

SKRIPSI

**PENGARUH SUHU SINTERING TERHADAP SINTESIS
HIDROKSIAPATIT (HAp) DARI TULANG KERBAU (*BUBALUS
BUBALIS*) DENGAN METODE *SOL-GEL***

Disusun dan diajukan oleh

JENELLA PN

H021201055



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

2024

**PENGARUH SUHU SINTERING TERHADAP SINTESIS
HIDROKSIAPATIT (HAp) DARI TULANG KERBAU (*BUBALUS
BUBALIS*) DENGAN METODE *SOL-GEL***



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

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH SUHU SINTERING TERHADAP SINTESIS
HIDROKSIAPATIT (HAp) DARI TULANG KERBAU (*BUBALUS
BUBALIS*) DENGAN METODE *SOL-GEL***

Disusun dan diajukan oleh:

JENELLA PN

H021201055

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Fisika

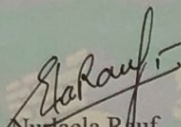
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 12 Juni 2024

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

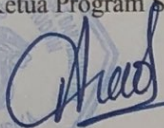
Menyetujui

Pembimbing Utama,


Prof. Dr. Nurfacla Rujuf, M. Sc.

NIP. 19600624 198601 2 001

Ketua Program Studi,


Prof. Dr. Arifin, M.T.

NIP. 19670520 199403 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Jenella PN
NIM : H021201055
Program Studi : Fisika
Jenjang : S1

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa karya tulisan saya yang berjudul:

PENGARUH SUHU SINTERING TERHADAP SINTESIS HIDROKSIAPATIT (HAp) DARI TULANG KERBAU (*BUBALUS BUBALIS*) DENGAN METODE *SOL-GEL*

Adalah karya tulis berdasarkan hasil pemikiran dan penelitian saya, bukan merupakan hasil pengambil alihan tulisan maupun pemikiran orang lain. 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, 10 Juni 2024

Yang Menyatakan,



Jenella PN
H021201055

ABSTRAK

Tulang kerbau memiliki kandungan hidroksiapatit cukup tinggi, sehingga berpotensi sebagai prekursor material dalam sintesis hidroksiapatit. Hidroksiapatit merupakan biomaterial dengan struktur heksagonal yang dapat dimanfaatkan sebagai implan tulang. Telah dilakukan sintesis hidroksiapatit dari tulang kerbau (*bubalus bubalis*) dengan menggunakan metode *sol-gel*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh suhu sintering terhadap sintesis hidroksiapatit dari tulang kerbau dengan beberapa variasi suhu yaitu 700°C, 800°C, dan 900°C, selama 4 jam. Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan *Fourier transform infrared spectroscopy* (FTIR) dan *X-Ray diffraction* (XRD). Hasil analisis FTIR pada setiap sampel menunjukkan adanya gugus fungsi OH⁻, PO₄³⁻, dan CO₃²⁻ yang merupakan gugus fungsi penyusun hidroksiapatit. Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa hidroksiapatit memiliki struktur kristal heksagonal, hasil ini sama dengan struktur kristal hidroksiapatit komersial.

Kata kunci : Hidroksiapatit, tulang kerbau, sintering, *sol-gel*

ABSTRACT

Buffalo bone has a high hydroxyapatite content, making it a potential precursor material in hydroxyapatite synthesis. Hydroxyapatite is a biomaterial with a hexagonal structure that can be utilized as a bone implant. Hydroxyapatite has been synthesized from buffalo bone (*bubalus bubalis*) using the sol-gel method. This study was conducted to determine the effect of sintering temperature on the synthesis of hydroxyapatite from buffalo bone with several temperature variations, namely 700°C, 800°C, and 900°C, for 4 hours. Characterization was carried out using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and X-Ray diffraction (XRD). The results of FTIR analysis on each sample showed the presence of OH⁻, PO₄³⁻, and CO₃²⁻ functional groups which are the constituent functional groups of hydroxyapatite. The results of XRD analysis show that hydroxyapatite has a hexagonal crystal structure, this result is the same as the crystal structure of commercial hydroxyapatite.

