

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Cacat pada jaringan tulang menjadi suatu masalah kesehatan yang relatif serius, karena dapat menyebabkan cacat permanen pada penderitanya. Salah satu metode pengobatan yang paling efektif untuk memperbaiki cacat tulang adalah transplantasi tulang. Hingga saat ini, transplantasi tulang merupakan prosedur transplantasi jaringan kedua yang paling umum di dunia setelah transfusi darah (Wei et al., 2023). Menurut statistik, di seluruh dunia setiap tahun lebih dari 2 juta operasi transplantasi tulang dilakukan. Di Indonesia kasus cacat tulang umumnya dipicu oleh pola makan yang kurang sehat, kecelakaan, bencana alam, cacat bawaan lahir, infeksi, maupun tumor (Wahyudi et al., 2019). Penanganan cacat tulang umumnya menggunakan metode cangkok *autogenous* (berasal dari bagian tubuh penderita sendiri) karena potensi *osteogenik* (media dalam pendorongan perkembangan sel pembentuk tulang). Selain itu, metode *alogenik* merupakan cangkok yang berasal dari bagian tubuh pendonor, juga telah banyak digunakan dan dianggap sebagai standar emas untuk cangkok tulang. Akan tetapi, kedua metode tersebut memiliki keterbatasan masing-masing (Shang et al., 2021).

Menurut Wei et al (2023), keterbatasan cangkok *autogenous* dan *alogenik* disebabkan oleh kurangnya sumber bahan tulang untuk cangkok serta adanya resiko penolakan imun. Sebagai alternatif, bahan logam menjadi salah satu solusi perbaikan jaringan tulang. Namun, bahan logam memiliki kelemahan seperti bahan tidak dapat diserap secara biologis maupun bioaktif (kemampuan untuk berinteraksi dengan sel di jaringan), masa pakainya terbatas, dan perlu diangkat atau diganti kembali melalui proses pembedahan. Kelemahan-kelemahan ini hingga kini masih menjadi tantangan yang belum terselesaikan (Basha et al., 2015). Solusi lain perbaikan jaringan tulang dapat menggunakan bahan hidroksiapatit (HAp) yang merupakan salah satu jenis material biokeramik yang memiliki kemiripan dengan tulang alami manusia, baik dari segi struktur maupun komposisi kimia (Obada et al., 2020). HAp mengandung unsur kalsium dan fosfor, yang dapat dimanfaatkan secara meluas untuk bahan implan karena kemiripannya dengan fase mineral tulang alami (Anggresani et al., 2020). Tulang secara alami terkandung 20% bahan *organic* yang biasanya berupa kolagen tipe I, *anorganic* yang berupa HAp sebanyak 70% dan 10% nya kandungan air (Kumar et al., 2021). Oleh karena itu, HAp dianggap sebagai salah satu bahan yang paling ideal untuk perbaikan cacat tulang (Chen et al., 2019).

HAp dapat diekstraksi dari sumber biogenik (berasal dari organisme hidup) yang memiliki kelebihan seperti ramah lingkungan dan dapat mempertahankan komponen alami jaringan tulang yang bertindak sebagai bahan *osteokonduktivitas* yaitu suatu kemampuan material dalam mendukung perkembangan tulang untuk memberikan struktur yang sesuai bagi sel-sel tulang agar menempel dan berkembang (Adhikara et al., 2024). Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk memperoleh HAp dapat menggunakan dari tulang ayam (Vijayaraghavan et al., 2022), tulang sapi (Xue et al., 2023), cangkang kerang (Liandi et al., 2024), cangkang kepiting (Wibisono et al., 2024), dan tulang ikan tenggiri (Purba et al., 2024).

Berdasarkan data dari Dinas Kelautan dan Perikanan (DKP), menyatakan pada tahun 2023 Provinsi Jambi mengalami peningkatan yang signifikan dalam produksi budidaya ikan. Sementara itu, menurut statistik dari Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP), jumlah produksi ikan tenggiri mencapai sekitar 257.781 ton. Di Jambi, ikan biasanya diolah menjadi lauk pauk sehari-hari atau kuliner khas daerah seperti kerutup ikan, pempek, dan otak-otak khas jambi. Pengolahan otak-otak atau pempek di Jambi umumnya menggunakan daging ikan tenggiri. Namun, tulang ikan masih belum dimanfaatkan secara optimal. Padahal, tulang ikan yang sering dibuang dan dianggap limbah ini sebenarnya memiliki kandungan kalsium (Ca) dan fosfor (P) dalam jumlah tinggi (Gnanasekaran et al., 2024). Tulang ikan tenggiri mengandung sekitar 15,11% kalsium (Muryati et al., 2020) serta nutrisi lain seperti fosfor (Ferreira et al., 2020). Oleh karena itu, tulang ikan tenggiri berpotensi digunakan sebagai bahan pembuatan HAp. Beberapa penelitian telah berhasil memanfaatkan tulang ikan tenggiri untuk menghasilkan serbuk HAp (Gnanasekaran et al., 2024; Cruz et al., 2024; Purba et al., 2024). Dalam pengembangan lebih lanjut, penelitian terkait HAp telah menjadikan HAp sebagai bahan utama pembuatan *scaffold* yang diaplikasikan untuk regenerasi jaringan tulang (Anggresani et al., 2020).

