

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Defek tulang merupakan salah satu masalah ortopedi yang umum dan dapat menyebabkan kerusakan signifikan dengan siklus perawatan yang panjang[1]. Defek ini didefinisikan sebagai kerusakan atau kehilangan struktur tulang yang disebabkan oleh berbagai faktor, seperti trauma, infeksi, tumor, atau kelainan metabolik[2]. Masalah ini menjadi tantangan besar dalam dunia medis karena dapat menyebabkan hilangnya fungsi tulang, rasa sakit yang berkepanjangan, keterbatasan gerak, dan dalam kasus yang parah, dapat berujung pada kecacatan permanen[3]. Selain itu, Defek tulang yang tidak ditangani dengan baik sering kali menyebabkan komplikasi seperti infeksi lanjutan dan kerusakan jaringan di sekitarnya[1]. Dalam konteks klinis defek tulang sering memerlukan intervensi medis yang kompleks, termasuk prosedur pembedahan dan penggunaan biomaterial untuk memperbaiki atau menggantikan jaringan tulang yang rusak.

Proses penyembuhan tulang yang rusak adalah proses yang kompleks dan bertahap. Tahapan ini mencakup migrasi sel ke area yang rusak, diferensiasi sel menjadi osteoblas, pembentukan matriks tulang baru, mineralisasi, pematangan jaringan, dan penyusunan ulang tulang hingga kekuatan aslinya pulih [4]. Namun, pada Defek tulang yang besar atau kritis, kapasitas penyembuhan alami tulang sering kali tidak cukup untuk memperbaiki kerusakan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan tambahan seperti penggunaan biomaterial untuk mendukung proses regenerasi tulang.

Scaffold adalah kerangka yang dirancang untuk mendukung regenerasi jaringan dengan menyediakan struktur fisik bagi pertumbuhan dan diferensiasi sel [5]. Dalam pengobatan Defek tulang, *Scaffold* memainkan peran penting sebagai matriks yang memungkinkan infiltrasi sel, vaskularisasi, dan pengangkutan nutrisi. *Scaffold* yang ideal harus memenuhi beberapa persyaratan penting, termasuk biokompatibilitas, porositas yang tinggi (300–500 μm), dan kekuatan mekanis yang cukup untuk mendukung beban biologis. Selain itu, *Scaffold* juga harus memiliki

sifat bioaktif untuk mendukung pembentukan jaringan tulang baru melalui mekanisme osteokonduksi dan osteoinduksi.

Hidroksiapatit (HA) merupakan salah satu biomaterial yang paling sering digunakan dalam pengobatan Defek tulang. HA adalah mineral anorganik yang secara alami menyusun sekitar 65% dari jaringan tulang manusia [6]. Secara kimia, HA adalah bentuk kalsium fosfat yang memiliki sifat biokompatibilitas, osteokonduktivitas, dan osseointegrasi yang baik, sehingga menjadi pilihan ideal untuk aplikasi medis[7][8]. Sifat bioaktif dan biodegradabel HA memungkinkan interaksi langsung dengan jaringan tulang, mempercepat proses regenerasi serta penyembuhan tulang setelah diimplantasikan ke dalam celah tulang yang rusak. Kemampuan osteokonduktif HA mendukung pertumbuhan tulang baru dengan menyediakan kerangka ideal bagi sel-sel tulang untuk menempel, berkembang biak, dan membentuk jaringan tulang baru[6]. Dalam penggunaannya, HA telah terbukti mampu mendukung proliferasi dan diferensiasi sel osteogenik, menjadikannya material yang ideal untuk *Scaffold* dalam rekayasa jaringan tulang.

Selain metode spons replikasi, terdapat beberapa teknik lain yang digunakan dalam pembuatan *scaffold* hidroksiapatit (HA) untuk aplikasi regenerasi tulang, di antaranya adalah metode sol-gel dan 3D printing. Metode sol-gel memungkinkan sintesis material dengan struktur nanopori seragam dan tingkat kemurnian tinggi. Namun, proses ini memiliki kekurangan berupa kompleksitas yang tinggi, waktu produksi yang lama, serta kesulitan dalam menghasilkan pori makro besar yang diperlukan untuk transportasi nutrisi dan sel[9]. Sementara itu, metode 3D printing menawarkan presisi tinggi dalam pengaturan dimensi *scaffold* melalui proses fabrikasi lapis demi lapis. Meski unggul dalam kontrol desain, teknik ini memerlukan biaya produksi yang tinggi dan peralatan khusus, seperti printer 3D yang kompatibel dengan biomaterial[10].

