

**TESIS**

**BIOKERAMIK HIDROKSIAPATIT DARI TULANG IKAN KERAPU  
BATIK (*EPINEPHELUS POLYPHEKADION*) MENGGUNAKAN METODE  
KOPRESIPITASI UNTUK TULANG TIRUAN**

**FEBRIANTI MAHRANI KOLLY**

**H032221004**



**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA  
DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2023**

**BIOKERAMIK HIDROKSIAPATIT DARI TULANG IKAN KERAPU BATIK  
(*EPINEPHELUS POLYPHEKADION*) MENGGUNAKAN METODE KOPRESIPITASI  
UNTUK TULANG TIRUAN**

**T E S I S**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Magister Sains  
pada Program Studi Magister Fisika Departemen Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Hasanuddin*

**FEBRIANTI MAHRANI KOLLY**

**H032221004**

**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA  
DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2023**

**LEMBAR PENGESAHAN TESIS**

**BIOKERAMIK HIDROKSIAPATIT DARI TULANG IKAN KERAPU BATIK  
(EPINEPHELUS POLYHEKADION) MENGGUNAKAN METODE KOPRESIPITASI  
UNTUK TULANG TIRUAN**

Disusun dan diajukan oleh

**FEBRIANTI MAHRANI KOLLY**

**H032221004**

Telah Dipertahankan di Hadapan Panitia Ujian yang Dibentuk Dalam Rangka Penyelesaian  
Studi Program Magister Program Studi Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu

Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

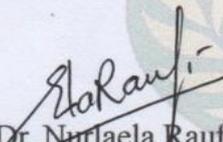
Pada Tahun 2023

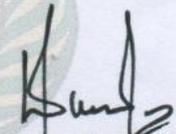
Dan Dinyatakan Telah Memenuhi Syarat Kelulusan

Menyetujui

Penasehat Utama,

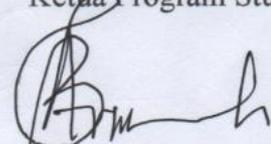
Penasehat Pendamping,

  
Prof. Dr. Nurlaela Rauf, M.Sc.  
NIP. 19600624 198601 2 001

  
Prof. Dr. Dahlan Tahir, M.Si.  
NIP. 19750907 200003 1 006

Ketua Program Studi,

Dekan Fakultas,

  
Prof. Dr. Ir. Bidayatul Armynah, M.T.  
NIP. 19630830 18903 2 001

  
Dr. Eng. Amiruddin, M.Si.  
NIP. 19720515 199702 1 002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Febrianti Mahrani Kolly  
NIM : H032221004  
Program Studi : Fisika  
Jenjang : S2

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

### **BIOKERAMIK HIDROKSIAPATIT DARI TULANG IKAN KERAPU BATIK (*EPINEPHELUS POLYPHEKADION*) MENGGUNAKAN METODE KOPRESIPITASI UNTUK TULANG TIRUAN**

Adalah karya tulisan saya sendiri, bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi tesis ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut,

Makassar, 30 November 2023

Yang Menyatakan,



Febrianti Mahrani Kolly

## ABSTRAK

Kerusakan atau kepatahan tulang bergantung pada kepadatan dan kualitas jaringan. Selama beberapa dekade terakhir, para peneliti mengembangkan berbagai biomaterial dan teknologi yang berkaitan dengan implan tulang manusia dengan mengaplikasikan biokeramik dari berbagai hidroksiapatit (HA) bahan alam. Penelitian ini mensintesis hidrolisis basa tulang ikan kerapu batik (*Epinephelus Polyhekadion*) dikarakterisasi dengan menggunakan *X-ray fluorescence* (XRF), *Difraksi sinar-X* (XRD), *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan kuat tekan. Pembuatan kalsium fosfat menggunakan metode hidrolisis basa menganalisis hasil XRF bahwa kalsium yang dihasilkan 92,61 % tanpa fosfat dengan waktu pengadukan optimal 90 menit dan menghasilkan rasio Ca/P (*Kalsium Fosfat*) 1,62 dengan penambahan DHP (*Diammonium Hidrogen Fosfat*). Analisis XRD menunjukkan puncak difraksi HA terjadi pergeseran kekanan yang mengonfirmasi keberadaannya dalam HA yang disintesis terjadi jarak antar atom atau despacing semakin mengecil dan membentuk ukuran kristal 10,23 nm. Analisis FTIR memperlihatkan bahwa terdapat 3 daerah gugus fungsi utama kalsium, fosfat dan hidroksil mengkonfirmasi bahwa sintesis tulang ikan kerapu terdapat HA. Dan pengujian kuat tekan menghasilkan 2,44 MPa sehingga dapat diaplikasikan pada rekayasa jaringan tulang atau tulang tiruan.

