

*Skripsi*

**PENGARUH SUHU SINTERING TERHADAP SINTESIS  
HIDROKSIAPATIT DARI TULANG AYAM (*GALLUS- GALLUS  
DOMESTICUS*) UNTUK APLIKASI BIOKERAMIK**

**Disusun dan diajukan oleh**

**ANDANI  
H021201077**



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

**PENGARUH SUHU SINTERING TERHADAP SINTESIS  
HIDROKSIAPATIT DARI TULANG AYAM (*GALLUS- GALLUS  
DOMESTICUS*) UNTUK APLIKASI BIOKERAMIK**



*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
Pada Program Studi Fisika Departemen Fisika  
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Hasanuddin*

**ANDANI  
H021 20 1077**

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

**2024**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH SUHU SINTERING TERHADAP SINTESIS  
HIDROKSIAPATIT DARI TULANG AYAM (*GALLUS- GALLUS  
DOMESTICUS*) UNTUK APLIKASI BIOKERAMIK**

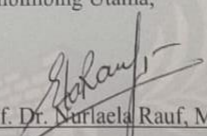
**Disusun dan diajukan oleh:**

**ANDANI  
H021 20 1077**

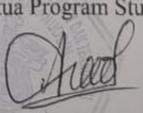
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin pada tanggal 27 Mei 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama,

  
Prof. Dr. Nurfaela Rauf, M.Sc  
NIP. 1960062411986012001

Ketua Program Studi,

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

### PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Andani  
NIM : H021201077  
Program Studi : Fisika  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

#### **PENGARUH SUHU SINTERING TERHADAP SINTESIS HIDROKSIAPATIT DARI TULANG AYAM (*GALLUS- GALLUS DOMESTICUS*) UNTUK APLIKASI BIOKERAMIK**

merupakan skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau seluruh skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 27 Mei 2024

Yang Menyatakan



Andani

H021201077

iv

## ABSTRAK

Pemanfaatan limbah biologis untuk produksi biokeramik adalah solusi yang inovatif dan berkelanjutan untuk mengatasi masalah limbah dan menghasilkan produk bernilai tambah untuk aplikasi medis. Hidroksiapatit yang berasal dari tulang ayam disintesis menggunakan metode sol-gel dengan variasi suhu sintering 700°C, 800°C, 900°C dan tanpa suhu sintering. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sifat struktur dan gugus fungsi dari hasil sintesis hidroksiapatit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada analisis XRD terbentuk hidroksiapatit dengan struktur kristal heksagonal, meskipun terdapat fase sekunder seperti  $\beta$ -trikalsium fosfat, oktakalsium fosfat dan apatit karbonat. Variasi suhu sintering mempengaruhi ukuran kristal, dimana suhu yang lebih tinggi menghasilkan kristal yang lebih kecil. Analisis FTIR menunjukkan adanya karakteristik gugus fungsi hidroksiapatit, dengan meningkatnya suhu sintering yang menyebabkan hilangnya sebagian gugus hidroksil (OH<sup>-</sup>). Secara umum, penelitian ini membahas potensi pemanfaatan tulang ayam dalam mengoptimalkan produksi biokeramik untuk aplikasi medis.

**Kata Kunci:** Hidroksiapatit, tulang ayam, biomaterial, sol-gel

## **ABSTRACT**

Utilization of biological waste for bioceramic production is an innovative and sustainable solution to address waste issues and produce value-added products for medical applications. Hydroxyapatite derived from chicken bone was synthesized using sol-gel method with sintering temperature of 700°C, 800°C, 900°C and without sintering temperature. This study aims to analyze structural properties and functional groups of the synthesized hydroxyapatite. The results showed XRD analysis confirmed the formation of hydroxyapatite with a hexagonal crystal structure, although with secondary phases such as  $\beta$ -tricalcium phosphate, octacalcium phosphate and carbonate apatite. The variation of sintering temperature affected the crystal size, with higher temperatures resulting in smaller crystals. FTIR analysis revealed the presence of functional groups characteristic of hydroxyapatite, with increasing sintering temperature leading to partial loss of hydroxyl (OH<sup>-</sup>) groups. Generally, this study underscores the potential of utilizing chicken bone in optimizing the production of bioceramics for medical applications.

