

IR – PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

**Pengaruh Parameter Proses Elektrospinning dalam Pembuatan
Scaffold Nanofiber Berbasis *Polycaprolactone*/Kolagen/Elastin
untuk Atasi Cedera *Anterior Cruciate Ligament* (ACL)**

SKRIPSI



AINI SALSABIELA

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK BIOMEDIS
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS AIRLANGGA
2022**

**Pengaruh Parameter Proses Elektrosinning dalam Pembuatan
Scaffold Nanofiber Berbasis *Polycaprolactone*/Kolagen/Elastin untuk
Atasi Cedera *Anterior Cruciate Ligament* (ACL)**

SKRIPSI

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

Aini Salsabiela

NIM. 081811733028

Telah dinyatakan lulus ujian skripsi

Pada tanggal : 1 September 2022

Disetujui Oleh

Pembimbing I,



Dr. Ir. Aminatun, M.Si
NIP. 196810281993032003

Pembimbing II,



Drs. Siswanto, M.Si
NIP. 196403051989031003

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Judul : Pengaruh Parameter Proses Elektrosinning dalam Pembuatan *Scaffold Nanofiber* Berbasis *Polycaprolactone*/Kolagen/Elastin untuk Atasi Cedera *Anterior Cruciate Ligament* (ACL)

Penyusun : Aini Salsabiela

NIM : 081811733028

Pembimbing I : Dr. Ir. Aminatun, M.Si

Pembimbing II : Drs. Siswanto, M.Si

Tanggal Seminar : 1 September 2022

Disetujui oleh,

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Dr. Ir. Aminatun, M.Si
NIP. 196810281993032003



Drs. Siswanto, M.Si
NIP. 196403051989031003

Mengetahui,

Ketua Departemen Fisika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Airlangga



Digitally signed
by Herri
Trilaksana,
M.Si., Ph.D.
Date:
2022-09-14
16:34+07:00

Herri Trilaksana, S.Si., 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 dipakai sebagai referensi kepustakaan, tetapi pengutipan harus seizing penyusun dan harus menyebutkan sumbernya sesuai kebiasaan ilmiah.

Dokumen skripsi ini merupakan hal milik Universitas Airlangga.

LEMBAR PERNYATAAN TENTANG ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Aini Salsabiela

NIM : 081811733028

Program Studi : S1-Teknik Biomedis

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan kegiatan plagiat dalam penulisan skripsi saya yang berjudul

Pengaruh Parameter Proses Elektrospinning dalam Pembuatan *Scaffold Nanofiber* Berbasis Polycaprolactone/Kolagen/Elastin untuk Atasi Cedera Anterior Cruciate Ligament (ACL)

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

Demikian surat ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 24 Agustus 2022



B9EEEEAJX937757674

Aini Salsabiela

NIM. 081811733028

Salsabiela, Aini. 2022. **Pengaruh Parameter Proses Elektrospinning dalam Pembuatan Scaffold Nanofiber Berbasis Polycaprolactone/Kolagen/Elastin untuk Atasi Cedera Anterior Cruciate Ligament (ACL)**. Skripsi di bawah bimbingan Dr. Ir. Aminatun, M.Si. dan Drs. Siswanto, M.Si. Program Studi S1 Teknik Biomedis, Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Univeritas Airlangga.

ABSTRAK

Kasus cedera lutut sering terjadi pada *Anterior Cruciate Ligament* (ACL). ACL memiliki respon penyembuhan yang sangat buruk setelah cedera. Diketahui bahwa *scaffold* untuk rekonstruksi ACL masih ditemukan kegagalan akibat memiliki sifat mekanik yang lebih rendah dibandingkan ACL asli. Oleh karena itu, berbagai penelitian dilakukan untuk menghasilkan ACL tiruan dengan sifat biomekanik yang menyerupai ACL asli. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi parameter proses elektrospinning dengan menggunakan *polycaprolactone* (PCL), kolagen (Col), dan elastin (E) untuk menghasilkan *scaffold nanofiber* ACL yang optimal. Parameter proses terdiri dari variasi tegangan yaitu 25kV, 27kV, 29kV dan variasi jarak antar jarum ke kolektor yaitu 6 cm, 10 cm dan 14 cm. Hasil uji *Fourier Transform Infrared* (FTIR) berhasil membuktikan adanya gugus fungsi PCL, kolagen dan elastin. Berdasarkan hasil karakterisasi yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin rendah tegangan dan jaraknya maka semakin kecil ukuran diameter *fiber* yang dihasilkan yaitu pada rentang 25 – 375 nm. Semakin tinggi tegangan dan jarak dihasilkan nilai UTS dan modulus young yang semakin tinggi yaitu berturut-turut pada rentang 0,856 – 6,032 MPa dan 5,497 – 23,788 MPa. Semua sampel bersifat hidrofilik dan persentase porositas di antara 82% – 87% serta memiliki waktu degradasi lebih lama dibandingkan waktu pemulihan ACL pasca operasi. Sampel B1 PCL/Col/E pada tegangan 27 kV dan jarak 14 cm merupakan parameter paling optimal dalam pembuatan *scaffold nanofiber* ACL ditinjau dari ukuran *fiber* rata-rata $136,0 \pm 63,0$ nm, nilai UTS $6,032 \pm 1,204$ MPa, modulus young $23,788 \pm 6,003$ MPa, nilai persentase sel hidup $92,595 \pm 3,446$ % dan waktu degradasi sekitar 8,33 bulan.