**Kata kunci:** Tulang Ikan, Perbaikan Tulang, Hidroksiapatit, *Polivinil Alkohol*, *Polietelin Glikol*, Biokeramik.

## ABSTRACT

Bone deterioration or fracture depends on the density and quality of the tissue. Researchers developed various biomaterials and technologies related to human bone implants by applying bioceramics from various hydroxyapatite (HA) natural materials. Therefore, this study synthesized alkaline hydrolysis of batik grouper bone (*Epinephelus Polyhekadion*) characterized using X-ray fluorescence (XRF), X-ray diffraction (XRD), Fourier transform infrared (FTIR) and compressive strength. The preparation of calcium phosphate using the alkaline hydrolysis method analyzed the XRF results that the calcium produced was 92.61% without phosphate with an optimal stirring time of 90 minutes and produced a Ca/P (Calcium and Phosphate) ratio of 1.62 with the addition of DHP (*Diammonium Hidrogen Fosfat*). XRD analysis showed that the diffraction peak of HA shifted to the right which confirmed its presence in the synthesized HA, the distance between atoms or despadding was getting smaller and formed a crystal size of 10.23 nm. FTIR analysis showed that there were 3 main functional group regions of calcium, phosphate and hydroxyl confirming that the grouper bone synthesis contained HA. And compressive strength testing resulted in 2.44 MPa so that it can be applied to bone tissue engineering or artificial bone.

**Keywords:** Fish Bone, Bone Repair, Hydroxyapatite, Polyvinyl Alcohol, Polyethylene Glycol, Bioceramics.

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Alhamdulillah Robbil'alamin puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah 'Azza wa Jalla atas cinta kasih-Nya yang selalu tercurah pada kita semua, atas rahmat-Nya dan hidayahNya lah sehingga kita masih bisa menapaki setiap episode hidup yang telah ditetapkan-Nya. Shalawat dan salam senantiasa kita panjatkan kepada kekasih Allah 'Azza wa Jalla. Baginda Muhammad Shallallahu'alaihi wa Sallam. Alhamdulillah berkat petunjuk dan kemudahan-Nya penulis akhirnya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul "Biokeramik Hidroksiapatit dari Tulang Ikan Kerapu Batik (*Epinephelus Polyphekadion*) Menggunakan Metode Kopersipitasi Untuk Tulang Tiruan" sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Magister program studi Fisika di Universitas Hasanuddin. Penulis menyampaikan terima kasih yang terkhusus, teristimewa dan setulus-tulusnya kepada Ayahanda dan Ibunda tercinta (**Bapak Man dan Ibu Oda**) yang telah segenap hati dan jiwanya mencurahkan kasih sayang serta doanya yang tiada henti-hentinya demi kebaikan, keberhasilan dan kebahagiaan penulis, sehingga penulis bisa menjadi orang yang seperti sekarang ini. Penulis menyadari bahwa Tesis ini dapat terselesaikan berkat bantuan dari berbagai pihak dengan penuh keikhlasan dan ketulusan hati. Untuk itu pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

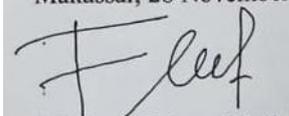
1. Ibu **Prof. Dr. Nurlaela Rauf, M.Sc.** pembimbing utama yang dengan penuh ketulusan hati meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing, mengarahkan dan memberi motivasi kepada penulis agar dapat menyelesaikan tesis ini dengan hasil yang baik
2. Bapak **Prof. Dr. Dahlang Tahir, M.Si.** selaku pembimbing pertama yang dengan penuh ketulusan hati telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran serta penuh kesabaran untuk terus membimbing, mengarahkan dan juga mengajarkan kepada penulis dalam setiap tahap penyusunan tesis ini sehingga dapat selesai dengan baik.
3. Ibu **Prof. Dr. Ir. Bidayatul Arminah, M.T.**, bapak **Prof. Dr. Paulus Lobo Gareso, M.Sc.**, dan **Prof. Dr. rer-nat Wira Bahari Nurdin** selaku penguji

yang senantiasa memberikan masukan, krikikan dan motivasi dalam perbaikan tesis ini.

