

**SKRIPSI**

**ANALISIS HIDROKSIAPATIT (HAp) TULANG SAPI (*Bos indicus*)  
MENGUNAKAN METODE *SOLID STATE***

**Disusun dan diajukan oleh**

**NUR EPY SULVIANA**


**H021201009**



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

**ANALISIS HIDROKSIAPATIT (HAp) TULANG SAPI (*Bos indicus*)  
MENGUNAKAN METODE *SOLID STATE***

**SKRIPSI**



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

**NUR EPY SULVIANA**  
**H021201009**

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

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISIS HIDROKSIAPATIT (HAp) TULANG SAPI (*Bos indicus*)  
MENGUNAKAN METODE *SOLID STATE***

**Disusun dan diajukan oleh:**

**NUR EPY SULVIANA**

**H021201009**

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 19 Juni 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama,

Ketua Program Studi,

  
**Prof. Dr. Nurlaela Rauf, M.Sc.**

NIP. 19600624 198601 2 001

  
**Prof. Dr. Arifin, M.T.**

NIP. 19670520 199403 1 002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nur Epy Sulviana  
NIM : H021201009  
Program Studi : Fisika  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

### **Analisis Hidroksiapatit (HAp) Tulang Sapi (*Bos Indicus*) Menggunakan Metode *Solid State***

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

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, 20 Juni 2024

Yang Menyatakan



Nur Epy Sulviana  
H021201009

## ABSTRAK

Hidroksiapatit merupakan material biokeramik berbasis kalsium fosfat dengan rumus kimia  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  yang sering digunakan di dalam tubuh tanpa adanya penolakan dari tubuh karena memiliki komposisi yang sama dengan mineral kalsium (Ca) dan fosfat (P) dengan perbandingan 1,67. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan serbuk HAp sebagai komponen penyusun jaringan keras pada tubuh manusia yaitu tulang dan gigi. Sintesis hidroksiapatit dari tulang sapi (*Bos indicus*) dengan metode solid state dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur sintering  $700^\circ\text{C}$ ,  $800^\circ\text{C}$ , dan  $900^\circ\text{C}$  selama 4 jam. Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan Fourier Transform Infrared (FTIR) dan X-Ray Diffraction (XRD). Spektra FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi utama hidroksiapatit, yaitu fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), hidroksil ( $\text{OH}^-$ ), dan karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). Sedangkan hasil analisis XRD menunjukkan bahwa hidroksiapatit memiliki struktur kristal heksagonal, hasil ini sama dengan struktur kristal HAp komersial.

**Kata Kunci:** *Hidroksiapatit, tulang sapi, solid state, sintering.*

## ABSTRACT

Hydroxyapatite is a calcium phosphate-based bioceramic material with the chemical formula  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  which is often used in the body without any rejection from the body because it has the same composition as the minerals calcium (Ca) and phosphate (P) in a ratio of 1.67. Several studies have been conducted to determine the effect of the addition of HAp powder as a constituent component of hard tissue in the human body, namely bones and teeth. Hydroxyapatite synthesis from cow bone (*Bos indicus*) by solid state method was carried out to determine the effect of sintering temperature variations of 700°C, 800°C, and 900°C for 4 hours. Characterization was carried out using Fourier Transform Infrared (FTIR) and X-Ray Diffraction (XRD). FTIR spectra showed the presence of the main hydroxyapatite functional groups, namely phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), hydroxyl ( $\text{OH}^-$ ), and carbonate ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). Meanwhile, the XRD analysis showed that hydroxyapatite has a hexagonal crystal structure, this result is the same as the crystal structure of commercial HAp.

**Keywords:** *Hydroxyapatite, bovine bone, solid state, sintering.*

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Puji dan syukur penulis haturkan kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya-lah penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Hidroksiapatit (Hap) Tulang Sapi (*Bos Indicus*) Menggunakan Metode *Solid State*”.

