

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI MATERIAL FOTOKATALIS ZnO
TERDOPING LANTANUM (III) MENGGUNAKAN METODE SONIKASI**

SKRIPSI

**Oleh :
LINTANG ADDJI SUHENDI
NIM. 16630095**



**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2023**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI MATERIAL FOTOKATALIS ZnO
TERDOPING LANTANUM (III) MENGGUNAKAN METODE SONIKASI**

SKRIPSI

**Oleh:
Lintang Addji Suhendi
NIM. 16630095**

**Diajukan Kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2023**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI MATERIAL FOTOKATALIS ZnO
TERDOPING LANTANUM (III) MENGGUNAKAN METODE SONIKASI**

SKRIPSI

Oleh :

**LINTANG ADDJI SUHENDI
NIM.16630095**

**Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diseminarkan
Tanggal : 07 Juni 2023**

Pembimbing I



**Nur Aini, M.Si
NIP. 19840608 201903 2 009**

Pembimbing II



**Dr. Akyunul Jannah, S.Si, M.P
NIP. 19750410 200501 2 009**

Mengetahui,
Ketua Program Studi



**Rachmawati Rizki, M.Si
NIP. 19810811 200801 2 010**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI MATERIAL FOTOKATALIS ZnO
TERDOPING LANTANUM (III) MENGGUNAKAN METODE SONIKASI**

SKRIPSI

**Oleh:
LINTANG ADDJI SUHENDI
NIM.16630095**

**Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 22 Juni 2023**

**Penguji Utama : Dr. Anton Prasetyo, M.Si
NIP. 19770925 200604 1 003**

(.....)

**Anggota Penguji I : Lulu'atul Hamidatu Ulya, M.Sc
NIDT. 19900906 20180201 2 239**

(.....)

**Anggota Penguji II : Nur Aini, M.Si
NIP. 19840608 201903 2 009**

(.....)

**Anggota Penguji III : Dr. Akyunul Jannah, S.Si, M.P
NIP. 19750410 200501 2 009**

(.....)

Mengesahkan,
Ketua Program Studi

Rachmanurrahman, M.Si
NIP. 19860801 200801 2 010

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Lintang Addji Suhendi.

NIM : 16630095.

Program Studi : Kimia.

Fakultas : Sains dan Teknologi.

Judul penelitian : Sintesis dan Karakterisasi Material Fotokatalis ZnO
Terdoping Lantanum (III) Menggunakan Metode Sonikasi.

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini adalah benar-benar hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan maka saya bersedia menerima konsekuensi atas perbuatan tersebut.

Malang, 7 Juni 2023
Yang membuat pernyataan,



Lintang Addji Suhendi
NIM. 16630095

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

Kedua orang tua tercinta, Bapak Sentot Matovani dan Ibu Juwati yang senantiasa memberikan kasih sayang, didikan serta do'a yang selalu mengiringi tiap langkah saya. Kepada sahabat-sahabat kimia angkatan 2016 yang membantu penulis selama masa penulisan skripsi. Semoga suatu saat kebersamaan dan pertemanan yang singkat ini bisa berbuah di kemudian hari.

Bapak ibu dosen serta guru yang telah membimbing serta mengajari saya dengan penuh ketulusan dan kesabaran.

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis haturkan kehadiran Allah Swt. yang telah memberihkan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Seng Oksida (ZnO) Terdoping Lantanum (III) Menggunakan Metode Sonikasi” ini. Selawat dan salam tetap terlimpahkan kepada Nabi Muhammad saw, yang telah membawa cahaya Islam. Penulis menyadari dalam proses penyusunan skripsi ini tak lepas dari peran berbagai pihak, dengan ini penulis sampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof Dr. M. Zainuddin, MA selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Ibu Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Ibu Rachmawati Ningsih, M.Si selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Ibu Nur Aini, M.Si dan ibu Dr. Akyunul Jannah, S.Si, M.P selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktunya dalam membimbing dan memberi masukan sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.
5. Seluruh dosen Jurusan Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang atas ilmu yang telah diberikan Kedua orang tua penulis yang selalu memberikan perhatian, nasihat, doa, dan dukungan secara moril dan materiil kepada penulis.

6. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah membantu baik secara materil maupun moril dalam penyusunan skripsi.

Penulis menyadari akan kekurangan dan keterbatasan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu diperlukan kritik, dan saran yang membangun dalam upaya memperbaiki isi naskah skripsi ini sehingga menjadi lebih baik lagi.