**Keywords:** Hydroxyapatite, chicken bone, biomaterials, sol-gel

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, atas limpahan nikmat, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “**Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Sintesis Hidroksiapatit dari Tulang Ayam (Gallus-Gallus Domesticus) Untuk Aplikasi Biokeramik**”. Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan program Sarjana di Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan adanya keterbatasan kemampuan yang penulis miliki. Keterbatasan kemampuan tak menyurutkan semangat untuk menyelesaikan skripsi ini dengan sebaik mungkin.

Penulis sangat mengharapkan adanya masukan, kritik, dan saran yang bersifat konstruktif dari pembaca. Meskipun banyak kesulitan yang dihadapi, atas izin Allah SWT, penulis dapat melewati semua tantangan ini dengan baik. Penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari dukungan dan dorongan yang diberikan oleh berbagai pihak yang secara konsisten memberikan bantuan baik secara moral maupun materil. Oleh karena itu, penulis dengan segala kerendahan hati, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orangtua, Ibunda tercinta **Hanisa** dan Ayahanda tersayang **Jawaruddin**. Terima kasih atas doa yang tulus, semangat, nasihat berharga, motivasi tanpa henti dan didikan penuh kasih serta kepercayaan yang sangat luar biasa kepada penulis. Terima kasih telah menanamkan nilai-nilai penting yang menjadi bekal berharga bagi penulis. Tidak ada kata yang cukup untuk mengungkapkan rasa terima kasih yang mendalam selain ucapan syukur atas kasih sayang yang tiada henti, sehingga penulis dapat mencapai tahap ini.
2. Kakakku terkasih **Saidi, S.Pd** dan istrinya **Andi Putri, Adi** dan istrinya **Linda** serta **Arsandi** yang selalu mendukung, memberi semangat dan dorongan selama proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih atas

kehadirannya yang menjadi sumber semangat bagi penulis untuk terus maju dan menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

3. Keponakan Tersayang dan Telucu, **Mirul, Atar, Sirul** dan **Naura**, Terima kasih atas okehannya yang menjadi sumber semangat bagi penulis untuk terus maju dan menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
4. Terima kasih untuk keluarga besar atas kasih sayangnya yang senantiasa memotivasi dan selalu mendoakan kelancaran studi penulis hingga skripsi ini terselesaikan.
5. Ibu **Prof. Dr. Nurlaela Rauf, M. Sc** selaku Dosen Pembimbing Utama yang dengan sabar membimbing, mengarahkan dan memotivasi penulis. Terima kasih atas ilmu-ilmu yang bermanfaat dan juga solusi untuk setiap permasalahan maupun kesulitan penulis selama proses penelitian dan penulisan skripsi.
6. Bapak **Heryanto, S.Si, M.Si** dan **Drs. Bansawang BJ, M.Si** selaku tim penguji skripsi fisika yang telah banyak memberikan masukan dan saran yang membangun pada penulis.
7. Bapak **Prof. Dr. Dahlang Tahir, M. Si** selaku Kepala Laboratorium Material dan Energi yang telah memberikan nasihat, arahan dan bimbingan selama proses penelitian
8. Bapak **Prof. Dr. Arifin, MT** selaku Ketua Departemen Fisika Unhas dan Seluruh **Dosen FMIPA Unhas**, khususnya kepada seluruh **Bapak dan Ibu Dosen Pengajar Departemen Fisika**, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Terima kasih telah memberikan ilmu yang bermanfaat dan mendidik penulis selama menjadi mahasiswa di kampus merah ini.
9. **Bapak/Ibu Staf Pegawai FMIPA UNHAS**, terutama **Staf Departemen Fisika; Pak Syukur, Pak Ahmad, Ibu Evi dan Ibu Rana** yang selalu membantu penulis dalam proses pengurusan administrasi dan senantiasa memberikan pelayanan terbaik kepada penulis dari awal perkuliahan sampai pada penyusunan berkas akhir studi.