Skripsi ini dibuat untuk memenuhi tugas akhir perkuliahan dan sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan gelar sarjana di Departemen Fisika, Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Selain itu, skripsi ini juga dibuat sebagai salah satu wujud implementasi dari ilmu yang didapatkan selama masa perkuliahan di Program Studi Fisika, Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa skripsi masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis berharap dapat belajar lebih banyak lagi dalam mengimplementasikan ilmu yang didapatkan. Skripsi ini tentunya tidak lepas dari bimbingan, masukan, dan arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang tua penulis, **Puang Ramli (alm. Bapak) dan Puang Becce (Ibu)** yang selalu memberikan kasih sayang serta dukungan tak terbatas, baik secara moral maupun materi. Begitu juga dengan saudara-saudari penulis (**Nur Sida, Nur Baya, dan Muh. Roy S.T.**). Terima kasih atas didikan serta motivasi yang selalu diberikan untuk menyemangati penulis dalam menjalani masa kuliah. Tanpa kalian penulis tidak mungkin bisa sampai ke titik ini.
2. **Prof. Dr. Nurlaela Rauf, M.Sc**, sebagai pembimbing tugas akhir yang senantiasa memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis. Terima kasih telah meluangkan pikiran, tenaga dan waktunya untuk penulis serta memberikan nasehat-nasehat dalam menyelesaikan skripsi.
3. **Prof. Dr. Sri Suryani, DEA dan Prof. Dr. Rer-nat. Wira Bahari Nurdin.** selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya dalam memberikan saran dan masukan yang membangun untuk menjadikan skripsi ini lebih baik.

4. **Prof.Dr. Arifin, M.T.**, selaku Ketua Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu dan nasehat bagi penulis dalam menyelesaikan masa studi pendidikan.
5. Seluruh Bapak/Ibu **Dosen** Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam dan terkhusus kepada seluruh **Dosen** Departemen Fisika yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan yang sangat bermanfaat selama 3 tahun lebih dan menjadi bekal bagi penulis untuk terus berproses.
6. Seluruh **Pegawai dan Jajaran Staff** Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, terkhusus kepada **Pegawai dan Staff Departemen Fisika (Kak Rana, Ibu Evi, Pak Syukur, dan Pak Ahmad)** yang telah membantu penulis dalam mengurus administrasi perkuliahan.
7. **Keluarga Besar alm. Bapak Marzuki dan Ibu Fatimah**, selaku keluarga yang telah menampung penulis selama menempuh pendidikan di Universitas Hasanuddin. Terima kasih untuk kebaikannya yang sangat luar biasa bagi penulis.
8. **Kak Roni** yang telah banyak membantu penulis dalam mencari berbagai referensi jurnal internasional selama penyusunan skripsi.
9. **Novra dan Jenella** selaku teman seperjuangan selama menjadi mahasiswa akhir yang selalu sabar dalam membantu penulis dan terima kasih telah menjadi teman curhat, teman suka duka, teman makan dan juga seluruh motivasi dan bantuan yang diberikan untuk menyelesaikan skripsi ini.
10. **Eka, Eva, Uni, Nopi** selaku teman seperjuangan penulis dari maba sampai pemilihan lab yang selalu membantu penulis dalam menyelesaikan tugas kuliah.
11. **HIMAFI 2020** yang belum sempat tertulis nama- namanya, yang telah menemani penulis selama masa perkuliahan hingga menyelesaikan tugas akhir, selalu memberi semangat, motivasi serta dukungan kepada penulis. Terima kasih untuk semua cerita dan suka duka yang telah diukir bersama.
12. Teman-teman lab material, **Asty, Ebi, Indri, Uwais, Anika** dan semua teman lainnya yang selalu memotivasi dan menemani penulis selama berada di Laboratorium Material dan Energi.



13. Sahabat NETA ku, **Nurul Asikin, Nurul Hartini** dan **Annisa Nabila Salsabila**, terima kasih selalu mendengarkan segala keluh kesah penulis tanpa rasa bosan dan selalu mengingatkan penulis untuk tidak lupa ibadah.
14. **FESJAR 2018**, terima kasih sudah menjadi teman yang selalu mensupport, menghibur dan menjadi teman nanjak penulis.
15. **Diksar XXVIII dan Keluarga Besar KSR PMI UH**, terima kasih telah menyiapkan markas sebagai tempat penulis bermalam, tempat makan, serta terima kasih untuk segala keharmonisannya dalam menjamu penulis selama dimarkas.
16. Penghuni KKA 02 Lt.1, **Indah (UNRAM), Yezala (UNAIR)** dan **Rima (UNTIRTA)** terima kasih telah menjadi saudara bagi penulis selama PMM 3 di Aceh yang selalu memberikan bantuan dan meluangkan waktunya untuk menemani dan menyemangati penulis saat menyusun skripsi.
17. Terima kasih buat pemilik nama **Fidiantoro Yoga P**, yang telah menjadi sosok rumah yang selalu ada buat penulis, telah menjadi salah satu penyemangat, pendengar keluh kesah dalam penulisan skripsi, penasehat yang baik dan senantiasa memberikan cinta serta selalu menjaga mental penulis untuk tetap bahagia pada saat penulisan skripsi ini.
18. **Semua Pihak** yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan semangat, dukungan serta doa kepada penulis hingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Harapan dari penulis semoga hasil penelitian yang telah dilakukan semoga dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca. Penulis memohon maaf atas segala kekurangan yang terdapat dalam skripsi.

