

**SINTESIS NANOZIRKONIA (ZrO_2) DARI ZIRKONIL
KLORIDA BERBASIS PASIR ZIRKON MENGGUNAKAN
METODE PENGENDAPAN**

**Skripsi
Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana Kimia**



Naufalia Syafa Nurfadhia

20106030045

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2025**

HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-261/Un.02/DST/PP.00.9/02/2025

Tugas Akhir dengan judul : Sintesis Nanozirkonia (ZrO_2) Dari Zirkonil Klorida Berbasis Pasir Zirkon Menggunakan Metode Pengendapan

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : NAUFALIA SYAFA NURFADHIA
Nomor Induk Mahasiswa : 20106030045
Telah diujikan pada : Jumat, 24 Januari 2025
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Karmanto, S.Si., M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 679af4e0a83d1



Penguji I

Prof. H. Samin Prihatin
SIGNED

Valid ID: 679b2dc0898db



Penguji II

Didik Krisdiyanto, S.Si., M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 679ace8e52cc6



Yogyakarta, 24 Januari 2025
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 67a12c0e1426e

SURAT PERSETUJUAN TUGAS AKHIR



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Naufalia Syafa Nurfadhia

NIM : 20106030045

Judul Skripsi : Sintesis Nanozirkonia (ZrO_2) Dari Zirkonil Klorida Berbasis Pasir Zirkon Menggunakan Metode Pengendapan

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Kimia.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Yogyakarta, 17 Januari 2025

Pembimbing

Karmanto, S.Si., M.Sc.

NIP: 19820504 200912 1 005

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Naufalia Syafa Nurfadhia
NIM : 20106030045
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Sintesis Nanozirkonia (ZrO_2) Dari Zirkonil Klorida Berbasis Pasir Zirkon Menggunakan Metode Pengendapan**" merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjana di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 17 Januari 2025



Naufalia Syafa Nurfadhia
NIM. 20106030045

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN MOTTO

**“Science without religion is lame, religion without science is blind”
(Albert Einstein)**

**“Libatkan Allah SWT dalam segala proses yang dilewati dan yakin bahwa
pertolongan-Nya pasti datang di waktu yang kita butuhkan”**

(Naufalia Syafa Nurfadhia)

**“Move forward, because good things are up ahead”
(Anonim)**



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

**Skripsi ini penulis persembahkan untuk:
Diri sendiri, Alm. Bapak, Ibu, Mba, dan Semua Anggota Keluarga
Serta Almamater Program Studi Kimia
UIN Sunan Kalijaga**



KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat dan pertolongan-Nya, sehingga skripsi yang berjudul “Sintesis Nanozirkonia (ZrO_2) Dari Zirkonil Klorida Berbasis Pasir Zirkon Menggunakan Metode Pengendapan” dapat diselesaikan sebagaimana menjadi persyaratan dalam mencapai derajat Sarjana Kimia. Shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW dan semoga kita mendapat syafaatnya. Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah terlibat dalam penyusunan skripsi ini sampai dengan selesai. Penyusunan ini membutuhkan waktu yang cukup lama, sehingga penulis juga ucapkan terima kasih secara khusus kepada:

1. Alm. Bapak, Ibu, Mba, dan keluarga atas segala do'a, dukungan dan motivasinya selama penulis menyelesaikan skripsi ini.
2. Ibu Prof. Dr. Maya Rahmayanti, M.Si. selaku Ketua Program Studi Kimia yang sudah memberikan dukungan, do'a dan motivasi kepada seluruh mahasiswa/i Kimia di UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Bapak Karmanto, S.Si., M.Sc. dan Bapak Prof. Drs. Samin Prihatin selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah memberikan banyak nasihat, saran, dan dukungan, serta sabar dalam membimbing penulis menyelesaikan penelitian dan skripsi ini.
4. Bapak Indra Nafiyanto, S.Si. selaku Pranata Laboratorium Kimia UIN Sunan Kalijaga yang telah memberikan arahan dan saran selama penelitian.
5. Siska Putri Rahmadianingrum, Liza Abelia Putri, Latifah Multi Nafida, dan Febbyancha Armithyas Garcia selaku teman satu bimbingan yang telah memberikan saran selama penulis menyelesaikan skripsi ini.
6. Nada Hamida, Dede Siska Apriliani, Mutik Ulya Audita, Shintiana Amalia, dan teman-teman lainnya dari Kimia 2020 yang menjadi tempat untuk penulis mencurahkan segala kendala yang dihadapi.
7. Teman-teman penelitian di Laboratorium Terpadu Kimia UIN Sunan Kalijaga yang saling memberikan dukungan dan motivasi dalam menyelesaikan penelitian.
8. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu atas bantuannya dalam penyelesaian skripsi ini.

Demikian skripsi ini penulis selesaikan, kritik dan saran sangat penulis harapkan. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya bidang ilmu kimia.

Yogyakarta, 17 Januari 2025

Naufalia Syafa Nurfadhia

20106030045

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	ii
SURAT PERSETUJUAN TUGAS AKHIR	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iv
HALAMAN MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
INTISARI.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Batasan Masalah.....	5
C. Rumusan Masalah	6
D. Tujuan Penelitian.....	6
E. Manfaat Penelitian.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	8
A. Tinjauan Pustaka	8
B. Landasan Teori.....	13
1. Zirkonium.....	13
2. Natrium Hidroksida.....	14
3. Nanopartikel.....	15
4. Metode Pengendapan	17
5. <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	19
6. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	20
7. <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR)	22
8. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	24
C. Kerangka Berpikir dan Hipotesis	26
BAB III METODE PENELITIAN.....	29

A.	Waktu dan Tempat Penelitian	29
B.	Alat-alat Penelitian	29
C.	Bahan Penelitian	29
D.	Cara Kerja Penelitian.....	29
1.	Preparasi Bahan Baku (Anukorn Phuruangrat dkk., 2020).....	29
2.	Optimasi pH Pengendapan (Haruda dkk., 2016; Setiawan & Suciati, 2017)	30
3.	Optimasi Konsentrasi NaOH (Pangestu dkk., 2021)	30
4.	Optimasi Waktu Pengadukan (Gayathri & Balan, 2021).....	31
5.	Optimasi Waktu Kalsinasi (Samin, 2016; Setiawan & Suciati, 2017) ...	31
6.	Karakterisasi Nanozirkonia (Pereira dkk., 2015; Rinanti dkk., 2021)....	31
E.	Teknis Analisis Data	32
1.	Konsentrasi Zirkonil Klorida dan Natrium Hidroksida	32
2.	Ukuran Kristal Hasil XRD.....	33
3.	Derajat Kristalinitas Hasil XRD	33
4.	Indeks Kristalinitas Hasil XRD	33
5.	Menentukan Efisiensi Konsentrasi Nanozirkonia.....	34
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	35
5.1	Preparasi Bahan Baku	37
5.2	Sintesis Nanozirkonia	38
5.3	Optimasi Formulasi Sintesis Nanozirkonia Menggunakan $ZrOCl_2$ Merck	45
5.4	Optimasi Waktu Kalsinasi Nanozirkonia Menggunakan $ZrOCl_2$ CRM.....	52
5.5	Analisis Hasil Karakterisasi Sintesis Nanozirkonia.....	53
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	62
A.	Kesimpulan.....	62
B.	Saran	63
DAFTAR PUSTAKA		64
LAMPIRAN		72
CURRICULUM VITAE		95