Dibandingkan dengan metode-metode tersebut, metode spons replikasi menawarkan keunggulan yang signifikan, terutama dalam hal kesederhanaan dan efektivitas. Proses ini tidak memerlukan peralatan mahal dan relatif mudah dilakukan, menjadikannya solusi yang lebih ekonomis untuk penelitian dan produksi *scaffold* HA. Selain itu, metode spons replikasi memungkinkan pembentukan pori makro besar yang saling terhubung, yang ideal untuk transportasi

nutrisi, sel, dan pembentukan jaringan vaskularisasi. Hal ini memberikan keuntungan besar dalam aplikasi *scaffold* tulang yang membutuhkan porositas tinggi untuk mendukung regenerasi jaringan secara optimal.

Keunggulan lain dari metode spons replikasi adalah kemampuan menghasilkan struktur *scaffold* dengan porositas tinggi (sekitar 75–78%) dan karakteristik pori yang menyerupai tulang trabekular manusia[11]. Porositas ini tidak hanya mendukung infiltrasi sel dan pembentukan jaringan baru, tetapi juga mempermudah modifikasi *scaffold* sesuai kebutuhan spesifik aplikasi biomedis. Dengan sifat biokompatibel dan efisiensinya, metode spons replikasi menjadi pilihan yang sederhana, efektif, dan sangat relevan untuk penelitian dalam regenerasi tulang.

Namun, salah satu tantangan dalam pembuatan *Scaffold* berbasis HA adalah pengendalian konsentrasi HA selama proses produksi. Konsentrasi HA memiliki pengaruh besar terhadap sifat fisik, kimia, dan mekanik *Scaffold*. Konsentrasi HA yang terlalu tinggi dapat meningkatkan kekuatan mekanis *Scaffold*, tetapi sering kali mengurangi porositasnya, sehingga menghambat infiltrasi sel dan vaskularisasi[12]. Sebaliknya, konsentrasi HA yang terlalu rendah dapat menghasilkan *Scaffold* dengan kekuatan mekanis yang tidak memadai untuk mendukung beban biologis[13]. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengevaluasi bagaimana variasi konsentrasi HA memengaruhi sifat *Scaffold* dan untuk menentukan konsentrasi yang optimal.

Pengaruh konsentrasi HA terhadap *Scaffold* dapat dilihat dari beberapa aspek. Secara fisik, konsentrasi HA memengaruhi porositas dan struktur mikro *Scaffold*. Porositas yang tinggi diperlukan untuk mendukung proliferasi sel dan transportasi nutrisi, tetapi harus tetap mempertahankan kekuatan mekanis yang cukup untuk aplikasi klinis[6]. Secara kimia, konsentrasi HA memengaruhi pembentukan lapisan apatite pada permukaan *Scaffold*, yang merupakan indikator bioaktivitasnya. Sementara itu, dari segi biologis, *Scaffold* berbasis HA harus mendukung proliferasi dan diferensiasi sel osteogenik serta menunjukkan biokompatibilitas yang tinggi dalam uji *in vitro* maupun *in vivo*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi konsentrasi HA terhadap sifat fisik, kimia, mekanik, dan biologis *Scaffold* yang dihasilkan

menggunakan metode spons replikasi. Fokus utama adalah menentukan konsentrasi HA yang optimal untuk menghasilkan *Scaffold* dengan sifat yang mendukung aplikasi klinis pada Defek tulang. Dengan hasil ini, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan *Scaffold* berbasis HA yang lebih efektif, aman, dan sesuai untuk kebutuhan rekayasa jaringan tulang.

1.2 Rumusan Masalah

1. Pengaruh variasi yang tepat untuk konsentrasi hidroksiapatit (HA) terhadap sifat fisik dan kimia *Scaffold* yang dihasilkan dengan metode spons replikasi untuk Defek tulang?
2. Bagaimana hasil pengujian SEM, XRD, uji dimensi dan uji degradasi pada *scaffold* dengan variasi konsentrasi hidroksiapatit (HA) untuk mengevaluasi sifat fisik dan kimia?