Malang, 07 Juni 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
خلاصة	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan.....	6
1.4 Batasan Masalah.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Semikonduktor Seng Oksida (ZnO) Sebagai Fotokatalis	7
2.2 Modifikasi Fotokatalis ZnO dengan Doping Lantanum	12
2.3 Penggunaan Sonikasi Pada Sintesis ZnO dan ZnO Doping Logam	16
2.4 Pandangan Islam tentang Material Fotokatalis	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	22
3.2 Alat dan Bahan.....	22
3.2.1 Alat	22
3.2.2 Bahan	22
3.3 Rancangan Penelitian.....	22
3.4 Tahapan Penelitian.....	23
3.5 Prosedur Kerja	23
3.5.1 Sintesis ZnO dopan Lantanum dengan Metode Sonikasi	23
3.5.2 Karakterisasi Perubahan Struktur dengan Difraksi Sinar-X (XRD)	24
3.5.3 Karakterisasi dan Penentuan Celah Pita dengan UV-Vis DRS.....	24
BAB IV HASIL dan PEMBAHASAN.....	32
4.1 Hasil sintesis ZnO terdoping Lantanum (III) dengan Metode Sonikasi ...	32
4.2 Karakterisasi Hasil Sintesis Material ZnO terdoping Lantanum (III).....	33
4.2.1 Karakterisasi menggunakan XRD dan IR Produk Hasil Sintesis Tanpa Kalsinasi.....	33
4.2.2 Karakterisasi menggunakan XRD Produk Hasil Sintesis dengan Kalsinasi.....	42

4.2.3 Karakterisasi menggunakan UV-Vis DRS	45
BAB V PENUTUP	47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Penutup	47
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur ZnO (a) <i>rocksalt</i> , (b) <i>zinc blende</i> , dan (c) <i>wurtzite</i>	9
Gambar 2.2 Skema fotokatalitik pada semikonduktor ZnO untuk degradasi polutan organik	11
Gambar 2.3 Mekanisme reaksi fotokatalis ZnO doping lantanum	13
Gambar 2.4 Spektra XRD dari ZnO murni dan ZnO dopan La^{3+}	14
Gambar 2.5 Spektra UV-vis DRS dari $\text{La}_x\text{Zn}_{(1-x)}\text{O}$	15
Gambar 2.6 Spektra FTIR dari ZnO murni dan ZnO dopan lantanum	16
Gambar 2.7 Mekanisme kavitasasi yang diakibatkan oleh gelombang ultrasonik....	17
Gambar 2.8 Spektrum XRD untuk nanopartikel seng oksida menunjukkan puncak difraksi	18
Gambar 2.9 Spektrum UV-vis DRS dari nanopartikel ZnO	19
Gambar 4.1 Pengamatan secara fisik hasil sintesis terjadi perubahan warna	33
Gambar 4.2 Pola difraksi sinar-X material ZnO- La^{3+} menggunakan variasi waktu sonikasi tanpa kalsinasi	34
Gambar 4.3 Spektra IR ZnO- La^{3+} tanpa kalsinasi	36
Gambar 4.4 Pola difraksi sinar-X material ZnO- La^{3+} menggunakan variasi waktu sonikasi dengan kalsinasi	39
Gambar 4.5 Plot hasil <i>refinement</i> ZnO- La^{3+} waktu sonikasi 60 menit dengan suhu kalsinasi 300°C selama 3 jam.	40
Gambar 4.6 Hubungan spektra UV-DRS antara reflektansi (%) vs panjang gelombang (tanpa kalsinasi).....	43
Gambar 4.7 Hubungan $(F(R) \times hv)^{1/2}$ vs energi foton (tanpa kalsinasi).....	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai ukuran partikel ZnO murni dan ZnO dopan La ³⁺	14
Tabel 2.2 Nilai energi celah pita dan panjang gelombang dengan perbedaan konsentrasi dopan lantanum	15
Tabel 4.1 Nilai ukuran partikel ZnO murni dan ZnO dopan La ³⁺	37
Tabel 4.2 Nilai ukuran partikel ZnO murni dan ZnO dopan La ³⁺	41
Tabel 4.3 Nilai ukuran partikel ZnO murni dan ZnO dopan La ³⁺	42
Tabel 4.4 Nilai ukuran partikel ZnO murni dan ZnO dopan La ³⁺	44

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Alir.....	55
Lampiran 2. Perhitungan	57
Lampiran 3. Hasil Karakterisasi Menggunakan XRD	59
Lampiran 4. Perhitungan Crystallite Size	68
Lampiran 5 Hasil Karakterisasi Menggunakan UV-DRS	69

ABSTRAK

Suhendi, Lintang Addji. 2022. **Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Seng Oksida (ZnO) Terdoping Lantanum (III) Menggunakan Metode Sonikasi**. Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing I: Nur Aini, M. Si. Pembimbing II: Akyunul Jannah, S.Si, M.P.

