

**SINTESIS HIJAU  $\beta$ -TCP TERDOPING PERAK (Ag) DAN  
SENG (Zn) UNTUK DEGRADASI ZAT WARNA *METHYLENE  
BLUE* DAN *METHYL ORANGE***

**SKRIPSI**

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar*

*Sarjana Sains*



**Oleh:**

**MOLSA VITALOKA PUTRI  
NIM. 21036092/2021**

**PROGRAM STUDI KIMIA  
DEPARTEMEN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG  
2025**

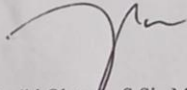
PERSETUJUAN SKRIPSI

SINTESIS HIJAU  $\beta$ -TCP TERDOPING PERAK (Ag) DAN SENG (Zn)  
UNTUK DEGRADASI ZAT WARNA *METHYLENE BLUE* DAN *METHYL  
ORANGE*

Nama : Molsa Vitaloka Putri  
NIM : 21036092  
Program Studi : Kimia  
Departemen : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, November 2025

Mengetahui :  
Kepala Departemen Kimia

  
Budhi Oktawa, S.Si., M.Si., Ph.D  
NIP. 19721024 199803 1 001

Disetujui Oleh :  
Dosen Pembimbing

  
Romy Dwipa Yamesa Away, S.Si., M.Eng., Ph.D  
NIP. 19920518 202203 1 008

**PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI**

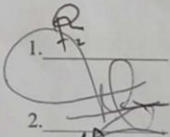
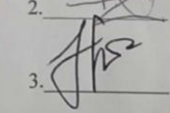
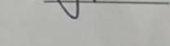
Nama : Molsa Vitaloka Putri  
TM/NIM : 2021/21036092  
Program Studi : Kimia  
Departemen : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**SINTESIS HIJAU  $\beta$ -TCP TERDOPING PERAK (Ag) DAN SENG (Zn)  
UNTUK DEGRADASI ZAT WARNA *METHYLENE BLUE* DAN *METHYL  
ORANGE***

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi  
Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Padang

Padang, November 2025

**Tim Penguji**

| No. | Jabatan | Nama                                           | Tanda Tangan                                                                             |
|-----|---------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | Ketua   | Romy Dwipa Yamesa Away, S.Si.,<br>M.Eng., Ph.D | 1.  |
| 2.  | Anggota | Miftahul Khair, S.Si., M.Sc., Ph.D             | 2.  |
| 3.  | Anggota | Hary Sanjaya, S.Si., M.Si                      | 3.  |

### SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini

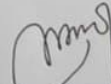
Nama : Molsa Vitaloka Putri  
NIM : 21036092  
Tempat/Tanggal Lahir : Sungai Asam / 15 Oktober 2002  
Program Studi : Kimia  
Departemen : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Judul Skripsi : Sintesis Hijau  $\beta$ -TCP terdoping Perak (Ag) dan Seng (Zn)  
untuk Degradasi Zat Warna *Methylene Blue* dan *Methyl Orange*

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Karya tulis/skripsi ini adalah hasil karya saya dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik (sarjana) baik di UNP maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali tim pembimbing.
3. Pada karya tulis/skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali tertulis dengan jelas dicantumkan pada kepustakaan.
4. Karya tulis/skripsi ini sah apabila telah ditandatangani **Asli** oleh tim pembimbing dan tim penguji.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran di dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima **Sanksi Akademik** berupa pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh karena karya tulis/skripsi ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Padang, November 2025  
Yang Menyatakan



Molsa Vitaloka Putri  
NIM. 21036092

# Sintesis Hijau $\beta$ -TCP terdoping Perak (Ag) dan Seng (Zn) Untuk Degradasi Zat Warna *Methylene Blue* dan *Methyl Orange*

Molsa Vitaloka Putri

## ABSTRAK

Penelitian ini berfokus pada sintesis hijau hidroksiapatit yang dapat terdekomposisi menjadi  $\beta$ -TCP sebagai material biokompatibel dengan aplikasi luas, khususnya sebagai fotokatalis untuk degradasi zat warna.  $\beta$ -TCP dapat disintesis dari sumber daya terbarukan, murah dan mudah didapat yaitu limbah cangkang pensi. Pemanfaatan limbah cangkang pensi sebagai sumber kalsium untuk sintesis  $\beta$ -TCP yang terbentuk dari dehidroksilasi gugus -OH pada hidroksiapatit menawarkan solusi yang ramah lingkungan dan ekonomis. Metode sintesis hidroksiapatit dilakukan melalui metode presipitasi antara larutan  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  yang berasal dari cangkang pensi dengan larutan diammonium hydrogen fosfat  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ , dengan penambahan doping nanopartikel Ag dan Zn yang disintesis dengan ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) sebagai bioreduktor. Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa hidroksiapatit yang disintesis telah terdekomposisi menjadi  $\beta$ -TCP dengan fasa kristalin rhombohedral. Hasil FTIR telah terdeteksi gugus fungsi khas  $\beta$ -TCP yaitu gugus fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Hasil FESEM menunjukkan morfologi aglomerat berbentuk rod-like dengan distribusi ukuran partikel menurun ketika diberi doping Ag dan Zn. EDX-Mapping menunjukkan unsur Ca, P dan O merata diseluruh permukaan  $\beta$ -TCP serta munculnya unsur Ag dan Zn yang tersebar. Uji UV-DRS menunjukkan bahwa daerah serapan  $\beta$ -TCP murni dan  $\beta$ -TCP terdoping Ag dan Zn berkisar diantara 330 nm, 360 nm dan 380 nm dengan band gap yang turun dari 3,5 eV pada  $\beta$ -TCP murni menjadi 3,35 eV dan 3,19 eV pada  $\beta$ -TCP terdoping Zn dan Ag. Data fotokatalis zat warna menunjukkan bahwa  $\beta$ -TCP terdoping Ag menunjukkan efektivitas paling tinggi yaitu 96% pada *methylene blue* dan 88% pada *methyl orange*. Hal ini menunjukkan potensi material ini sebagai fotokatalis yang efektif dan ramah lingkungan.

