

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pasien yang mengalami cedera ligamen krusiat (CL) dapat berasal dari berbagai rentang usia [1]. Ligamen krusiat merupakan salah satu bagian tubuh yang sangat penting untuk menjaga stabilitas dan keseimbangan mekanis pada sendi lutut. Cedera yang parah, seperti robekan atau putusnya ligamen, dapat terjadi akibat kecelakaan lalu lintas atau saat latihan olahraga, di mana ligamen mengalami tekanan berlebihan. Cedera ligamen *anterior cruciate* (ACL) adalah salah satu cedera yang paling umum terjadi pada sendi lutut, terutama pada atlet dan individu yang aktif secara fisik [2]. Prevalensi ruptur ACL yang terjadi di dunia diperkirakan berkisar antara 30-78 per 100.000 orang [3].

Kerusakan ligamen krusiat (CL) yang tidak diperbaiki dapat menyebabkan kerusakan permanen pada tulang rawan sendi dan mengakibatkan osteoartropati [4]. Karena jaringan ligamen alami memiliki vaskularisasi yang rendah dan adanya cairan sinovial di dalam sendi lutut, regenerasi ligamen alami setelah kerusakan parah menjadi sulit. Intervensi bedah telah terbukti menjadi pendekatan yang ideal untuk pengobatan ligamen.

Operasi awal cedera ligamen ACL berfokus pada pemulihan kembali ligamen yang rusak ke kondisi aslinya, yang dikenal sebagai perbaikan ACL atau ACL *reconstruction*. Ligamen ACL yang robek tidak dapat diperbaiki hanya dengan menjahitnya kembali, tetapi dapat direkonstruksi dengan menempelkan jaringan baru (cangkokan) pada area tersebut. Rekonstruksi ACL dilakukan dengan mengangkat sisa ligamen yang robek dan menggantinya menggunakan tendon dari bagian lain kaki, seperti tendon *hamstring* atau tendon *patela*. Tendon *patela* menghubungkan bagian bawah tempurung lutut (*patela*) dengan bagian atas tulang kering (*tibia*). Dengan melakukan perbaikan ACL, anatomi alami ligamen tetap terjaga, sehingga jaringan asli yang berperan dalam memberikan fungsi proprioseptif pelindung pada lutut tidak hilang. Metode rekonstruksi ini menjadi "standar emas" untuk pengobatan ACL pada tahun 1970-an dan 1980-an [5].

Namun, hasil klinis awal yang menjanjikan tersebut kemudian diikuti oleh tingginya angka *re-rupture* dan operasi ulang pada pemeriksaan jangka menengah [6].

Kegagalan tersebut menimbulkan pergeseran paradigma pada tahun 1980-an dan 1990-an, yang mengarah pada eksplorasi metode pengobatan lain. Baru-baru ini, sejumlah studi meneliti kembali perbaikan ACL untuk melihat potensi keuntungannya dalam menghindari tindakan bedah, dengan mempertimbangkan pendekatan konservatif yang dikenal sebagai “augmentasi biologis.” Augmentasi biologis ini bertujuan untuk meningkatkan proses penyembuhan ligamen dengan cara mengatur respons inflamasi, menurunkan produksi enzim yang merusak matriks setelah cedera, serta memaksimalkan potensi regeneratif ACL di tingkat sel. Saat ini, minat terhadap teknik augmentasi baru semakin meningkat, terutama dengan melibatkan penggunaan agen biologis dan biomaterial. Kombinasi teknik-teknik ini bahkan memunculkan ide untuk merancang cangkok ligamen baru yang memiliki sifat biomimetik dengan karakteristik fisiokimia yang mirip dengan jaringan asli [7].

Dalam dunia kedokteran regeneratif, teknologi biomaterial semakin berkembang untuk mendukung penggantian atau pemulihan jaringan tubuh yang rusak. Salah satu fokus utamanya adalah pengembangan ligamen buatan yang dapat menggantikan fungsi ligamen asli, terutama bagi pasien yang mengalami cedera serius seperti robekan ligamen *anterior cruciate* (ACL).