Kata kunci: Seng Oksida (ZnO), fotokatalis, dopan lantanum, sonikasi.

ZnO adalah material semikonduktor logam tipe-n golongan II-VI dengan energi celah pita 3,37 eV. ZnO memiliki beberapa kekurangan seperti celah pita lebar yang berarti hanya menyerap sinar UV, Maka untuk meningkatkan aktivitas, perlu penambahan dopan logam tanah jarang seperti lantanum (La^{3+}). Penambahan doping lantanum (La^{3+}) dapat menurunkan energi celah pita dan memperkecil ukuran kristal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik struktur, serapan sinar, dan energi celah pita fotokatalis ZnO terdoping La^{3+} yang disintesis menggunakan metode sonikasi *high intensity* pada variasi waktu sonikasi 15, 30, dan 60 menit dengan suhu kalsinasi 300°C dan tanpa kalsinasi.

Hasil penelitian diperoleh Material fotokatalis ZnO terdoping lantanum (III) dengan variasi waktu sonikasi 15, 30, dan 60 menit dengan kalsinasi 300°C selama 3 jam berhasil disintesis dengan struktur *wurtzite* dan bergrup $P6_3mc$. dan hasil perhitungan *crystalite size* adalah 45,4 ; 33,2; 30,8 nm. Dan material fotokatalis ZnO terdoping lantanum (III) dengan variasi waktu sonikasi 15, 30, dan 60 menit tanpa kalsinasi. Pada waktu sonikasi 15 menit berhasil disintesis dengan struktur *wurtzite* dan bergrup $P6_3mc$. Berdasarkan data DRS menunjukkan ZnO- La^{3+} dengan waktu sonikasi 60 menit dengan kalsinasi 300°C selama 3 jam memiliki nilai energi celah pita paling kecil yaitu sebesar 3,04 eV dengan panjang gelombang 408,17 nm.

ABSTRACT

Suhendi, Lintang Addji. 2022. **Synthesis and Characterization of Lanthanum (III) Doped Zinc Oxide (ZnO) Nanoparticles Using Sonication Method.** Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University Malang. Supervisor I: Nur Aini, M. Si. Advisor II: Akyunul Jannah, S.Si, M.P.

Kata kunci: *Zinc Oxida (ZnO), photocatalyst, lanthanum dopant, sonication.*

ZnO is a group II-VI n-type metal semiconductor material with a bandgap energy of 3.37 eV. ZnO has some disadvantages such as a wide bandgap which means it only absorbs UV light, so to increase activity, it is necessary to add dopants of rare earth metals such as lanthanum (La^{3+}). The addition of lanthanum doping (La^{3+}) can lower the bandgap energy and reduce the crystal size. This study aimed to determine the structure, light absorption, and bandgap energy of La^{3+} doped ZnO photocatalysts synthesized using high intensity sonication method at sonication time variations of 15, 30, and 60 min with calcination temperature of 300°C and without calcination.

The results of the study obtained lanthanum (III) doped ZnO photocatalyst material with sonication time variations of 15, 30, and 60 min with calcination of 300°C for 3 hours were successfully synthesized with wurtzite structure and *P63mc* group. and the result of the crystalite size calculation is 45.4; 33,2; 30.8 nm. And the lanthanum(III) doped ZnO photocatalyst material with sonication time variations of 15, 30, and 60 min without calcination. At 15 min sonication time was successfully synthesized with a wurtzite structure and a *P63mc* group. Based on DRS data, ZnO-La $^{3+}$ with a sonication time of 60 minutes with a calcination of 300°C for 3 hours has the smallest bandgap energy value of 3.04 eV with a wavelength of 408.17 nm.