4. Bapak **Heryanto** dan **Ardiansyah** yang telah membantu dalam memberi arahan dan membantu dalam pengujian sampel.
5. Terima kasih para kesayangan kepada **kedua orang tuaku** yang selalu memberikan doa, restu, dan support selama ini.
6. Terima kasih untuk Para adik-adikku tersayang **Aldi**, **Aris** dan **Tia** yang selalu menjadi support sistem terbaik.
7. Seluruh angkatan **S2 Fisika 2022** terimakasih telah memberikan support dan semangat serta masukan dan arahan dalam perkuliahan.
8. Teruntuk **Kak Ina**, **Kak Rahmi**, **Kak Ninis**, **Kak Fitria** terima kasih atas dedikasi, perhatian dan bantuan serta support.
9. Untuk teman material tersayang S2 Fisika angkatan 2022 **Andi Tessiwoja Tenri Ola**, **Nurul R. Fajri Tang**, **Ardiansyah**, **Kak Fahrul Bakri**, **Andi Uswatun Hasanah**, **Nurvadillah Angraini**, **Nur Safitri**, dan **Yusnita Sari** memberi banyak cerita, masukan, kritik, saran dalam membangun untuk tetap maju pantang menyerah.
10. Untuk Team Material Biokeramik Terkhusus **Nur Safitri** dan **Nurvadillah Angraini** terima kasih yang tulus atas bantuan, jasa dan pengorbanan selama masa penelitian.
11. Untuk para Adik kerajaan material **Syarif**, **Azlan**, **Syahrul** dan **Nasroh** yang telah memberi support.

Dan penulis juga mengakui bahwa dalam penyusunan tugas akhir (tesis) ini masih banyak terdapat kekurangan, olehnya itu untuk menjadikan tulisan ini lebih baik, menulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga apapun yang kita lakukan selama ini diridhai oleh Allah ‘Azza wa Jalla. Aamiin.

Makassar, 28 November 2023

  
Febrianti Mahrani Kolly

## DAFTAR ISI

<b>DAFTAR ISI</b> .....	i
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	x
<b>BAB I</b> .....	1
<b>PENDAHULUAN</b> .....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah.....	2
I.3 Tujuan Penelitian.....	2
<b>BAB II</b> .....	3
<b>TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	3
II.1 Biokeramik.....	3
II.2 Ikan Kerapu Batik ( <i>Epinehelus Polykhedion</i> ).....	3
II.3 Hidrosiapatit.....	4
II.4 PEG ( <i>Polietelin Glikol</i> ).....	5
II.5 PVA ( <i>Polyvinyl Alcohol</i> ).....	5
II.6 Metode Hidrolisis Basa.....	6
II.7 Metode Kopresipitasi.....	7
<b>BAB III</b> .....	8
<b>METODE PENELITIAN</b> .....	8
III.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	8
III.2 Alat dan Bahan.....	8
III.2.1 Alat.....	8
III.2.2 Bahan.....	9

III.3 Prosedur Penelitian.....	9
III.3.1 Preparasi Sampel.....	9
III.3.2 Persiapan Hidrosiapatit .....	9
III.3.3 Sintesis Biokeramik .....	10
III.3.4 Karakterisasi Sampel.....	11
III.4 Bagan Alir Penelitian .....	12
<b>BAB IV .....</b>	<b>16</b>
<b>PEMBAHASAN .....</b>	<b>16</b>
IV.1 XRF ( <i>X-Ray Fluorescence</i> ) .....	16
IV.2 XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ) .....	18
IV.3 FTIR ( <i>Transform Infrared Spectroscopy</i> ).....	20
IV.4 Kuat Tekan.....	21
<b>BAB V.....</b>	<b>23</b>
<b>KESIMPULAN.....</b>	<b>23</b>
V.1 Kesimpulan .....	23
V.2 Saran .....	24
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>25</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>25</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar II. 1</b> Ikan Kerapu Batik ( <i>Epinephelus Polyhekadion</i> ). .....	14
<b>Gambar III. 1</b> Bagan Alir Penelitian. ....	26
<b>Gambar IV. 1</b> Diagram bar rasio kalsium fosfat dari sampel tulang ikan kerapu batik aktifasi waktu pengadukan 30,60 dan 90 menit.....	28
<b>Gambar IV. 2</b> (a) Spektrum difraksi sinar-X dari tulang ikan kerapu batik aktifasi waktu pengadukan selama 30, 60 dan 90 menit (b) Dispacing kristalinitas (c) Ukuran kristal yang terbentuk pada sampel.....	30
<b>Gambar IV. 3</b> (a) Spektrum FT-IR pada sampel tulang ikan kerapu batik aktifasi waktu pengadukan 30, 60 dan 90 menit (b) Pembesaran gugus fungsi Ca dan fosfat pada 1250-900 $\text{cm}^{-1}$ . ....	32
<b>Gambar IV. 4</b> Diagram bar dari sifat mekanik sampel kuat tekan. ....	33

