

*Skripsi*

**SINTESIS HIDROKSIAPATIT BERBAHAN TULANG IKAN LAYAR  
(*Istiophorus platypterus*) MENGGUNAKAN METODE PRESIPITASI**



**UWAIS AL-QARNY  
H021201035**



**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

**SINTESIS HIDROKSIAPATIT BERBAHAN TULANG IKAN LAYAR  
(*Istiophorus platypterus*) MENGGUNAKAN METODE PRESIPITASI**

**UWAIS AL-QARNY  
H021201035**



**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

**SINTESIS HIDROKSIAPATIT BERBAHAN TULANG IKAN LAYAR  
(*Istiophorus platypterus*) MENGGUNAKAN METODE PRESIPITASI**

UWAIS AL-QARNY  
H021201035

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Fisika

pada

**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

## SKRIPSI

SINTESIS HIDROKSIAPATIT BERBAHAN TULANG IKAN LAYAR  
(*Istiophorus platypterus*) MENGGUNAKAN METODE PRESIPITASI

UWAIS AL-QARNY

H021201035

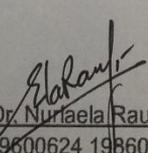
Skripsi,

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Sarjana  
pada tanggal 15 Agustus 2024  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

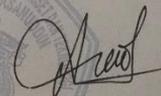
pada

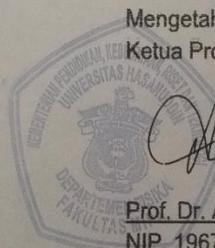
Program Studi Fisika  
Departemen Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Hasanuddin  
Makassar

Mengesahkan:  
Pembimbing Tugas Akhir,

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

Mengetahui:  
Ketua Program Studi,

  
Prof. Dr. Arifin, M.T.  
NIP. 19670520 199403 1 002



### PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Sintesis Hidroksiapatit berbahan Ikan Layar (*Istiophorus platypterus*) menggunakan Metode Presipitasi" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing Prof. Dr. Nurlaela Rauf, M.Sc. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 15 Agustus 2024



Uwais Al-Qarny  
H021201035

## UCAPAN TERIMA KASIH

### **Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh**

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala, karena atas berkat, rahmat, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul: "**Sintesis Hidroksiapatit Berbahan Tulang Ikan Layar (*Istiophorus platypterus*) menggunakan Metode Presipitasi**", dapat terselesaikan dengan baik. Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan program Sarjana di Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Penulis menyadari skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan, hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan yang penulis miliki. Atas segala kekurangan, penulis sangat mengharapkan adanya kritik dan saran yang bersifat membangun.

Selama menyelesaikan skripsi ini, penulis telah banyak mendapatkan bantuan serta dukungan dari berbagai pihak, baik secara moril maupun materil. Penulis yakin, tanpa bantuan dan dukungan tersebut, sulit rasanya bagi penulis untuk dapat menyelesaikan skripsi ini. Dengan segala kerendahan hati, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua (**Bapak Ramli dan Ibu Sitti Rahmah**) dan seluruh keluarga besar penulis, yang senantiasa mendo'akan, serta memberikan dukungan selama penulis menempuh studi bidang Fisika di Universitas Hasanuddin.
2. **Ibu Prof. Dr. Nurlaela Rauf, M.Sc.** selaku dosen pembimbing yang senantiasa meluangkan waktunya kepada penulis selama proses penelitian hingga penelitian ini berhasil dilakukan.
3. **Bapak Heryanto, S.Si., M.Si.** dan **Prof. Dr. Syamsir Dewang, MS, F.med.** selaku dosen penguji skripsi fisika yang telah banyak memberikan masukan dan saran yang membangun pada penulis.
4. **Bapak Prof. Dr. Dahlang Tahir, M.Si.** selaku Kepala Laboratorium Material dan Energi yang telah memberikan nasihat, arahan, dan bimbingan selama proses penelitian.
5. **Bapak Prof. Dr. Arifin, MT.** selaku Ketua Departemen, serta Bapak dan Ibu Dosen Pengajar Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang senantiasa memberikan ilmu selama masa studi, semoga menjadi bekal bagi penulis.
6. Seluruh pegawai dan staf Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, terkhusus kepada staf Departemen Fisika, terima kasih atas bantuan dalam mengurus administrasi selama masa studi.
7. Teman-teman Fisika Angkatan 2020 yang telah bersama-sama sejak maba hingga saat ini, banyak cerita yang telah kita lalui. Semoga kita semua sukses dan tetap menjalin silaturahmi selamanya.
8. Kakak-kakak dan teman-teman Laboratorium Material dan Energi Angkatan yang telah banyak membantu selama ini.
9. Semua pihak yang tidak dapat dituliskan satu-persatu, yang telah memberikan semangat, motivasi, dan saran sehingga skripsi ini terselesaikan dengan baik.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembacanya. Akhir kata, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung. Semoga Allah senantiasa melimpahkan karunian-Nya. **Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.**