Makassar, 20 Juni 2024

Nur Epy Sulviana

## DAFTAR ISI

<b>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>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah.....	4
I.3 Tujuan Penelitian .....	4
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
II.1 Biokeramik .....	5
II.2 Hidroksiapatit (HAp).....	5
II.3 Tulang Sapi .....	6
II.4 Metode <i>Solid State</i> .....	7
II.5 Proses Sintering.....	7
II.6 Karakterisasi Material Hidroksiapatit (HAp).....	8
<b>BAB III. METODOLOGI PERCOBAAN</b> .....	<b>10</b>
III.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	10
III.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	10
III.3 Prosedur Penelitian .....	10
III.4 Bagan Alir Penelitian .....	13
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>14</b>
IV.1 Hasil Analisis Sintesis CaO .....	14
IV.3 Hasil Analisis FTIR .....	14
IV.3 Hasil Analisis XRD .....	16
<b>BAB V. PENUTUP</b> .....	<b>19</b>

V.1 Kesimpulan .....	19
V.2 Saran .....	19
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>20</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>26</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 4.1</b> Gugus fungsi hidroksiapatit .....	16
<b>Tabel 4. 2.</b> Pengaruh suhu sintering terhadap ukuran kristal HAp.....	18

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 3.1.</b> Preparasi tulang sapi menjadi CaO.....	10
<b>Gambar 3. 2.</b> Sintesis CaO menjadi hidroksiapatit (HAp) .....	11
<b>Gambar 3. 3.</b> Bagan alir penelitian .....	13
<b>Gambar 4. 1.</b> Reaksi penguraian kalsium karbonat menjadi kalsium oksida.....	14
<b>Gambar 4. 2.</b> Spektrum FTIR hidroksiapatit tanpa sintering dan variasi suhu 700°C, 800°C, dan 900°C.....	15
<b>Gambar 4. 3.</b> Kurva XRD hidroksiapatit (HAp) tanpa sintering, dan variasi suhu sintering 700°C, 800°C, dan 900°C. ....	17

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

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

Tulang adalah jaringan transplatasi terbesar kedua di dunia yang lebih dari dua juta transplatasi tulang dilakukan setiap tahun di seluruh dunia. Kasus patah tulang di Indonesia mengalami peningkatan setiap tahunnya. Berdasarkan hasil penelitian kesehatan dasar oleh lembaga penelitian dan pengembangan kesehatan 2018 (RISKESDAS), Indonesia mencatat kejadian patah tulang mencapai 5,5% kasus patah tulang di Indonesia, patah tulang ekstremitas akibat kecelakaan memiliki tingkat kasus tertinggi yaitu sebesar 67,9%. Dari 45.987 kasus, sebanyak 19.754 adalah kasus fraktur tulang paha dengan patah tulang ekstremitas bawah tertinggi akibat kecelakaan. Jumlah patah tulang diperkirakan meningkat dari 1,26 juta pada tahun 1990 menjadi 4,5 juta pada tahun 2050, meskipun pertumbuhan populasi dunia terhenti, tetapi penuaan akan terus terjadi dan menyebabkan kekuatan tulang akan semakin melemah [1],[2].

*Bone Tissue Engineering* (Rekayasa jaringan tulang) memberikan strategi yang menjanjikan untuk mencapai regenerasi tulang yang efisien dan dapat dirancang secara biomimetik untuk meniru lingkungan mikro dari jaringan tulang asli. Tulang menopang tubuh, menahan berat badan, melindungi organ dalam dan membantu pergerakan di antara fungsi penting lainnya. Tulang memiliki struktur hirarkis, mulai dari skala nano hingga skala makro. Komposisi tulang meliputi serat kolagen organik, hidroksiapatit anorganik, air dan protein *non*-kolagen. Susunan yang rumit dari serat kolagen dan mineral hidroksiapatit memunculkan arsitektur yang kompleks dan sifat-sifat tulang yang berguna, seperti tinggi rasio kekuatan terhadap berat, kekakuan dan ketangguhan. Selain itu, tulang dapat mengubah sifat-sifatnya dengan perubahan lingkungan mekanis melalui proses yang disebut *remodeling* tulang [3],[4].