Kata Kunci : Hidroksiapatit,  $\beta$ -TCP, Fotokatalis, Methylene Blue, Methyl Orange, Cangkang Pensi

# **Green Synthesis of Silver (Ag) and Zinc (Zn) doped $\beta$ -TCP for Degradation of Methylene Blue and Methyl Orange**

**Molsa Vitaloka Putri**

## **ABSTRACT**

This study focuses on the green synthesis of hydroxyapatite that can be decomposed into  $\beta$ -TCP as a biocompatible material with wide applications, particularly as a photocatalyst for dye degradation.  $\beta$ -TCP can be synthesized from renewable, inexpensive, and readily available resources, namely shrimp shell waste. The use of shrimp shell waste as a calcium source for the synthesis of  $\beta$ -TCP, which is formed from the dehydroxylation of the -OH group in hydroxyapatite, offers an environmentally friendly and economical solution. The hydroxyapatite synthesis method was carried out through precipitation between a  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  solution derived from shrimp shells and a diammonium hydrogen phosphate  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  solution, with the addition of Ag and Zn nanoparticle doping synthesized with moringa leaf extract (*Moringa oleifera*) as a bioreductor. XRD analysis results show that the synthesized hydroxyapatite has decomposed into  $\beta$ -TCP with a rhombohedral crystalline phase. FTIR results have detected the characteristic functional group of  $\beta$ -TCP, namely the phosphate group ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). FESEM results showed rod-like agglomerate morphology with decreasing particle size distribution when doped with Ag and Zn. EDX-Mapping showed Ca, P, and O elements evenly distributed across the  $\beta$ -TCP surface and the appearance of scattered Ag and Zn elements. and 380 nm, with band gaps decreasing from 3.5 eV in pure  $\beta$ -TCP to 3.35 eV and 3.19 eV in Zn and Ag-doped  $\beta$ -TCP. The photocatalyst data shows that Ag-doped  $\beta$ -TCP exhibits the highest effectiveness, namely 96% for methylene blue and 88% for methyl orange. This indicates the potential of this material as an effective and environmentally friendly photocatalyst.

**Keywords:** Hydroxyapatite,  $\beta$ -TCP, Photocatalyst, Methylene Blue, Methyl Orange, Clamshell

## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan karunianya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Sintesis Hijau  $\beta$ -TCP terdoping Perak (Ag) dan Seng (Zn) untuk Degradasi Zat Warna *Methylene Blue* dan *Methyl Orange***”. Skripsi ini diajukan untuk memenuhi mata kuliah Tugas Akhir II Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Romy Dwipa Yamesa Away, S.Si., M.Eng., Ph.D. selaku dosen penasehat akademik dan dosen pembimbing Tugas Akhir.
2. Bapak Miftahul Khair, S.Si., M.Sc., Ph.D dan Bapak Hary Sanjaya, S.Si., M.Si selaku dosen pembahas.
3. Bapak Budhi Oktavia, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Kepala Departemen Kimia dan Ketua Program Studi Kimia FMIPA UNP.
4. Bapak dan Ibu dosen serta seluruh staf akademik departemen Kimia FMIPA UNP yang telah banyak membantu penulis selama kegiatan perkuliahan.
5. Teman-teman Departemen Kimia angkatan 2021 yang sama-sama berjuang dan saling mendukung

Akhirnya penulis menyadari dalam pembuatan proposal ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu, penulis mengharapkan masukan dan saran dari pembaca demi sempurnanya skripsi ini. Atas kritik dan saran yang diberikan, penulis mengucapkan terimakasih.

Padang, Mei 2025

## DAFTAR ISI

|                                                                        |            |
|------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ABSTRAK .....</b>                                                   | <b>iv</b>  |
| <b>KATA PENGANTAR.....</b>                                             | <b>vi</b>  |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                                                 | <b>vii</b> |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                                              | <b>ix</b>  |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                              | <b>x</b>   |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>                                           | <b>xi</b>  |
| <b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>                                          | <b>1</b>   |
| A. Latar Belakang .....                                                | 1          |
| B. Identifikasi Masalah.....                                           | 4          |
| C. Batasan Masalah .....                                               | 5          |
| D. Rumusan Masalah .....                                               | 5          |
| E. Tujuan Penelitian .....                                             | 5          |
| F. Manfaat Penelitian .....                                            | 6          |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>                                    | <b>7</b>   |
| A. Sintesis Hijau .....                                                | 7          |
| B. Cangkang Pensi.....                                                 | 10         |
| C. Hidroksiapatit.....                                                 | 12         |
| D. <i>β-Tricalcium phosphate</i> ( $\beta$ -TCP) .....                 | 17         |
| E. Nanopartikel Perak (Ag) dan Seng (Zn) .....                         | 23         |
| F. Doping Nanopartikel Perak (Ag) dan Seng (Zn) pada Hidroksiapati ... | 29         |
| G. Fotokatalis.....                                                    | 31         |
| H. <i>Methylene Blue</i> .....                                         | 34         |
| I. <i>Methyl Orange</i> .....                                          | 35         |
| J. Karakterisasi.....                                                  | 36         |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>                                 | <b>46</b>  |
| A. Waktu dan Tempat Penelitian.....                                    | 46         |
| B. Variabel Penelitian .....                                           | 46         |
| C. Alat dan Bahan.....                                                 | 47         |
| D. Prosedur Penelitian .....                                           | 47         |