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel II.1.</b> Pembagian fase kristal stoikiometri tulang dan gigi manusia.....	11
<b>Tabel IV.1.</b> Hasil analisis XRF serbuk HA ikan kerapu batik .....	27

# BAB I PENDAHULUAN

## I.1 Latar Belakang

Kerusakan tulang mengakibatkan proses penyembuhan yang sering terganggu atau bahkan gagal dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya kepadatan dan jaringannya [1],[2]. Selama beberapa dekade terakhir, para peneliti mengembangkan berbagai biomaterial dan teknologi yang berkaitan dengan implan tulang manusia dengan mengaplikasikan biokeramik dari bahan alam [3]. Hidrosiapatit (HA) adalah bahan biokeramik yang terdiri dari kalsium dan fosfat merupakan komponen penyusun utama tulang dan gigi dengan rumus rasio stoikiometrinya  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  [4],[5]. Sumber alami HA dapat diperoleh dari sintesis tulang dan gigi hewan mulai dari cangkang telur [6], cangkang kerang [7], tulang sapi [4], dan tulang ikan [8].

Beberapa sumber HA yang banyak digunakan merupakan salah satu metode untuk mengurangi limbah yang berdampak ke pencemaran lingkungan. Salah satu tulang ikan yang belum banyak diteliti adalah tulang ikan kerapu batik (*Epinephelus Polyhekadion*) [9]. Penelitian yang dilakukan oleh Le Ho Khank (2021) pada tulang ikan *Lates Calcarifer* dengan metode hidrolisis basa menggunakan suhu rendah (60-100°C) dihasilkan hasil rasio Ca/P 1,67 sehingga dapat dipergunakan sebagai bahan pengganti tulang tiruan [10], [11].

Penelitian ini akan mengembangkan riset terkait dengan kalsium fosfat, karena bahan ini tidak beracun dan menunjukkan aktivitas biologis yang baik [13],[14]. Dalam jurnal-jurnal tersebut, tulang ikan memberikan kontribusi yang signifikan untuk pembuatan biokeramik dengan penambahan PVA (*Polyvinyl alcohol*) dan PEG (*Polietelin Glikol*). Kedua bahan ini memiliki daya rekat yang baik dan menghasilkan porositas untuk penggunaan tulang tiruan dengan menggunakan metode kopresipitasi [9], [15].

Tulang tiruan dari HA dibuat melalui hidrogel partikel PEG-PVA yang menghasilkan struktur berpori yang saling terhubung melalui interpenetrasi antara partikel PEG dan PVA. Dengan perbandingan komposisi berat 40%, HA

menunjukkan hasil tulang tiruan memiliki kuat tekan yaitu 4,20 MPa. Apabila presentasi antara kalsium fosfat (Ca/P) melebihi 40% massa beratnya, maka nilai kekerasan yang diperoleh tidak memiliki pori akan tetapi jika kurang dari nilai tersebut maka sampel bersifat rapuh karena terlalu banyak pori yang dihasilkan [16]. Hidrogel mempertahankan interkoneksi pori-pori dalam matriks HA, yang memberikan kekuatan yang cukup untuk tulang tiruan. Penelitian ini memiliki kemampuan untuk bersaing dengan biokeramik industri pada rekayasa jaringan tulang manusia atau tulang tiruan.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah untuk penelitian ini dapat dituliskan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi waktu aktifasi tulang ikan kerapu batik (*Epinephelus Polykhedion*) terhadap tulang tiruan dengan menggunakan metode hidrolisis basa?
2. Bagaimana variasi Ca/P durasi waktu aktifasi terbaik dengan pencampuran PEG 4000 dan PVA sebagai tulang tiruan?