Keywords: *Hydroxyapatite, buffalo bone, sintering, sol-gel*

KATA PENGANTAR

Salam Sejahtera,

Puji Syukur kehadiran Tuhan Yesus Kristus atas segala berkat, kasih setia dan penyertaanNya yang tiada berkesudahan. Puji Tuhan, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“Pengaruh suhu sintering terhadap sintesis hidroksiapatit (HAp) dari tulang kerbau (*bubalus bubalis*) dengan metode *sol-gel*”**, sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar sarjana sains pada Departemen Fisika Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna, hal ini di sebabkan adanya keterbatasan kemampuan yang penulis miliki. Atas kekurangan, penulis sangat mengharapkan adanya masukan, kritik dan saran yang bersifat membangun.

Dalam penyelesaian skripsi ini, begitu banyak rintangan yang didapatkan oleh penulis dari awal penelitian hingga tahap penyusunan skripsi, namun dengan penyertaan dan pertolongan Tuhan Yesus Kristus, keluarga, sahabat, dan pihak lain yang ikut membantu penulis, maka penulis dapat melewati segala rintangan dan dapat menyelesaikannya hingga akhir. Oleh karena itu, penulis mengungkapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua penulis, **Mama dan Papa** serta seluruh keluarga besar penulis, yang selalu memberikan kasih sayang serta dukungan, baik secara moral maupun materi. Terima kasih atas didikan serta motivasi yang selalu diberikan untuk menyemangati penulis dalam menjalani masa kuliah.
2. **Prof. Dr. Nurlaela Rauf, M.Sc** selaku pembimbing utama, yang senantiasa memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis. Terima kasih telah meluangkan pikiran, tenaga dan waktunya untuk penulis serta memberikan nasehat-nasehat dalam menyelesaikan masa studi.
3. **Prof. Dr. Arifin, M.T** dan Bapak **Heryanto, S.Si, M.Si** selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya dalam memberikan saran dan masukan yang membangun untuk menjadikan skripsi ini lebih baik.

4. **Prof. Dr. Dahlang Tahir, M.Si** selaku Kepala Laboratorium Material dan Energi yang telah memberikan nasehat, arahan dan bimbingan selama proses penelitian.
5. **Prof. Dr. Arifin, M.T.**, selaku Ketua Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin yang senantiasa memberikan ilmu dan nasehat bagi penulis dalam menyelesaikan masa studi pendidikan.
6. 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 dan menjadi bekal bagi penulis untuk terus berproses.
7. 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.
8. Kakak-kakak (**Rita, Jeniwati, Sermila, Yohanes Amba, Ribka**) dan Adik (**Indra**) terima kasih atas dukungan moral, bantuan, dan motivasi yang tidak pernah putus selama penulis menjalani proses penyusunan skripsi ini. Kehadiranmu selalu memberi semangat dan dorongan yang luar biasa.
9. **Indriani** dan **Novia** yang selalu sabar dalam membantu penulis dan terima kasih selalu mau direpotkan, dalam menyelesaikan penelitian ini.
10. **Ebi, Novra, Putri, Epy'** terima kasih telah menjadi teman curhat dan teman suka duka yang selalu memberikan bantuan dan meluangkan waktunya untuk menemani penulis.
11. **Janti** dan **Fifni** terimakasih telah membersamai penulis dalam suka maupun duka. Penulis sangat berterima kasih atas segala dukungan kalian.
12. **Asti, Ebi** dan **Andani** selaku teman seperjuangan penelitian biokeramik yang selalu mau di repotkan, saling menguatkan satu sama lain dan terima kasih atas bantuannya selama penelitian.
13. Teman-teman **Himafi 2020** terima kasih untuk semua cerita dan suka duka yang telah dilalui bersama.

14. Teman-teman **Laboratorium Material dan Energi Angkatan 2020** yang telah banyak membantu dan selalu menghibur.
15. **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.

Semoga Tuhan selalu menyertai seluruh rencana dan masa depan semua pihak yang terkait dan kiranya hasil pada penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi penulis maupun pembaca.