Penulis

Uwais Al-Qarny

## ABSTRAK

UWAIS AL-QARNY. **Sintesis hidroksiapatit berbahan tulang ikan layar (*Istiophorus platypterus*) menggunakan metode presipitasi** (dibimbing oleh Nurlaela Rauf).

Tulang ikan layar merupakan salah satu limbah hayati laut yang berpotensi sebagai sumber hidroksiapatit untuk aplikasi biomedis. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis hidroksiapatit berbahan tulang ikan layar melalui metode presipitasi dengan pengaruh variasi massa prekursor kalsium dan konsentrasi prekursor fosfat. Tulang ikan layar dikalsinasi pada suhu 900°C selama 3 jam, kemudian direaksikan dengan  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ . Larutan diatur pada pH 8 menggunakan NaOH, diendapkan selama 24 jam pada suhu kamar untuk menghasilkan endapan yang homogen, dicuci dengan akuades, dan disaring. Endapan kemudian dikeringkan pada suhu 100°C selama 2 jam untuk menghasilkan hidroksiapatit. Karakterisasi FTIR menunjukkan keberadaan gugus  $\text{PO}_4^{3-}$ , -OH, dan  $\text{CO}_3^{2-}$  pada ketiga sampel. Sampel C memiliki intensitas absorpsi gugus  $\text{PO}_4^{3-}$  dan -OH yang lebih tinggi dibandingkan kedua sampel lainnya. Semakin tinggi intensitas absorpsinya, maka semakin banyak kandungan gugus  $\text{PO}_4^{3-}$  dan -OH. Analisis XRD menunjukkan bahwa ketiga sampel memiliki fase hidroksiapatit yang dominan. Selain fase hidroksiapatit, terdapat juga fase apatit karbonat tipe A dan fase apatit karbonat tipe B. Sampel C memiliki rata-rata ukuran kristal terbesar, yakni 28,94 nm.

Kata kunci: Hidroksiapatit; ikan layar; presipitasi

## ABSTRACT

UWAIS AL-QARNY. **Hydroxyapatite synthesis from sailfish bone (*Istiophorus platypterus*) using precipitation method** (supervised by Nurlaela Rauf).

Sailfish bone is one of the marine biological wastes that has potential as a source of hydroxyapatite for biomedical applications. This study aims to synthesize hydroxyapatite made from sailfish bone through precipitation method with the effect of variation in calcium precursor mass and phosphate precursor concentration. Sailfish bones were calcined at 900°C for 3 hours, then reacted with  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ . The solution was adjusted to pH 8 using NaOH, precipitated for 24 hours at room temperature to produce a homogeneous precipitate, washed with aquades, and filtered. The precipitate was then dried at 100°C for 2 hours to produce hydroxyapatite. FTIR characterization showed the presence of  $\text{PO}_4^{3-}$ , -OH, and  $\text{CO}_3^{2-}$  groups in all three samples. Sample C has higher absorption intensity of  $\text{PO}_4^{3-}$  and -OH groups than the other two samples. The higher absorption intensity indicates more content of  $\text{PO}_4^{3-}$  and -OH groups. XRD analysis showed that the three samples had dominant hydroxyapatite phase. In addition to the hydroxyapatite phase, there is also A-type carbonate apatite phase and B-type carbonate apatite phase. Sample C has the largest average crystal size, which is 28.94 nm.

