran 12	Hasil Uji Kuat Tekan	151
Lampiran 13	Hasil Uji <i>Swelling</i>	157
Lampiran 14	Hasil Uji Degradasi	159