Makassar, 10 Juni 2024

Jenella PN

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Tujuan Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
II.1 Biokeramik.....	4
II.2 Hidroksiapatit.....	4
II.3 Kerbau (<i>Bubalus Bubalis</i>).....	5
II.4 Metode <i>Sol-Gel</i>	6
II.5 Sintering.....	7
BAB III METODE PENELITIAN	8
III.1 Waktu dan Tempat Penelitian	8
III.2 Alat dan Bahan Penelitian	8
III.3 Prosedur Penelitian.....	8
III.3.1 Sintesis CaO.....	8
III.3.2 Sintesis HAp	9
III.3.3 Karakterisasi Sampel	10

III.4 Bagan Alir Penelitian.....	11
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	12
IV.1 Analisis XRF.....	12
IV.2 Analisis FTIR.....	12
IV.3 Analisis Difraksi Sinar -X (XRD).....	15
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	18
V.1 Kesimpulan.....	18
V.2 Saran	18
DAFTAR PUSTAKA.....	19
LAMPIRAN.....	26

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Sintesis CaO.....	9
Gambar 3.2 Sintesis HAp	10
Gambar 3.3 Bagan alir penelitian	11
Gambar 4.1 Spektrum FTIR hidroksiapatit tanpa sintering dan variasi suhu 700°C, 800°C, dan 900°C.	13
Gambar 4.2. Kurva XRD hidroksiapatit tanpa sintering dan variasi suhu sintering 700° C, 800° C, dan 900°C.....	15

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Gugus fungsi hidroksiapatit.....	14
Tabel 4.2 Pengaruh suhu sintering terhadap ukuran kristal hidroksiapatit.....	17

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi penelitian	26
Lampiran 2. Analisis data XRD	29
Lampiran 3. Data fourier transform infrared spectroscopy (FTIR).....	31

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Tulang merupakan komponen utama pembentuk kerangka tubuh manusia. Aktivasinya sering menghadapi permasalahan yang disebabkan oleh kecelakaan, penyakit ataupun kelainan. Tulang tersusun dari komposit organik dan anorganik yang merupakan jaringan fungsi mekanis, biologis seperti produksi sel darah dan memberikan struktur pada tubuh. Meskipun tulang bersifat regeneratif, pencangkokan tulang diperlukan dalam beberapa kasus karena kehilangan atau penyakit tulang yang berlebihan. Jaringan tulang adalah salah satu jaringan yang paling sering ditransplantasikan setelah darah. Oleh karena itu, rekayasa jaringan keras sedang dikembangkan secara aktif berdasarkan kebutuhan medis seperti tulang dan sifat mekanik yang merupakan bidang studi yang penting [1][2].

Hidroksiapatit (HAp) adalah suatu mineral kalsium fosfat dengan rumus kimia $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. Nanopartikelnya dapat diamati meningkatkan biokompatibilitas dan bioaktivitas biomaterial buatan [3][4]. Hidroksiapatit membentuk struktur heksagonal padat dalam bentuk kristal dan berperan penting dalam memberikan dukungan struktural bagi komponen organik tulang dan gigi. Kristal ini memiliki biokompatibilitas yang sangat baik, yang mudah ditoleransi dengan baik oleh tubuh manusia dan mampu berintegrasi dengan jaringan hidup. Kemiripannya dengan mineral tulang alami membuat hidroksiapatit banyak digunakan dalam aplikasi medis dan kedokteran gigi [5][6].

Selain penggunaan HAp yang terkenal dalam aplikasi biomedis, penyesuaian HAp menjadi bahan berpori dapat digunakan untuk filter membran biokeramik untuk verifikasi gas, udara, dan zat biologi. Kapasitas adsorpsi yang tinggi pada penggabungan partikel HAp ke dalam membran ultrafiltrasi matriks campuran polimer dapat meningkatkan permeabilitas dan penolakan membran [7].

Penelitian mengenai tulang kerbau memiliki sumber potensial untuk pembuatan hidroksiapatit (HAp) masih terbatas. Namun, ada beberapa penelitian yang telah dilakukan mengenai pengolahan tulang kerbau menjadi bahan sumber

HAp yang dilakukan oleh Pawarrangan, dkk. Yang menyatakan bahwa hidroksiapatit berhasil disintesis dari tulang kerbau dengan metode pengendapan basah dan peningkatan suhu sintering masing-masing 650°C, 850°C dan 1050 °C selama 7 jam [8]. Sumber kalsium yang dipilih dalam penelitian ini adalah limbah tulang kerbau sebagai bahan baku untuk sintesis HAp. Limbah tulang kerbau yang tidak dimanfaatkan dengan baik memiliki sifat yang sangat keras, tulang kerbau memiliki kandungan kalsium fosfat yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan biokermik. Pemanfaatan tulang kerbau sebagai sumber kalsium oksida (CaO) dalam sintesis hidroksiapatit menjadi salah satu upaya untuk memberikan solusi terkait ketersediaan hidroksiapatit di Indonesia.