Keywords: Hydroxyapatite; sailfish; precipitation

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
PERNYATAAN PENGAJUAN .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA .....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH .....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II METODOLOGI</b>	
2.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	4
2.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	4
2.3 Prosedur Kerja .....	4
2.4 Bagan Alir .....	5
2.5 Perhitungan .....	6
<b>BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
3.1 Hasil Karakterisasi <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR) .....	7
3.2 Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	9
<b>BAB IV PENUTUP</b>	
4.1 Kesimpulan .....	12

4.2 Saran.....	12
DAFTAR PUSTAKA.....	13

**DAFTAR TABEL**

Nomor Urut	Halaman
1. Hasil bilangan gelombang dari spektrum FTIR.....	8

**DAFTAR GAMBAR**

Nomor Urut	Halaman
1. Bagan alir penelitian .....	5
2. Spektrum FTIR hasil karakterisasi HAp .....	7
3. Grafik perbandingan fase kristalin sampel A, B, dan C .....	9
4. Rata-rata ukuran kristal sampel A, B, dan C .....	11

**DAFTAR LAMPIRAN**

Nomor Urut	Halaman
1. Prosedur kerja .....	17
2. Dokumentasi kerja .....	20
3. Perhitungan rasio konsentrasi prekursor .....	24
4. Analisis fase XRD menggunakan Profex 5.2.9 .....	25
5. Perhitungan ukuran kristal menggunakan Excel .....	28
6. Hasil karakterisasi FTIR .....	29
7. Hasil karakterisasi XRD .....	32

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sumber daya terbarukan dari limbah hayati laut dapat menjadi solusi biomedis masa depan yang menjanjikan. Setiap tahun, sekitar 970-2700 miliar ton ikan ditangkap secara global, namun hanya 450-1000 miliar ton yang dimanfaatkan dan sisanya terbuang sia-sia (Surya *et al.*, 2021). Produk sampingan seperti tulang ikan dan cangkang makanan laut seringkali dianggap limbah dan dibuang ke tempat pembuangan akhir tanpa dimanfaatkan secara maksimal (Bee and Hamid, 2020). Industri pengolahan hasil laut bahkan menghasilkan sekitar 60% dari total berat tangkapan sebagai limbah, termasuk sisik, tulang, dan berbagai bagian lainnya (Trung *et al.*, 2022). Salah satu jenis ikan yang berkontribusi terhadap limbah tersebut adalah ikan layar. Saat ini hanya ada satu spesies ikan layar yang diakui, yaitu *Istiophorus platypterus* (Ferrette *et al.*, 2021). Ikan layar memiliki kadar air sekitar 70%, 10-20% protein, juga kandungan mineral utama berupa kalsium (Ca) dan kalium (K) dengan konsentrasi sebesar 3477,38  $\mu\text{g/g}$  (John *et al.*, 2017 dan Perera, 2013). Ikan layar merupakan salah satu predator utama di ekosistem epipelagis yang tersebar luas di daerah tropis dan beriklim sedang di seluruh dunia. Berdasarkan data Kementerian Kelautan dan Perikanan Indonesia (2010), ikan ini memiliki jumlah melimpah dengan produksi sekitar 13.408 ton dari tahun 2004-2008 dan rata-rata peningkatan sebesar 19,07% (Akmal *et al.*, 2022 dan Hamzah *et al.*, 2023).