## **I.3 Tujuan Penelitian**

Adapun Tujuan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Analisis variasi waktu aktifasi untuk menghasilkan nilai rasio massa Ca/P tertinggi.
2. Analisis pengaruh penambahan PEG 4000 dan PVA pada Ca/P terhadap sifat mekanik tulang tiruan.

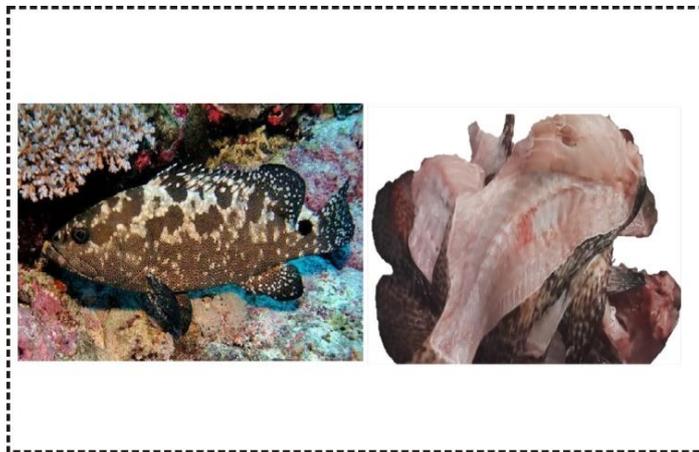
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### II.1 Biokeramik

Biokeramik adalah zat keramik yang biokompatibel, subkelas penting dari biomaterial. Produk atau aditif keramik ini terutama digunakan untuk tulang tiruan [17]. Zat biokeramik biasanya dibagi melalui cara bioaktivitasnya. Keramik menunjukkan ikatan ionik atau kovalen yang sangat kuat (lebih kuat daripada ikatan logam) terdiri dari kekerasan yang berlebihan, kekuatan kompresi yang berlebihan, konduktivitas termal dan listrik yang rendah, dan kelembaman kimia [18], [19]. Substansi keramik, yang dikembangkan secara khusus untuk pemanfaatannya dalam implan tulang dan gigi [20]. Mereka terdiri dari berbagai senyawa alumina dan zirkonia, gelas keramik, pelapis dan komposit, hidroksiapatit (HA), dan kalsium fosfat yang dapat diserap [21].

### II.2 Ikan Kerapu Batik (*Epinephelus Polyphekadion*)

Anggota kelompok Epinephelidae terdiri dari 16 genus sebanyak 163 spesies [22]. Tulang ikan bertulang bersirip yang tersebar di seluruh dunia di daerah tropis dan subtropis. Jumlah jari-jari pada sirip yang terbagi dalam 2 jenis yaitu sirip keras dan jari-jari sirip lemah mengeras terlihat pada **Gambar II.1.** [23], [24].



**Gambar II.1.** Ikan Kerapu batik.

Sirip keras secara umum tidak berbuku-buku, pejal (tidak berlubang) dan tidak dapat dibengkokkan [25].

Kerajaan : Animalia  
Filum : Chordata  
Kelas : Actinopterygii  
Ordo : Perciformes  
Famili : Serranidae  
Subfamili : Epinephelinae  
Genus : *Epinephelus*  
Spesies : *E. polyphkadion*

### II.3 Hidrosiapatit

HA adalah kalsium fosfat alami dengan kompatibilitas biologis yang tinggi dengan sel dan jaringan [26]. Rumus kimia HA adalah  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ , dan merupakan bahan utama dalam tulang dan gigi pada manusia dan hewan (hingga 60-70% berat dalam tulang[27]; dan 97% dalam gigi [28]. HA memiliki rasio molar Ca/P yang mirip dengan tulang dan gigi (Ca/P=1,67) [29].

HA dalam bentuk bubuk halus, super halus, berpori, dan film telah dipelajari untuk memperluas penerapannya. HA saat ini digunakan sebagai suplemen kalsium[30]; sebagai bahan dalam implan tulang dan gigi[31]; dan sebagai bahan penyerap[32]. Senyawa yang mengandung kalsium dan fosfor dari sumber alami terkhusus berbagai tulang ikan seperti Seabass (*Lates Calcarifer*)[33], Tilapia (*Oreochromis sp.*)[34], Yellowfin tuna (*Thunnus albacares*)[35]. HA pada tulang hewan dan manusia ketika diaplikasikan pada jaringan biologi dapat memperbaiki kerusakan setelah pencabutan gigi dan mampu meregenerasi tulang yang berhubungan dengan prosedur penggantian hilang [36].