Metode yang digunakan untuk sintesis hidroksiapatit cukup beragam, antara lain metode basah seperti hidrotermal, *sol-gel*, presipitasi, dan metode kering. Pada penelitian ini, metode yang digunakan dalam mensintesis hidroksiapatit adalah metode *sol-gel*. Alasan memilih metode ini karena proses pembuatannya yang sederhana, biaya yang rendah, reaksi kimia yang relatif sederhana serta memiliki kemurnian dan homogenitas yang tinggi [9][10].

Pada penelitian Pawarrangan dan Yusuf (2018), menjelaskan bahwa mensintesis hidroksiapatit dari limbah tulang kerbau sebagai sumber kalsium dan asam fosfat (H_3PO_4) sebagai sumber fosfat. Hasil yang didapatkan pada penelitian tersebut mengatakan bahwa rasio kalsium-fosfor sebesar 1,67 diperoleh pada suhu 850° C selama 7 jam. Rasio kalsium-fosfor (Ca/P) yang diperoleh mencerminkan proporsi relatif antara kalsium dan fosfor dalam hidroksiapatit, dan nilai 1,67 sering dianggap sebagai rasio yang mendekati rasio stoikiometri alami hidroksiapatit dalam tulang [8].

Berdasarkan uraian di atas, maka akan dilakukan penelitian mengenai sintesis hidroksiapatit menggunakan metode *sol-gel* dengan suhu sintering yang berbeda-beda yaitu 700°C, 800°C, dan 900°C. Dalam pembuatan hidroksiapatit ini sumber kalsium diekstrak dari tulang kerbau (*Bubalus Bubalis*) dan sumber fosfat yang digunakan yaitu asam fosfat (H_3PO_4). Hidroksiapatit yang telah di sintesis, di uji menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui sifat strukturnya.

I.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana komposisi kimia yang di hasilkan dari CaO tulang kerbau (*Bubalus Bubalis*)?
2. Bagaimana pengaruh suhu sintering terhadap gugus fungsi hidroksiapatit dari tulang kerbau (*Bubalus Bubalis*)?
3. Bagaimana pengaruh suhu sintering terhadap struktur kristal hidroksiapatit dari tulang kerbau (*Bubalus Bubalis*)?

I.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis komposisi kimia yang hasilkan dari CaO tulang kerbau (*Bubalus Bubalis*).
2. Menganalisis pengaruh suhu sintering terhadap gugus fungsi dari tulang kerbau (*Bubalus Buballis*).
3. Menganalisis pengaruh suhu sintering terhadap struktur kristal hidroksiapatit dari tulang kerbau (*Bubalus Bubalis*).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Biokeramik

Biokeramik adalah bahan yang digunakan untuk memperbaiki atau mengganti jaringan tulang yang rusak [11]. Biokeramik dapat diperoleh dari sumber alami dan sintesis. Biokeramik yang terjadi secara alami berasal dari berbagai organisme hidup atau mati yang disebut "biokeramik alami". Sebagian besar biokeramik alami berasal dari hewan dan mencakup berbagai sumber seperti silika biogenik, mutiara alami, cangkang *moluska*, tulang, dan gigi. Namun, biokeramik yang disintesis secara artifisial disebut "biokeramik sintetis". Biokeramik sintetis yang meliputi bahan berbasis kalsium fosfat, hidroksiapatit (HAp), zirkonia, alumina, dan *bioglass*. Biokeramik yang berasal dari bahan sintetis atau alami dirancang untuk membuat ikatan dengan tulang dan telah menjadi alternatif untuk logam implant [12][13]. Biokeramik digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti penggantian tulang, gigi, dan jaringan lunak. Salah satu contoh aplikasi biokeramik adalah penggantian tulang, yang memiliki tingkat keberhasilan yang tinggi dan memperbaiki serta merekonstruksi bagian tubuh yang terkena penyakit atau cacat [14].