تجريدي

سوهندي ، لينتاج أديجي . 2022. تخليق وتوصيف. جسيمات أكسيد الزنك (ZnO) المخدر باللاتانوم (III) باستخدام طريقة الصوت. قسم الكيمياء ، كلية العلوم والتكنولوجيا ، جامعة الدولة الإسلامية مولانا مالك إبراهيم مالانج. المستشار الأول: نور عيني ، الماجستير. المشرف الثاني: د. أعين الجنة، الماجستير.

الكلمات الدالة: أكسيد الزنك (ZnO) ، محفز ضوئي ، اللاتانوم المشوب ، صوتنة.

ZnO عبارة عن مادة أشباه الموصلات المعدنية من النوع الثاني إلى السادس من النوع n بطاقة فجوة نطاق تبلغ 3.37 eV. يحتوي ZnO على بعض العيوب مثل فجوة النطاق العريض مما يعني أنه يمتص ضوء الأشعة فوق البنفسجية فقط ، لذلك لزيادة النشاط ، من الضروري إضافة مواد من المعادن الأرضية النادرة مثل اللاتانوم (La^{3+}). يمكن أن تؤدي إضافة منشطات اللاتانوم (La^{3+}) إلى تقليل طاقة فجوة النطاق وتقليل حجم البلورة. هدفت هذه الدراسة إلى تحديد البنية وامتصاص الضوء وطاقة فجوة النطاق لمحفزات ZnO الضوئية المخدرة La^{3+} التي تم تصنيعها باستخدام طريقة صوتنة عالية الكثافة عند تغيرات وقت الصوتنة من 15 و 30 و 60 دقيقة مع درجة حرارة تكليس 300 درجة مئوية وبدون تكليس.

حصلت نتائج الدراسة على مادة اللاتانوم (III) المخدرة بمادة المحفز الضوئي ZnO مع اختلافات زمنية للصوتنة تبلغ 15 و 30 و 60 دقيقة مع تكليس 300 درجة مئوية لمدة 3 ساعات تم تصنيعها بنجاح مع بنية *wurtzite* ومجموعة $P6_3mc$ ونتيجة حساب حجم البلورة هي 45.4 ; 30.8 ; 33,2 نيوتن .ومادة اللاتانوم (III) المخدرة بمادة المحفز الضوئي ZnO مع اختلافات زمنية للصوتنة تبلغ 15 و 30 و 60 دقيقة بدون تكليس .في وقت صوتنة 15 دقيقة تم تصنيعه بنجاح مع هيكل *wurtzite* ومجموعة $P6_3mc$ استنادا إلى بيانات DRS ، فإن ZnO- La^{3+} مع وقت صوتنة يبلغ 60 دقيقة مع تكليس 300 درجة مئوية لمدة 3 ساعات لديه أصغر قيمة طاقة فجوة نطاق تبلغ 3.04 eV بطول موجة 408.17 نانومتر .

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri batik merupakan salah satu industri yang berkembang pesat di beberapa di daerah Indonesia, sehingga memberikan dampak positif terhadap perekonomian masyarakat sekitar. Selain berdampak positif, perkembangan pesat industri tersebut menimbulkan masalah terhadap lingkungan. Dalam industri batik penggunaan pewarna sintesis sudah tidak dapat dihindari, dikarenakan oleh harganya yang sangat terjangkau, warnanya yang dapat tahan lama, dan memiliki pilihan beraneka ragam warna dibandingkan pewarna alami. Akan tetapi pewarna sintesis sulit terurai di alam (Tuty, dkk., 2009). Bila limbah cair tersebut di dalam perairan dapat menghalangi sinar matahari menembus lingkungan akuatik, hal ini menyebabkan proses biologis di dalamnya terganggu dan dapat menghasilkan efek racun berbahaya (Astuti, dkk., 2006).

Allah Swt. memerintahkan kita untuk senantiasa berpikir dan mempergunakan akal yang telah Allah berikan seperti untuk menjaga dan melestarikan bumi dari kerusakan-kerusakan agar tetap terjaga sistem kehidupan yang baik, hal ini sudah tercantum pada firman Allah dalam QS al-Hasyr (59) 21 :

لَوْ أَنْزَلْنَا هَذَا الْقُرْآنَ عَلَىٰ جَبَلٍ لَّرَأَيْتَهُ خَاشِعًا مُّتَصَدِّعًا مِّنْ خَشْيَةِ اللَّهِ وَتِلْكَ الْأَمْثَالُ
نَضْرِبُهَا لِلنَّاسِ لَعَلَّهُمْ يَتَفَكَّرُونَ

Artinya : *“Seandainya Kami turunkan Al-Qur’an ini kepada sebuah gunung, pasti kamu akan melihatnya tunduk terpecah belah karena takut kepada Allah. Perumpamaan-perumpamaan itu Kami buat untuk manusia agar mereka berpikir”*.