Kata Kunci: *ACL, PCL, kolagen, elastin, scaffold nanofiber, elektrospinning, parameter proses, tegangan, jarak jarum ke kolektor.*

Salsabiela, Aini. 2022. **Effect of Electrospinning Process Parameters in Manufacturing of Nanofiber Scaffolds Based on Polycaprolactone/Collagen/Elastin to Resolve Anterior Cruciate Ligament (ACL) Injury.** The undergraduate research paper was supervised by Dr. Ir. Aminatun, M.Si. dan Drs. Siswanto, M.Si. Undergraduate Study of Biomedical Engineering, Departement of Physics, Faculty of Science and Technology, Airlangga University.

ABSTRACT

Cases of knee injuries often occur in the Anterior Cruciate Ligament (ACL). The healing response of ACL after an injury is very poor. It is known that the scaffold for ACL reconstruction still causes failure because it has lower mechanical properties than the real ACL. Therefore, various studies have been carried out to produce artificial ACLs with biomechanical properties that resemble real ACLs. This study aims to analyze the effect of variations in electrospinning process parameters using polycaprolactone (PCL), collagen (Col), and elastin (E) to produce optimal ACL *nanofiber* scaffolds. The process parameters consist of voltage variations are 25kV, 27kV, and 29kV, and variations of the distance between the needles to the collector are 6 cm, 10 cm, and 14 cm. The results of the Fourier Transform Infrared (FTIR) test succeeded in proving the presence of PCL, collagen, and elastin functional groups. Based on the results of the characterization carried out, it can be concluded that the lower the voltage and the distance, the smaller the diameter of the resulting fiber, which is in the range of 25 - 375 nm. The higher the voltage and distance, the higher the UTS value and Young's modulus, which are respectively in the range of 0.856 – 6.032 MPa and 5.497 – 23,788 MPa. All samples were hydrophilic and the percentage of porosity was between 82% - 87% and had a longer degradation time than the postoperative ACL recovery time. Sample B1 PCL/Col/E at a voltage of 27 kV and a distance of 14 cm is the most optimal parameter in the manufacture of ACL *nanofiber* scaffolds in terms of the average fiber size of 136.0 ± 63.0 nm, UTS 6.032 ± 1.204 MPa, Young's modulus $23,788 \pm 6.003$ MPa, the percentage of viability cells is $92.595 \pm 3.446\%$ and the degradation time is about 8.33 months.

Key Words: ACL, collagen, the distance between needle to the collector, elastin, electrospinning, PCL, process parameters, scaffold nanofiber, voltage.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT berkat rahmat, hidayah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan naskah skripsi dengan judul “**Pengaruh Parameter Proses Elektrosinning dalam Pembuatan *Scaffold Nanofiber* Berbasis Polycaprolactone/Kolagen/Elastin untuk Atasi Cedera Anterior Cruciate Ligament (ACL)**” ini dapat diselesaikan dengan baik. Tujuan penyusunan naskah skripsi ini sebagai salah satu syarat akademik guna mendapatkan Gelar Sarjana pada Program Studi S1 Teknik Biomedis, Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga.

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

1. Allah STW yang telah memberikan rahmat dan hidayah dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini
2. Bapak Kandacong Melle dan Ibu Ratna Dewi selaku kedua orang tua penulis yang telah memberikan dukungan dan doa sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya.
3. Herri Trilaksana S.Si., M.Si., Ph.D selaku Kepala Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga.
4. Dr. Riries Rulaningtyas, S.T., M.T., selaku Kepala Program Studi Teknobiomedik Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga.
5. Dr. Ir. Amintatun, M.Si, selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Drs. Siswanto, M.Si, selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan dan masukan dalam penyelesaian skripsi ini.