*Scaffold* merupakan material yang bersifat *biodegradable* (material yang dapat terurai), berpori, dan memiliki struktur tiga dimensi. *Scaffold* berfungsi sebagai matriks ekstraseluler yang menjadi medium pertumbuhan jaringan tulang alami, khususnya pada bagian tulang yang mengalami cacat massa, sehingga memungkinkan proses regenerasi. Dalam proses ini, pertumbuhan tulang terjadi pada *scaffold* dan material *scaffold* akan terdegradasi dalam jangka waktu tertentu (Yusuf et al., 2019). Pembuatan struktur *scaffold* pada dasarnya harus berpori dan dapat terurai secara biologis. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa bahan HAp dapat meningkatkan fungsi *scaffold* dengan menyediakan area permukaan yang jauh lebih besar. Namun, *scaffold* berbasis

HAp memiliki sifat rapuh dan ukuran pori yang kecil, sehingga diperlukan penambahan bahan lain, seperti polimer. Polimer yang digunakan harus memiliki sifat *biodegradabilitas* (kemampuan suatu material agar dapat diurai secara biologis) dan *biokompatibilitas* (kemampuan material yang berfungsi dengan baik dalam tubuh tanpa menunjukkan reaksi imun yang merugikan). Selain itu, penambahan polimer juga dapat meningkatkan ukuran pori *scaffold* dan mengurangi kerapuhan yang menjadi kelemahan *scaffold* berbasis HAp (Lett et al., 2016). Penelitian yang dilakukan oleh Beh et al (2020), menunjukkan bahwa *scaffold* yang dibuat dari campuran pati jagung dan HAp memiliki ukuran makropori (200-600  $\mu\text{m}$ ) dan mikropori (50-100  $\mu\text{m}$ ). *Scaffold* tersebut memiliki tingkat *interconnectivity* pori yang tinggi (karakteristik pori-pori dalam *scaffold* yang saling berhubungan), sangat berpori, dan sifat mekanis yang memadai, sehingga berpotensi digunakan sebagai biomaterial dalam rekayasa jaringan tulang. Pembentuk pori biologis pada *scaffold* juga menguntungkan secara ekologis dan meningkatkan *biokompatibilitas*. Pada penelitian Ragunathan et al (2019), *scaffold* tidak hanya dibuat dari kombinasi HAp dan pati, tetapi juga ditambahkan bahan *poly vinyl alcohol* (PVA) untuk membentuk struktur pori serta memperkuat *scaffold*. Namun, penelitian tersebut hanya menggunakan satu sampel dengan rasio HAp dan pati 1:1 serta penambahan PVA sebanyak 10% dari total berat bahan campuran (HAp dan pati), tanpa mengeksplorasi variasi dalam jumlah penggunaan PVA.

Metode yang umum digunakan dalam pembuatan *scaffold* antara lain adalah *electrospinning*, *sol-gel*, *powder foaming*, *gas foaming*, *freeze drying*, dan lainnya (Thavornyutikarn et al., 2014; Eltom et al., 2019; Kumar dan Jacob, 2022). Pada pembuatan *scaffold* HAp, metode *freeze drying* sering kali dipilih karena memiliki beberapa keunggulan. Metode ini tidak merusak struktur polimer selama proses penghilangan air (Siswoyo et al., 2020) serta mampu mengontrol terbentuknya ukuran pori dari *scaffold* secara efektif (Kumar dan Jacob, 2022). Metode ini dilakukan pada suhu rendah untuk memungkinkan terjadinya sublimasi kristal es, sehingga terbentuk struktur berpori yang padat. Selain itu, metode *freeze drying* ini memerlukan penggunaan bahan polimer guna mempertahankan sifat mekanis *scaffold* yang dihasilkan (Jamilludin et al., 2024).

Berdasarkan uraian sebelumnya, penelitian ini akan difokuskan pada pembuatan *scaffold* HAp dari limbah tulang ikan tenggiri yang dikombinasikan dengan bahan polimer sintesis berupa PVA. Polimer ini dipilih karena memiliki beberapa keunggulan yaitu larut dalam air, ramah lingkungan, tidak beracun, serta relatif murah (Yusuf dan Diputra, 2024). Dalam penelitian ini, PVA berperan sebagai bahan pengikat antara HAp dan pati jagung (Ragunathan et al., 2019)