1.3 Tujuan dan Manfaat

1.3.1 Tujuan

Dengan tujuan penelitian tersebut sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi konsentrasi hidroksiapatit (HA) terhadap sifat fisik dan kimia *Scaffold* yang dihasilkan dengan metode spons replikasi untuk Defek tulang.
2. Mengetahui hasil pengujian SEM-EDX , XRD, uji dimensi dan uji degradasi pada *scaffold* dengan variasi konsentrasi hidroksiapatit (HA) untuk menentukan sifat fisik dan kimia yang mendukung aplikasi sebagai bahan rekonstruksi Defek tulang.

1.3.2 Manfaat

Dengan mengetahui hasil dari uji SEM-EDX, uji XRD, uji dimensi, uji degradasi. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan material *Scaffold* berbasis hidroksiapatit (HA) dengan metode spons replikasi, khususnya dalam memahami pengaruh variasi konsentrasi HA terhadap sifat fisik, kimia, mekanik, dan biologis *Scaffold*. Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi ilmiah untuk pengembangan material biomimetik yang

lebih efektif dalam mendukung regenerasi jaringan tulang, terutama pada kasus Defek tulang. Secara praktis, penelitian ini juga dapat menjadi dasar bagi inovasi dalam pembuatan *Scaffold* yang dapat diaplikasikan sebagai bahan rekonstruksi tulang dalam bidang kedokteran ortopedi dan kedokteran regeneratif, sekaligus memberikan alternatif solusi terhadap kebutuhan material implan yang aman, efektif, dan ekonomis.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini difokuskan pada investigasi dampak perbedaan konsentrasi hidroksiapatit (HA) pada level 10%, 40%, dan 70% terhadap properti fisik, kimia, serta biologis dari scaffold. Sintesis scaffold dilakukan melalui metode spons replikasi guna merekayasa arsitektur berpori yang esensial untuk aplikasi pada perbaikan defek tulang.

1.5 Metode Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh konsentrasi hidroksiapatit (HA) terhadap karakteristik *scaffold* yang dibuat dengan metode spons replika untuk aplikasi perbaikan defek tulang. Bahan baku yang digunakan meliputi hidroksiapatit (HA), aquadest, dan spons poliuretan. Variasi konsentrasi HA yang digunakan adalah 10%, 40%, dan 70% (w/v), yang masing-masing akan dianalisis untuk menentukan pengaruhnya terhadap sifat fisik *scaffold*. *Scaffold* yang dihasilkan akan dikarakterisasi melalui beberapa uji, yaitu uji degradasi untuk mengevaluasi laju degradasi *scaffold* dalam lingkungan biologis, uji dimensi untuk mengukur perubahan dimensi *scaffold* setelah proses degradasi, uji *scanning electron microscope* (SEM) untuk menganalisis morfologi dan struktur permukaan *scaffold*, dan uji *X-ray diffraction* (XRD) untuk mengidentifikasi komposisi kristal dan struktur mikro dari *scaffold* yang dihasilkan. Data dari setiap pengujian akan dianalisis untuk menentukan konsentrasi HA yang optimal dalam meningkatkan sifat mekanik dan degradasi *scaffold* untuk aplikasi perbaikan tulang.

1.6 Jadwal Penelitian

Penelitian ini akan menghabiskan waktu selama 4 bulan dan memiliki beberapa tahapan sebagai berikut yang ada ditabel:

Tabel 1.6.1 Jadwal dan *Milestone*

No.	Deskripsi Tahapan	Durasi	Tanggal Selesai	<i>Milestone</i>
1	Persiapan Alat dan Bahan	1 Minggu	13 Januari 2025	Material siap untuk eksperimen
2	Pembuatan <i>Scaffold</i>	3 Minggu	3 Februari 2025	<i>Scaffold</i> selesai dibuat
3	Uji XRD	4 Minggu	4 Maret 2025	Karakterisasi material selesai
4	Uji SEM (Scanning Electron Microscope) dan Uji dimensi	4 Minggu	5 April 2025	Struktur pori dan dimensi terukur
5	Uji degradasi, dan Analisis hasil	4 Minggu	5 Mei 2025	Data degradasi selesai