Minat terhadap penggunaan ligamen buatan telah muncul sejak tahun 1970-an dan mengalami lonjakan signifikan pada tahun 1990-an, aplikasi klinis pertama ligamen buatan dalam rekonstruksi ligamen krusiata (CL) dimulai pada 1970-an, ketika *Food and Drug Administration* (FDA) menyetujui serangkaian produk ligamen buatan pertama seperti Proplast™. Namun, produk ini segera ditarik dari pasaran karena menimbulkan komplikasi serius. Setelahnya, muncul berbagai inovasi ligamen buatan lainnya, seperti Leeds-Keio™, Gore-Tex™, Stryker Dacron™, dan LARS™, yang dibedakan berdasarkan variasi bahan, konstruksi, atau metode anyamannya. Meskipun ligamen-ligamen buatan ini awalnya dianggap sebagai kandidat potensial untuk aplikasi klinis, sebagian besar gagal bertahan

dalam evaluasi prognosis jangka panjang akibat tingginya angka komplikasi dan kegagalan. Bukti yang semakin kuat menunjukkan bahwa rendahnya bioaktivitas ligamen buatan dapat menjadi penyebab utama kegagalan implan tersebut [8][9]. Kegagalan ini menyoroti tantangan besar dalam upaya menciptakan ligamen buatan yang mampu berintegrasi dengan baik di dalam tubuh manusia.

PET (*Polyethylene Terephthalate*) merupakan salah satu bahan yang paling populer untuk ligamen buatan, dianggap sebagai yang paling banyak digunakan dan mumpuni di antara berbagai jenis poliester karena memiliki sifat biomekanik dan biokompatibilitas yang sangat baik [4]. Namun, kurangnya osseointegrasi sangat membatasi efektivitas prognosis dan aplikasi klinis dari material ini, karena pada banyak struktur jaringan parut fibrosa yang terbentuk di antara prostesis dan jaringan tubuh [10].

Pengembangan dan pembuatan material untuk penggantian jaringan lunak merupakan elemen penting dalam aplikasi biomedis. Dibutuhkan material yang mampu meniru sifat mekanik jaringan asli, sekaligus memiliki keunggulan berupa umur pakai yang lebih panjang, biokompatibilitas yang tinggi, daya tahan yang kuat, serta tingkat kalsifikasi yang rendah. *Hydrogel* muncul sebagai salah satu material yang berpotensi memenuhi kriteria tersebut. Di bidang biomedis dan biomaterial, bahan komposit BC (*Bacterial Cellulose*) dan PVA (*Polyvinyl Alcohol*) telah banyak dieksplorasi menunjukkan potensi besar karena sifat mekanis dan biokompatibilitasnya yang baik, menjadikannya bahan yang menarik untuk digunakan sebagai kandidat bahan pembuatan jaringan ligamen yang tahan lama dan elastis [11].

BC-PVA (*Bacterial Cellulose-Polyvinyl Alcohol*) digunakan sebagai kandidat ligamen buatan yang berfokus pada komparasi variasi teknik pengeringan untuk mencapai sifat mekanik yang optimal. Bahan BC-PVA dipilih karena memiliki kompatibilitas biologis yang baik. Pemilihan metode pengeringan sangat penting karena dapat mempengaruhi struktur mikro dan sifat mekanik bahan, seperti kekuatan tarik dan elastisitas, yang krusial untuk aplikasi medis seperti ligamen buatan. Dibandingkan dengan solusi lain, teknik pengeringan yang tepat dapat

meningkatkan kualitas bahan BC-PVA, menjadikannya lebih stabil dan efektif dalam aplikasi klinis.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini di antaranya:

1. Apakah BC-PVA berpotensi menjadi bahan baru sebagai kandidat ligamen buatan?
2. Apa metode pengeringan yang paling optimal yang menghasilkan BC-PVA dengan sifat mekanik dan kestabilan terbaik untuk aplikasi sebagai ligamen buatan?

1.3. Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari penelitian “Komparasi Variasi Pengeringan BC-PVA Sebagai Kandidat Ligamen Buatan” di antaranya ialah:

1. Menganalisis hasil karakterisasi BC-PVA sebagai kandidat ligamen buatan.
2. Mengidentifikasi metode pengeringan yang optimal untuk menghasilkan BC-PVA dengan sifat mekanik dan struktur mikro yang sesuai untuk aplikasi ligamen buatan.