|                                                                                                                                                |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>                                                                                                        | <b>52</b> |
| A. Preparasi Cangkang Pensi.....                                                                                                               | 52        |
| B. Analisa XRF.....                                                                                                                            | 53        |
| C. Sintesis Nanopartikel Ag dan Zn dari Ekstrak Daun Kelor ( <i>Moringa oleifera</i> ).....                                                    | 54        |
| D. Sintesis $\beta$ -TCP Murni dan $\beta$ -TCP terdoping Ag dan Zn.....                                                                       | 55        |
| E. Karakterisasi $\beta$ -TCP.....                                                                                                             | 58        |
| F. Fotokatalisis Zat Warna <i>Methylene Blue</i> dan <i>Methyl Orange</i> dengan $\beta$ -TCP terdoping Ag dan $\beta$ -TCP terdoping Zn ..... | 73        |
| <b>BAB V PENUTUP.....</b>                                                                                                                      | <b>82</b> |
| A. Kesimpulan .....                                                                                                                            | 82        |
| B. Saran.....                                                                                                                                  | 83        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>                                                                                                                     | <b>84</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>                                                                                                                           | <b>92</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 1. Sintesis Nanopartikel dengan Ekstrak dari Bagian Tumbuhan .....                                          | 9  |
| Gambar 2. Cangkang Kerang Pensi .....                                                                              | 10 |
| Gambar 3. Struktur Heksagonal Hidroksiapatit .....                                                                 | 13 |
| Gambar 4. Struktur Monoklinik Hidroksiapatit. ....                                                                 | 14 |
| Gambar 5. Struktur $\beta$ -TCP .....                                                                              | 18 |
| Gambar 6. Situs-situs kationik dalam struktur $\beta$ -TCP .....                                                   | 19 |
| Gambar 7. Sintesis Biologis Nanopartikel .....                                                                     | 26 |
| Gambar 8. Mekanisme Reduksi Ion Perak Menjadi Nanopartikel Perak .....                                             | 27 |
| Gambar 9. Mekanisme Reduksi Ion Seng Menjadi Nanopartikel Seng.....                                                | 28 |
| Gambar 10. Daun Kelor .....                                                                                        | 29 |
| Gambar 11. Mekanisme Fotokatalis untuk Degradasi Senyawa Organik dalam Air .....                                   | 32 |
| Gambar 12. Struktur <i>Methylene Blue</i> .....                                                                    | 34 |
| Gambar 13. Struktur <i>Methyl Orange</i> .....                                                                     | 35 |
| Gambar 14. Skema Alat Spektroskopi FTIR .....                                                                      | 36 |
| Gambar 15. Spektrum FTIR (a) Hidroksiapatit, (b) Hidroksiapatit terdoping Zn, (c) Hidroksiapatit terdoping Ag..... | 38 |
| Gambar 16. Pola XRD (a) Hidroksiapatit, (b) Hidroksiapatit terdoping Zn dan (c) Hidroksiapatit terdoping Ag.....   | 39 |
| Gambar 17. Skema SEM.....                                                                                          | 42 |
| Gambar 18. FE-SEM (a) Hidroksiapatit, (b) Hidroksiapatit terdoping Ag dan (c) Hidroksiapatit terdoping Zn .....    | 43 |
| Gambar 19. Serbuk CaO .....                                                                                        | 52 |
| Gambar 20. Hasil Sintesis Nanopartikel Ag (kiri) dan Zn (kanan) dari Ekstrak Daun Kelor .....                      | 54 |
| Gambar 21. Hasil Sintesis Ag- $\beta$ -TCP, $\beta$ -TCP -Murni dan Zn- $\beta$ -TCP.....                          | 56 |
| Gambar 22. Hasil XRD.....                                                                                          | 58 |
| Gambar 23. Data Standar JCPDS No. 09-0432 (Hidroksiapatit) dan JCPDS No. 09-0169 ( $\beta$ -TCP) .....             | 59 |
| Gambar 24. Gambar (A) $\beta$ -TCP-Murni, (B) Ag- $\beta$ -TCP, dan (C) Zn- $\beta$ -TCP .....                     | 64 |
| Gambar 25. Hasil FESEM-EDX (A) $\beta$ -TCP-Murni, (B) Ag- $\beta$ -TCP, (C) Zn- $\beta$ -TCP .....                | 67 |
| Gambar 26. EDX-Mapping (A) $\beta$ -TCP-Murni, (B) Ag- $\beta$ -TCP, (C) Zn- $\beta$ -TCP .....                    | 69 |
| Gambar 27. Distribusi Partikel (A) $\beta$ -TCP-Murni, (B) Ag- $\beta$ -TCP, (C) Zn- $\beta$ -TCP .....            | 70 |
| Gambar 28. Energi Celah Pita $\beta$ -TCP .....                                                                    | 71 |
| Gambar 29. Spektrum UV-DRS $\beta$ -TCP .....                                                                      | 72 |
| Gambar 30. Aktivitas Fotokatalitik $\beta$ -TCP terhadap Zat Warna <i>Methylene Blue</i> .....                     | 75 |
| Gambar 31. Aktivitas Fotokatalitik $\beta$ -TCP terhadap Zat Warna <i>Methyl Orange</i> .....                      | 79 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 1. Hasil Kalsinasi Cangkang Pensi.....                                | 53 |
| Tabel 2. Hasil Analisa XRF CaO dari Cangkang Pensi .....                    | 53 |
| Tabel 3. Hasil Rendemen $\beta$ -TCP.....                                   | 56 |
| Tabel 4. Parameter Kisi dan Ukuran Kristal $\beta$ -TCP dari Hasil XRD..... | 61 |
| Tabel 5. Daerah Serapan Inframerah $\beta$ -TCP .....                       | 62 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Lampiran 1. Desain Penelitian .....                                                                      | 92  |
| Lampiran 2. Preparasi Cangkang Pensi .....                                                               | 93  |
| Lampiran 3. Preparasi Ekstrak Daun Kelor ( <i>Moringa oleifera</i> ) .....                               | 94  |
| Lampiran 4. Sintesis Nanopartikel Ag dan Zn dari Ekstrak Daun Kelor ( <i>Moringa oleifera</i> )<br>..... | 95  |
| Lampiran 5. Sintesis Hidroksiapatit.....                                                                 | 97  |
| Lampiran 6. Degradasi Zat Warna <i>Methylene Blue</i> dan <i>Methyl Orange</i> .....                     | 99  |
| Lampiran 7. Perhitungan Pembuatan Reagen .....                                                           | 101 |
| Lampiran 8. Hasil XRF Cangkang Pensi Setelah Kalsinasi .....                                             | 105 |
| Lampiran 9. Hasil Spektrum FTIR .....                                                                    | 106 |
| Lampiran 10. Data Pengujian XRD .....                                                                    | 108 |
| Lampiran 11. Perhitungan Fotokatalis .....                                                               | 117 |
| Lampiran 12. Dokumentasi Penelitian.....                                                                 | 127 |

# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Pencemaran air merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang semakin mengkhawatirkan seiring dengan pesatnya perkembangan industri. Salah satu sumber pencemaran air yang signifikan berasal dari limbah cair industri yang mengandung zat warna terutama dari sektor tekstil, kosmetik dan percetakan. Hampir 1000.000 ton limbah pewarna berasal dari industri-industri di atas diantaranya adalah *methylene blue* dan *methyl orange* (Rini *et al.*, 2023).

Pewarna adalah molekul aromatik yang sulit terdegradasi. Pewarna ini biasanya dibuat stabil terhadap zat pengoksidasi, sehingga membuatnya lebih tahan terhadap biodegradasi dan menghasilkan konsentrasi pewarna yang tinggi di lingkungan. Orang yang terpapar air yang terkontaminasi untuk waktu yang lama, bahkan dalam jumlah yang sangat rendah berisiko menderita berbagai penyakit seperti sianosis, penyakit kuning, peningkatan detak jantung, nekrosis jaringan hingga kanker (Rini *et al.*, 2023).

Pengembangan teknik yang efisien untuk menghilangkan limbah pewarna sangat penting untuk keseimbangan ekologi. Degradasi fotokatalitik merupakan metode yang efektif dibandingkan metode konvensional seperti oksidasi elektrokimia, adsorpsi, koagulasi dan biodegradasi menggunakan jamur karena tingkat racunnya rendah, dan efisiensi degradasi tinggi serta ramah lingkungan. Fotokatalisis adalah komponen dengan kemampuan untuk memecah berbagai macam bahan organik polutan yang dipengaruhi oleh sifat, morfologi, dan struktur katalis dengan bantuan cahaya (Adhitiyan *et al.*, 2024).