Berbagai jenis HA dengan sifat yang berbeda, yang dapat digunakan untuk aplikasi tertentu, dapat disintesis dari berbagai sumber membentuk fase kristal yang disebabkan oleh adanya pengotor di dalam kisi, seperti ion karbonat, yang bertanggung jawab bioresorpsi bahan yang lebih baik dalam kondisi fisiologis [37]. Untuk pembagian fase kristal terlihat pada **Tabel 2.1**.

**Tabel 2.1.** Pembagian fase kristal stoikiometri tulang dan gigi manusia[3].

No	Fase Kristal	Rasio <i>Ca/P</i>	Rumus kimia
1	Monocalcium phosphate monohydrate (MCMP)	0,5	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)2\text{H}_2\text{O}$
2	Dikalsium Fosfat Dihidrat, Brushite (DCPA)	1,00	$\text{CaHPO}_4.2\text{H}_2\text{O}$ ,
3	Octacalcium Fosfat (OCP)	1,33	$\text{Ca}_8\text{H}_2(\text{PO}_4)_6.5\text{H}_2\text{O}$ ,
4	$\beta$ -Tricalcium Phosphate ( $\beta$ -TCP)	1,5	$\beta\text{-Ca}(\text{PO}_4)_2$
5	Calcium-deficient Hydroxyapatite Phosphate (ACP)	1,5 – 1,67	$\text{Ca}_{10-x}(\text{HPO}_4)_x(\text{PO}_4)_{6-x}(\text{OH})_{2-x}$ ( $0 < x < 1$ ).
6	Hydroxyapatite (HA)	1,67	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$
7	Tetracalcium Fosfat (TTCP)	2,0	$\text{Ca}_4(\text{PO}_4)_2\text{O}_2$

Diantara berbagai keramik Ca/P, HA dan kombinasinya dengan  $\beta$ -TCP banyak digunakan sebagai bahan pengganti tulang dan pelapis pada implan gigi karena kemiripan struktur kimia dan kristalografinya yang dekat dengan komponen anorganik tulang dan gigi [38]. Kalsium fosfat dengan elemen jejak dapat mendukung pertumbuhan sel, osteointegrasi dan meningkatkan biokompatibilitas material [39]. Peningkatan kandungan elemen jejak menghasilkan pengurangan rasio Ca/P. Dengan demikian, pengendalian variabel proses memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pembuatan keramik HA dan  $\beta$ -TCP stoikiometri berkualitas tinggi [28].

#### II.4 PEG (*Polietelin Glikol*)

Polietilen glikol (PEG) memiliki fungsi untuk meningkatkan kompatibilitas, sifat mekanik (kekuatan dan ekstensi) dan stabilitas termal [16]. Selain itu, penambahan PEG dapat dengan cepat melarutkan karena sifat hidrofiliknya. PEG adalah sekelompok polimer sintesis yang larut dalam air dengan struktur kimia yang mirip pada ujung rantai polieter, termasuk gugus hidrogen primer ( $\text{CH}_2\text{-CH}_2\text{-O}$ ) [15].

Polietilen glikol (PEG) adalah polimer dari berbagai jenis dengan sifat fisik yang berbeda. Polimer ini sering digunakan sebagai pengental, pelarut dan penstabil. Selain itu, memiliki efek konsentrasi dan berat molekul sebagai kekuatan biokeramik pengaplikasian pada tulang tiruan [40]. PVA-PEG dan

menyelidiki pengaruh konsentrasi dan berat molekul partikel PEG terhadap kekuatan, porositas, dan ukuran pori perancah yang disintesis [41].

### **II.5 PVA (*Polyvinyl alcohol*)**

Polivinil alkohol (PVA) adalah polimer sintetis berasal dari polivinil asetat melalui parsial atau penuh hidroksilasi [9]. PVA memiliki kelebihan adsorpsi protein yang rendah, biokompatibilitas, larut dalam air, dan sebagai bahan ketahanan terhadap bahan kimia [42]. PVA digunakan sebagai biomaterial karena sifatnya yang biokompatible, tidak beracun, tidak karsinogenik, sifat pembengkakan, dan sifat karakteristik perekat karena dapat sebagai perekat dengan kualitas daya rekat yang baik [43]. Polimer sintetis yang efektif dalam pembentukan film, pengemulsi, dan dengan daya rekat yang berkualitas PVA tersedia dalam berbagai tingkat polimerisasi dan hidrolisis [44].