sekaligus berfungsi dalam pembentukan struktur berpori pada *scaffold* (Cui et al., 2020). Pati jagung digunakan sebagai polimer alami yang mampu membentuk pori-pori pada *scaffold*, sehingga memungkinkan terjadinya penetrasi sel dan nutrisi di dalam tubuh (Beh et al., 2020). Penelitian ini juga akan menganalisis pengaruh variasi massa PVA terhadap karakteristik *scaffold*. Variasi massa PVA yang digunakan adalah 3%, 7%, dan 10% dari berat total setiap sampel campuran HAp dan pati jagung. Pemilihan variasi massa PVA didasarkan pada penelitian Ragunathan et al (2019), yang menyatakan bahwa ukuran dan distribusi pori pada *scaffold* sangat bergantung pada jumlah PVA yang digunakan. Selain itu, penelitian Ashraf et al (2019), menunjukkan bahwa massa PVA yang lebih kecil dari 0,5 g dapat menghasilkan ukuran pori *scaffold* dengan ukuran pori yang kisarannya sesuai untuk dapat memaksimalkan kemampuan *scaffold* dalam mentransfer nutrisi ke sel yang dituju serta dapat menyerap air yang cukup untuk aplikasi khusus seperti penyerapan darah. Proses pembuatan *scaffold* akan dilakukan menggunakan metode *freeze drying* karena mempertimbangkan keunggulannya dalam menghasilkan struktur pori yang baik tanpa merusak struktur polimer pada *scaffold* (Kumar dan Jacob, 2022). Selanjutnya, *scaffold* yang dihasilkan akan dikarakterisasikan menggunakan *X-Ray Diffractometer* (XRD) untuk menyelidiki kemurnian fasa kristal dan ukuran kristal, serta *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengamati morfologi permukaan dan distribusi ukuran pori. Oleh karena itu, penelitian ini diajukan dengan judul pembuatan dan karakterisasi *scaffold* hidroksiapatit (HAp) dari limbah tulang ikan tenggiri (*Scomberomorus commerson*).

## **1.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah**

### **Identifikasi Masalah**

Dalam rekayasa jaringan tulang diperlukan *scaffold* yang memiliki ukuran pori yang ideal. Pembuatan *scaffold* HAp menggunakan limbah tulang ikan tenggiri mempunyai potensi yang tinggi dari sifat yang diperlukan untuk rekayasa jaringan tulang sehingga dapat digunakan sebagai bahan utama pembuatan *scaffold* untuk rekayasa jaringan tulang tersebut. Namun, *scaffold* HAp murni memiliki kelemahan dalam membentuk struktur pori serta kepadatan *scaffold*, maka pencampuran menggunakan pati jagung sebagai bahan pembentuk dan meningkatkan pori digunakan untuk menangani kelemahan *scaffold* HAp murni. *Scaffold* HAp dan pati jagung akan ditambahkan juga PVA sebagai pengikat campuran material *scaffold* serta membentuk struktur pori dengan ukuran pori yang dapat diaplikasikan pada jaringan tulang yang rusak. Variasi massa PVA yang digunakan agar mengetahui pengaruh pembentukan pada *scaffold*.

### **Perumusan Masalah**

Berdasarkan identifikasi yang telah dijabarkan, adapun perumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana proses pembuatan *scaffold* HAp dari limbah tulang ikan tenggiri yang dicampurkan pati jagung dengan menggunakan variasi massa PVA sebagai pengikat dan pembentuk pori *scaffold* tersebut ?
2. Apakah variasi massa PVA yang digunakan untuk pembuatan *scaffold* HAp dengan pati jagung berpengaruh terhadap kemurnian fasa kristal dan ukuran kristal ?
3. Bagaimana pengaruh variasi massa PVA dalam pembuatan *scaffold* HAp dengan pati jagung terhadap hasil morfologi dan distribusi ukuran pori pada pembuatan *scaffold* HAp ?

### **1.4 Tujuan**

Berikut tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui cara pembuatan *scaffold* HAp dari limbah tulang ikan tenggiri dan dicampur pati jagung dan PVA sebagai pengikat serta pembentuk pori agar memperoleh *scaffold* dalam bentuk padatan kering serta berpori.
2. Mengetahui pengaruh variasi massa PVA terhadap *scaffold* HAp dengan pati jagung, terhadap fasa kristal dan ukuran kristal yang terbentuk dengan menggunakan analisis XRD.
3. Mengetahui pengaruh variasi massa PVA dalam pembuatan *scaffold* HAp dengan pati jagung terhadap hasil morfologi dan distribusi ukuran pori dengan menggunakan analisis SEM.

### **1.5 Manfaat**

Penelitian ini diharapkan hasilnya akan memberikan manfaat sebagai berikut :

#### **Manfaat Teoritis**

Hasil penelitian ini diharapkan memberikan informasi berkaitan pengetahuan pembuatan *scaffold* HAp dari tulang ikan tenggiri dengan mencampurkan pati jagung guna meningkatkan pori dan PVA sebagai pengikat bahan serta pembentuk kepadatan *scaffold*.

#### **Manfaat Praktis**

Bagi mahasiswa diharapkan penelitian ini bisa memberi pengetahuan lebih lanjut serta referensi dalam bidang fisika material terkait pembuatan *scaffold* berbahan utama HAp serta dicampur pati jagung dan PVA.

**Manfaat untuk Masyarakat**

Diharapkan dengan adanya penelitian ini masyarakat dapat mengelola limbah tulang ikan dengan bijak, memberikan nilai harga pada tulang ikan tenggiri serta mendapatkan wawasan berkaitan pemanfaatan limbah tulang ikan tenggiri tersebut dalam pembuatan *scaffold* berbasis HAp.