Hidroksiapatit dapat berfungsi sebagai basis atau matriks dalam aplikasi fotokatalis degradasi zat warna. Hidroksiapatit (HAp) adalah bahan biokeramik yang dikenal karena kestabilan dan biokompatibilitasnya, namun memiliki keterbatasan dalam aktivitas fotokatalitik konvensional. Hidroksiapatit dapat terdekomposisi pada suhu  $>750^{\circ}\text{C}$  menjadi  $\beta$ -TCP. Transformasi HAp menjadi  $\beta$ -TCP biasa terjadi akibat suhu kalsinasi tinggi, sehingga hasil akhir bisa saja berupa  $\beta$ -TCP. HAp murni memiliki celah pita (*band gap*) yang relatif besar sehingga aktivitas fotokatalitiknya terbatas. Untuk mengatasi hal ini, dilakukan modifikasi struktur dengan doping seperti Ag dan Zn, yang mampu memperbaiki sifat elektronik dan meningkatkan kemampuan untuk menyerap energi cahaya. Cara ini menjadikan HAp sebagai matriks fotokatalis yang efektif dalam degradasi polutan organik, seperti zat warna berbahaya, melalui mekanisme oksidasi radikal bebas yang dihasilkan saat terpapar cahaya UV maupun cahaya tampak (Adhitiyan *et al.*, 2024).

Proses pembuatan nanopartikel perak (Ag) dan seng (Zn) untuk doping hidroksiapatit memerlukan peralatan yang kompleks, membutuhkan energi yang besar dan biaya yang tinggi. Oleh karena itu, metode *green synthesis* dengan memanfaatkan senyawa metabolit sekunder pada tumbuhan akan lebih aman, ramah lingkungan, dan ketersediannya melimpah di alam sebagai bioreduktor untuk mereduksi ion  $\text{Ag}^+$  dan  $\text{Zn}^{2+}$  menjadi nanopartikel Ag dan Zn (Nurfadia *et al.*, 2024). Gugus OH polifenol memiliki afinitas yang baik terhadap ion logam; oleh karena itu ekstrak tumbuhan banyak digunakan sebagai reduksi, menstabilkan dan agen pengkelat (Kalaiselvi *et al.*, 2018).

Salah satu tumbuhan yang kaya akan senyawa metabolit sekunder adalah daun kelor.

Daun kelor (*Moringa oleifera*) memiliki memiliki banyak senyawa bioaktif seperti: polifenol, alkaloid, tanin, flavonoid, vitamin dan mineral. Banyaknya senyawa bioaktif pada daun kelor dapat bertindak sebagai bioreduktor dalam sintesis hijau nanopartikel perak dan seng, sehingga dapat digunakan lebih lanjut untuk menghilangkan berbagai kontaminan; termasuk logam berat, pewarna, limbah farmasi, pestisida, dan berbagai bahan kimia industri air limbah (Kalaiselvi *et al.*, 2018). Adhitiyan *et al.* (2024) berhasil mensintesis hidroksiapatit terdoping nanopartikel Ag dan Zn dari daun *Canna indica* sebagai bioreduktor untuk degradasi zat warna *methylene blue* dan *rhodamine B*.

Hidroksiapatit dapat disintesis dengan memanfaatkan limbah cangkang pensi untuk mendapatkan kalsium oksida (CaO) sebagai prekursor untuk sintesis hidroksiapatit. Alif *et al.* (2017) berhasil mensintesis hidroksiapatit dari limbah cangkang pensi yang diambil dari sekitaran perairan Danau Maninjau. Pensi biasanya ditangkap untuk diambil bagian isinya dan dikonsumsi sebagai bahan pangan dengan gizi tinggi. Pemanfaatan pensi sebagai mata pencaharian masyarakat mengakibatkan banyak dihasilkannya limbah cangkang pensi yang pada umumnya belum termanfaatkan secara maksimal (Wahyuni *et al.*, 2015). Oleh karena itu, limbah cangkang pensi dikumpulkan dan disintesis menjadi hidroksiapatit melalui metode yang ramah lingkungan yaitu metode presipitasi. Metode ini merupakan metode yang reaksi kimianya relatif sederhana, ukuran partikel yang diperoleh

seringkali sangat baik, komposisi tinggi dapat dengan mudah dicapai pada suhu rendah, prosesnya ekonomis dan sederhana (Adhitiyan *et al.*, 2024).

Dalam penelitian ini, hidroksiapatit dari cangkang pensil terdoping perak (Ag) dan seng (Zn) dapat disintesis melalui metode presipitasi yang selanjutnya hidroksiapatit bisa saja terdekomposisi menjadi  $\beta$ -TCP akibat suhu kalsinasi tinggi. Produk yang dihasilkan akan dikarakterisasi menggunakan FTIR, XRD dan FESEM-EDX untuk mengetahui komposit apa yang terbentuk serta dilihat aktivitas fotokatalitiknya terhadap zat warna *methylene blue* dan *methyl orange*.

## B. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Limbah zat warna *methylene blue* dan *methyl orange* merupakan salah satu sumber pencemaran lingkungan sehingga diperlukan upaya untuk mengatasinya.
2. Kurangnya pengelolaan dan pemanfaatan limbah cangkang pensil yang dihasilkan.
3.  $\beta$ -TCP yang dihasilkan dari sintesis hidroksiapatit memiliki celah pita (*band gap*) yang relatif besar sehingga aktivitas fotokatalitiknya rendah. Sehingga perlu dilakukan modifikasi struktur dengan doping seperti Ag dan Zn.

### C. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Hidroksiapatit disintesis dari limbah cangkang pensi menggunakan metode presipitasi dengan nanopartikel Ag dan Zn sebagai doping yang berbasis bioreduktor ekstrak daun kelor.
2. Hidroksiapatit terdoping nanopartikel Ag dan Zn yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan FTIR, XRD, dan SEM.
3. Hidroksiapatit terdoping nanopartikel Ag dan Zn diaplikasikan sebagai degradasi zat warna pada larutan methylene blue dan methyl orange pada konsentrasi 30 ppm yang dilakukan dibawah sinar UV selama 0, 15, 30, 45, dan 60 menit.

### D. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik hidroksiapatit terdoping Ag dan Zn hasil sintesis dari cangkang pensi dengan menggunakan FTIR, XRD dan SEM?
2. Bagaimana aktivitas fotokatalitik hidroksiapatit dengan doping Ag dan Zn terhadap degradasi zat warna *methylene blue* dan *methyl orange*?

### E. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik hidroksiapatit yang disintesis dari cangkang pensi dengan menggunakan FTIR, XRD dan SEM.
2. Mengetahui aktivitas fotokatalitik hidroksiapatit dengan doping Ag dan Zn terhadap degradasi zat warna *methylene blue* dan *methyl orange*.

## **F. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini yaitu memberikan informasi tentang aktivitas fotokatalitik hidroksiapatit terdoping Ag dan Zn terhadap degradasi zat warna *methylene blue* dan *methyl orange*.