Perkembangan teknologi yang sangat cepat dimanfaatkan di dalam dunia medis sebagai pembuatan biokeramik hidroksiapatit. Biokeramik termasuk bahan keramik bioaktif yang memiliki kalsium fosfat (CaP) dan kalsium silikat (CaSi)

yang telah diselidiki secara intensif, keduanya menunjukkan beberapa kelebihan dan kekurangan masing-masing [3]. Dengan kemajuan penelitian dalam menawarkan solusi untuk masalah ini, berbagai bahan sedang dikembangkan untuk berbagai aplikasi, yang sebagian besar termasuk dalam spektrum senyawa biokompatibel kalsium fosfat (CaP) [5].

Berdasarkan data BPS potensi sampah biologi (*biowaste*) seperti tulang sapi di Indonesia cukup besar ketersediaannya, konsumsi daging sapi meningkat mulai tahun 2008 hingga 2011 dengan mencapai 1.519.178 sapi yang dipotong setiap tahunnya, sehingga tulang sapi yang dihasilkan semakin melimpah. Tulang sapi memiliki kandungan kalsium fosfat sebanyak 58,3%. Komposisi kimia tulang sapi terdiri dari zat anorganik berupa Ca, P, O, H, Na dan Mg [6].

Kalsium dan fosfat merupakan unsur utama pembentuk hidroksiapatit dengan rumus molekul  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  yang representatif menyerupai komponen anorganik tulang manusia. Hidroksiapatit yang memiliki struktur heksagonal dapat digunakan sebagai bahan dasar implan gigi dan tulang, karena memiliki sifat bioresorbabilitas (mudah terdegradasi dengan waktu yang telah ditentukan seiring dengan terbentuknya jaringan tulang baru) dan biokompatibilitas (kemampuan bahan untuk menyesuaikan diri dengan sistem metabolisme ketika saat diaplikasikan dalam tubuh manusia) [7],[8],[9].

Penelitian tentang HAp sudah banyak dilakukan karena aplikasinya sebagai biomaterial, katalis, pertukaran ion, konduktor ion oksidasi, dan material *luminescent*. Biomaterial merupakan material sintesis yang dapat dimanfaatkan untuk implan tulang dan memiliki kemampuan berinteraksi dengan sistem biologis pada jaringan tubuh [10]. Berbagai teknik telah dikembangkan untuk sintesis HAp diantaranya adalah teknik kering dan teknik basah seperti metode presipitasi, *solid state*, reaksi hidrotermal, dan metode *sol-gel* [11].

Metode sintesis yang akan digunakan pada penelitian ini adalah teknik kering dengan metode *solid state*. Metode ini merupakan metode yang masih jarang digunakan karena hanya mereaksikan antara padatan dengan padatan atau serbuk dengan serbuk dan tidak melibatkan penggunaan cairan atau pelarut. Berbagai

sumber bahan dasar sintesis HAp telah digunakan diantaranya sumber Ca yang berasal dari tulang manusia, tulang sapi, batu gamping, cangkang kerang, dan cangkang telur. Kalsium yang terkandung dalam tulang sapi sebesar 7,07% dalam bentuk senyawa  $\text{CaCO}_3$  dan senyawa  $\text{CaF}_2$  sebesar 1,96% sedangkan fosfor sebanyak 2,09% dalam bentuk senyawa  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$  dan senyawa  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  sebesar 58,30%. Dari kandungan kimia tersebut, maka tulang hewan dapat dimanfaatkan sebagai adsorben pada proses adsorpsi. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa tulang sapi mampu menghasilkan hidroksiapatit (HAp) pada suhu sintering  $900^\circ\text{C}$  dengan standar stoikometri Ca/P hidroksiapatit sebesar 1.67 [12],[13].