Menurut tafsir Kemenag (2019) Allah menjelaskan bahwa al-Qur’an diturunkan bagi manusia yang menggunakan nalar dan mengikuti hati nurani. Sekiranya Kami turunkan al-Qur’an ini kepada sebuah gunung yang diberi akal, pikiran, dan perasaan seperti manusia; pasti kamu akan melihatnya tunduk terpecah belah disebabkan takut kepada Allah, karena gunung-gunung itu akan menggunakan nalar, rasa, dan nuraninya dalam memahami al-Qur’an dan mengamalkannya. Sebagai makhluk hidup yang dilengkapi akal dan pikiran seharusnya manusia senantiasa berpikir dan berusaha bertanggungjawab atas hal-hal yang telah diperbuat, khususnya dalam mengelola limbah dengan baik agar tidak menimbulkan pencemaran yang akan berdampak buruk bagi makhluk hidup lainnya.

Beberapa metode sudah digunakan untuk meminimalisir kandungan zat warna dalam limbah antara lain metode biologi, koagulasi, elektrokoagulasi, adsorpsi, ozonisasi, dan klorinasi. Metode tersebut membutuhkan biaya yang relatif mahal sebagai akibatnya kurang efektif diterapkan pada Indonesia (Fatimah, dkk., 2006). Selain itu, teknologi ini seringkali membutuhkan biaya operasional yang sangat tinggi, baik dari segi instalasi dan pembelian bahan kimia, serta waktu proses yang relatif lama. Cara ini dinilai kurang efisien karena zat warna tekstil yang teradsorpsi masih menumpuk di adsorben dan suatu saat akan menimbulkan masalah baru (Hudaya, dkk., 2011). Saat ini dikembangkan suatu metode alternatif

pengelolaan limbah zat warna yang dikenal dengan Teknologi *Advanced Oxidation Process* (AOP).

Teknologi AOP merupakan alternatif teknologi pengolahan air limbah yang sangat ekonomis karena dapat menghemat ruang dan energi, memiliki biaya yang rendah, aman, sederhana, dan proses pengolahannya cepat dan cukup efektif. Keuntungan dari metode ini adalah dapat mendegradasi senyawa berbahaya non-biodegradable dalam limbah melalui proses oksidasi (Malato, dkk., 2002). Salah satu metode AOP adalah Fotokatalisis.

Fotokatalis mengubah energi cahaya menjadi energi kimia. Pada proses ini dihasilkan radikal hidroksil, yang mengalami reaksi oksidasi-reduksi dengan senyawa organik (polutan), membuat air menjadi jernih kembali karena pemisahan dari cairan limbah. Polutan ini diubah menjadi O_2 dan H_2 yang lebih ramah lingkungan (Miyake, dkk., 2015; Emin, dkk., 2015). Ketika fotokatalis semikonduktor diberi foton sebesar $h\nu$, energi foton tersebut akan diserap oleh elektron pada pita valensi, sehingga elektron berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi, yaitu pita konduksi. Ketika diinduksi oleh energi foton yang sesuai, ini mengarah pada pembentukan pasangan elektron-*hole* pada permukaan katalis semikonduktor (Arief, 2011).

Material yang sering digunakan sebagai fotokatalis adalah semikonduktor yang memiliki energi celah yang sangat tipis, yaitu antara 0,5–5 eV (Fujishima, dkk., 2008). Beberapa material fotokatalis yang sering digunakan untuk mendegradasi zat warna adalah TiO_2 , ZnO , Fe_2O_3 , CdS , dan di antara lainnya (Sakhtivel, dkk., 2003). Di antara berbagai semikonduktor lainnya, ZnO adalah semikonduktor anorganik non-toksik yang dapat memberikan mobilitas tinggi dan

stabilitas termal yang baik. Jarak pita energi ZnO adalah 3,37 eV, dengan energi ikatan pada suhu ruang adalah 60 meV dengan memiliki struktur yang stabil yaitu wurtzite (Hirota, dkk., 2009). ZnO digunakan sebagai semikonduktor alternatif, karena memiliki beberapa kelebihan antara lain fotokatalis yang lebih efisien dibandingkan TiO₂ pada larutan berair, serta memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik daripada TiO₂ (Goueva, dkk., 2000). ZnO dapat menyerap spektrum cahaya matahari dan kuantum cahaya yang lebih banyak daripada TiO₂ (Hutabarat, 2012). ZnO memiliki efisiensi fotokatalitik yang tinggi karena dapat menghasilkan H₂O₂ lebih banyak dibandingkan bahan semikonduktor TiO₂ (Bizaro, 2010).