## BAB V

### PENUTUP

#### A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil XRD menunjukkan bahwa munculnya puncak  $\beta$ -TCP dan ukuran kristal berkurang pada hidroksiapatit yang didoping Ag dan Zn. Transformasi dari hidroksiapatit menjadi  $\beta$ -TCP ini justru meningkatkan kristalinitas dan berpotensi meningkatkan aktivitas fotokatalitik karena struktur  $\beta$ -TCP yang lebih terbuka. Karakteristik hasil sintesis  $\beta$ -TCP-Murni, Ag-  $\beta$ -TCP dan Zn-  $\beta$ -TCP dari cangkang pensi melalui analisis FTIR menegaskan adanya gugus khas dari  $\beta$ -TCP yaitu gugus fungsi fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) dan karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). Hasil analisis UV-DRS ditemukan bahwa *band gap*  $\beta$ -TCP turun setelah dilakukan pendopingan oleh Ag dan Zn. Analisis FE-SEM menunjukkan morfologi  $\beta$ -TCP tampak aglomerat berbentuk rod-like. Hasil EDX menunjukkan adanya unsur utama penyusun  $\beta$ -TCP yaitu kalsium (Ca), fosfor (P), dan oksigen (O), serta munculnya unsur Ag dan Zn sebagai tanda keberhasilan doping.
2. Degradasi  $\beta$ -TCP hasil sintesis terhadap zat warna *methylene blue* tertinggi diperoleh pada Ag-  $\beta$ -TCP dengan waktu 120 menit sebesar 96,2%, lalu Zn-  $\beta$ -TCP sebesar 87,5% dan  $\beta$ -TCP-Murni sebesar 76,5%. Degradasi terhadap *methyl orange* didapatkan hasil tertinggi pada Ag-  $\beta$ -TCP juga dengan waktu 120 menit sebesar 88%, Zn-  $\beta$ -TCP sebesar 81,2% dan  $\beta$ -TCP-Murni sebesar 64,7%. Dari hasil yang ditemukan menunjukkan bahwa hasil

sintesis ini didapatkan senyawa  $\beta$ -TCP yang justru menunjukkan hasil degradasi *methylene blue* dan *methyl orange* yang lebih baik daripada hidroksiapatit itu sendiri. Hal ini membuktikan bahwa  $\beta$ -TCP dapat dipakai sebagai fotokatalis yang bagus dan efisien.

## **B. Saran**

Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk menentukan konsentrasi doping optimum yang memberikan aktivitas fotokatalitik tertinggi serta dapat membandingkan secara *head to head* antara hidroksiapatit dengan  $\beta$ -TCP sebagai fotokatalis untuk degradasi zat warna agar dapat hasil lebih maksimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adam, F. (2019). *SINTESIS DAN KARAKTERISASI ZINC OXIDE (ZnO) NANO PARTIKEL DOPING MAGNESIUM (Mg) DAN ALUMINIUM (Al) UNTUK APLIKASI FOTOKATALITIK* (Vol. 11, Issue 1). Universitas Hasanuddin.
- Adhitiyan, T., Dhanaraj, K., Gubendhiran, S., Suresh, G., Thenpandiyan, E., & Prasath, M. (2024). Green synthesized silver and zinc doped hydroxyapatite photocatalysts to remove methylene blue and Rhodamine B dyes from industrial wastewater. *Chemical Physics Impact*, 9(July), 100695. <https://doi.org/10.1016/j.chphi.2024.100695>
- Ahmiatri, S., & Djarwani, S. (2002). Pengaruh Ion Karbonat Dalam Proses Presipitasi Senyawa Kalsium Fosfat. *Makara Journal of Science Volume*, 6(2), 55–58.
- American Chemical Society. (2023). *the-12-Principles-of-Green-Chemistry-Pocket-Guide* (p. 1). <https://www.acs.org/greenchemistry/principles/12-principles-of-green-chemistry.html>
- Anam, C., Sirojudin, & Firdausi, K. S. (2007). Analisis Gugus Fungsi pada Sampel Uji, Bensin, dan Spiritus Menggunakan Metode Spektroskopi FTIR. *Berkala Fisika*, 10(1410–9662), 79–85. [http://eprints.undip.ac.id/1888/1/Analisis\\_Gugus\\_Fungsi\\_Pada\\_Sampel\\_Uji,\\_Bensin\\_dan\\_Spiritus\\_Menggunakan\\_Metode\\_Spektroskopi\\_FTIR.pdf](http://eprints.undip.ac.id/1888/1/Analisis_Gugus_Fungsi_Pada_Sampel_Uji,_Bensin_dan_Spiritus_Menggunakan_Metode_Spektroskopi_FTIR.pdf)
- Anggraeni, N. C. (2022). *SINTESIS HIDROKSIAPATIT (HAp) DARI BATU KAPUR LAMPUNG SELATAN MENGGUNAKAN METODE PRESIPITASI*. Universitas Bandar Lampung.
- Anzano, A., Ammar, M., Papaiani, M., Grauso, L., Sabbah, M., Capparelli, R., & Lanzotti, V. (2021). Moringa oleifera lam.: A phytochemical and pharmacological overview. *Horticulturae*, 7(10), 1–25. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7100409>
- Asadi, N. (1991). Scanning Electron Microscopy (SEM). In *Physical Inspection and Attacks on ElectronicS (PHIKS)*.
- Bararah, G. S. (2021). *BIODEKOLORISASI PEWARNA METIL ORANYE OLEH Pseudomonas aeruginosa BIODECOLORIZATION OF METHYL ORANGE BY Pseudomonas aeruginosa*.
- Benitez-Maldonado, D. V., García-Díaz, E., Sabinas-Hernández, S. A., Silva-González, R., & Robles-Águila, M. J. (2022). Zinc-doped hydroxyapatite: an UVA light photocatalyst for the removal of bisphenol A. *New Journal of Chemistry*, 46(26), 12623–12631. <https://doi.org/10.1039/d2nj01621d>
- Böhme, N., Hauke, K., Dohrn, M., Neuroth, M., & Geisler, T. (2022). High-temperature phase transformations of hydroxylapatite and the formation of silicocarnotite in the hydroxylapatite–quartz–lime system studied in situ and in operando by Raman spectroscopy. *Journal of Materials Science*, 57(32), 15239–15266. <https://doi.org/10.1007/s10853-022-07570-5>