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Fahimah dkk (2014), sintesis dilakukan dengan mencampurkan CaO dari tulang sapi dengan sumber fosfat  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  pada suhu sintering  $1000^\circ\text{C}$  selama 2 jam dengan metode kering. Hasil menunjukkan bahwa semakin kecil massa fosfor yang ditambahkan menyebabkan semakin sedikit rendemen yang terbentuk. Sehingga hidroksiapatit paling optimal pada perbandingan massa Ca/P sebesar 1:0,065. Hidroksiapatit yang mengalami proses sintering membentuk ikatan yang mempengaruhi porositas, ukuran butiran, rasio Ca/P dan dapat mengubah sifat mekanik dari biokeramik yang dihasilkan. Sintering bahan keramik adalah proses yang melibatkan penggabungan partikel-partikel serbuk keramik dengan memanaskan ke suhu tinggi di bawah titik leleh sehingga terjadi pengerutan pori-pori antar partikel yang dinyatakan sebagai penyusutan komponen, yang kemudian disertai dengan pertumbuhan dan ikatan yang kuat antar partikel yang letaknya berdekatan [11].

Berdasarkan penjelasan sebelumnya, maka akan dilakukan penelitian sintesis hidroksiapatit (HAp) dari bahan tulang sapi (*Bos indicus*) menggunakan metode *solid state* dengan memvariasikan suhu sintering yaitu  $700^\circ\text{C}$ ,  $800^\circ\text{C}$ , dan  $900^\circ\text{C}$ . Sumber kalsium yang digunakan pada penelitian ini adalah tulang sapi sedangkan sumber fosfor menggunakan diamonium hidrogen fosfat  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ . Hidroksiapatit yang telah disintesis, diuji menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*), dan FTIR (*Fourier Transform Infrared*) untuk mengetahui sifat struktur dan kandungannya.



## **I.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengidentifikasi gugus fungsi hidroksiapatit terhadap pengaruh variasi suhu sintering?
2. Bagaimana pengaruh variasi suhu sintering terhadap struktur kristal hidroksiapatit?

## **I.3 Tujuan Penelitian**

1. Menganalisis gugus fungsi hidroksiapatit terhadap pengaruh variasi suhu sintering.
2. Menganalisis pengaruh variasi suhu sintering terhadap struktur kristal hidroksiapatit.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

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

Biokeramik adalah salah satu jenis bahan keramik yang didefinisikan sebagai produk keramik atau komponen yang digunakan dalam dunia medis, terutama sebagai implan ataupun organ pengganti. Biokeramik dapat digunakan didalam tubuh tanpa adanya penolakan dari tubuh karena adanya sifat biokompatibilitas, stabilitas kimia, ketahanan suhu yang tinggi, dan memiliki komposisi yang sama dengan mineral terhadap jaringan keras dalam tubuh manusia yaitu tulang dan gigi.

Biokeramik hidroksiapatit adalah keramik berbasis kalsium fosfat dengan rumus kimia  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  dan merupakan paduan dua senyawa garam trikalsium fosfat ( $\text{Ca}_3\text{PO}_4$ ) dan kalsium hidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) [14]. Material biokeramik yang terbentuk dari prekursor kapur dan asam fosfat. Tulang hewan mamalia telah dimanfaatkan sebagai prekursor kapur untuk membentuk material biokeramik [15].

#### **II.2 Hidroksiapatit (HAp)**

Hidroksiapatit merupakan material biokeramik yang sering diaplikasikan dalam bidang medis termasuk dalam komponen penyusun jaringan keras organisme hidup yaitu tulang dan gigi. Hidroksiapatit memiliki komposisi dan kristalinitas yang hampir sama dengan tulang manusia yaitu tersusun dari mineral kalsium (Ca) dan fosfat (P). Jumlah mol Ca/P agar material hidroksiapatit terbentuk adalah 1,67 [10]. Hidroksiapatit merupakan senyawa kalsium fosfat yang memiliki rumus kimia  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  dengan struktur kristal adalah heksagonal dengan diameter kisi  $a = b = 9.4225 \text{ \AA}$  dan  $c = 6.8850 \text{ \AA}$  dimana  $\alpha = \beta = 90$  derajat,  $\gamma = 120$  derajat [16].

Hidroksiapatit memiliki struktur kristal yang memiliki sifat bioaktif, biokompatibel, dan osteokonduktif sehingga dapat menyatu dengan tulang (*bone integration*) dan dapat mempercepat regenerasi tulang (*bone regeneration*) yang senantiasa dibutuhkan dalam proses penyembuhan trauma ulang [17]. Sifat bioaktif

memberikan kontribusi penting untuk tulang dalam bidang rekayasa jaringan dengan sifat polimer dan hidroksiapatit [18].