10. Penghuni grup “**Bismillah Wisuda 2024**” (**Nanda, Patma, Asti, Ainun, Waode, Tasya dan Novia Putri Safira**). Terima kasih atas doa-doa yang tulus, segala bantuan, dorongan, dan kasih sayang yang diberikan kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan skripsi ini
11. Partner penelitian (**Jenella dan Andi Asti**) yang selalu memberikan bantuan, menjadi tempat bertukar pikiran dan tentunya sering penulis repotkan selama penelitian, pengurusan berkas dan proses pengerjaan skripsi. Terima kasih atas kerja sama, segala canda, tawa dan tangisan haru yang telah dirasakan bersama karena tidak semua orang bisa ditemani duduk berjam-jam di depan ruangan tunggu dosen pembimbing.
12. **Andrianus, Fatul dan Pryandi**, yang selalu menjadi tempat keluh kesah penulis, Terima kasih sudah mau direpotkan dengan berbagai pertanyaan dan permintaan selama penelitian. Terima kasih banyak atas bantuan, kerja sama, dan kesabarannya. Jangan pernah asing ya.
13. Para penghuni setia ruangan ujung (**Rifaldi, Husain, Bayu, Nanda, Patma, Nisa, Fatul, Aan, dan Yusria**). Terima kasih atas konser dan hiburan-hiburannya. Terima kasih atas kerja sama, segala canda, dan tawa yang telah dirasakan bersama.
14. Para “**Sobat Akustik**” dan “**Sobat Biokeramik**”, Terima kasih atas kerja samanya dan bantuannya selama proses penyelesaian skripsi ini.
15. Kakak-kakak lulusan Magister maupun yang masih menempuh studi Magister Fisika, Universitas Hasanuddin: (**Kak Inayatul Mutmainnah, S. Si, M. Si., Kak Syarif, S. Si dan Kak Ardiansyah, S. Si, M. Si**) terima kasih atas bantuannya selama proses penelitian, pengolahan data, presentasi, dan wejangannya. Terima kasih atas ilmu, motivasi, dan hiburan serta semangat yang luar biasanya kepada penulis.
16. **Teman-Teman Material 2020** yang sudah menemani penulis selama berada di Lab. Material dan Energi. Terima kasih banyak guys.
17. **Warga Re20nansi** yang berjumlah 63 orang, terima kasih untuk semua kenangan suka dan duka yang diukir bersama selama berada di kampus merah. Semoga tetap dalam slogan **Eratkan Genggaman dan Kuatkan**

**Kebersamaan.** Semoga kita semua sukses dan tetap menjalin silaturahmi selamanya.

18. Para “**Member EXO**” (**Chanyeol, Kyungsoo, Lay, Sehun, Suho, Kai, Chen, Xiumin dan Sehun**), yang menjadi sumber semangat bagi penulis sehingga bisa sampai pada tahap ini.
19. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan namanya satu per satu yang telah memberikan semangat, motivasi, nasehat, doa, dan saran sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

Akhir kata, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan karunian-Nya. Penulis berharap bahwa apa yang disajikan dalam skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Aamin ya rabbal’alamin. Wassalamu’alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Makassar, 27 Mei 20224



Andani  
H021201077

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>.ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>.iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	<b>.iv</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>.v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>.vi</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>.xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>.xv</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah.....	3
I.3 Tujuan Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>4</b>
II.1 Biokeramik .....	4
II.2 Tulang Ayam.....	4
II.3 Hidroksiapatit .....	5
II.4 Metode Sol-Gel .....	6
II.5 Proses sintering.....	7
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>9</b>
III.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	9
III.2 Alat dan Bahan.....	9
III.3 Prosedur Penelitian .....	10
III.4 Karakterisasi Sampel.....	11
III.5 Bagan Alir Penelitian .....	13
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>14</b>

IV.1 Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	14
IV.3 Analisis <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR) .....	17
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>20</b>
V.1 Kesimpulan .....	20
V.2 Saran.....	20
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>21</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>28</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Struktur Kimia HAp .....	6
<b>Gambar 3.1</b> Bagan Alir Penelitian.....	13
<b>Gambar 4.1</b> Kurva XRD Hidroksiapatit .....	14
<b>Gambar 4.2</b> Spektrum FTIR Hidroksiapatit .....	17

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 4.1</b> Pengaruh suhu sintering terhadap ukuran kristal HAp.....	16
<b>Tabel 4.2</b> Gugus fungsi Hidroksiapatit.....	19

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Dokumentasi Penelitian .....	16
<b>Lampiran 2.</b> Analisis Data.....	19
<b>Lampiran 3.</b> Data <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	32

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang**

Pemanfaatan limbah yang diperoleh dari sumber daya alam memiliki peran penting dalam produksi produk bernilai tambah dan bahan implan berbasis bio untuk aplikasi medis. Di sisi lain, polusi yang disebabkan oleh limbah biologis mengalami peningkatan yang signifikan karena sering kali dibuang secara terbuka ke lingkungan. Maka dari itu, penggunaan kembali limbah biologis merupakan solusi yang sangat efisien dalam upaya mengurangi dampak polusi dalam sistem pengelolaan limbah padat [1]. Salah satu cara penggunaan kembali limbah biologis adalah melalui produksi biokeramik [2].