- Bramantyo, A. K. (2021). SINTESIS NANOKOMPOSIT  $\text{TiO}_2$ -rGO-AgNPs DAN APLIKASINYA UNTUK DEGRADASI FOTOKATALITIK METHYL ORANGE JURNAL TUGAS AKHIR. *Institute Teknologi Sains Bandung*, September.
- Ciobanu, C. S., Iconaru, S. L., Le Coustumer, P., Constantin, L. V., & Predoi, D. (2012). Antibacterial activity of silver-doped hydroxyapatite nanoparticles against gram-positive and gram-negative bacteria. *Nanoscale Research Letters*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-7-324>
- Corno, M., Busco, C., Civalleri, B., & Ugliengo, P. (2006). Periodic ab initio study of structural and vibrational features of hexagonal hydroxyapatite  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ . *Physical Chemistry Chemical Physics*, 8, 2464–2472.
- Costa, S. L. O., Silva, P. F., Carvalho, G. K. G., Almeida, Y. B. A., Farias, J. R. S., & Braga, A. S. N. (2021). A Brief review of Beta Tricalcium Phosphate ( $\beta$ -TCP) Doped with Metal Ions. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 10(8), 333–344. [www.ajer.org](http://www.ajer.org)
- Daratika, D. A. (2016). *Sintesis Nanopartikel  $\text{Zn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}$  dengan Metode Kopresipitasi* (Vol. 07, Issue 02) [Institut Teknologi Sepuluh Nopember]. [https://scholar.google.com/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=en&user=2Q8yawsAAAAJ&pagesize=100&citation\\_for\\_view=2Q8yawsAAAAJ:2P1L\\_qKh6hAC](https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=2Q8yawsAAAAJ&pagesize=100&citation_for_view=2Q8yawsAAAAJ:2P1L_qKh6hAC)
- Darmawan, P. R. (2013). *Pengaruh Ion  $\text{NO}_3^-$  Terhadap Degradasi Methyl Orange Menggunakan Fotokatalis  $\text{TiO}_2$ -Bentonit*. Universitas Brawijaya.
- Dhanaraj, K., & Suresh, G. (2018). Conversion of waste sea shell (Anadara granosa) into valuable nanohydroxyapatite (nHAp) for biomedical applications. *Vacuum*, 152, 222–230. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2018.03.021>
- Eknapakul, T., Jiamprasertboon, A., Amonpattaratkit, P., Pimsawat, A., Daengsakul, S., Tanapongpisit, N., Saenrang, W., Bootchanont, A., Wannaphaphai, P., Phetrattanarangsi, T., Boonchuduang, T., Khamkongkao, A., & Yimnirun, R. (2024). Unraveling the structural complexity of and the effect of calcination temperature on calcium phosphates derived from *Oreochromis niloticus* bones. *Heliyon*, 10(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29665>
- Elbashir, S., Salh, R., & Andersson, B. M. (2025). The impact of  $\text{Zn}^{2+}$  doping in modifying the surface, structural, and photocatalytic properties of  $\beta$ - $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ . *Journal of Colloid and Interface Science*, 698(May), 138022. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2025.138022>
- Elbasuney, S., El-Sayyad, G. S., Radwan, S. M., & Correa-Duarte, M. A. (2022). Antimicrobial, and Antibiofilm Activities of Silver Doped Hydroxyapatite: A Novel Bioceramic Material for Dental Filling. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 32(12), 4559–4575. <https://doi.org/10.1007/s10904-022-02459-x>

- Faber, P., Ronald, A., & Millar, B. W. (2005). Methylthioninium chloride: Pharmacology and clinical applications with special emphasis on nitric oxide mediated vasodilatory shock during cardiopulmonary bypass. *Anaesthesia*, 60(6), 575–587. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2044.2005.04185.x>
- Fajri, N., Putri, L. F. A., Prasetyo, M. R., Azizah, N., Pratama, Y., & Susanto, N. C. A. (2021). Potensi batang pisang (Musaparakisacal) sebagai bioreduktor dalam green sintesis Ag nanopartikel Nadiatul. *Jurnal Penelitian Sains*, 21(3), 163–167.
- Fernandes, M. H., Alves, M. M., Cebotarencu, M., Ribeiro, I. A. C., Grenho, L., Gomes, P. S., Carmezim, M. J., & Santos, C. F. (2020). Citrate zinc hydroxyapatite nanorods with enhanced cytocompatibility and osteogenesis for bone regeneration. *Materials Science and Engineering C*, 115(May), 111147. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.111147>
- Glazov, I. E., Krut'ko, V. K., Safronova, T. V., Sazhnev, N. A., Kil'deeva, N. R., Vlasov, R. A., Musskaya, O. N., & Kulak, A. I. (2023). Formation of Hydroxyapatite-Based Hybrid Materials in the Presence of Platelet-Poor Plasma Additive. *Biomimetics*, 8(3), 0–11. <https://doi.org/10.3390/biomimetics8030297>
- Hassaan, M. A., El-Nemr, M. A., Elkatory, M. R., Ragab, S., Niculescu, V. C., & El Nemr, A. (2023). Principles of Photocatalysts and Their Different Applications: A Review. In *Topics in Current Chemistry* (Vol. 381, Issue 6). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s41061-023-00444-7>
- I'anutul, W., Wardhani, S., & Darjito. (2014). Sintesis Hidroksiapatit Dari Tulang Sapi Dengan Metode Pengendapan Basah. *Kimia Student Journal*, 1(1), 92–97.
- Ismail, A. A., & Bahnemann, D. W. (2014). Photochemical splitting of water for hydrogen production by photocatalysis: A review. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 128, 85–101. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2014.04.037>
- Junnarkar, M. V., Sawant, P. V., Parekar, M. A., Kardile, A. V., Thorat, A. B., Joshi, R. P., & Mene, R. U. (2024). Silver-blend hydroxyapatite bio-ceramics for enhanced photocatalytic degradation of methylene blue. *Academia Materials Science*, 1(2), 1–11. <https://doi.org/10.20935/acadmatsci6240>
- Kalaiselvi, V., Mathammal, R., Vijayakumar, S., & Vaseeharan, B. (2018). Microwave assisted green synthesis of Hydroxyapatite nanorods using Moringa oleifera flower extract and its antimicrobial applications. *International Journal of Veterinary Science and Medicine*, 6(2), 286–295. <https://doi.org/10.1016/j.ijvsm.2018.08.003>
- Kamieniak, J., Kelly, P. J., Banks, C. E., & Doyle, A. M. (2018). Mechanical, pH and Thermal Stability of Mesoporous Hydroxyapatite. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 28(1), 84–91. <https://doi.org/10.1007/s10904-017-0652-3>

