

**STUDI KRISTALOGRAFI DAN NANOSTRUKTUR  
HIDROKSIAPATIT TER-KO-SUBSTITUSI SR/SE UNTUK  
APLIKASI DALAM MATERIAL *BONE GRAFT* DAN TERAPI  
ANTI-KANKER**

**DESWITA PUTRI SALSABILA**



**DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2024**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



**IPB University**  
Bogor Indonesia

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



### @Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

## PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan skripsi dengan judul “Studi Kristalografi dan Nanostruktur Hidroksiapatit Ter-ko-substitusi Sr/Se untuk Aplikasi dalam Material *Bone Graft* dan Terapi Antikanker” adalah benar karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juni 2024

Deswita Putri Salsabila

G7401201082



## ABSTRAK

DESWITA PUTRI SALSABILA. Studi Kristalografi dan Nanostruktur Hidroksiapatit Ter-ko-substitusi Sr/Se untuk Aplikasi dalam Material *Bone Graft* dan Terapi Antikanker oleh YESSIE WIDYA SARI dan NENDAR HERDIANTO.

Sintesis berbagai biokeramik untuk aplikasi biomedis telah banyak dilakukan karena tingginya kasus cacat tulang. Salah satu sintesis yang sering dilakukan adalah sintesis hidroksiapatit (HA). Penelitian ini bertujuan menyintesis HA dengan memodifikasinya untuk mendapatkan sifat dan fungsi lain yang tidak terdapat dalam HA, seperti antikanker, dengan menambahkan ion  $\text{Sr}^{2+}$  dan  $\text{SeO}_3^{2-}$  menggunakan metode presipitasi kimia basah. Hasil XRD menunjukkan bahwa puncak karakteristik konsisten dengan HA tanpa fase pengotor. Penambahan ion  $\text{Sr}^{2+}$  dan  $\text{SeO}_3^{2-}$  menyebabkan penurunan ukuran kristal, kecuali pada sampel yang dikalsinasi pada suhu 1000 °C. Hasil FTIR menunjukkan keberadaan gugus  $\text{OH}^-$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$  yang mengindikasikan komponen HA. Analisa EDS juga mengonfirmasi keberadaan unsur Sr dan Se dalam HA. Pengamatan TEM pada sampel yang dikalsinasi pada 1000 °C menunjukkan bentuk *spherical* dan peningkatan ukuran partikel seiring bertambahnya ion substitusi akibat peningkatan pertumbuhan kristal pada suhu tinggi. Analisa struktur kristal melalui TEM juga dilakukan untuk mengonfirmasi hasil XRD.

**Kata kunci:** hidroksiapatit, kristal, partikel

@Hak Cipta Antikanker IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

## ABSTRACT

DESWITA PUTRI SALSABILA. *Crystallographic and Nanostructural Studies of Sr/Se Co-substituted Hydroxyapatite for Applications in Bone Graft and Anticancer Therapy*. Supervised by YESSIE WIDYA SARI and NENDAR HERDIANTO.

*The synthesis of various bioceramics for biomedical applications has been widely carried out due to the high number of cases of bone defects. One synthesis that is often carried out is the synthesis of hydroxyapatite (HA). This research aims to synthesize HA by modifying it to obtain properties and functions that are not found in HA, such as anticancer, by adding  $Sr^{2+}$  and  $SeO_3^{2-}$  ions using the wet chemical precipitation method. The XRD results showed that the characteristic peak was consistent with HA without any impurity phases. The addition of  $Sr^{2+}$  and  $SeO_3^{2-}$  ions causes a decrease in crystal size, except in samples calcined at 1000 °C. FTIR results show the presence of  $OH^-$  and  $PO_4^{3-}$  groups which indicate the HA component. EDX analysis also confirmed the presence of Sr and Se elements in SrSeHA. TEM observations on samples calcined at a of 1000 °C showed a spherical shape and an increase in particle size with increasing substitution ions due to increased crystal growth at high temperatures. Crystal structure analysis via TEM was also carried out to confirm the XRD results.*

**Key words:** *hydroxyapatite, crystal, particle*

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2024

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

*Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.*

*Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.*

# **STUDI KRISTALOGRAFI DAN NANOSTRUKTUR HIDROKSIAPATIT TER-KO-SUBSTITUSI SR/SE UNTUK APLIKASI DALAM MATERIAL *BONE GRAFT* DAN TERAPI ANTIANKER**

**DESWITA PUTRI SALSABILA**

Skripsi  
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana pada  
Program Studi Fisika

**DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2024**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



**@Hak cipta milik IPB University**

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

**Tim Penguji pada Ujian Skripsi:**

- 1 Nur Aisyah Nuzulia, S.Si., M.Si.
- 2 Dr. Ir. Irmansyah, S.Si., M.Si.





Judul Skripsi : Studi Kristalografi dan Nanostruktur Hidroksiapatit Ter-ko-substitusi Sr/Se untuk Aplikasi dalam Material *Bone Graft* dan Terapi Antikanker  
Nama : Deswita Putri Salsabila  
NIM : G7401201082

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.  
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Disetujui oleh

Pembimbing 1:  
Dr. Yessie Widya Sari S.Si., M.Si.