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Standar Kualitas Kemurnian ZrO_2 99,5% untuk Reaktor Nuklir (Rinanti dkk., 2021).....	14
Tabel 4. 1 Interpretasi hasil uji XRD nanozirkonia Merck dan CRM	56
Tabel 4. 2 Hasil uji XRF dan hasil hitung efisiensi (%) melalui pendekatan stoikiometri.....	60



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Hubungan Tingkat Kemurnian terhadap Harga Jual Zirkonium di China (Rinanti dkk., 2021)	1
Gambar 2. 1 Struktur kristal Zirkonia (ZrO_2) (Nisticò, 2021)	14
Gambar 2. 2 Contoh Pengukuran Nanopartikel Bulat dan Non-bulat (Modena dkk., 2019).....	16
Gambar 2. 3 Garis dan Transisi Elektron yang Mewakili Koordinat Kuantum (González dkk., 2024)	20
Gambar 2. 4 Prinsip Kerja XRF (González dkk., 2024)	20
Gambar 2. 5 Prinsip Kerja XRD (Fetisov, 2020; Khan dkk., 2020)	22
Gambar 2. 6 Pembacaan Powder Kristalin Melalui Detektor 2D (Fetisov, 2020)	22
Gambar 2. 7 Skema Diagram Analisis FTIR (Titus dkk., 2019)	23
Gambar 2. 8 Prinsip Kerja SEM (Sujatno dkk., 2017).....	25
Gambar 2. 9 Contoh Hasil Uji SEM dari Sampel Zirkonia pada Keramik (Chitoria dkk., 2023).....	26
Gambar 4. 1 a. Kristal Zirkon dan b. Zirkonium Metalik dengan Perbesaran Optik (Arnold, 2022)	35
Gambar 4. 2 a) $ZrOCl_2$ CRM dan b) $ZrOCl_2$ Merck	36
Gambar 4. 3 Reaksi pembentukan $ZrO(OH)_2$ sebagai kandidat ZrO_2 (Shokry dkk., 2019).....	40
Gambar 4. 4 a) Pelarutan $ZrOCl_2$ menggunakan akuades; b) Pembentukan $ZrO(OH)_2$ sebagai koloid; dan c) Pembentukan endapan $Zr(OH)_4$	41
Gambar 4. 5 Endapan $Zr(OH)_4$ setelah didiamkan selama 24 jam	42
Gambar 4. 6 a) Proses penyaringan endapan $Zr(OH)_4$; b) Endapan $Zr(OH)_4$ setelah penyaringan	43
Gambar 4. 7 a) $Zr(OH)_4$ CRM setelah proses pengeringan; b) ZrO_2 setelah proses kalsinasi	44
Gambar 4. 8 Grafik perubahan pH terhadap penambahan volume NaOH	46
Gambar 4. 9 Grafik optimasi pH pengendapan terhadap massa akhir $Zr(OH)_4$...	47
Gambar 4. 10 Grafik optimasi konsentrasi NaOH terhadap massa akhir $Zr(OH)_4$	49
Gambar 4. 11 Grafik optimasi waktu pengadukan terhadap massa akhir $Zr(OH)_4$	51
Gambar 4. 12 Hasil uji XRD pada sampel nanozirkonia variasi waktu kalsinasi.	54
Gambar 4. 13 Spektrum Hasil Analisis FTIR Sampel CRM-3.....	57
Gambar 4. 14 a) Bidang permukaan ZrO_2 ; b) Morfologi dan ukuran partikel ZrO_2 dengan perbesaran 100.000x	59

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Optimasi Nanozirkonia Merck	72
Lampiran 2. Grafik Hasil Optimasi Fomulasi Nanozirkonia Merck	73
Lampiran 3. Perhitungan Derajat Kristalinitas dan Indeks Kristalinitas.....	75
Lampiran 4. Perhitungan Efisiensi Nanozirkonia Terhadap Hasil Uji XRF.....	77
Lampiran 5. Dokumentasi Penelitian.....	80
Lampiran 6. Hasil Karakterisasi XRF, XRD, FTIR dan SEM.....	82



INTISARI**Sintesis Nanozirkonia (ZrO_2) Dari Zirkonil Klorida Berbasis Pasir Zirkon Menggunakan Metode Pengendapan****Oleh:****Naufalia Syafa Nurfadhia****20106030045****Pembimbing:****Prof. Drs. Samin Prihatin dan Karmanto, S.Si., M.Sc.**

Zirkonia (ZrO_2) merupakan logam transisi yang dalam bentuk nanopartikelnya banyak dimanfaatkan dalam bidang industri, nuklir, dan kedokteran. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh formulasi sintesis nanozirkonia dari zirkonil klorida melalui metode pengendapan dengan karakteristik berkualitas tinggi. Nanozirkonia (ZrO_2) disintesis dengan prekursor zirkonil klorida (ZrOCl_2) melalui metode pengendapan. Sintesis nanozirkonia ini dilakukan dengan tiga tahapan. Preparasi dilakukan dengan melarutkan zirkonil klorida dan NaOH menggunakan akuades dengan rasio massa ZrOCl_2 /volume akuades (S/L) adalah 2:6. Selanjutnya pengendapan, larutan NaOH ditambahkan ke dalam larutan ZrOCl_2 1 M dengan konsentrasi bervariasi 0,5-2,5 M dan pada kondisi pH pengendapan bervariasi 8-12, pemanasan 90°C , kecepatan 700 rpm, dan waktu pengadukan bervariasi 30-90 menit. Tahap pengendapan dilanjutkan tanpa pengadukan dan pemanasan selama ± 24 jam, dilanjutkan penyaringan dan pencucian menggunakan akuades. Selanjutnya, dikeringkan pada suhu 110°C selama 3 jam dan dikalsinasi pada suhu 900°C dengan waktu bervariasi 1-3 jam. Nanozirkonia dikarakterisasi menggunakan uji XRF, XRD, FTIR, dan SEM. Pengendapan optimal pada pH 10 dengan konsentrasi NaOH 1 M dan pengadukan selama 60 menit. Waktu kalsinasi yang optimal adalah 3 jam pada sampel CRM dengan hasil uji XRD diperoleh struktur kristal monoklinik, derajat kristalinitas 88,2%, dan indeks kristalinitas 99,72%. Sementara itu, ukuran kristalnya diperoleh 49,06 nm dengan posisi 2θ ($^\circ$) pada $28,246^\circ$ dan ukuran partikel hasil uji SEM berkisar 54-60 nm. Hasil uji FTIR diperoleh puncak pada $504,86\text{ cm}^{-1}$ dan $768,99\text{ cm}^{-1}$ dengan konsentrasi Zr dan ZrO_2 hasil uji XRF secara berturut-turut 89,567% dan 87,57%.