- Khalifa, Z. S., & Shaban, M. (2023). Blue Dyes by Engineering the Surface Nano-Textures of TiO<sub>2</sub>. *Molecules*, 28.
- Koutsopoulos, S. (2002). Synthesis and characterization of hydroxyapatite crystals: A review study on the analytical methods. *Journal of Biomedical Materials Research*, 62(4), 600–612. <https://doi.org/10.1002/jbm.10280>
- Lakrat, M., Azzaoui, K., Jodeh, S., Akartasse, N., Mejdoubi, E., Lamhamdi, A., Berrabah, M., Hamed, O., Razzouki, B., & Algarra, M. (2017). The removal of methyl orange by nanohydroxyapatite from aqueous solution: Isotherm, kinetics and thermodynamics studies. *Desalination and Water Treatment*, 85, 237–249. <https://doi.org/10.5004/dwt.2017.21260>
- Liu, W., Qian, G., Zhang, B., Liu, L., & Liu, H. (2016). Facile synthesis of spherical nano hydroxyapatite and its application in photocatalytic degradation of methyl orange dye under UV irradiation. *Materials Letters*, 178, 15–17. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2016.04.175>
- Lytkina, D., Gutsalova, A., Fedorishin, D., Korotchenko, N., Akhmedzhanov, R., Kozik, V., & Kurzina, I. (2020). *Synthesis and Properties of Zinc-Modified Hydroxyapatite*. 1–12.
- Maarebia, R. Z. (2015). SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOPARTIKEL PERAK DENGAN MENGGUNAKAN EKSTRAK AIR UMBI SARANG SEMUT (*Myrmecodia pendans*) UNTUK SENSOR KADAR GLUKOSA DARA. *Analisis Standar Pelayanan Minimal Pada Instalasi Rawat Jalan Di RSUD Kota Semarang*, 3, 103–111.
- Malau, N. D. (2021). Manufacture and Characterization of Hydroxyapatite from Quail Eggshell Using Precipitation Methods. *International Journal of Progressive Science and Technologies (IJPSAT)*, 29(1), 484–490.
- Mallarangi, M. (2023). Analisis Struktur Hidroksiapatit dari Cangkang Kerang Darah (*Anadara granosa*). In *Universitas Hasanuddin: Vol. VIII* (Issue I).
- Manikandan, K., Kumar, N. D., Velmurugan, R., Gokulnath, M., Parvathy, S., Ayyar, M., Swaminathan, M., Prabhu, P., Alhuthali, A. M. S., Abdellattif, M. H., Haldhar, R., & Hossain, M. K. (2025). Enhanced efficiency of zinc oxide hydroxyapatite nanocomposite in photodegradation of methylene blue, ciprofloxacin, and in wastewater treatment. *Scientific Reports*, 15(1), 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-14310-7>
- Mondal, S., Mondal, B., Dey, A., & Mukhopadhyay, S. S. (2012). Studies on Processing and Characterization of Hydroxyapatite Biomaterials from Different Bio Wastes. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 11(01), 55–67. <https://doi.org/10.4236/jmmce.2012.111005>
- Mustamin, A. I., & Djam'an, N. (2024). *Analisis Unsur Logam pada Sampel ORE dengan Metode XRF di PT Huayue Nickel Cobalt*. Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Nurfadia, V. H., Anjas, A. W., & Royani, S. (2024). Green Synthesis Nanopartikel Perak (NPAg) Menggunakan Ekstrak Etanol 96% Daun Kelor (*Moringa*

- oleifera) Sebagai Antibakteri. *The Journal Of Pharmacy ...*, 1(2), 146–156. <https://ejurnal.umri.ac.id/index.php/JFMu/article/view/7585>
- Nurlaela, A., Dewi, S. U., Dahlan, K., & Soejoko, D. S. (2014). Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Ayam dan Bebek Sebagai Sumber Kalsium Untuk Sintesis Mineral Tulang. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia (Indonesian Journal of Physics Education)*, 10(1), 81–85. <https://doi.org/10.15294/jpfi.v10i1.3054>
- Ofudje, E. A., Adeogun, A. I., Idowu, M. A., & Kareem, S. O. (2019). Synthesis and characterization of Zn-Doped hydroxyapatite: scaffold application, antibacterial and bioactivity studies. *Heliyon*, 5(5), e01716. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01716>
- Oladele, I. O., Adekola, S. A., Agbeboh, N. I., Isola-Makinde, B. A., & Adewuyi, B. O. (2024). Synthesis and Application of Sustainable Tricalcium Phosphate Based Biomaterials From Agro-Based Materials: A Review. *Biomedical Engineering and Computational Biology*, 15. <https://doi.org/10.1177/11795972241293525>
- Patriela, M., Sanjaya, H., & Budiman, S. (2024). Pengaruh Penambahan Diethanolamine ( DEA ) Pada SnO 2 Dalam Degradasi Methyl Orange. *Gudang Jurnal Multidisiplin Ilmu*, 2(2), 22–24. <https://gudangjurnal.com/index.php/gjmi>
- Phatai, P., Prachumrak, N., Kamonwannasit, S., Kamcharoen, A., Roschat, W., Phewphong, S., Futralan, C. M., Khemthong, P., Butburee, T., Youngjan, S., Millare, J. C., & Prasitnok, O. (2022). Zinc-Silver Doped Mesoporous Hydroxyapatite Synthesized via Ultrasonic in Combination with Sol-Gel Method for Increased Antibacterial Activity. *Sustainability (Switzerland)*, 14(18), 1–14. <https://doi.org/10.3390/su141811756>
- Prabaningtyas, R. A. M. S. (2017). Karakterisasi Hidroksiapatit dari Kalsit (PT. Dwi Selo Giri Mas Sidoarjo) Sebagai Bon Graft Sintesis Menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) dan Fourier Transform Infra Red (FTIR). *Digital Repostpry Universitas Jember*, 3(3), 96–104.
- Puspitasari, C. (2018). Sintesis Nanopartikel Seng Oksida (ZnO-NP) Menggunakan Ekstrak Kulit Buah Naga Merah ( Hylocereus pholyrhizus ). *Skripsi*, 1–67.
- Rahmawati, Suwito, & Mangiwa, S. (2020). Sintesis dan Karakterisasi Hidroksiapatit dari Cangkang Telur Ayam. *AVOGADRO Jurnal Kimia*, 4(2), 108–116.
- Rahmayeni, Wendari, T. P., Ramadani, S., Stiadi, Y., Sofyan, N., & Zulhadjri. (2023). CuFe2O4/hydroxyapatite magnetic nanocomposite synthesized using pensi clam shells as a source of calcium for degradation of dye and antibacterial applications. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8(September), 100482. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2023.100482>
- Ramadhani, A. A. N. (2020). KARAKTERISASI MORFOLOGI dan RASIO Ca P

*HIDROKSIAPATIT TULANG IKAN CAKALANG (KATSUWONUS PELAMIS)*. Universitas Brawijaya.