Biokeramik memiliki biokompatibilitas yang baik, tahan terhadap korosi, serta konduktivitas termal yang lebih rendah dibandingkan dengan logam dan bahan polimer [3]. Karena keunggulan yang dimiliki tersebut menjadikannya sebagai bahan yang digunakan dalam perkembangan ilmu kedokteran, terutama dalam mengatasi kasus patah tulang dan kerusakan gigi yang semakin meningkat [4]. Biokeramik dapat disintesis dari bahan-bahan seperti tulang sapi, tulang kambing, tulang ayam, tulang babi, tulang ikan atau sintesis dari cangkang telur. Bahan-bahan yang berasal dari alam kaya akan kalsium, fosfat dan memiliki komposisi tulang yang mirip dengan manusia dan dapat mempercepat proses penyembuhan tulang [5]. Salah satu bahan yang berpotensi sebagai bahan biokeramik yang mudah didapatkan adalah tulang ayam.

Tulang ayam adalah salah satu sumber limbah biologis yang cukup banyak dihasilkan oleh industri makanan. Hal ini disebabkan oleh produksi makanan yang semakin meningkat dari tahun ke tahun [5]. Padahal tulang ayam memiliki kandungan kalsium yang tinggi sehingga bisa dimanfaatkan untuk sintesis hidroksiapatit [6].

Salah satu sintesis biomaterial yang sedang dikembangkan saat ini adalah biokeramik hidroksiapatit [7]. Senyawa hidroksiapatit merupakan senyawa biokeramik yang terbentuk dari unsur utama kalsium dan fosfor dengan rumus



$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  [8]. Dengan komposisi massa teoritis 39,68% Ca, 18,45% P, dan rasio molar Ca/P sebesar 1,667. Rasio HAp Ca/P ini menunjukkan biokompatibilitas yang sangat baik [9]. Hidroksiapatit memiliki keunggulan-keunggulan seperti bersifat biokompatibilitas, non toksik, non inflamasi, memiliki sifat mekanik yang baik, dan bioaktif serta memiliki susunan kristal yang sama dengan hidroksiapatit pada tulang dan gigi manusia sehingga dapat digunakan dalam berbagai aplikasi medis, terutama dalam implan gigi dan tulang [10].

Hidroksiapatit dapat diperoleh melalui sintesis prekursor kalsium yang kemudian bereaksi dengan prekursor fosfat. Kalsium prekursor dapat berasal dari kalsium oksida (CaO) yang berasal dari kalsinasi kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) yang mengandung bahan alami kemudian direaksikan dengan prekursor fosfat seperti asam posfat ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), amonium dihidrogen fosfat ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ) dan fosfor pentaoksida ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) [11], [12].

Sintesis hidroksiapatit dapat dilakukan dengan beberapa metode yaitu metode sol-gel, sintesis hidrotermal dan *spray pyrolysis*. Di antara berbagai metode, metode sol-gel merupakan metode yang umum digunakan untuk sintesis hidroksiapatit pada fase nano, karena diperlukan kontrol terhadap beberapa faktor yang mempengaruhi seperti pH dan temperatur. Metode ini mampu meningkatkan kristalinitas dari HAp dan mengatur komposisi, sintesis yang dapat dilakukan pada suhu yang rendah yang membuatnya lebih efisien, serta menghasilkan lapisan yang homogen, murni dan efektif untuk sintesis hidroksiapatit fase nano [13]. Sebelumnya S. E. Cahyaningrum (2021) juga telah melakukan penelitian tentang sintesis HAp dengan memanfaatkan tulang ikan baung dan asam posfat ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ). Hasil penelitian menunjukkan bahwa HAp terbaik yang disintesis menggunakan metode sol-gel dihasilkan pada Hap dengan suhu sintering 900 °C karena memiliki kristalinitas yang tinggi dan HAp yang murni [14].