7. Drs. Djony Izak Rudyardjo, M.Si, dan Osmalina Nur Rahma S.T., M.Si. selaku dosen Penguji I dan dosen Penguji II yang telah memberikan nasihat, saran dan masukan.
8. Osmalina Nur Rahma S.T., M.Si., selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan, saran dan masukan selama masa perkuliahan.
9. Para dosen S1 Teknik Biomedis yang telah memberikan ilmu, wawasan dan pengalaman selama kurang lebih 4 tahun di Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga.
10. Para laboran dan staff yang telah membantu melancarkan terselesaikannya penelitian dan perkuliahan selama ini.
11. Salwa, Mustika, Salsa, Amelia, Melly dan Cyber yang selalu memberikan bantuan, dukungan, motivasi dan semangat selama pengerjaan skripsi ini.
12. Charles, Sonia, Eky, Silvi, Indira, Selina, Melina, Ria, dan Ainin sebagai teman yang kebersamaan dan senantiasa mendukung selama mengerjakan penelitian ini.
13. Rekan-rekan Teknik Biomedis Angkatan 2018 yang menemani selama masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan karena adanya keterbatasan ilmu dan pengalaman yang dimiliki. Oleh karena itu, semua kritik dan saran yang bersifat membangun akan penulis terima untuk menyempurnakan naskah ini. Penulis berharap naskah ini dapat memberikan manfaat bagi masyarakat umum dan kalangan mahasiswa Teknik Biomedis pada khususnya.

Surabaya, 26 Desember 2022

Penulis,

Aini Salsabiela

DAFTAR ISI

HALAMAN COVER	1
LEMBAR PERNYATAAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI.....	iv
LEMBAR PERNYATAAN TENTANG ORISINALITAS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	7
1.3. Batasan Masalah	7
1.4. Tujuan Penelitian	8
1.5. Manfaat Penelitian	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 <i>Anterior Cruciatum Ligament</i> (ACL)	9
2.1.1 Cedera pada ACL.....	10
2.1.2 Penanganan pada Cedera ACL	12
2.2 <i>Nanofiber Scaffold</i>	14
2.3 <i>Electrospinning</i>	15
2.4 <i>Polycaprolactone</i> (PCL).....	20
2.5 Kolagen.....	21
2.6 Elastin	23
2.7 Uji Karakterisasi	24
2.7.1 <i>Fourier-Transform Infrared Spectrometer</i> (FTIR).....	24
2.7.2 <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	26

2.7.3 Uji Tarik.....	27
2.7.4 Uji Sudut Kontak	29
2.7.5 Uji Porositas.....	30
2.7.6 Uji Sitotoksitas	31
2.7.7 Uji Degradasi	33
BAB III METODE PENELITIAN	35
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	35
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	35
3.3. Variabel Penelitian.....	36
3.4. Metode Penelitian	37
3.4.1. Pembuatan Sampel	38
1. Aminolisis PCL:	38
2. Pembuatan <i>Nanofiber</i> melalui Metode Elektrospinning	38
3.4.2. Karakterisasi Sampel	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1. Hasil Sintesis <i>Nanofiber</i> PCL/Col/E	47
4.2. Hasil Uji Karakterisasi.....	48
4.2.1. Hasil Uji FTIR.....	49
4.2.2. Hasil Uji SEM	51
4.2.3. Hasil Uji Tarik.....	56
4.2.4. Hasil Uji Sudut Kontak	58
4.2.5. Hasil Uji Porositas.....	60
4.2.6. Hasil Uji Sitotoksitas	62
4.2.7. Hasil Uji Degradasi	63
4.3. Pembahasan	67
4.3.1. Analisis Hasil Uji Karakterisasi	67
4.3.2. Pengaruh Variasi Tegangan.....	71
4.3.3. Pengaruh Variasi Jarak.....	73
4.3.4. Potensi <i>Scaffold Nanofiber</i> PCL/Col/E untuk Atasi Cedera ACL	75
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	50
5.1. Kesimpulan.....	50
5.2. Saran	78

DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN	88
Lampiran 1 Alat, Bahan, dan Tahapan Preparasi Larutan	
Elektrospinning.....	88
Lampiran 2 Hasil Uji SEM.....	91
Lampiran 3 Tabel Hasil Uji Sudut Kontak	96
Lampiran 4 Hasil Uji Tarik	97
Lampiran 5 Hasil Analisis Area Gelap Terang	103
Lampiran 6 Hasil Uji Porositas	105
Lampiran 7 Hasil Uji Sitotoksitas.....	106
Lampiran 8 Hasil Uji Degradasi	108