- Rasyid, R. (2011). *Perbandingan X-Ray Fluorescence (XRF) Dan Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrophotometer (ICP-OES) Untuk Analisis Nikel Dan Besi Dalam Sampel Converter Slag Pada Industri Pertambangan Nikel*.
- Rhamdiyah, F. K., & Maharani, D. K. (2022). Biosynthesis of ZnO Nanoparticles from Aqueous Extract of Moringa Oleifera L.: Its Application as Antibacterial and Photocatalyst. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 11(2), 91–102. <https://doi.org/10.15294/ijcs.v11i2.52498>
- Rini, N. P., Istiqomah, N. I., Sunarta, & Suharyadi, E. (2023). Enhancing photodegradation of methylene blue and reusability using CoO/ZnO composite nanoparticles. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 7(November 2022), 100301. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100301>
- Rosmilasari. (2022). *SINTESIS NANOPARTIKEL ZnO/Ag PADA RUANG TEMPERATUR MENGGUNAKAN TEKNIK PULSED LASER ABLATION IN LIQUID (PLAL) UNTUK DEGRADASI ZAT WARNA LIMBAH TEKSTIL INDUSTRI*. Universitas Hasanuddin.
- Rumengan, F. S. (2017). SINTESIS DAN KARAKTERISASI HIDROKSIAPATIT  $[Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2]$  DARI BATU KAPUR DENGAN METODE SOL-GEL. In *Universitas Hasanuddin*. Universitas Hasanuddin.
- Sadhukhan, B., Mondal, N. K., & Chatteraj, S. (2016). Optimisation using central composite design (CCD) and the desirability function for sorption of methylene blue from aqueous solution onto Lemna major. *Karbala International Journal of Modern Science*, 2(3), 145–155. <https://doi.org/10.1016/j.kijoms.2016.03.005>
- Sahadat Hossain, M., Shaikh, M. A. A., Uddin, M. N., Bashar, M. S., & Ahmed, S. (2023). B-Tricalcium Phosphate Synthesized in Organic Medium for Controlled Release Drug Delivery Application in Bio-Scaffolds. *RSC Advances*, 13(38), 26435–26444. <https://doi.org/10.1039/d3ra04904c>
- Sainz, M. A., Serena, S., & Caballero, A. (2023). Synthesis and properties of Zn and Zn–Mg-doped tricalcium phosphates obtained by Spark Plasma Sintering. *Ceramics International*, 49(12), 19569–19577. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2023.03.104>
- Saputra, F., Fadli, A., & Amri, A. (2016). Kinetika Reaksi pada Sintesis Hidroksiapatit dengan Metode Presipitasi. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik*, 3(1), 3–6.
- Sari, R. N., Saridewi, N., & Shofwatunnisa, S. (2017). Biosynthesis and Characterization of ZnO Nanoparticles with Extract of Green Seaweed Caulerpa sp. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*, 19(1), 17. <https://doi.org/10.22146/jfs.24488>

- Saxena, A., Tripathi, R. M., & Singh, R. P. (2010). Biological synthesis of silver nanoparticles by using onion (*Allium cepa*) extract and their antibacterial activity. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 5(2), 427–432.
- Silviyanti, I. (2012). Pengolahan Zat Warna Tekstil Hingga Metil menggunakan Bentonit Terpillar TiO<sub>2</sub>. *Skripsi*, 1–94.
- Sinusaite, L., Popov, A., Antuzevics, A., Mazeika, K., Baltrunas, D., Yang, J. C., Horng, J. L., Shi, S., Sekino, T., Ishikawa, K., Kareiva, A., & Zarkov, A. (2020). Fe and Zn co-substituted beta-tricalcium phosphate ( $\beta$ -TCP): Synthesis, structural, magnetic, mechanical and biological properties. *Materials Science and Engineering C*, 112(April), 110918. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.110918>
- Suresh Kumar, C., Dhanaraj, K., Vimalathithan, R. M., Ilaiyaraja, P., & Suresh, G. (2020). Hydroxyapatite for bone related applications derived from sea shell waste by simpleprecipitation method. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 8(2), 416–429. <https://doi.org/10.1080/21870764.2020.1749373>
- Suryadi. (2011). *Sintesis dan Karakterisasi Biomaterial Hidroksiapatit dengan Proses Pengendapan Kimia Basah*. Universitas Indonesia.
- Taraschewski, M., Cammenga, H. K., Tuckermann, R., & Bauerecker, S. (2005). FTIR Study of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O/CO<sub>2</sub> nanoparticles and their temporal evolution at 80 K. *Journal of Physical Chemistry A*, 109(15), 3337–3343. <https://doi.org/10.1021/jp044075r>
- Umrath, F., Schmitt, L. F., Kliesch, S. M., Schille, C., Geis-Gerstorfer, J., Gurewitsch, E., Bahrini, K., Peters, F., Reinert, S., & Alexander, D. (2023). Mechanical and Functional Improvement of  $\beta$ -TCP Scaffolds for Use in Bone Tissue Engineering. *Journal of Functional Biomaterials*, 14(8). <https://doi.org/10.3390/jfb14080427>
- Vinayagam, R., Kandati, S., Murugesan, G., Goveas, L. C., Baliga, A., Pai, S., Varadavenkatesan, T., Kaviyarasu, K., & Selvaraj, R. (2023). Bioinspiration synthesis of hydroxyapatite nanoparticles using eggshells as a calcium source: Evaluation of Congo red dye adsorption potential. *Journal of Materials Research and Technology*, 22, 169–180. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.11.093>
- Wahid, R. S. A., Marsudi, L. O., & Raudah, S. (2021). Uji Senyawa Komponen Bioaktif dan Kadar Total Flavonoid Ekstrak Daun Kelor (*Moringa oleifera*). *Teknologi Laboratorium Medik Borneo*, 1(1), 1–7.
- Wahyuni, S., Darvina, Y., & Ramli. (2015). Optimalisasi Temperatur Kalsinasi Untuk Mendapatkan Kalsit- Mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA UNP Staff Pengajar Jurusan Fisika FMIPA UNP. *Pillar of Physics*, 6, 81–88.
- Wang, X., Huang, S., & Peng, Q. (2023). Metal Ion-Doped Hydroxyapatite-Based Materials for Bone Defect Restoration. *Bioengineering*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/bioengineering10121367>
- Wardani, N. S., Fadli, A., & Irdoni. (2015). Sintesis Hidroksiapatit dari Cangkang

Telur dengan Metode Presipitasi. *JOM FTEKNIK*, 2(1), 1–9.

Wawro, D., & Pighinelli, L. (2011). Chitosan fibers modified with HAp/ $\beta$ -TCP nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciences*, 12(11), 7286–7300. <https://doi.org/10.3390/ijms12117286>

Zainul, R., Aziz, H., & Arief, S. (2020). Fotokatalis dan Fototransformasi Asam Humat. In *CV Berkah Prima*.

Zaleska, A. (2008). Doped-TiO<sub>2</sub>: A Review. *Recent Patents on Engineering*, 2(3), 157–164. <https://doi.org/10.2174/187221208786306289>

Zeswita, A. L., & Safitri, E. (2015). KARAKTER MORFOMETRIK PENSI (Corbicula moltkiana Prime) PADA DUA EKOSISTEM YANG BERBEDA. *BioCONCETA*, 1(2), 49–58.