Proses yang sangat berpengaruh pada sintesis hidroksiapatit adalah proses sintering karena berperan penting dalam menentukan karakteristik dari biokeramik [15]. Dalam penelitian sebelumnya dijelaskan bahwa hidroksiapatit yang mengalami proses sintering akan membentuk ikatan yang koheren dan kompatibel dengan jaringan tulang [16].

Berdasarkan penjelasan tersebut, maka akan dilakukan penelitian mengenai sintesis hidroksiapatit dari tulang ayam menggunakan metode sol-gel dengan memvariasikan suhu sinteringnya. Sumber kalsium yang digunakan pada penelitian ini adalah tulang ayam sedangkan sumber fosfat menggunakan asam fosfat ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ). Selama proses sintesis perlu dilakukan pengaturan PH dengan meneteskan larutan  $\text{NH}_4\text{OH}$  4M hingga mencapai PH 10 untuk menjaga stabilitas dari hidroksiapatit. Hidroksiapatit yang dihasilkan diharapkan mampu dimanfaatkan sebagai aplikasi biokeramik.

### **I.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana pengaruh suhu sintering terhadap sifat struktur kristal hidroksiapatit yang disintesis dari CaO tulang ayam?
2. Bagaimana pengaruh suhu sintering terhadap gugus fungsi hidroksiapatit yang disintesis dari CaO tulang ayam?

### **I.3 Tujuan Penelitian**

1. Menganalisis pengaruh suhu sintering terhadap sifat struktur kristal yang disintesis dari CaO tulang ayam.
2. Menganalisis pengaruh suhu sintering terhadap gugus fungsi hidroksiapatit yang disintesis dari CaO tulang ayam.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1 Biokeramik**

Biomaterial adalah bidang yang menggabungkan ilmu material dan ilmu biologi untuk menciptakan material baru yang dapat berinteraksi dengan tubuh manusia secara biologi [17]. Pada saat ini, berbagai macam biomaterial telah diteliti untuk menemukan bahan perancah yang paling ideal dalam aplikasi biomedis, seperti biopolimer, biometal, *bioglass* dan biokeramik. Biopolimer memiliki beberapa kelemahan, seperti kekuatan mekanis yang rendah, biokompatibilitas yang buruk, dan sifat fisikokimia yang kurang ideal. Biometal juga memiliki kelemahan seperti biokompabilitas yang buruk dan konduktivitas termal yang tinggi, serta *bioglass* yang memiliki degradasi yang tinggi, rapuh dan permukaan yang tidak stabil. Oleh karena itu sintesis biomaterial yang banyak dikembangkan saat ini adalah biokeramik [18].

Biokeramik adalah salah satu material baru yang telah banyak digunakan dalam aplikasi biomedis karena mampu mendukung kemampuan jaringan tulang untuk meregenerasi dirinya sendiri. Selain itu, biokeramik juga memiliki beberapa keunggulan, seperti tidak menimbulkan racun ketika diaplikasikan pada tubuh manusia, mudah dibentuk, memiliki porositas yang baik, kekuatan tekan yang tinggi, dan bersifat bioaktif [19], [20]. Salah satu cara untuk mendapatkan biomaterial sintesis yang sesuai dengan sifat yang diinginkan adalah dengan memperhatikan faktor-faktor sintesis, seperti konsentrasi prekursor, waktu sintering, suhu, keasaman (atau pH), dan volume pelarut [21].

#### **II.2 Tulang Ayam**

Sampah terbesar di Indonesia berasal dari sampah rumah tangga, yaitu sekitar >35% dari total sampah nasional. Salah satu sampah yang berasal dari kegiatan rumah tangga adalah tulang ayam [22], [23]. Tulang ayam umumnya keras dan tidak dapat terurai secara alami, sehingga dapat menyebabkan pencemaran lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Limbah tulang ayam (*gallus gallus domesticus*) merupakan produk sampingan dari industri makanan dan

pertanian yang sering kali dibuang begitu saja tanpa dimanfaatkan secara optimal. Berbeda dengan tulang biogenik lainnya seperti tulang sapi atau tulang ikan dan cangkang kerang yang telah banyak diteliti.