Kata kunci: Nanozirkonia, Zirkonil Klorida, Metode Pengendapan, Kalsinasi

ABSTRACT**Synthesis of Nanozirconia (ZrO_2) from Zirconyl Chloride Based on Zircon Sand Using Deposition Method****Oleh:****Naufalia Syafa Nurfadhia****20106030045****Pembimbing:****Prof. Drs. Samin Prihatin dan Karmanto, S.Si., M.Sc.**

Zirconia (ZrO_2) is a transition metal that in the form of nanoparticles is widely used in industry, nuclear, and medicine. This study aims to obtain a formulation of nanozirconia synthesis from zirconyl chloride through a precipitation method with high-quality characteristics. Nanozirconia (ZrO_2) was synthesized with zirconyl chloride (ZrOCl_2) precursor through a precipitation method. The synthesis of nanozirconia was carried out in three stages. Preparation was carried out by dissolving zirconyl chloride and NaOH using distilled water with a mass ratio of ZrOCl_2 /volume of distilled water (S/L) of 2:6. Furthermore, precipitation, NaOH solution was added to a 1 M ZrOCl_2 solution with a concentration varying from 0.5-2.5 M and at a precipitation pH condition varying from 8-12, heating at 90°C , speed at 700 rpm, and stirring time varying from 30-90 minutes. The precipitation stage was continued without stirring and heating for ± 24 hours, followed by filtration and washing using distilled water. Furthermore, it was dried at a temperature of 110°C for 3 hours and calcined at a temperature of 900°C with a time varying from 1-3 hours. Nanozirconia was characterized using XRF, XRD, FTIR, and SEM tests. Optimal precipitation at pH 10 with a concentration of 1 M NaOH and stirring for 60 minutes. The optimal calcination time was 3 hours on the CRM sample with the results of the XRD test obtained a monoclinic crystal structure, a degree of crystallinity of 88,2%, and a crystallinity index of 99,72%. Meanwhile, the crystal size was obtained 49,06 nm with a position of 2θ ($^\circ$) at $28,246^\circ$ and the particle size of the SEM test results ranged from 54-60 nm. The FTIR test results obtained peaks at $504,86\text{ cm}^{-1}$ and $768,99\text{ cm}^{-1}$ with Zr and ZrO_2 concentrations from the XRF test results of 89,567% and 87,57% respectively.

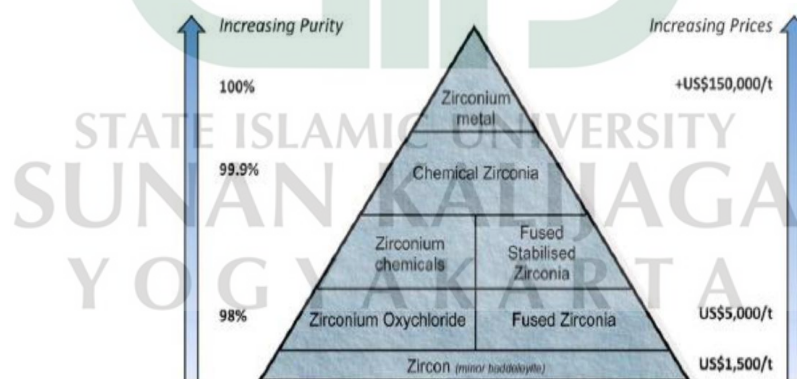
Keywords: *Nanozirconia, Zirconyl Chloride, Precipitation Method, Calcination*

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Zirkon merupakan mineral tambahan yang mengandung sodium tinggi dan banyak ditemukan di batuan beku seperti pegmatit, syenit, dan granit (Sukandarrumidi, 2018). Mineral tambahan berupa pasir zirkon ini, awalnya hanya dianggap sebagai limbah hasil pengolahan bijih timah dan emas. Akan tetapi, perkembangan teknologi menjadikan pasir zirkon dapat dimanfaatkan dalam bidang industri, seperti industri keramik, frit atau glasir, bata tahan api, dan pasir cetak untuk pengecoran logam. Kebutuhan pasir zirkon di Indonesia semakin meningkat dari tahun ke tahun, hal ini dibuktikan dengan meningkatnya prospek penggunaan pasir zirkon. Jenis zirkon yang banyak dimanfaatkan dalam bidang industri salah satunya adalah zirkonia (ZrO_2) dengan kadar minimum 64% yang diproduksi dari wilayah Kalimantan (Suseno dkk., 2015). Tingkat kemurnian produk olah dari pasir zirkon juga menentukan harga jual dan memiliki pengaruh terhadap nilai ekonominya (Rinanti dkk., 2021).



Gambar 1. 1 Hubungan Tingkat Kemurnian terhadap Harga Jual Zirkonium di China (Rinanti dkk., 2021)

Ketersediaan pasir mineral zirkon (ZrSiO_4) di Indonesia cukup melimpah, tepatnya di wilayah Kalimantan dan Bangka dengan kelimpahan sekitar 5,4 milyar ton (Rinanti dkk., 2021; Sukandarrumidi, 2018). Pasir

zirkon memiliki kandungan zirkonia (ZrO_2) di dalamnya yang cukup tinggi dan beberapa senyawa lainnya, seperti TiO_2 , SiO_2 , dan Al_2O_3 . Bahkan konsentrasi zirkonia hasil sintesis dari pasir mineral zirkon dapat mencapai 85%. Nilai ekonomi dari pasir zirkon juga tinggi, hal ini dikarenakan kandungan zirkonia dalam pasir zirkon dapat dimanfaatkan pada industri nuklir (Rinanti dkk., 2021). Selain digunakan dalam industri nuklir, zirkonia berbentuk nanopartikel dapat diaplikasikan sebagai membran keramik untuk memurnikan air, fotokatalis pada pengolahan air limbah, dan kandidat elektroda superkapasitor (Chitoria dkk., 2023). Melihat dari ketersediaan dan manfaatnya, zirkonia dapat dijadikan sebagai komoditas ekspor yang menguntungkan bagi Indonesia.

Teknologi yang berkembang saat ini berpengaruh terhadap konsumsi zirkonia di bidang industri. Sehingga banyak dilakukan penelitian terkait pengolahan pasir zirkon menjadi produk zirkonia dengan sifat material yang berbeda. Salah satu teknologi yang banyak digunakan adalah nanoteknologi. Nanoteknologi merupakan keilmuan yang mempelajari tentang material dengan skala nanometer. Nanoteknologi berkaitan dengan manipulasi bentuk dan ukuran supaya skalanya tepat pada nanometer melalui cara seperti, pemodelan, produksi, karakterisasi, pengukuran, dan penerapan struktur (Soda, 2023). Salah satu bentuk penerapan dari nanoteknologi adalah nanomaterial. Nanomaterial merupakan material yang terbentuk atas kumpulan nanopartikel dengan satu atau lebih partikel berukuran antara 1-100 nm. Ukurannya yang kecil menyebabkan terjadinya perbedaan sifat fisik pada nanomaterial dibandingkan dengan partikel yang berukuran besar. Selain perbedaan sifat fisiknya, material dengan skala nanometer juga berpengaruh terhadap kisi kristal yang terbentuk dan titik lelehnya (Modena dkk., 2019).

Nanopartikel zirkonia atau nanozirkonia banyak dimanfaatkan dalam konstruksi reaktor nuklir, hal ini dilihat dari ketahanan oksidasinya terhadap suhu tinggi (Ajiriyanto & Anawati, 2022). Selain itu, bahan yang

digunakan dalam konstruksi reaktor nuklir harus memiliki sifat tahan radiasi dan titik leleh yang tinggi (Soeryadi, 2020). Hal ini sesuai dengan karakteristik zirkonia, yaitu memiliki titik leleh yang tinggi (Sukandarrumidi, 2018). Oleh karena itu, nanozirkonia banyak digunakan pada industri nuklir. Secara lebih lanjut, nanozirkonia juga dibutuhkan dalam bidang kedokteran, khususnya sebagai bahan tambahan penguat pada pembuatan gigi tiruan (Suhardi & Syafrinani, 2019). Pemanfaatannya dalam berbagai bidang mendorong adanya penyusunan formula terbaik untuk mensintesis nanozirkonia dengan berbagai macam metode yang dapat digunakan.