Pengelolaan limbah hayati laut ini menjadi tantangan global yang signifikan. Penanganan yang keliru dapat berakibat serius bagi lingkungan, termasuk penyebaran patogen, emisi bau berbahaya, dan pelepasan polutan (Bee and Hamid, 2020 dan Athinarayanan *et al.*, 2020). Oleh karena itu, penelitian intensif dilakukan untuk memahami dan mengelola limbah hayati laut dengan baik, dengan tujuan mengurangi limbah yang dihasilkannya. Selama beberapa tahun terakhir, limbah hayati laut dari industri makanan, seperti tulang ikan, sisik ikan, cangkang kerang, dan lainnya telah menjadi bahan utama dalam produksi hidroksiapatit (HAp). Proses konversi limbah hayati laut menjadi HAp tidak hanya merupakan solusi untuk mengelola limbah, tetapi juga menjadi alternatif ekonomis untuk produksi HAp (Bee and Hamid, 2020). HAp dengan rumus  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ , merupakan komponen mineral anorganik yang secara biologis, komposisi kimia, maupun sifat fisiknya memiliki kemiripan dengan tulang dan gigi manusia (Aizawa, 2020, Hussin *et al.*, 2022 dan DileepKumar *et al.*, 2022). Kesamaannya dengan struktur biologis manusia, HAp banyak dimanfaatkan di bidang ortopedi, kedokteran gigi, bahkan industri farmasi (DileepKumar *et al.*, 2022, Ibrahim *et al.*, 2020, dan Nikfallah *et al.*, 2023). HAp merupakan biokeramik kalsium apatit yang biokompatibel, osteokonduktif, dan bioaktif dengan kemampuan membentuk langsung ikatan dengan jaringan hidup (Anggresani *et al.*, 2022 dan Ochoa *et al.*, 2021). HAp dapat diperoleh dengan menggunakan berbagai metode, seperti *sol-gel*, presipitasi, poliol,

hidrotermal, sonokimia dan mikroemulsi, metode *solid-state*, atau pembakaran dan dekomposisi termal. Metode yang berbeda digunakan menghasilkan karakteristik berbeda dari HAp yang dihasilkan (Filip *et al.*, 2022 dan Taji *et al.*, 2022).

Metode presipitasi merupakan salah satu teknik penelitian yang paling luas digunakan untuk mensintesis HAp. Metode ini banyak digunakan karena sejumlah besar HAp dapat disintesis dengan biaya yang terjangkau, mudah digunakan, reaksinya sederhana, hasil samping berupa air yang tidak berbahaya, dan lainnya (Pu'ad *et al.*, 2019 dan Charlena *et al.*, 2023). Metode presipitasi membutuhkan beberapa parameter pemrosesan penting untuk mensintesis HAp. Pertama, prekursor kimia yang digunakan harus diatur sesuai dengan rasio konsentrasinya. Rasio konsentrasi yang tidak seimbang pada prekursor kimia dapat mengakibatkan terbentuknya senyawa lain. Kedua, pH merupakan faktor penting yang memengaruhi produksi HAp, yang mana jumlah Ca dalam endapan HAp menurun seiring dengan menurunnya pH (Pu'ad *et al.*, 2019). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Al Haris *et al.* (2016), sintesis HAp dilakukan dengan pengaruh variasi konsentrasi prekursor fosfat. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi prekursor fosfat berbanding terbalik dengan tingkat kecuraman pada gugus hidroksil (-OH) dan karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). Dalam penelitian ini, digunakan limbah tulang ikan layar (*Istiophorus platypterus*) menggunakan metode presipitasi dengan pengaruh variasi massa prekursor kalsium (volume pelarut sama) dan konsentrasi prekursor fosfat untuk menghasilkan HAp.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, berikut rumusan masalah penelitian ini:

1. Bagaimana pengaruh massa prekursor kalsium dan konsentrasi prekursor fosfat terhadap gugus fungsi HAp yang dihasilkan dari tulang ikan layar (*Istiophorus platypterus*)?
2. Bagaimana pengaruh massa prekursor kalsium dan konsentrasi prekursor fosfat terhadap struktur kristal HAp yang dihasilkan dari tulang ikan layar (*Istiophorus platypterus*)?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, berikut tujuan penelitian ini:

1. Untuk menganalisis pengaruh massa prekursor kalsium dan konsentrasi prekursor fosfat terhadap gugus fungsi HAp yang dihasilkan dari tulang ikan layar (*Istiophorus platypterus*).
2. Untuk menganalisis pengaruh massa prekursor kalsium dan konsentrasi prekursor fosfat terhadap struktur kristal HAp yang dihasilkan dari tulang ikan layar (*Istiophorus platypterus*).