---

Pembimbing 2:  
Dr. Nendar Herdianto S.Si., M.Si.



---

Diketahui oleh

Ketua Departemen Fisika:  
Prof.Dr. R. Tony Ibnu Sumaryada, S.Si., M.Si  
NIP. 197205191997021001



---

Tanggal Ujian:  
05 Agustus 2024

Tanggal Lulus:



Dokumen ini ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat dari BSrE, silahkan lakukan verifikasi pada dokumen elektronik yang dapat diunduh dengan melakukan scan QR Code



## PRAKATA

Puji serta Syukur senantiasa penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia, nikmat, dan berkah-Nya sehingga karya ilmiah dengan judul “Studi Kristalografi dan Nanostruktur Hidroksiapatit Ter-ko-substitusi Sr/Se untuk Aplikasi dalam Material *Bone Graft* dan Terapi Antikanker” berhasil diselesaikan.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Dr. Yessie Widya Sari S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing pertama dan Dr. Nendar Herdianto S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing kedua yang telah membimbing dan banyak memberi saran sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik dan lancar. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada para dosen, pegawai, serta karyawan administrasi Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada:

1. Kedua orang tua (Abdurrahman dan Neneng) dan Nazriel, adik saya yang selalu memberikan do’a, kasih sayang, dan dukungan selama proses kuliah hingga penyusunan skripsi.
2. Keluarga besar Fisika angkatan 57 yang selalu menemani dan membantu proses penelitian hingga penulis mampu menyelesaikan penyusunan skripsi.
3. Keluarga besar laboratorium Kimia Basah BRIN Serpong, Pusat Riset Material Maju yang sudah membimbing, memberi saran, dan membantu proses penelitian sehingga penelitian ini berjalan dengan lancar.
4. Lamhot dan Putri yang membantu proses pengolahan data. Dania, Eva, Ala, Danaytha, Hanna, Puji, Delvia, Hodijah, dan Musa yang senantiasa memberikan semangat dalam penyusunan skripsi.

Semoga karya ilmiah ini dapat bermanfaat sebagai referensi bagi pihak yang membutuhkan. Penulis juga berharap penelitian ini bermanfaat bagi kemajuan riset biokeramik di Indonesia.

Bogor, Juni 2024

*Deswita Putri Salsabila*



## DAFTAR ISI

<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	<b>xiii</b>
<b>PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
<b>TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>3</b>
2.1 Kalsium Fosfat dan Hidroksiapatit	3
2.2 Substitusi dan Ko-substitusi Hidroksiapatit	3
2.3 $Sr^{2+}$ dan $SeO_3^{2-}$ Sebagai Ion Substitusi pada Hidroksiapatit	4
2.4 Kristalografi dan Nanostruktur pada Hidroksiapatit Tersubstitusi $Sr^{2+}$ dan $SeO_3^{2-}$	5
<b>III METODE PENELITIAN</b>	<b>13</b>
3.1 Waktu dan Tempat	13
3.2 Alat dan Bahan	13
3.3 Prosedur Kerja	13
3.3.1 Preparasi Sampel HA Ter-ko-substitusi Sr/Se	13
3.3.2 Karakterisasi Material	14
<b>IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>15</b>
4.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	15
4.1.1 Kristalografi	15
4.1.2 Okupansi Atom	19
4.2 <i>Spectroscopy Fourier Transform InfraRed</i> (FTIR)	21
4.3 <i>Energy Dispersive X-Ray</i> (EDX)	24
4.4 <i>High-Resolution Transmission Electron Microscopy</i> (HR-TEM)	25
4.4.1 Morfologi	25
4.4.2 Efek Substitusi Ion terhadap Nilai <i>d-spacing</i>	26
4.5 <i>Particle Size Analysis</i> (PSA)	29
<b>V SIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>31</b>
5.1 Simpulan	31
5.2 Saran	31
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>32</b>

Hak cipta milik IPB University

IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.  
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

**LAMPIRAN**  
**RIWAYAT HIDUP**

*@Hak cipta milik IPB University*

**IPB University**

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.





## DAFTAR TABEL

1	Kristalografi SrSeHA non kalsin	16
2	Kristalografi SrSeHA kalsin 650 °C	17
3	Kristalografi SrSeHA kalsin 1000 °C	19
4	Persen okupansi dari SrSeHA non kalsin	20
5	Persen okupansi dari SrSeHA kalsin 650 °C	20
6	Persen okupansi dari SrSeHA kalsin 1000 °C	21
7	Komposisi unsur dan rasio molar dari SrSeHA non kalsin	25
8	Distribusi ukuran partikel SrSeHA kalsin 1000 °C pada HR-TEM	26
9	Perbandingan nilai <i>d-spacing</i> antara hasil XRD dengan TEM	27
10	Distribusi ukuran partikel pada PSA	29