Seng oksida (ZnO) merupakan material fotokatalis yang memiliki keterbatasan dalam menyerap zat yang akan didegradasi (Baruah, dkk., 2019) dan energi celah pita yang kurang sesuai ($E_g = 3,4$ eV) apabila diaplikasikan pada cahaya tampak (Durri dan Sutanto, 2017). Sehingga untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitiknya, perlu adanya penambahan doping. Ada sejumlah laporan bahwa menambahkan doping logam tanah jarang ke dalam semikonduktor oksida telah menunjukkan pengurangan yang signifikan dalam celah pita energi dan meningkatkan pemisahan muatan antara elektron dan lubang yang di *photo-generate* (Straumal, dkk., 2015). Karena konfigurasi elektronik *4f* dan *5d* yang unik dan karakteristik spektralnya, ion logam tanah jarang terkenal karena kemampuannya untuk menjebak elektron dan *hole*, dan ini dapat secara efektif mengurangi rekombinasi pasangan elektron-*hole* yang difotogenerasi, memodifikasi struktur kristal dan elektronik, dan menyesuaikan celah pita optik (Iqbal, dkk., 2009).

Salah satu jenis logam tanah jarang yang digunakan ialah lantanum (III). Menurut penelitian Jia, dkk. (2009) dalam sintesis ZnO terdoping La^{3+} dengan metode solvothermal pada suhu 150°C selama 20 jam dan suhu kalsinasi 500°C selama 2 jam dengan konsentrasi dopan 0-2,5%. Hasil uji fotokatalisis ZnO dengan dopan La^{3+} 2% memberikan aktivitas optimal untuk mendegradasi rhodamine B (RhB) dengan ukuran partikel rata rata 15-25 nm. Pada penelitian lainnya Pascariu, dkk. (2019) kombinasi antara metode electrospinning dan kalsinasi pada suhu 700°C selama 3 jam digunakan untuk menghasilkan nanomaterial ZnO yang didoping La^{3+} , yang menunjukkan aktivitas fotokatalitik yang lebih tinggi dibandingkan ZnO murni. Selain itu, tingkat degradasi yang optimal pewarna *Congo Red* ditemukan sebesar 97,63%, dicapai pada konsentrasi doping La^{3+} 2%, dan memiliki ukuran partikel dari 33,71–18,02 nm, meskipun memiliki energi celah yang lebar seiring meningkatnya konsentrasi dopan dari 2,589–2,889 eV.

Secara umum, metode yang digunakan dalam sintesis material ZnO dan ZnO terdoping adalah metode sol-gel, metode hidrotermal, metode elektrokimia, metode presipitasi, *Metal Organic Chemical Vapor Deposition* (MOCVD) dan lain lainnya (Ge C, dkk, 2007; Li G.R, dkk., 2010; Lee S.Y, dkk., 2011; Ananda, dkk., 2007). Metode-metode tersebut telah dilaporkan membutuhkan suhu yang tinggi, memerlukan waktu reaksi yang relatif lama, rute sintesis yang rumit, menghasilkan partikel dengan morfologi dan ukuran yang tidak teratur dan perlu adanya pengontrol tekanan dan suhu (Safitri, 2019). Oleh karena itu, diperlukan metode alternatif yang lebih efisien, ramah lingkungan dan mampu menghasilkan fasa murni ZnO dengan ukuran kristal lebih kecil, yakni metode sonokimia.

Metode sonokimia digunakan dalam mensintesis oksida logam dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik dengan frekuensi tinggi yang diradiasikan ke dalam larutan sehingga menyebabkan terjadinya tumbukan antar partikel (Ardiansyah dan Evy, 2014). Selain metodenya lebih mudah dan laju reaksinya lebih cepat, metode sonokimia juga memiliki kelebihan dapat meningkatkan laju reaksi, meningkatkan hasil reaksi, membantu proses katalisis, dan dapat memecah kristal yang berukuran besar menjadi ukuran nano karena adanya fenomena kavitasi akustik. Iradiasi gelombang ultrasonik berpengaruh terhadap kemurnian fasa, ukuran partikel, dan juga berpengaruh terhadap serapan sinar dari nanopartikel ZnO kavitasi (Alavi, 2011). Metode ini juga dapat digunakan untuk mensintesis semikonduktor terdoping logam seperti ZnO terdoping Logam.