Nanozirkonia dapat disintesis dengan berbagai macam metode, seperti sol-gel, solvothermal, hidrotermal, pengendapan/presipitasi, mikroemulsi, dan radiasi gelombang mikro (Chitoria dkk., 2023; Kwaśny & Balcerzak, 2020). Metode yang digunakan pada penelitian ini berupa metode pengendapan. Metode pengendapan merupakan metode yang menggunakan reagen (bahan pengendapan) tertentu untuk memperkecil kelarutan senyawa. Proses sintesis menggunakan metode pengendapan terbagi atas tiga tahapan, yaitu preparasi bahan baku, pengendapan (sintesis), dan kalsinasi (Haruda dkk., 2016). Metode pengendapan atau metode presipitasi memiliki kelebihan, yaitu biaya operasional yang murah, waktu pengerjaannya cepat, dan tidak membutuhkan pelarut organik (Pangestu dkk., 2021). Oleh karena itu, metode pengendapan ini sesuai jika diterapkan dalam mensintesis nanozirkonia supaya diperoleh hasil sintesis dengan formulasi terbaik (Samin, 2016; Shokry dkk., 2019).

Sintesis zirkonia dengan metode pengendapan telah berhasil dilakukan oleh (Samin, 2016) dengan bahan baku utama berupa zirkonil klorida dan reagen yang digunakan adalah NH_4OH . Penambahan reagensinya dilakukan pada kondisi pH larutan 10 dan pengeringan menggunakan oven pada suhu 110°C , serta suhu kalsinasi yang digunakan 900°C . Selain itu, sintesis nanozirkonia juga telah berhasil dilakukan oleh (Shokry dkk., 2019)

dengan bahan baku dan reagen yang sama seperti dalam penelitian (Samin, 2016). Akan tetapi, penambahan reagen dilakukan pada pH 9 dan suhu pengadukannya 80°C, serta suhu pengeringannya 100°C. Penelitian (Shokry dkk., 2019) menggunakan suhu kalsinasi yang bervariasi, yaitu 200°C, 400°C, 600°C, dan 800°C selama 2 jam. Sehingga terbentuk struktur yang bermacam-macam, seperti pada suhu 400°C terbentuk struktur tetragonal dan suhu 800°C terbentuk struktur monoklinik. Sedangkan pada suhu terendahnya, yaitu 200°C terbentuk sebagai material amorf. Akan tetapi pada penelitian (Samin, 2016) dan (Shokry dkk., 2019) tidak menjelaskan pengaruh perbedaan waktu kalsinasi terhadap kristal nanozirkonia melalui analisis hasil karakterisasi XRD. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan optimasi variasi waktu kalsinasi selama 1 – 3 jam dengan suhu yang sama, yaitu 900°C (Setiawan & Suciati, 2017).

Penelitian terkait sintesis zirkonia juga telah berhasil dilakukan oleh (Yuhelda dkk., 2017) dengan bahan baku berupa zirkonium sulfat dan reagen yang digunakan NH_4OH . Sehingga diperoleh hasil sintesis berupa zirkonium hidroksida dan dikalsinasi dengan suhu 900°C selama 1 jam, kemudian diperoleh zirkonia dengan kadar 97,27%. Selain itu, sintesis zirkonia juga telah dilakukan oleh (Setiawan & Suciati, 2017) dengan bahan utama zirkonil klorida dan reagen berupa NH_4OH . Suhu pengeringan yang digunakan adalah 80°C selama 4 jam, sedangkan suhu kalsinasinya bervariasi dari 400-900°C selama 3 jam. Zirkonia hasil sintesis dengan suhu kalsinasi 600-900°C membentuk struktur kristal tetragonal, sedangkan suhu di bawah 600°C struktur kristal yang terbentuk berupa monoklinik. Akan tetapi, pada penelitian (Yuhelda dkk., 2017) dan (Setiawan & Suciati, 2017) tidak menjelaskan terkait efisiensi sintesis nanozirkonia yang dilakukan melalui pendekatan stoikiometri. Sehingga, dalam penelitian ini digunakan sampel zirkonil klorida Merck dan CRM untuk melihat efisiensi sintesis nanozirkonia dengan zirkonil klorida yang berbeda, melalui pendekatan stoikiometri dan hasil karakterisasi XRF.

Secara lebih lanjut, nanozirkonia sebagai oksida logam transisi memiliki manfaat yang beragam, hal ini dikarenakan kemampuan nanozirkonia yang cukup menarik, seperti kemampuan katalis, mekanik, optik, dan biologis yang kompatibel. Selain itu, nanozirkonia juga memiliki karakteristik fisikokimia, seperti antijamur dan antioksidan (Alsharari dkk., 2023). Oleh karena itu, nanozirkonia banyak dimanfaatkan sebagai fotokatalis, sensor gas, biomarker, biokonjugasi, pengolahan air, sel surya, teragnostik, bahan implan gigi, serta penerapan lainnya di bidang industri seperti, pembuatan keramik, glasir, dan industri nuklir (Alsharari dkk., 2023; Chitoria dkk., 2023; Rinanti dkk., 2021; Suseno dkk., 2015). Selain itu, nanozirkonia juga dapat diaplikasikan sebagai agen penguat radio, ruang bawah tanah, dan rekayasa jaringan (Samin dkk., 2022). Hal ini menyebabkan kebutuhan penggunaan nanozirkonia semakin meningkat dan diperlukan penelitian terkait sintesis nanozirkonia untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Sehingga, penelitian ini memiliki tujuan memperoleh formula sintesis nanozirkonia yang optimal melalui metode pengendapan dengan cara dioptimasi. Optimasi ini dibuktikan menggunakan karakterisasi, seperti XRF, XRD, FT-IR, dan SEM.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah yang perlu diperhatikan dalam penelitian ini, sebagai berikut:

1. Sampel CRM-inhouse zirkonil klorida (ZrOCl_2) diperoleh dari hasil olah pasir zirkon yang diproses oleh Laboratorium Radiasi – KSE Babarsari, Yogyakarta.
2. Sintesis nanozirkonia dari sampel CRM-inhouse zirkonil klorida (ZrOCl_2) dilakukan menggunakan metode pengendapan.
3. Reagen yang digunakan untuk mengendapkan ZrOCl_2 dalam penelitian ini berupa natrium hidroksida (NaOH).
4. Variasi optimasi konsentrasi natrium hidroksida yang digunakan adalah 0,5 M, 1 M, 1,5 M, 2 M, dan 2,5 M.

5. Variasi optimasi pH pengendapan yang digunakan adalah 8 – 12.
6. Variasi optimasi waktu pengadukan yang digunakan adalah 30, 45, 60, 75, dan 90 menit.
7. Variasi optimasi waktu kalsinasi yang digunakan adalah 1 – 3 jam.
8. Rasio massa zirkonil klorida/volume aquades (S/L) yang digunakan adalah 2:6.
9. Hasil sintesis nanozirkonia dari sampel CRM-inhouse zirkonil klorida (ZrOCl_2) dianalisis menggunakan karakterisasi XRF, XRD, FTIR, dan SEM.