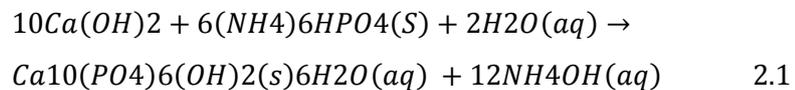
### **II.6 Metode Hidrolisis Basa**

Hidrolisis basa perilaku panas untuk melarutkan dan mensterilkan tulang ikan dalam larutan alkali natrium hidroksida (NaOH) [45]. Metode hidrolisis basa merupakan metode kimia dengan perlakuan dibawah 100°C, metode ini termasuk dalam golongan kimia basa karena pemanfaatan larutan kimia dilakukan pencampuran larutan NaOH dengan bubuk menggunakan *magnetic stirrer* untuk mencampurkan secara merata antara keduanya melalui proses penyaringan dan pengendapan hingga pembakaran suhu rendah konstan hingga menghasilkan bubuk HA berstruktur partikel padat dan berkarbonisasi dengan porositas yang kecil [46], [47]. Kelebihan metode ini telah terbukti menghasilkan nanopartikel dengan karakteristik yang menguntungkan, seperti struktur nano, viabilitas sel yang baik, dan peningkatan mineralisasi pada sel tulang. Hal ini menunjukkan bahwa hidroksiapatit alkali hidroksiapatit tulang ikan berpotensi menjadi biomaterial untuk rekayasa jaringan tulang [48], [49].

Karakterisasi HA memiliki struktur amorf dengan ukuran partikel nano yang berkisar antara 6–37 nm menyelidiki interaksi HA dari tulang salmon. Hasilnya menunjukkan peningkatan biomineralisasi, kemungkinan disebabkan oleh HA, sehingga menjelaskan kapasitas diferensiasi menjadi sel penghasil osteoblas. Ini

pekerjaan menunjukkan bahwa HA dari adalah kandidat biomaterial yang sangat baik untuk jaringan tulang [50].

Proses ini dapat dinyatakan sebagai reaksi berikut:



Pendekatan terbaik untuk pengaturan struktur nano mengambil keuntungan dan menurunkan HA dengan sifat fisikokimia yang dibutuhkan dapat mendukung beberapa aplikasi medis. Bubuk tulang ikan kerapu batik (*Epinephelus Polykhedion*) dilakukan untuk menentukan komposisi kimia, morfologi, dan kristalografi.

## II.7 Metode Kopresipitasi

Kopresipitasi adalah metode kimia yang digunakan untuk mengendapkan dua zat atau lebih dari suatu larutan secara selektif dan bersamaan. Umumnya digunakan dalam ilmu material, dan aplikasi biomedis. Metode ini dengan pembakaran pada oven untuk membuat keramik membutuhkan perlakuan panas dengan laju suhu rendah dan suhu tinggi tidak mengganggu stabilitasnya. Sampel biokeramik yang dihasilkan dengan metode ini memiliki struktur pori yang baik dengan tekstur yang khas dengan ukuran yang berbeda tergantung perlakuan suhu menghasilkan keramik yang keras dan baik untuk penggunaan tulang tiruan[16].

## II. 8 Karakterisasi Sampel

### II.8.1. XRF (*X-Ray Fluorescence*)

XRF merupakan salah satu metode analisis yang didasarkan pada perilaku atom yang terkena radiasi yang digunakan untuk analisis unsur dalam bahan secara kualitatif. Prinsip kerja dari metode analisis XRF berdasarkan terjadinya tumbukan atom-atom pada permukaan sampel (bahan) oleh sinar-x dari sumber sinar-x. Analisis XRF memanfaatkan sinar-x berenergi tinggi untuk mementalkan *electron* yang berada pada tingkat energi terendah pada sampel sehingga terjadi transisi *electron* untuk mengisi posisi *electron* yang tereksitasi, diiringi dengan pemancaran kembali sinar-x karakteristik dengan energi yang lebih rendah [27].