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Memberikan informasi yang dapat digunakan untuk mengoptimalkan pengeringan BC-PVA dalam pengembangan ligamen buatan, meningkatkan kekuatan mekanik dan elastisitas material.
2. Menyediakan dasar ilmiah untuk memilih teknik pengeringan yang paling efektif dalam menghasilkan biomaterial dengan kualitas struktural terbaik untuk aplikasi medis.
3. Memberikan kontribusi pemahaman yang lebih mendalam tentang hubungan antara proses pengeringan dan sifat material, yang dapat diterapkan pada pengembangan biomaterial lainnya untuk aplikasi *tissue engineering* dan medis.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah yang diterapkan pada penelitian ini diantaranya:

1. Penelitian ini akan berfokus pada komparasi variasi pengeringan BC-PVA sebagai kandidat ligamen buatan.
2. Penelitian ini menggunakan komposit *Bacterial Cellulose* (BC) dan *Polyvinyl Alcohol* (PVA) sebagai bahan utama kandidat ligamen buatan serta tambahan bahan gliserol sebagai variasi sampel.
3. Variasi metode pengeringan yang dikaji terbatas pada dua metode pengeringan yaitu metode pengeringan oven (*oven-drying*) dan pengeringan beku (*freeze-drying*).
4. Analisis karakterisasi sifat material hanya mencakup FTIR, uji tarik, dan uji *swelling*.
5. Penelitian dilakukan pada skala laboratorium dan tidak mencakup uji *in vivo* atau uji klinis untuk aplikasi langsung pada manusia atau hewan.

1.5. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan komparatif untuk menguji pengaruh variasi metode pengeringan terhadap sifat mekanik dan struktur mikro BC-PVA sebagai kandidat ligamen buatan. BC-PVA dipersiapkan dibentuk dalam bentuk lembaran yang siap untuk diuji. Variasi metode pengeringan yang diuji meliputi pengeringan udara atau *oven-drying* dan pengeringan *freeze-drying*. Setiap sampel BC-PVA yang dikeringkan dengan metode yang berbeda akan diuji sifat mekaniknya, termasuk uji kekuatan tarik untuk mengukur kekuatan dan modulus elastisitas, sampel yang telah dikeringkan akan dianalisis struktur kimianya dengan uji FTIR, dan uji *swelling* juga digunakan untuk membandingkan efek berbagai teknik pengeringan pada BC-PVA dan menentukan metode yang paling efektif untuk meningkatkan kualitas material sebagai ligamen buatan.

1.6. Jadwal Pelaksanaan

Jadwal pelaksanaan pengerjaan Tugas Akhir yang akan menjadi acuan dalam penelitian ini ialah:

Tabel 1.1 Jadwal dan *Milestone*.

No.	Deskripsi Tahapan	Durasi	Tanggal Selesai	<i>Milestone</i>
1	Revisi Proposal	1 minggu	14 Des 2024	Penyelesaian revisi proposal penelitian yang mencakup tujuan, metodologi, dan rencana kerja.
2	Pembelian Alat dan Bahan Penelitian	2 minggu	28 Des 2024	Pengadaan dan pembelian semua alat dan bahan yang diperlukan untuk penelitian.
3	Fabrikasi Bahan	5 minggu	7 Feb 2025	Penyelesaian proses fabrikasi sampel yang akan digunakan dalam penelitian
4	Pengeringan sampel dengan <i>oven-drying</i> dan <i>freeze-drying</i>	5 minggu	14 Mar 2025	Penyelesaian pengeringan sampel menggunakan metode <i>oven-drying</i> dan <i>freeze-drying</i> sesuai dengan protokol yang ditentukan.
5	Pengujian Sampel	4 minggu	11 Apr 2025	Penyelesaian pengujian sampel dengan ksrskterisasi untuk menganalisis karakteristik atau kinerja sampel sesuai dengan tujuan penelitian.
6	Penyusunan TA	2 bulan	30 Mei 2025	Buku TA selesai