C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dibahas dalam penelitian ini, sebagai berikut:

1. Bagaimana cara mensintesis nanozirkonia dari prekursor zirkonil klorida Merck menggunakan metode pengendapan dengan optimasi pH pengendapan, konsentrasi NaOH, dan waktu pengadukan?
2. Bagaimana struktur kristal dan kristalinitas dari uji XRD terhadap variasi waktu kalsinasi hasil sintesis nanozirkonia dari CRM ZrOCl_2 hasil olah PTAPB BATAN Yogyakarta?
3. Bagaimana perbandingan efisiensi hasil sintesis nanozirkonia dari ZrOCl_2 Merck dan CRM dalam sintesis nanozirkonia melalui pendekatan stoikiometri dengan pembandingnya berupa konsentrasi dari hasil uji XRF?

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dilaksanakan penelitian ini, sebagai berikut:

1. Memperoleh formulasi sintesis nanozirkonia yang optimal dari zirkonil klorida dengan metode pengendapan melalui optimasi pH pengendapan, konsentrasi NaOH, dan waktu pengadukan.
2. Mengkaji hasil XRD dengan parameter struktur kristal dan kristalinitas terhadap variasi waktu kalsinasi dari hasil sintesis nanozirkonia menggunakan CRM ZrOCl_2 PTAPB BATAN Yogyakarta.

3. Menganalisis perbandingan efisiensi melalui pendekatan stoikiometri terhadap konsentrasi hasil uji XRF dari sintesis nanozirkonia Merck dan CRM PTAPB BATAN Yogyakarta.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini, yaitu memberikan informasi tentang metode sintesis nanozirkonia dari zirkonil klorida Merck dan CRM yang menghasilkan produk sesuai dengan standar, melalui optimasi variasi pH pengendapan, waktu pengadukan, dan konsentrasi NaOH, serta kalsinasi dengan suhu 900°C. Sehingga terlihat perbedaan hasil uji XRD terhadap variasi waktu kalsinasi, serta perbedaan komposisi antara hasil sintesis dari ZrOCl_2 Merk dan CRM melalui uji XRF dan pendekatan stoikiometri.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Sintesis nanozirkonia dari prekursor berupa zirkonil klorida dilakukan menggunakan metode pengendapan dengan konsentrasi larutan zirkonil klorida 1 M, serta proses sintesisnya melalui empat optimasi, yaitu optimasi pH pengendapan (8 – 12), optimasi konsentrasi NaOH (0,5 – 2,5 M), optimasi waktu pengadukan (30 – 90 menit), dan optimasi waktu kalsinasi (1 – 3 jam). Suhu pengadukan yang digunakan adalah 90°C, sedangkan kecepatan pengadukan 700 rpm. Optimasi yang telah dilakukan memperoleh hasil bahwa pH pengendapan optimal 10; konsentrasi NaOH optimal 1 M; waktu pengadukan optimal 60 menit; dan waktu kalsinasi optimal 3 jam.
2. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa waktu kalsinasi tidak berpengaruh besar terhadap struktur kristal yang terbentuk selama suhu yang digunakan sama. Keempat sampel yang di uji XRD (Merck, CRM-1, CRM-2, dan CRM-3) membentuk struktur kristal yang sama, yaitu monoklinik. Begitu pula pada posisi 2Theta yang diperoleh tidak jauh berbeda, yaitu 28,208° (Merck), 28,222° (CRM-1), 28,170° (CRM-2), dan 28,246° (CRM-3). Derajat kristalinitas tertinggi diperoleh pada sampel CRM-2 dan CRM-3 dengan hasil yang sama, yaitu 88,2%. Sementara itu, indeks kristalinitas tertinggi diperoleh dari sampel CRM-2 yaitu 99,75%, sedangkan ukuran kristal terkecil diperoleh dari sampel CRM-3 dengan hasil sebesar 49,062 nm.
3. Hasil karakterisasi XRF pada sampel Zr(OH)₄ menunjukkan rendahnya tingkat kemurnian yang terbentuk antara Merck dan CRM secara berturut-turut adalah 82,205% dan 76,664%. Akan tetapi hasil uji XRF pada ZrO₂ menunjukkan tingkat kemurnian dari ZrOCl₂ yang lebih tinggi, antara

Merck, CRM-1, CRM-2, dan CRM-3 secara berturut-turut adalah 87,97%, 86,789%, 85,576%, dan 89,567%, dengan %efisiensi tertinggi adalah 88,79% dari sampel CRM-3. Tingkat kemurnian ZrOCl_2 CRM masih lebih tinggi dari ZrOCl_2 Merck.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian diperlukan adanya uji karakterisasi PSA (*Particle Size Analyzer*) untuk memastikan ukuran partikel hasil sintesis secara akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Afghani, F. A. A., Yanlinastuti, Y., Putri, A. S. D. P. D., Susanto, Y. D. A. S., & Prasetyo, R. S. (2020). Pengaruh Suhu Hydriding Terhadap Laju Korosi Material Struktur Reaktor Nuklir Berbasis Paduan Zirkonium Dan Baja Tahan Karat. *PIN Pengelolaan Instalasi Nuklir*, 12(23), Article 23. <https://jurnal.batan.go.id/index.php/pin/article/view/6014>
- Aguilar-Marín, P., Angelats-Silva, L., Noriega-Diaz, E., Chavez-Bacilio, M., & Verde-Vera, R. (2020). Understanding the Phenomenon of X-Ray Diffraction by Crystals and Related Concepts. *European Journal of Physics*, 41(4), 045501. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/ab8e53>
- Ajiriyanto, M. K., & Anawati, A. (2022). Kajian Literatur Karakteristik Lapisan Keramik Oksida yang Ditumbuhkan Diatas Paduan Zirkonium dengan Metode Plasma Electrolytic Oxidation. *Indonesian Journal Of Applied Physics*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.13057/ijap.v12i1.49853>
- Alsharari, S. S., Alenezi, M. A., Al Tami, M. S., & Soliman, M. (2023). Recent advances in the Biosynthesis of Zirconium Oxide Nanoparticles and their Biological Applications. *Baghdad Science Journal*, 20(1), 0041. <https://doi.org/10.21123/bsj.2022.7055>
- Anukorn Phuruangrat, Prapassornwattana, P., Thongtem, S., & Thongtem, T. (2020). Synthesis of Heterostructure Au/ZnO Nanocomposites by Microwave-Assisted Deposition Method and Their Photocatalytic Activity in Methylene Blue Degradation. *Russian Journal of Physical Chemistry A*, 94(7), 1464–1470. <https://doi.org/10.1134/S0036024420070225>
- Arafati, A., Borhani, E., Nourbakhsh, S. M. S., & Abdoos, H. (2019). Synthesis And Characterization of Tetragonal / Monoclinic Mixed Phases Nanozirconia Powders. *Ceramics International*, 45(10), 12975–12982. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.03.225>
- Arianto, Sosidi, H., Prismawirianti, & Pusptasari, D. J. (2020). Pemisahan Logam Tanah Jarang dari Limbah (Tailing) Emas Poboya dengan Metode Pengendapan: KOVALEN: *Jurnal Riset Kimia*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.22487/kovalen.2020.v6.i1.13861>
- Arnold, B. (2022). Zircon, Zirconium, Zirconia—Similar Names, Different Materials. Springer Nature.
- Athifah, T. A., Abrar, A., & Syarif, D. G. (2021). Sintesis Nanopartikel ZrO₂ Dari Pasir Zirkon Dengan Metode Presipitasi Untuk Adsorben Metilen Biru. *eProceedings of Engineering*, 8(1).
- Bakhshandeh, A., Frydel, D., & Levin, Y. (2020). Charge Regulation of Colloidal Particles in Aqueous Solutions. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 22(42), 24712–24728. <https://doi.org/10.1039/D0CP03633A>
- Bakhshandeh, A., Frydel, D., & Levin, Y. (2022). Reactive Monte Carlo Simulations for Charge Regulation of Colloidal Particles. *The Journal of Chemical Physics*, 156(1), 014108. <https://doi.org/10.1063/5.0077956>
- Chintaparty, R., Palagiri, B., Nagireddy, R. R., Immareddy, V. subba R., & W, M. (2015). Effect of pH on Structural, Optical and Dielectric Properties Of Nano-Zirconium Oxide Prepared By Hydrothermal Method. *Materials Letters*, 161, 770–773. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2015.09.085>