Pemanfaatan limbah tulang ayam menjadi hidroksiapatit (HAp) masih jarang dilakukan, padahal tulang ayam mudah ditemukan, murah dan memiliki kandungan kalsium yang tinggi sehingga bisa dimanfaatkan untuk sintesis hidroksiapatit [24]. Beberapa penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa hidroksiapatit dari tulang ayam memiliki ukuran partikel, bentuk, dan rasio Ca/P yang sama dengan HAp berbahan dasar tulang lainnya [25].

### **II.3 Hidroksiapatit**

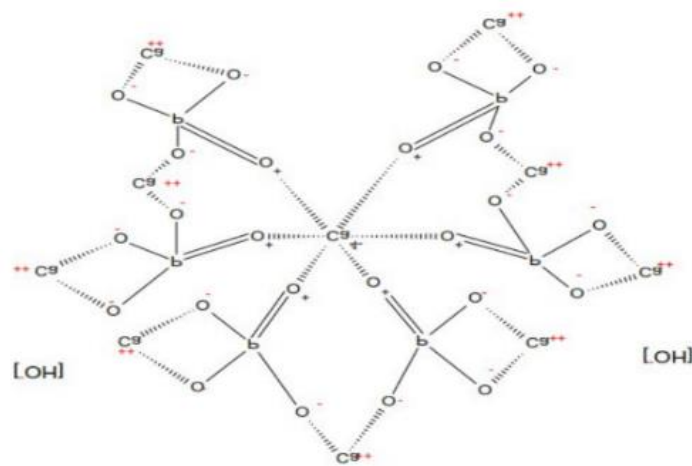
Hidroksiapatit adalah turunan senyawa kalsium fosfat yang merupakan komponen penyusun kalsium utama dari tulang. Hidroksiapatit terbentuk karena adanya proses kristalisasi hingga menjadi kalsium ortofosfat hidroksida [26]. Senyawa ini memiliki rumus kimia  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ; rasio Ca/P 1,67; densitas 3,19 g/ml; ruang simetris P63/m; parameter  $a = 9.432 \text{ \AA}$ ,  $c = 6.875 \text{ \AA}$  dan kristal heksagonal sistem [27].

Hidroksiapatit (HAp) juga merupakan komponen utama dalam jaringan klasifikasi manusia karena merupakan 95-97% dari enamel, 70-75% dari tulang gigi dan 60-70% dari tulang tubuh [28], [29], [30]. HAp dapat berikatan langsung dengan jaringan dan merangsang pertumbuhan jaringan tanpa menyebabkan keracunan ataupun peradangan. Selain itu, hidroksiapatit juga merupakan jenis kalsium fosfat yang paling stabil dan dapat menyerap air dan ion kalsium sehingga tidak menyebabkan reaksi penolakan dari sistem kekebalan oleh tubuh manusia. Oleh karena itu, HAp memiliki potensi untuk diaplikasikan dalam bidang biomedis, terutama untuk aplikasi tulang dan gigi [31].

Hidroksiapatit dapat diperoleh dari bahan baku yang dibuat secara buatan atau dari bahan baku alami [32]. Tulang alami terdiri dari dua bagian utama, yaitu komponen organik dan komponen anorganik. Komponen organik terdiri dari kolagen tipe I dan komponen anorganik yaitu sekitar 69% dari berat tulang, yang didasarkan pada hidroksiapatit. Hidroksiapatit dalam tulang tersusun atas lempengan-lempengan kristal yang tipis, dengan ketebalan sekitar 2-3 nanometer.

Lempengan-lempengan ini tertanam dalam matriks protein kolagen, yang memberikan kekuatan dan kekakuan pada tulang [33].

Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa struktur kimia hidroksiapatit (HAp) memiliki kemiripan dengan struktur tulang manusia, sehingga memiliki potensi untuk digunakan sebagai senyawa remineralisasi. Senyawa hidroksiapatit (HAp) juga memiliki karakteristik biokompatibilitas yang tinggi. Karakteristik ini memungkinkan HAp untuk menyatu dengan jaringan tulang secara alami. Struktur kimia dari HAp ditunjukkan pada gambar di bawah ini [27].