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian diatas, berikut tujuan penelitian ini:

1. Penelitian ini dapat membantu mengoptimalkan proses sintesis HAp dari tulang ikan layar (*Istiophorus platypterus*) dengan memahami pengaruh massa prekursor kalsium dan konsentrasi prekursor fosfat terhadap gugus fungsi HAp.
2. Penelitian ini dapat membantu mengoptimalkan proses sintesis HAp dari tulang ikan layar (*Istiophorus platypterus*) dengan memahami pengaruh massa prekursor kalsium dan konsentrasi prekursor fosfat terhadap struktur kristal HAp.

## BAB II METODE PENELITIAN

### 2.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Oktober 2023 – April 2024 yang bertempat di Laboratorium Material dan Energi, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.

### 2.2 Alat Dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sikat, pinset, oven, kain, palu, blender, ayakan 200 *mesh*, *furnace*, timbangan digital, gelas kimia, pengaduk magnetik, *magnetic bar*, kertas pH, *aluminium foil*, gelas ukur, corong, kertas Whatman nomor 42, dan cawan petri. Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tulang ikan layar, aseton, akuades, diamonium hidrogen fosfat ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>), dan natrium hidroksida (NaOH).

### 2.3 Prosedur Penelitian

#### 2.3.1 Preparasi Sampel

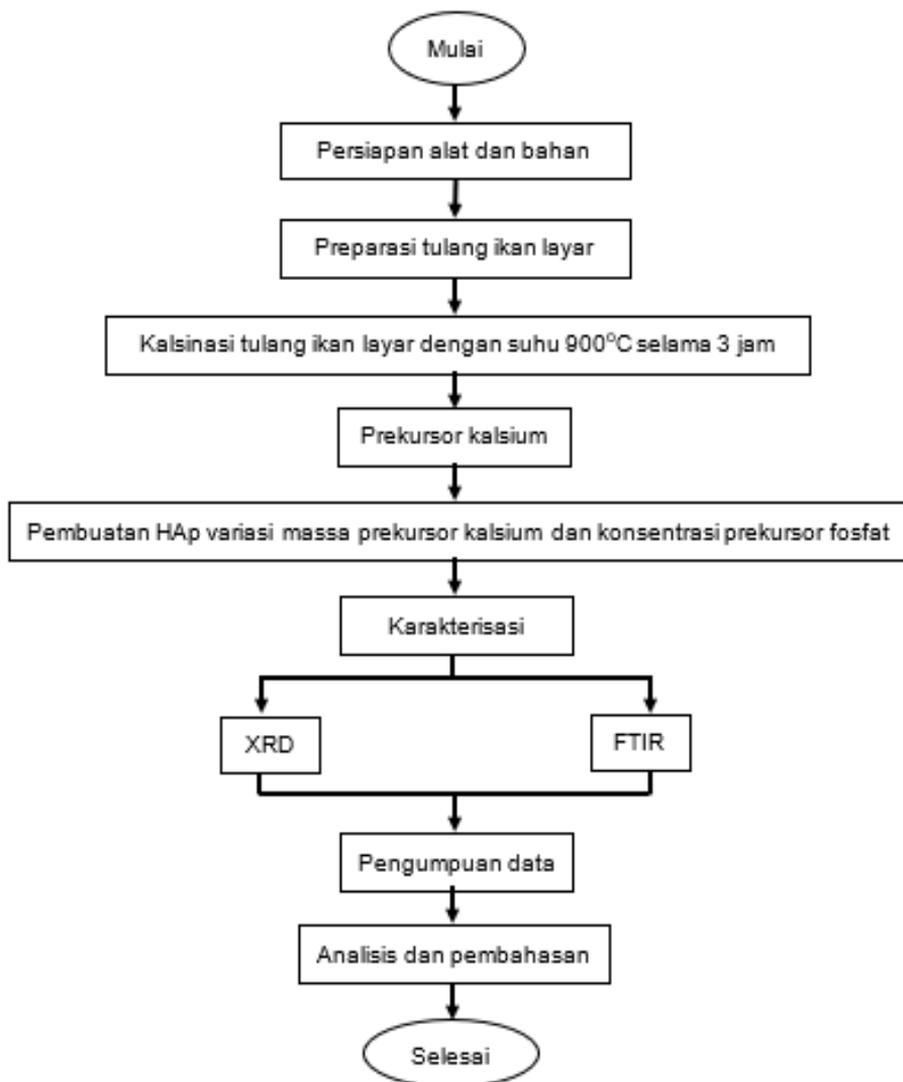
Tulang ikan layar dikumpulkan, kemudian dicuci untuk menghilangkan sisa daging pada tulang ikan dan mengurangi bau amisnya. Setelah dicuci, tulang ikan dijemur selama 4-5 jam untuk mengurangi kadar airnya. Selanjutnya, tulang ikan direndam dalam 3 liter aseton (jumlahnya disesuaikan hingga seluruh tulang ikan terkena aseton) selama dua hari dalam wadah tertutup. Kemudian, tulang ikan dibilas dengan 10 liter akuades sambil membersihkan sisa daging dengan pinset dan sikat. Tulang ikan yang telah bersih, dimasukkan ke dalam oven bersuhu 100°C selama 3-4 jam untuk mengeringkannya. Setelah kering, tulang ikan dihancurkan dengan palu dan kain sebagai alasnya, lalu diblender dan disaring ayakan 200 *mesh* hingga halus. Terakhir, tulang ikan dikalsinasi menggunakan *furnace* dengan suhu 900°C selama 3 jam untuk menghasilkan prekursor kalsium.