Hidroksiapatit (HAp) adalah komponen mineral utama dalam tulang dan gigi mamalia. Karena memiliki bahan mineral yang paling keras dan tangguh dalam fosfat. Nanomaterial HAp dengan berbagai bentuk (yaitu granular, berbentuk batang, berserat, berbentuk serpihan, dan berbentuk tabung) dapat dengan mudah disintesis dengan berbagai metode, seperti metode hidrotermal, mekanokimia, dan *sol-gel*. Hidroksiapatit mirip dengan mineral lempung yang juga memiliki stabilitas yang sangat baik, sifat penguat, sifat pembawa, dan biokompatibilitas. Kation dan anion dalam struktur kristal dapat diubah dengan pertukaran ion, yang menyebabkannya menunjukkan kinerja yang beragam.

Dalam beberapa tahun terakhir, sintesis dan aplikasi HAp telah menerima perhatian yang luas dan membuat kemajuan besar. Meskipun hidroksiapatit tidak sepenuhnya merupakan mineral lempung, sifat nano materialnya yang unik memberikan banyak keuntungan dalam material biomedis yang tidak dapat ditandingi oleh material lain. Mineral lempung dan hidroksiapatit dapat memberikan ide baru untuk mengembangkan material nano fungsional yang lebih baik, terutama dalam industri biomedis. Hidroksiapatit dapat diperoleh dari sumber alami yang melimpah seperti tulang sapi, tulang ikan, tulang ayam, dan cangkang kerang, ayam, kepiting [17].

### **II.3 Tulang Sapi**

Berdasarkan data BPS potensi sampah biologi (*biowaste*) seperti tulang sapi di Indonesia cukup besar ketersediaannya, konsumsi daging sapi meningkat mulai tahun 2008 hingga 2011 dengan mencapai 1.519.178 sapi yang dipotong setiap tahunnya, sehingga tulang sapi yang dihasilkan semakin melimpah. Tulang sapi memiliki kandungan kalsium fosfat sebanyak 58,3%. Komposisi kimia tulang sapi terdiri dari zat anorganik berupa Ca, P, O, H, Na dan Mg. Kalsium dan fosfor merupakan unsur utama pembentuk hidroksiapatit sehingga tulang sapi dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam sintesis hidroksiapatit [19],[6],[20]. Secara khusus, hidroksiapatit memiliki rumus kimia  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ , yang

menunjukkan keberadaan kalsium (Ca), fosfor (P), dan hidroksil (OH) dalam strukturnya [21].

Berdasarkan klasifikasi taksonomi sapi menurut Kindersley (2010), sapi mempunyai klasifikasi sebagai berikut [22]:

*Kingdom* : *Animalia*  
*Phylum* : *Chordata*  
*Subphylum* : *Vertebrata*  
*Class* : *Mamalia*  
*Subclass* : *Theria*  
*Infra Class* : *Eutheria*  
*Ordo* : *Artiodactyla*  
*Famili* : *Bovidae*  
*Genus* : *Bos*  
*Spesies* : *Bos indicus*

#### **II.4 Metode *Solid State***

*Solid state* merupakan metode yang paling efektif untuk optimalisasi campuran serbuk bahan yang dicampur dan dikecilkan dalam *ball milling* untuk menciptakan paduan mekanik atau senyawa intermetalik [23]. Pada tahun 1950, metode *solid state* difokuskan pada sintesis senyawa padat baru untuk mengetahui hubungan antara struktur, komposisi, dan ikatan kimia dengan penemuan acak sifat fisik yang menarik di bidang teknik metalurgi, semikonduktor, keramik, polimer, dan gelas yang merupakan disiplin ilmu yang terpisah. *Solid state* difokuskan pada sintesis, karakterisasi kimia dan struktural, rentang stabilitas, struktur kristal dan morfologi produk, aktivitas katalitik, dan perubahan fase [24]. Fisika *solid state* berhubungan dengan sistem yang terdiri dari atom-atom dengan elektron yang terikat kuat [25].