**Gambar 2.1** Struktur Kimia HAp [27]

#### II.4 Metode Sol-Gel

Sintesis HAp dilakukan dengan berbagai metode, seperti pengendapan biomimetik, emulsi ganda, hidrotermal, presipitasi, elektrodeposisi, sol-gel dan lain-lain [34], [35]. Metode sol gel lebih banyak digunakan karena memiliki beberapa keunggulan, yaitu dapat mencampur molekul dengan rata, menghasilkan produk yang murni dan dapat menghasilkan partikel berukuran nano [36].

Sintesis hidroksiapatit (HAp) dengan menggunakan metode sol-gel dapat menghasilkan partikel-partikel kristal yang sangat kecil, mulai dari ukuran nano hingga ukuran submikron. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa partikel-partikel kristal ini dapat meningkatkan stabilitas dan kontak antara tulang buatan dan tulang alami, baik dalam kondisi *in vitro* maupun *in vivo*. Untuk sintesis HAp dengan metode sol-gel, diperlukan rasio molar P dan Ca yang tepat, yaitu 1:1,67. Selain itu, beberapa prekursor fosfor dan kalsium alternatif juga dapat

digunakan. Kualitas hidroksiapatit (HAp) yang disintesis dengan metode sol-gel dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti ukuran dan bentuk partikel kristal, tingkat pengotor, jenis prekursor, proses sintesis, konsentrasi dan urutan pencampuran reagen, suhu, dan pH [36].

Hidroksiapatit yang disintesis menggunakan metode sol-gel memiliki bioaktivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan Hidroksiapatit yang disintesis dengan metode lain. Hal ini karena kristal hidroksiapatit yang dihasilkan dengan metode sol-gel lebih lemah dan mengandung ion karbonat. Kristal yang lemah membuat hidroksiapatit lebih mudah larut dan mengadsorpsi protein. Protein adalah komponen penting dari sel-sel hidup, dan kemampuan hidroksiapatit untuk berinteraksi dengan protein dapat meningkatkan kemampuannya untuk berdifusi ke dalam sel sel hidup. Ion karbonat juga meningkatkan bioaktivitas HAp dengan meningkatkan sifat hidrofiliknya. Sifat hidrofilik yang tinggi dibutuhkan untuk interaksi antara hidroksiapatit dengan sel-sel hidup, karena sel-sel hidup adalah sistem yang hidrofilik [37].

## **II.5 Proses sintering**

Proses sintering adalah proses pemanasan suatu material yang berbentuk serbuk pada suhu yang tinggi, sehingga partikel-partikel serbuk tersebut menyatu menjadi satu melalui proses difusi [26]. Sintering hidroksiapatit dapat mempengaruhi sifat permukaannya, termasuk kekasaran, kristalinitas, dan mikroporositas. Perubahan sifat permukaan ini dapat mempengaruhi kinerja dari biomaterial dalam tubuh, seperti adhesi sel, proliferasi, dan pertumbuhan jaringan tulang. Kekuatan dan ketahanan perancah biokeramik dapat dipengaruhi oleh struktur mikroskopisnya, seperti ukuran butir, kepadatan, dan porositas. Adapun efisiensi dan struktur hidroksiapatit dapat dipengaruhi oleh suhu sintering [38].

Semakin tinggi suhu sintering maka semakin sempurna penghilangan senyawa organik dan semakin baik sifat mekaniknya [39]. Sebelumnya S. L. Bee, dkk (2019) juga telah melakukan sintesis hidroksiapatit dari limbah tulang ayam dimana hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu kalsinasi yang optimal untuk mendapatkan hidroksiapatit dengan komposisi dan struktur yang mirip dengan tulang alami kemungkinan berada di antara 600°C dan 900°C [24].

Melalui proses sintering ini, ukuran butir akan cenderung semakin membesar. Akibat panas yang diberikan, maka kristal-kristal yang berada di dalam suatu butir akan semakin membesar, hal inilah yang menyebabkan butir tersebut tumbuh. Peristiwa ini akan terus terjadi seiring dengan peningkatan temperatur sintering yang diberikan. Dengan semakin membesarnya ukuran kristal pada butir tersebut maka akan menyebabkan masing-masing butir juga mengalami pertumbuhan sehingga butir-butir tersebut akan semakin rapat. Hal ini membuktikan bahwa nilai ukuran kristal suatu sampel dapat dipengaruhi oleh perlakuan panas (sintering) yang diberikan [26].