II.2 Hidroksiapatit

Hidroksiapatit merupakan suatu mineral kalsium fosfat dengan rumus kimia $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ yang secara alami menyerupai komponen anorganik dalam tubuh manusia, seperti tulang dan gigi yang memiliki peran dinamis dalam berbagai aplikasi [15]. Hidroksiapatit banyak digunakan dalam ilmu pengetahuan, kimia, biologi, dan kedokteran karena biokompatibilitasnya yang tinggi. Hidroksiapatit dianggap sebagai biomaterial bio-anorganik karena membentuk ikatan kimia yang kuat dengan jaringan tulang sehingga sering digunakan dalam aplikasi seperti penguat tulang, perbaikan kerusakan tulang, dan implan ortopedi. Tulang pada umumnya mengandung senyawa organik dan anorganik yang sebagian besar terdiri dari kolagen (9%), kalsium fosfat (69%), air (20%) dan beberapa bahan organik lainnya seperti protein, gula dan lemak. Tulang mengandung persentase kalsium fosfat yang tinggi berbentuk hidroksiapatit, yang merupakan bagian padat dari

tulang [4][16]. Komposisi hidroksiapatit mencerminkan perannya dalam berbagai struktur. Ion kalsium (Ca) memberikan kekerasan dan kekakuan, sedangkan gugus fosfat (PO₄) berkontribusi pada keseluruhan struktur dan gugus hidroksil (OH) dalam formula bertanggung jawab atas bagian "hidroksi" [17].

Hidroksiapatit (HAp) telah menarik perhatian yang signifikan dalam aplikasi ortopedi dan kedokteran gigi sebagai bahan implan. Dalam rekayasa jaringan tulang (BTE), properti permukaan yang ditingkatkan oleh HAp dapat memainkan peran dalam memicu respon sel dan mendorong proses mineralisasi yang diinginkan. HAp juga telah diterapkan secara luas dalam berbagai bidang biomedis lainnya, seperti pelepasan obat yang dikontrol, aditif dalam pasta gigi, matriks untuk semen tulang, dan aplikasi lainnya. Kemampuan HAp untuk meningkatkan bioaktivitas dan biokompatibilitas menjadikannya pilihan yang menjanjikan dalam pengembangan teknologi medis dan terapi. Komposit HAp umumnya digunakan untuk perancah implan dibandingkan cangkang suntik, karena sulit untuk mempertahankan viskositas yang sesuai dengan kemampuan injeksi kandungan HAp yang tinggi [3][18].

Kapasitas adsorpsi yang tinggi pada penggabungan partikel hidroksiapatit ke dalam membran ultrafiltrasi matriks campuran polimer dapat meningkatkan permeabilitas dan penolakan membran [7]. Keunggulan penggunaan hidroksiapatit sebagai biokeramik atau biomaterial dibandingkan dengan biokeramik lainnya, seperti *bioglass* atau *A-W glass-ceramic*, dapat dijelaskan oleh kemiripan kimianya dengan komponen anorganik tulang dan gigi. Ini menunjukkan keselarasan yang lebih besar dengan struktur kimia alami jaringan keras manusia. Selain itu, HAp dapat diperoleh dari sumber alami yang berlimpah seperti cangkang telur, cangkang kerang, tulang ikan, dan tulang ayam [19].

II.3 Kerbau (*Bubalus Bubalis*)

Kerbau (*Bubalus Bubalis*) adalah hewan berukuran besar yang berasal dari India, Asia Tenggara, dan Cina. Populasi kerbau di seluruh dunia diperkirakan mencapai sekitar 230 juta ekor, dengan lebih dari 95% populasi berada di Asia. Sekitar 2% populasi kerbau tersebar di Afrika, terutama di Mesir, sementara sekitar 2% lagi berada di Amerika. Jumlah kerbau di Australia dan Eropa masing-masing

kurang dari 1%. Negara-negara dengan jumlah kerbau terbanyak di dunia termasuk India, Pakistan, Cina, Mesir, dan Nepal. [20][21]. Adapun klasifikasi kerbau yaitu:

Kingdom : Animalia
Filum : Chordata
Class : Mammalia
Ordo : Artiodactyla
Famili : Bovidae
Genus : *Bubalus*
Spesies : *Bubalus Bubalis*