#### **II.5 Proses Sintering**

Proses sintering adalah proses pemanasan atau pembakaran bahan hingga suhu tinggi dengan tidak melampaui titik lelehnya [26][27]. Secara historis, serbuk

hidroksiapatit yang diperoleh dengan sintering pada suhu tinggi ( $\geq 900^{\circ}\text{C}$ ) merupakan biokeramik pertama yang digunakan sebagai cangkok tulang sintesis [28]. Sintering biokeramik hidroksiapatit mempengaruhi rasio kalsium/fosfor (Ca/P), ukuran butir, porositas, dan perubahan sifat mekanis dari biokeramik yang dihasilkan. Suhu sintering yang lebih rendah dapat diterapkan untuk memastikan bioaktivitas yang lebih baik untuk perancah hidroksiapatit dan suhu sintering yang lebih tinggi dapat berguna dalam meningkatkan sifat mekanis [15],[29].

Efisiensi hidroksiapatit dapat dipengaruhi oleh suhu sintering. Semakin tinggi suhu sintering, efisiensi yang dihasilkan semakin kecil. Penurunan efisiensi pada proses sintering terjadi karena hilangnya kandungan air dan bahan organik yang terdapat pada bahan yang digunakan. Pada suhu  $(200-300)^{\circ}\text{C}$ , terjadi kehilangan berat pada komponen gabungan antara bahan organik dan bahan air. Kehilangan berat ini meningkat secara drastis pada suhu sintering  $(300-500)^{\circ}\text{C}$  karena terjadi dekomposisi bahan organik seperti protein, kolagen, dan lemak yang terkait dengan komponen lain pada tulang. Pada suhu  $600^{\circ}\text{C}$ , yang tersisa adalah senyawa kalsium fosfat, dan selama suhu sintering  $(600-800)^{\circ}\text{C}$ , terjadi penurunan efisiensi massa hidroksiapatit (HAp) sekitar 30-40%. Penurunan ini disebabkan oleh ikatan antara komponen jaringan lemak, protein, dan sebagainya [32].

## **II.6 Karakterisasi Material Hidroksiapatit (HAp)**

Pengujian karakterisasi terhadap material dilakukan untuk mengidentifikasi dan memastikan material hidroksiapatit yang dihasilkan. Beberapa teknik karakterisasi digunakan untuk mengetahui karakteristik dari material yang dihasilkan pada penelitian. Beberapa teknik pengujian yang digunakan yaitu *X-Ray Diffraction (XRD)* dan *Fourier Transform Infrared (FTIR)*.

Pengujian komposisi senyawa menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)* dilakukan pada hasil proses pengeringan dan hasil sintering [30]. Melalui karakterisasi XRD diperoleh struktur kristal, perubahan fasa, ukuran partikel, dan derajat kristalinitas. Perubahan fasa yang terjadi dapat ditinjau melalui pembentukan puncak-puncak yang terbentuk [27]. Kristalinitas yang mengindikasikan kandungan kristalin dalam bahan, dapat diukur dengan

membandingkan luas kurva kristal dengan total luas amorf dan kristal. Persentase kristalinitas cenderung meningkat seiring dengan kenaikan suhu pemanasan, karena suhu yang semakin tinggi menyebabkan susunan atom semakin terikat [31]. Hasil XRD menunjukkan bahwa semua sampel dalam penelitian ini membentuk hidroksiapatit dari reaksi antara asam fosfat dan bahan awal CaO maupun  $\text{Ca(OH)}_2$  [30],[32].

Analisis FTIR pada hasil sintesis hidroksiapatit digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi  $\text{OH}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  dan  $\text{CO}_2^{3-}$ . Ketajaman puncak-puncak serapan gugus fosfat sangat berpengaruh dari konsentrasi pereaksi yang digunakan saat mensintesis hidroksiapatit. Selain itu, perbedaan suhu kalsinasi juga mempengaruhi intensitas pita serapan. Suhu yang semakin tinggi akan meningkatkan eliminasi. Gugus fungsi OH sangat khas untuk hidroksiapatit sehingga keberadaan pita serapan gugus hidroksil serta fosfat menunjukkan bahwa hidroksiapatit telah terbentuk dalam sampel [32]. Senyawa HAp dapat dikenali dari pita serapan gugus hidroksil dan fosfat, sedangkan pada apatit karbonat memberikan pita serapan tambahan untuk gugus karbonat [33]. Data karakterisasi FTIR menunjukkan jumlah energi yang diserap sehingga dapat ditentukan senyawa yang terkandung dalam material tersebut [34],[35].