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul Gambar	Halaman
2.1	Ligamen pada Sendi Lutut (Singh, 2016)	9
2.2	ACL yang Cedera (Medline Plus, 2018)	11
2.3	Struktur Morfologi <i>Nanofiber</i> (Aguirre-Chagala et al., 2017)	14
2.4	Skema alat Elektrosinning (Sharma, 2019)	16
2.5	Proses Sintesis dan Struktur PCL (Nair et al., 2007)	20
2.6	Komponen Sederhana yang Digunakan dalam FTIR (Mohamed et al., 2017)	25
2.7	Skema Dasar SEM (Smallman, 2007)	27
2.8	Kurva Uji Tarik (Deniz, 2017)	28
2.9	Sudut Kontak pada Permukaan Homogeny dengan Hidrofobisitas berbeda (Subagyo, 2017)	30
2.10	Reaksi Perubahan MTT menjadi Kristal Formazan (Stockert et al., 2012)	32
3.1	Diagram Alir Rancangan Metode Penelitian	37
3.2	Alat FTIR	40
3.3	Alat SEM	41
3.4	(a) Alat Uji Tarik dan (b) Bentuk sampel Uji Tarik Dog-Bone	42
3.5	Sampel Uji Porositas	43
3.6	Sampel Uji Sitotoksitas	44
3.7	Alat <i>Elisa Reader</i>	45
3.8	Sampel Uji Degradasi	46
4.1	Hasil sintesis PCL/Col/E: (a) A1, (b) B1, (c) B2, (d) B3, dan (e) C1	48
4.2	Hasil Uji FTIR	49
4.3	Pengamatan SEM dan Hasil Analisis dengan ImageJ pada Sampel A1 PCL/Col/E Tegangan 25 kV, Jarak 14 cm	52
4.4	Pengamatan SEM dan Hasil Analisis dengan ImageJ pada Sampel B1 PCL/Col/E Tegangan 27 kV, Jarak 14 cm	52
4.5	Pengamatan SEM dan Hasil Analisis dengan ImageJ pada Sampel B2 PCL/Col/E Tegangan 27 kV, Jarak 10 cm	53
4.6	Pengamatan SEM dan Hasil Analisis dengan ImageJ pada Sampel B3 PCL/Col/E Tegangan 27 kV, Jarak 6 cm	53
4.7	Pengamatan SEM dan Hasil Analisis dengan ImageJ pada Sampel C1 PCL/Col/E Tegangan 29 kV, Jarak 14 cm	53
4.8	Grafik Diameter Fiber Hasil Uji SEM Berdasarkan (a) Variasi Tegangan dan (b) Variasi Jarak	54

4.9	Grafik Persentase Area Gelap Hasil Uji SEM Berdasarkan (a) Variasi Tegangan dan (b) Variasi Jarak	56
4.10	Grafik Sifat Mekanik Hasil Uji Tarik Berdasarkan (a) Variasi Tegangan dan (b) Variasi Jarak	58
4.11	Hasil Foto Sudut Kontak	59
4.12	Grafik Hasil Uji Sudut Kontak Berdasarkan (a) Variasi Tegangan dan (b) Variasi Jarak	60
4.13	Grafik Persentase Porositas Berdasarkan (a) Variasi Tegangan dan (b) Variasi Jarak	61
4.14	Grafik Persentase Viabilitas Sel Berdasarkan (a) Variasi Tegangan dan (b) Variasi Jarak	63
4.15	Grafik Massa Terdegradasi PCL/Col/E Tegangan 25 kV, Jarak 14 cm	64
4.16	Grafik Massa Terdegradasi PCL/Col/E Tegangan 27 kV, Jarak 14 cm	64
4.17	Grafik Massa Terdegradasi PCL/Col/E Tegangan 27 kV, Jarak 10 cm	65
4.18	Grafik Massa Terdegradasi PCL/Col/E Tegangan 27 kV, Jarak 6 cm	65
4.19	Grafik Massa Terdegradasi PCL/Col/E Tegangan 29 kV, Jarak 14 cm	65
4.20	Grafik Waktu Degradasi Berdasarkan (a) Variasi Tegangan dan (b) Variasi Jarak	66

DAFTAR TABEL

Nomor	Judul Tabel	Halaman
2.1	Sifat Mekanik PCL (Zhang et al. 2015)	21
2.2	Sifat Mekanik Kolagen dan Elastin (Mondrinos, 2005)	22
2.3	Komposisi Kimia Larutan PBS dalam Satuan gram per Liter (Shaoxiang et al., 2010)	34
3.1	Variasi sampel terhadap parameter proses elektrospinning (tegangan dan jarak dari jarum ke kolektor)	39
4.1	Bilangan Gelombang dan Analisis Gugus Fungsi PCL/Col/E	50
4.2	Diameter <i>Fiber</i>	54
4.3	Area Gelap dan Area Terang	55
4.4	Hasil Uji Tarik	57
4.5	Hasil Uji Sudut Kontak	59
4.6	Hasil Uji Porositas	61
4.7	Hasil Uji Sitotoksitas	62
4.8	Perkiraan Waktu Habis	66