Kerbau terbagi menjadi dua jenis yaitu kerbau sungai dan kerbau rawa yang berbeda dalam hal jumlah kromosom, fenotip, dan distribusi geografis memiliki adaptasi yang memungkinkan mereka bertahan hidup di iklim panas dan lembab, serta toleransi terhadap penyakit [22]. Kemampuan adaptasi yang sangat luas memungkinkan kerbau untuk menyesuaikan diri dalam setiap kondisi lingkungan spesifik, mulai dari daerah iklim panas dan lembab. Misalnya, kerbau menghabiskan waktu mereka di rumput tinggi, di bawah naungan pohon, atau berkubang di lumpur, sungai, atau rawa, menunjukkan kemampuan adaptasi yang baik terhadap lingkungan [23][24]. Keragaman genetik kerbau lokal di Indonesia, khususnya kerbau rawa, sangat menarik untuk diketahui karena daya adaptasi yang tinggi dan potensi ekonomi yang tinggi. Namun keragaman genetik kerbau rawa terancam punah di beberapa wilayah di Indonesia [25].

II.4 Metode *Sol-Gel*

Sol-gel merupakan suatu proses sintesis nanopartikel yang menerapkan dua tahapan fasa penting, yaitu *sol* dan *gel*. Tahap *sol* melibatkan pembentukan suspensi partikel koloid padat dalam fase cair melalui reaksi hidrolisis dan polimerisasi dari prekursor tertentu dan dapat dibuat menjadi material keramik dalam bentuk yang berbeda. Sedangkan tahap *gel* melibatkan pembentukan jaringan anorganik dalam fase cair yang kontinu [26][27]. Metode *sol-gel* adalah metode sintesis bahan anorganik yang telah digunakan secara tradisional untuk berbagai macam bahan seperti membran anorganik, gelas, keramik monolitik, dan bahkan bahan keramik nano [28][29].

Metode *sol-gel* dianggap efektif untuk memodifikasi permukaan substrat. Memperoleh luas permukaan yang tinggi dan permukaan yang stabil adalah keuntungan terpenting dari metode *sol-gel*. Sifat kimia dan fisika bahan yang diperoleh dengan metode *sol-gel* adalah terkait dengan kondisi eksperimental yang diterapkan. Metode *sol-gel* melibatkan dua reaksi utama yaitu hidrolisis prekursor dalam media asam atau basa dan polikondensasi dari produk yang dihidrolisis [30]. Proses *sol-gel* terkenal karena fleksibilitasnya dan menawarkan berbagai kimia untuk membuat berbagai macam bahan struktural dengan ukuran partikel mulai dari nanometer hingga skala mikrometer karena sifat osteogenik yang cukup besar dari HAp [31].

II.5 Sintering

Sintering adalah proses pemadatan material serbuk dengan cara memanaskan material tersebut hingga tidak melebihi titik lelehnya. Pada proses sintering, partikel-partikel berikatan melalui peristiwa difusi dan pertumbuhan butir, yang memicu pada pemadatan [32]. Sintering merupakan proses penting dalam pengembangan material keramik, termasuk keramik nano. Sintering juga dipengaruhi oleh faktor seperti suhu, waktu tahan, dan tekanan. Sintering keramik pada suhu yang lebih rendah dari suhu sintering tradisional disebut teknik sintering dingin [33][34].

Sintering biokeramik hidroksiapatit (HAp) mempengaruhi berbagai sifat material termasuk porositas, ukuran butiran, densitas, rasio kalsium/fosfor (Ca/P), dan sifat mekanik. Sifat mekanik HAp hancur dengan ukuran butiran, ikatan antara butiran, dan bentuk pori [35]. Suhu sintering yang lebih rendah dapat memastikan bioaktivitas yang lebih baik, yang penting untuk interaksi positif dengan jaringan biologis. Sementara, suhu dan waktu sintering yang lebih tinggi dapat meningkatkan sifat mekanik. Pengaruh suhu sintering terhadap sifat fisik dan mekanik material sangat penting dalam pengembangan bahan keramik untuk aplikasi biomedis, terutama sebagai pengganti tulang atau cangkok dan memastikan bahwa material keramik yang dihasilkan tidak hanya memiliki kompatibilitas biologis yang baik tetapi juga memiliki kekuatan mekanik yang memadai untuk aplikasi biomedis yang tahan lama dan efektif [36][37].