#### 2.3.2 Sintesis HAp

Sintesis HAp dimulai dengan menyiapkan larutan 1 (prekursor kalsium) dan larutan 2 ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>), serta larutan 3 (NaOH 1 M) sebagai pengatur pH. Sampel A dibuat dengan menyiapkan prekursor kalsium sebanyak 5 gr dan (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> sebanyak 11,9 gr, sampel B dibuat dengan menyiapkan prekursor kalsium sebanyak 5,6 gr dan (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> sebanyak 7,9 gr, sampel C dibuat dengan menyiapkan prekursor kalsium sebanyak 6,2 gr dan (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> sebanyak 7,3 gr. Larutan 1 dibuat dengan melarutkan prekursor kalsium dan 100 ml akuades dalam gelas kimia menggunakan pengaduk magnetik berkecepatan 300 rpm dengan suhu 50°C selama 15 menit. Larutan 2 dibuat dengan melarutkan (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> dan 100 ml akuades dalam gelas kimia menggunakan pengaduk magnetik berkecepatan 300 rpm dengan suhu 50°C selama 10 menit. Sementara itu, larutan 3 dibuat dengan melarutkan 4 gr NaOH dan 100 ml akuades dalam gelas kimia menggunakan pengaduk magnetik

berkecepatan 300 rpm dengan suhu 50°C selama 10 menit. Selanjutnya, larutan 2 diteteskan ke dalam larutan 1 sebanyak 5 ml/menit sambil terus dilarutkan menggunakan pengaduk magnetik berkecepatan 300 rpm dengan suhu 30°C, hingga larutan 2 habis terlarut. Lakukan pengecekan pH, jika pH-nya belum mencapai 8, tambahkan larutan 3 sebanyak 5 ml/menit hingga pH yang diinginkan tercapai. Pengadukan dilanjutkan selama 1 jam dengan kecepatan 300 rpm dan suhu 90°C. Diamkan larutan dalam wadah terisolasi (menutupnya dengan *aluminium foil*) selama 24 jam pada suhu kamar agar endapan yang homogen terbentuk. Larutan tersebut kemudian disaring, lalu dicuci dengan akuades dan disaring lagi. Endapan dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 2 jam untuk menghasilkan HAp.

## 2.4 Bagan Alir



**Gambar 1.** Bagan alir penelitian

## 2.5 Perhitungan

### 2.5.1 Ukuran Kristal

*X-Ray Diffraction* (XRD) dapat digunakan untuk menentukan ukuran kristal dengan fasa tertentu. Penentuan tersebut mengacu pada puncak-puncak utama pola difraktogram melalui pendekatan persamaan Debye Scherrer yang dirumuskan dalam persamaan (Fatimah *et al.*, 2022):

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

Keterangan:

D = ukuran kristal (nm)

K = konstanta Scherrer

$\lambda$  = panjang gelombang sinar-X yang digunakan (nm)

$\beta$  = FWHM (*Full Width at Half Maximum*) (rad)

$\theta$  = sudut difraksi ( $^{\circ}$ )