## DAFTAR GAMBAR

1	Pola XRD dari (a) HA, (b) 2SrHA, (c) 5SrHA, (d) 10SrHA dikalsinasi pada suhu 600 °C selama 2 jam (Stipniece et al. 2021)	6
2	Struktur kristal material hidroksiapatit (HA) (Bootchanont <i>et al.</i> 2017)	7
3	Spektra XANES Sr L3-edge yang dinormalisasikan dari sampel hidroksiapatit yang didoping Sr, spektrum eksperimental dan dihitung, menunjukkan pengganti Sr pada situs Ca1 dan Ca2 di hidroksiapatit (Bootchanont <i>et al.</i> 2017)	7
4	Mikrograf permukaan SEM dari (a) HA, (b) 2SrHA, (c) 5SrHA, (d) cakram 10SrHA dikalsinasi pada suhu 600 °C selama 2 jam (Stipniece <i>et al.</i> 2021)	8
5	Mikrograf TEM dari (a) HA, (b) 2SrHA, (c) 5SrHA, (d) 10SrHA dikalsinasi pada suhu 600 °C selama 2 jam (batang skala 100 nm) (Stipniece <i>et al.</i> 2021)	9
6	(a) Hasil STEM-EDX dari 10SrHA yang dikalsinasi pada suhu 600 °C selama 2 jam menunjukkan keberadaan Sr pada kristal datar dan berbentuk batang, dan (b) menunjukkan spektrum EDX dari titik-titik pada kristal datar dan berbentuk batang (Stipniece <i>et al.</i> 2021)	10
7	Pola XRD sampel HA murni dan Se-HA dengan rasio Se/P berbeda: (a) HA; (b) Se/P = 0,05; (c) Se/P = 0,08; (d) Se/P = 0,1; (e) Se/P = 0,3; (f) Se/P = 0,5; (g) Se/P = 1; (h) Se/P = 3; dan (i) Se/P = 5 (Uskoković <i>et al.</i> 2017)	11
8	(A) Gambar SEM dan (B) Spektrum EDS Se <sub>0,1</sub> HA disintesis dengan perlakuan hidrotermal pada suhu 160 °C selama 36 jam (Zhang <i>et al.</i> 2014)	12
9	Gambar TEM Se <sub>0,1</sub> HA. (A) Gambar dengan pembesaran rendah; (B) gambar pembesaran tinggi dan pola SAED (Zhang <i>et al.</i> 2014)	12
10	Pola XRD sampel SrSeHA non kalsin	16
11	Pola XRD sampel SrSeHA kalsin 650 °C	17
12	Pola XRD sampel SrSeHA kalsin 1000 °C	19
13	Visualisasi SrSeHA 10% non kalsin menggunakan VESTA	21
14	Spektra FTIR sampel SrSeHA non kalsin	22
15	Spektra FTIR sampel SrSeHA kalsin 650 °C	23
16	Spektra FTIR sampel SrSeHA kalsin 1000 °C	24

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

17	Mikrograf TEM SrSeHA kalsin 1000 °C a) SrSeHA 0%, b) SrSeHA 5%, dan c) SrSeHA 10%	26
18	Pola XRD SrSeHA 10% kalsin 1000 °C pada (a) bidang hkl (100), dan (b) bidang hkl (031)	28
19	Mikrograf TEM (a) SrSeHA 0% kalsin 1000 °C (b) struktur kristal pada titik X, dan (c) struktur kristal pada titik Y	28
20	Mikrograf TEM (a) SrSeHA 5% kalsin 1000 °C (b) struktur kristal pada titik M, dan (c) struktur kristal pada titik N	28
21	Mikrograf TEM (a) SrSeHA 10% kalsin 1000 °C (b) struktur kristal pada titik O, dan (c) struktur kristal pada titik P	29
22	Grafik distribusi ukuran partikel SrSeHA 0% (a) non kalsin, (b) kalsin 650 °C, dan (c) kalsin 1000 °C	30
23	Grafik distribusi ukuran partikel SrSeHA 2,5% (a) non kalsin, (b) kalsin 650 °C, dan (c) kalsin 1000 °C	30
24	Grafik distribusi ukuran partikel SrSeHA 5% a) non kalsin, b) kalsin 650 °C, dan c) kalsin 1000 °C	30
25	Grafik distribusi ukuran partikel SrSeHA 10% a) non kalsin, b) kalsin 650 °C, dan c) kalsin 1000 °C	30

## DAFTAR LAMPIRAN

1	Diagram alir pelaksanaan penelitian	35
2	Perhitungan molaritas SrSeHA 0%	36
3	Perhitungan molaritas SrSeHA 2,5%	37
4	Perhitungan molaritas SrSeHA 5%	38
5	Perhitungan molaritas SrSeHA 10%	39
6	Perhitungan nilai <i>d-spacing</i> dan bidang hkl pada sampel SrSeHA 0% kalsin 1000 °C	40
7	Perhitungan nilai <i>d-spacing</i> dan bidang hkl pada sampel SrSeHA 5% kalsin 1000 °C	42
8	Perhitungan nilai <i>d-spacing</i> dan bidang hkl pada sampel SrSeHA 10% kalsin 1000 °C	44