- Chitoria, A. K., Mir, A., & Shah, M. A. (2023). A Review of ZrO₂ Nanoparticles Applications and Recent Advancements. *Ceramics International*, 49(20), 32343–32358. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2023.06.296>
- Correa-Ochoa, M. A., Rojas, J., Gómez, L. M., Aguiar, D., Palacio-Tobón, C. A., & Colorado, H. A. (2023). Systematic Search Using the Proknow-C Method for the Characterization of Atmospheric Particulate Matter Using the Materials Science Techniques XRD, FTIR, XRF, and Raman Spectroscopy. *Sustainability*, 15(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/su15118504>
- Cotton, F. A. W. (2014). *Kimia anorganik dasar* (Jakarta). UI Press.
- Day Jr., R. A., & Underwood, A. L. (2001). *Analisis Kimia Kuantitatif*, Edisi Keenam. Erlangga.
- Delarmelina, M., & Catlow, C. R. A. (2022). Cation-Doping Strategies for Tuning of Zirconia Acid–Base Properties. *Royal Society Open Science*, 9(2), 211423. <https://doi.org/10.1098/rsos.211423>
- Deng, G., Nagy, C., & Yu, P. (2023). Combined Molecular Spectroscopic Techniques (SR-FTIR, XRF, ATR-FTIR) to Study Physiochemical And Nutrient Profiles Of Avena Sativa Grain And Nutrition And Structure Interactive Association Properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(25), 7225–7237.
- Diallo, M., & Dewez, D. (2024). Chemical Characteristics of Zirconium Chloride and Zirconium Oxide Nanoparticles Driving Toxicity on Lemna minor. *Environments*, 11(10), Article 10.
- Didik, L. A. (2020). Penentuan Ukuran Butir Kristal CuCr_{0,98}Ni_{0,02}O₂ dengan Menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) dan Scanning Electron Microscope (SEM). *Indonesian Physical Review*, 3(1), 6–14.
- Dobrosz-Gómez, I., Gómez-García, M. Á., Bojarska, J., Kozanecki, M., & Rynkowski, J. M. (2015). Combustion Synthesis and Properties of Nanocrystalline Zirconium Oxide. *Comptes Rendus. Chimie*, 18(10), 1094–1105. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2015.02.007>
- Ellis, L.-J. A., Papadiamantis, A. G., Weigel, S., & Valsami-Jones, E. (2018). Synthesis And Characterization of Zr- And Hf-Doped Nano-TiO₂ as Internal Standards for Analytical Quantification of Nanomaterials in Complex Matrices. *Royal Society Open Science*, 5(6). Scopus. <https://doi.org/10.1098/rsos.171884>
- Fadojutimi, P., Tetana, Z., Moma, J., Moloto, N., & Gqoba, S. (2022). Colloidal Synthesis of Zirconium Disulphide Nanostructures and their Stability Against Oxidation. *ChemistrySelect*, 7(32), e202202293. <https://doi.org/10.1002/slct.202202293>
- Fakhri, A., Behrouz, S., Tyagi, I., Agarwal, S., & Gupta, V. K. (2016). Synthesis And Characterization of ZrO₂ And Carbon-Doped ZrO₂ Nanoparticles For Photocatalytic Application. *Journal of Molecular Liquids*, 216, 342–346. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.01.046>
- Febrianti, D. D., Pratama, M. M. N., Saputro, R. S. D., Elysiawati, S. S., & Radianto, D. O. (2024). Inovasi Nanoteknologi Dalam Pemurnian Air Minum: Potensi Dan Tantangan Dalam Praktek Teknik Lingkungan. *Journal Sains Student Research*, 2(2), Article 2.

- Feng, X., Zhang, H., & Yu, P. (2021). X-Ray Fluorescence Application in Food, Feed, And Agricultural Science: A Critical Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(14), 2340–2350. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1776677>
- Fetisov, G. V. (2020). X-Ray Diffraction Methods for Structural Diagnostics of Materials: Progress and Achievements. *Physics-Uspekhi*, 63(1), 2. <https://doi.org/10.3367/UFNe.2018.10.038435>
- Fouad, D. E., Zhang, C., Mekuria, T. D., Bi, C., Zaidi, A. A., & Shah, A. H. (2019). Effects of Sono-Assisted Modified Precipitation on The Crystallinity, Size, Morphology, And Catalytic Applications of Hematite (A-Fe₂O₃) Nanoparticles: A Comparative Study. *Ultrasonics Sonochemistry*, 59, 104713. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104713>
- Gao, L., Zhi, H., Zhang, S., & Liu, S. (2022). Template-Free Hydrothermal Synthesis of Octahedron-, Diamond-, and Plate-like ZrO₂ Mono-Dispersions. *Nanomaterials*, 12(19), Article 19.
- Gatou, M.-A., Kontoliou, K., Volla, E., Karachalios, K., Raptopoulos, G., Paraskevopoulou, P., Lagopati, N., & Pavlatou, E. A. (2023). Optimization of ZnO Nanoparticles' Synthesis via Precipitation Method Applying Taguchi Robust Design. *Catalysts*, 13(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/catal13101367>
- Gayathri, V., & Balan, R. (2021). Synthesis and Characterisation of Pure Zirconium Oxide (ZrO₂) Nanoparticle by Conventional Precipitation Method. *Journal of Environmental Nanotechnology*, 10, 19–21. <https://doi.org/10.13074/jent.2021.12.214447>
- Giurlani, W., Berretti, E., Lavacchi, A., & Innocenti, M. (2020). Thickness determination of metal multilayers by ED-XRF multivariate analysis using Monte Carlo simulated standards. *Analytica Chimica Acta*, 1130, 72–79. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2020.07.047>
- González, M. F., Saadatkah, N., & Patience, G. S. (2024). Experimental Methods In Chemical Engineering: X-Ray Fluorescence—XRF. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 102(6), 2004–2018. <https://doi.org/10.1002/cjce.25218>
- Habubi, N. F., Abdulmunem, O. M., Shaban, Z. M., Agool, I. R., Dawood, M. O., & Chiad, S. S. (2021). Effect of Cu doping ZrO₂ Thin films on Physical Properties Grown By Spray Pyrolysis Deposition. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 790(1), 012078. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/790/1/012078>
- Hachem, K., Ansari, M. J., Saleh, R. O., Kzar, H. H., Al-Gazally, M. E., Altimari, U. S., Hussein, S. A., Mohammed, H. T., Hammid, A. T., & Kianfar, E. (2022). Methods of Chemical Synthesis in the Synthesis of Nanomaterial and Nanoparticles by the Chemical Deposition Method: A Review. *BioNanoScience*, 12(3), 1032–1057. <https://doi.org/10.1007/s12668-022-00996-w>
- Hamida, N. & Sedyadi, E. (2008). Struktur Senyawa Anorganik. UIN Sunan Kalijaga: Yogyakarta.