Hasil analisis kualitatif ditunjukkan pada XRF oleh puncak spektrum yang mewakili jenis unsur sesuai dengan energi sinar-x karakteristiknya, sedang analisis kuantitatif diperoleh dengan cara membandingkan intensitas sampel dengan standar. Dalam analisis kuantitatif, faktor-faktor yang berpengaruh dalam analisis antara lain matriks bahan, kondisi dan konsentrasi unsur pada bahan [28].

### II.8.2. XRD (*X-Ray Diffraction*)

XRD digunakan untuk mengidentifikasi fase kristalin dalam material dengan menentukan parameter struktur kisi dan ukuran partikel dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar-X. Difraksi sinar-X merupakan proses hamburan sinar-X oleh materi. Difraksi ini terjadi akibat dari fenomena hamburan oleh masing-masing atom dan interferensi yang terjadi akibat gelombang yang dihamburkan oleh masing-masing atom dan interferensi yang terjadi akibat gelombang yang di hamburkan oleh atom-atom memiliki kohorensi dengan gelombang datang. Alat ini berfungsi untuk mengidentifikasi unsur, parameter kristal, struktur, ukuran kristal dan derajat kristalinitas suatu material melalui puncak-puncak intensitas yang muncul [13, 26].

Karakterisasi menggunakan XRD dilakukan secara kualitatif, yaitu membandingkan puncak-puncak yang terbentuk pada difraktogram HAp hasil sintesis dengan puncak-puncak difraktogram HAp standar data JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*). Menghitung ukuran kristal dapat digunakan persamaan *debye-scherrer* sebagai berikut [29-31]:

$$D = \frac{k \cdot \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (2.1)$$

Dimana, D merupakan besar ukuran kristal (nm), k adalah konstanta *Scherrer* (0,9),  $\lambda$  merupakan panjang gelombang sinar-x (0,154 nm),  $\beta$  merupakan *Full Width at Half Maximum* (FWHM) (rad) dan  $\theta$  merupakan sudut difraksi sinar-X pada puncak tertinggi (°) [29, 30].

### II.8.3. FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

FTIR merupakan suatu metode karakterisasi material untuk mengidentifikasi gugus fungsi, tipe ikatan, komposisi kimia dan vibrasi dari ikatan

molekul dalam senyawa dengan memanfaatkan panjang gelombang inframerah. Spektrum inframerah dalam senyawa dapat memberikan informasi tersebut melalui pengukuran absorpsi, emisi dan refleksi di daerah inframerah. Apabila gelombang inframerah mengenai sampel terjadi serapan dan resonansi. Energi inframerah tidak mentransisikan elektron, tetapi hanya membuat atom dalam molekul bervibrasi. Vibrasi molekul digolongkan menjadi dua, yaitu berupa regangan (*stretching*) yaitu atom yang bergerak terus sepanjang ikatan yang menghubungkannya sehingga mengakibatkan terjadi perubahan jarak antara keduanya, walaupun sudut ikatan antara keduanya tidak berubah dan tekukan (*bending*) yaitu vibrasi yang terjadi jika sistem tiga atom merupakan sebuah molekul yang lebih besar.

#### **II.8.4. Kuat Tekan**

Uji Kuat tekan adalah metode pengujian yang digunakan untuk menentukan kemampuan suatu bahan dalam menahan tekanan atau kompresi. Pengujian ini dalam memahami sifa-sifat mekanik dari jenis material salah satunya tulang tiruan. Uji kuat tekan menentukan suatu bahan dapat menahan tekanan sebelum mengalami keretakan dan kepatahan pada sampel yang digunakan. Sampel bahan yang akan diuji harus dipersiapkan dengan ukuran dan bentuk yang sesuai dengan standar pengujian atau tujuan tertentu, seperti kotak atau silinder. Pengujian kuat tekan biasanya dilakukan dengan menggunakan mesin pengujian kuat tekan, yang mampu mengaplikasikan tekanan secara bertahap ke sampel.

Beban diterapkan secara perlahan ke sampel menggunakan mesin pengujian. Beban ini dapat berupa gaya kompresi yang diterapkan secara vertikal ke atas sampel. Kuat tekan atau tegangan tekan dihitung dengan membagi gaya maksimum yang diukur dengan luas penampang asal sampel. Ini menghasilkan nilai kuat tekan dalam satuan tekanan. Pengujian berlanjut hingga sampel mengalami kegagalan, yang bisa berupa retakan, pecah, atau deformasi permanen. Puncak kuat tekan adalah titik di mana sampel mengalami kegagalan atau titik di mana gaya maksimum dicapai.