- Hardian, A., Hasnah, F., Syarif, D., & Budiman, S. (2017). Sintesis Dan Karakterisasi Nanopartikel ZrO_2 Dengan Metode Sol-Gel Menggunakan Amilum Sebagai Capping Agent Untuk Aplikasi Nanofluida. Seminar Nasional Saintek Nuklir Aula Emas PSTNT, Bandung.
- Haruda, M. S., Fadli, A., & Yenti, S. R. (2016). Pengaruh Ph dan Waktu Reaksi pada Sintesis Hidroksiapatit dari Tulang Sapi dengan Metode Presipitasi Jom FTEKNIK Vol. 3 No. 1, Universitas Riau.
- Hassan, N. S., & Jalil, A. A. (2023). Understanding The Effect Of The Calcination Process On The Structure Of Mesoporous Silica Zirconia Photocatalysts For Bisphenol A Degradation. *Malaysian Journal of Catalysis*, 7(1), Article 1. <https://doi.org/10.11113/mjcat.v7n1.171>
- Huang, X., Li, L., Liu, R., Li, H., Lan, L., & Zhou, W. (2021). Optimized Synthesis Routes of MnO_x-ZrO_2 Hybrid Catalysts for Improved Toluene Combustion. *Catalysts*, 11(9), Article 9.
- Joudeh, N., & Linke, D. (2022). Nanoparticle Classification, Physicochemical Properties, Characterization, And Applications: A Comprehensive Review For Biologists. *Journal of Nanobiotechnology*, 20(1), 262. <https://doi.org/10.1186/s12951-022-01477-8>
- Keiteb, A. S., Saion, E., Zakaria, A., & Soltani, N. (2016). Structural and Optical Properties of Zirconia Nanoparticles by Thermal Treatment Synthesis. *Journal of Nanomaterials*, 2016(1), 1913609.
- Khan, H., Yerramilli, A. S., D'Oliveira, A., Alford, T. L., Boffito, D. C., & Patience, G. S. (2020). Experimental Methods In Chemical Engineering: X-Ray Diffraction Spectroscopy—XRD. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 98(6), 1255–1266. <https://doi.org/10.1002/cjce.23747>
- Komati, S. K., Madhra, M. K., Manda, A., Venkata Annapurna, S. C., Senadi, G. C., Maruthapillai, A., & Bandichhor, R. (2024). Efficient Process Development of Abiraterone Acetate by Employing Design of Experiments. *ACS Omega*, 9(27), 29453–29470.
- Kosykh, A. S., Buinachev, S. V., Mashkovtsev, M. A., & Zhirenkina, N. V. (2020). Effect of Anion Nature And Precipitation Ph Value On Size And Morphology Of Partially Stabilized Zirconium Dioxide Particles. *AIP Conference Proceedings*, 2313(1), 050043.
- Kwaśny, J., & Balcerzak, W. (2020). Characteristics of Selected Methods for the Synthesis of Nanometric Zirconium Oxide – Critical Review. *Technical Transactions*, 114(2), 105–118.
- Liu, S., Wang, J., Chen, Y., Song, Z., Han, B., Wu, H., Zhang, T., & Liu, M. (2023). Tetragonal Nanosized Zirconia: Hydrothermal Synthesis and Its Performance as a Promising Ceramic Reinforcement. *Inorganics*, 11(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/inorganics11050217>
- McDaniel, J. G., & Verma, A. (2019). On the Miscibility and Immiscibility of Ionic Liquids and Water. *The Journal of Physical Chemistry B*, 123(25), 5343–5356. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.9b02187>
- Miller, R. C., Neilson, J. R., & Prieto, A. L. (2020). Amide-Assisted Synthesis of Iron Germanium Sulfide (Fe_2GeS_4) Nanostars: The Effect of $LiN(SiMe_3)_2$ on Precursor Reactivity for Favoring Nanoparticle Nucleation or Growth.

- Journal of the American Chemical Society*, 142(15), 7023–7035. <https://doi.org/10.1021/jacs.0c00260>
- Modan, E. M., & Plăiașu, A. G. (2020). Advantages and Disadvantages of Chemical Methods in the Elaboration of Nanomaterials. *The Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati. Fascicle IX, Metallurgy and Materials Science*, 43(1), Article 1. <https://doi.org/10.35219/mms.2020.1.08>
- Modena, M. M., Rühle, B., Burg, T. P., & Wuttke, S. (2019). Nanoparticle Characterization: What to Measure? *Advanced Materials*, 31(32), 1901556. <https://doi.org/10.1002/adma.201901556>
- Mostafa, N. Y., Qhtani, M. M., Alotaibi, S. H., Zaki, Z. I., Alharthi, S., Cieslik, M., Gornicka, K., Ryl, J., Boukherroub, R., & Amin, M. A. (2020). Cathodic Activation Of Synthesized Highly Defective Monoclinic Hydroxyl-Functionalized ZrO Nanoparticles For Efficient Electrochemical Production Of Hydrogen In Alkaline Media. *International Journal of Energy Research*, 44(13), 10695–10709. <https://doi.org/10.1002/er.5713>
- Nematov, D. D., Burhonzoda, A. S., Kholmurodov, K. T., Lyubchyk, A. I., & Lyubchyk, S. I. (2023). A Detailed Comparative Analysis of the Structural Stability and Electron-Phonon Properties of ZrO₂: Mechanisms of Water Adsorption on t-ZrO₂ (101) and t-YSZ (101) Surfaces. *Nanomaterials*, 13(19), Article 19. <https://doi.org/10.3390/nano13192657>
- Nisticò, R. (2021). Zirconium Oxide And The Crystallinity Hallows. *Journal of the Australian Ceramic Society*, 57(1), 225–236. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s41779-020-00529-2>
- Oh, Y., Bharambe, V., Mummareddy, B., Martin, J., McKnight, J., Abraham, M. A., Walker, J. M., Rogers, K., Conner, B., Cortes, P., MacDonald, E., & Adams, J. J. (2019). Microwave Dielectric Properties Of Zirconia Fabricated Using NanoParticle Jetting™. *Additive Manufacturing*, 27, 586–594. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.04.005>
- Önal, M., & Altıokka, B. (2020). Effect Of Stirring On Chemically Deposited ZnO Thin Films. *Acta Physica Polonica A*, 137(6). <https://doi.org/10.12693/aphyspola.137.1209>
- Pangestu, T., Damayanti, S., Santi, S., & Muljani, S. (2021). Sintesis dan Karakterisasi Kalsium Fosfat dari Cangkang Bekicot dengan Metode Presipitasi. *CHEESA: Chemical Engineering Research Articles*, 4, 82. <https://doi.org/10.25273/cheesa.v4i2.8931.82-90>
- Park, J., Jayaraman, A., Schrader, A. W., Hwang, G. W., & Han, H.-S. (2020). Controllable Modulation Of Precursor Reactivity Using Chemical Additives For Systematic Synthesis Of High-Quality Quantum Dots. *Nature Communications*, 11(1), 5748. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19573-4>
- Pereira, F. J., Díez, M. T., & Aller, A. J. (2015). Effect Of Temperature On The Crystallinity, Size And Fluorescent Properties Of Zirconia-Based Nanoparticles. *Materials Chemistry and Physics*, 152, 135–146. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2014.12.025>
- Poernomo, H., Sajima, & Pusporini, N. D. (2020). Synthesis of Zirconium Oxychloride and Zirconia Low TENORM by Zircon Sand from Landak

- West Kalimantan. *Journal of Physics: Conference Series*, 1436(1), 012106. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1436/1/012106>
- Rahman, R., Zulkefle, M., Herman, S., & Alip, R. (2019). Synthesis of Zinc Oxide Nanostructure by Chemical Bath Deposition (CBD) Method: Influence of Growth Time towards Nanostructure Characteristics. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 8, 6891–6896. <https://doi.org/10.35940/ijrte.D5212.118419>
- Rajesh, G., Akilandeswari, S., Govindarajan, D., & Thirumalai, K. (2019). Facile Precipitation Synthesis, Structural, Morphological, Photoluminescence And Photocatalytic Properties Of Ni Doped ZrO₂ Nanoparticles. *Materials Research Express*, 6(10), 1050a9. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab405e>
- Rinanti, S. R., Pribadi, S. P., Santosa, A. S. D., & P, D. S. P. D. S. (2021). Peningkatan Kadar Zirkonium Oksida Dari Pasir Mineral Zirkon Dengan Cara Pelindian. *PIN Pengelolaan Instalasi Nuklir*, 13(24), Article 24. <https://jurnal.batan.go.id/index.php/pin/article/view/6189>
- Rochman, A. (2021). *Spektroskopi Vibrasional Teori dan Aplikasinya untuk Analisis Farmasi*. UGM PRESS.
- Samin, S. C. (2016). Sintesis Dan Sertifikasi Bahan Acuan Bersertifikat (CRM) Zirkonia Hasil Olah Pasir Zirkon. *Ganendra Majalah IPTEK Nuklir*, 19(1), Article 1. <https://doi.org/10.17146/gnd.2016.19.1.2778>
- Samin, Taftazani, A., Rozana, K., & Djati, F. K. (2022). Synthesis And Characterization Of TENORM-Free Nano Zirconia From Zircon Sand. *Journal of the Indian Chemical Society*, 99(10), 100678. <https://doi.org/10.1016/j.jics.2022.100678>
- Sarjono, S., Rahmadi, G., Mutiara, E., Mujinam, M., & Haryadi, D. (2021). Pengaruh Jenis Prekursor Dan Metode Prenetralisasi Pada Morfologi Permukaan Kernel Tersinter Zirkonia. *Urania: Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir*, 27(2), Article 2.
- Setiawan, D., & Suciati, F. O. I. (2017). Sintesis Dan Karakterisasi Zirkonium Dioksida Untuk Digunakan Sebagai Matrik Kolom Generator Radioisotop ¹¹³Sn -^{113m}In. *Ganendra Majalah IPTEK Nuklir*, 20(1), Article 1. <https://doi.org/10.17146/gnd.2017.20.1.3137>
- Shahbahrani, B., Rabiee, S. M., & Shidpoor, R. (2020). *Effect of pH Value on Synthesis and Properties of Zinc Cobalt Ferrite Nano Powders Prepared via Co-Precipitation Method*. Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-28190/v1>
- Shokry, H., El-Kady, M. F., & Hamad, H. (2019). Synthesis and Characterization of Stabilized Tetragonal Nano Zirconia by Precipitation Method. *Journal of Nano Research*, 56, 142–151.
- Siddique, I. (2024). Exploring Functional Groups and Molecular Structures: A Comprehensive Analysis using FTIR Spectroscopy. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4886526>
- Soda, O. (2023). *Morphological And Chemical Characterization Of Nanoparticulate Matter By SEM/EDX Analytical Techniques*. <https://tesidottorato.depositolegale.it/handle/20.500.14242/125912>

- Soeryadi, D. H. (2020). *Pro kontra PLTN* (JAKARTA). PT Penta Samudra Dunia.
- Sofiyaningsih, N., Suhandi, & Septawendar, R. (2020). Pengaruh Jenis Prekursor Terhadap Karakteristik Mineralogi dan Mikrostruktur Zirkonia Nano dengan Metode Templat. *Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia*, 29(1), 45–56.
- Sugiura, R., Imai, H., & Oaki, Y. (2024). Morphology And Size Control Of An Amorphous Conjugated Polymer Network Containing Quinone And Pyrrole Moieties Via Precipitation Polymerization. *Nanoscale Advances*, 6(4), 1084–1090. <https://doi.org/10.1039/D3NA01006F>
- Suhardi, S., & Syafrinani, S. (2019). Peranan Penambahan Zirkonium Oksida Pada Mahkota Provisional Resin Akrilik Polimerisasi Panasperanan Penambahan Zirkonium Oksida Pada Mahkota Provisional Resin Akrilik Polimerisasi Panas. *B-Dent: Jurnal Kedokteran Gigi Universitas Baiturrahmah*, 6(2), 95–104. <https://doi.org/10.33854/jbd.v6i2.253>
- Sujatno, A., Salam, R., Bandriyana, B., & Dimyati, A. (2017). Studi Scanning Electron Microscopy (SEM) Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.17146/jfn.2015.9.1.3563>
- Sukandarrumidi. (2018). *Bahan Galian Industri*. UGM PRESS.
- Suseno, T., Suciyaniti, M., & Suherman, I. (2015). Analisis Prospek Pemanfaatan Zirkon Dalam Industri Keramik, Frit, Bata Tahan Api Dan Pengecoran Logam. *Jurnal Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara*, 11(2), 93–106. <https://doi.org/10.30556/JTMB.VOL11.NO2.2015.709>
- Svehla, G. (1985). *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro Bagian 1: Vogel / Edisi Kelima*. Kalman Media Pusaka.
- Svehla, G. (1985). *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro Bagian 2: Vogel / Edisi Kelima*. Kalman Media Pusaka.
- Titus, D., James Jebaseelan Samuel, E., & Roopan, S. M. (2019). Chapter 12— Nanoparticle Characterization Techniques. Dalam A. K. Shukla & S. Iravani (Ed.), *Green Synthesis, Characterization and Applications of Nanoparticles* (hlm. 303–319). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102579-6.00012-5>
- Uribe López, M. C., Alvarez Lemus, M. A., Hidalgo, M. C., López González, R., Quintana Owen, P., Oros-Ruiz, S., Uribe López, S. A., & Acosta, J. (2019). Synthesis and Characterization of ZnO-ZrO₂ Nanocomposites for Photocatalytic Degradation and Mineralization of Phenol. *Journal of Nanomaterials*, 2019(1), 1015876. <https://doi.org/10.1155/2019/1015876>
- Vijayalakshmi, S., Kumar, E., & Vella Durai, S. C. (2019). Structural, Biological And Photocatalytic Properties Of Zirconium Oxide Nanoparticles Synthesized By Microwave Assisted Solution Method. *Asian Journal of Chemistry*, 31(8), 1729–1732. Scopus.
- Yang, Z., Qin, G., Tang, R., Jia, L., Wang, F., & Liu, T. (2023). Formaldehyde Oxidation of Ce_{0.8}Zr_{0.2}O₂ Nanocatalysts for Room Temperature: Kinetics and Effect of pH Value. *Nanomaterials*, 13(14), Article 14. <https://doi.org/10.3390/nano13142074>

Yuhelda, Y., Amalia, D., & Nugraha, E. P. (2017). Processing zirconia through zircon sand smelting with NaOH as a flux. *Indonesian Mining Journal*, 19(1), 39–49. <https://doi.org/10.30556/imj.Vol19.No1.2016.364>