Lama waktu sonikasi yang digunakan juga dapat mempengaruhi morfologi, kemurnian fasa, serapan sinar dan energi band gap yang dihasilkan. Penelitian Sheydaei, dkk. (2019) berhasil mensintesis ZnO didoping Ce^{3+} dengan waktu sonikasi 1 jam pada $60^{\circ}C$ dan kalsinasi pada $300^{\circ}C$ selama 3 jam, dihasilkan struktur wurtzite heksagonal dengan ukuran rata-rata partikel sekitar 2,44 nm, memiliki energi celah sebesar 2,8 eV. Penelitian Anukorn, dkk. (2016) berhasil mensintesis ZnO didoping La^{3+} dengan variasi konsentrasi dopan 0–2% mol menggunakan metode sonokimia *low intensity* dengan waktu 5 jam, dihasilkan struktur wurtzite heksagonal dengan ukuran partikel diameter rata-rata 15-25 nm. Berdasarkan literatur sintesis ZnO terdoping logam menggunakan metode sonikasi *low intensity* butuh waktu antara 1–5 jam.

Penggunaan sonikasi *high intensity* dengan cepat mengurangi ukuran partikel hingga 5 μm , meningkatkan luas permukaan secara signifikan,

menyebabkan peningkatan agregasi partikel, dan efisiensi waktu sonikasi (Suslick, dkk., 1987). Penelitian Wang, dkk. (2013) berhasil mensintesis variasi ZnO dengan tiga ukuran berbeda : 50 nm, 100 nm, dan 5 mm menggunakan metode sonikasi *high intensity* dengan waktu selama 10 menit, dihasilkan struktur wurtzite heksagonal dengan ukuran sebesar 34, 49, dan 105 nm. Hasil spektra UV-Vis menunjukkan puncak penyerapan pada 367, 375, dan 381 nm.

Penelitian ini dilakukan sintesis fotokatalis ZnO terdoping Lantanum (III) menggunakan metode sonikasi *high intensity* dengan variasi waktu sonikasi 15, 30, dan 60 menit. Pengaruh waktu irradiasi gelombang ultrasonik dipelajari terhadap karakter struktur dan serapan sinar fotokatalis ZnO terdoping lantanum.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana karakteristik struktur, serapan sinar, dan energi celah pita fotokatalis ZnO terdoping La^{3+} yang disintesis menggunakan metode sonikasi *high intensity* pada variasi waktu sonikasi.

1.3 Tujuan

Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik struktur, serapan sinar, dan energi celah pita fotokatalis ZnO terdoping La^{3+} yang disintesis menggunakan metode sonikasi *high intensity* pada variasi waktu sonikasi.

1.4 Batasan Masalah

- a. Sintesis menggunakan metode sonikasi *high intensity* (*Vibra cell*) pada suhu ruang

- b. Variasi waktu sonikasi dilakukan selama 15, 30, dan 60 menit pada suhu ruang
- c. Hasil sintesis dikarakterisasi dengan menggunakan instrumen difraksi sinar-X (XRD) dan *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (DRS).

1.5 Manfaat

Manfaat penelitian ini adalah dapat memberikan informasi ilmiah kepada masyarakat dan peneliti tentang karakteristik struktur, ukuran partikel, dan aktivitas fotokatalis material ZnO terdoping Lantanum (III) yang disintesis menggunakan metode sonikasi. Selain itu juga dapat membantu pengembangan ilmu dan teknologi material.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Semikonduktor Seng Oksida (ZnO) Sebagai Material Fotokatalis

Semikonduktor adalah bahan yang konduktivitasnya antara isolator dan konduktor. Bahan semikonduktor memiliki pita yang disebut pita valensi dan pita konduksi. Suatu material semikonduktor dapat dijadikan fotokatalis jika mempunyai daerah energi kosong yang disebut dengan energi celah pita (*band gap*) (Afrozi, 2010). Energi celah pita adalah energi yang dibutuhkan elektron untuk bereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi. Semakin besar jarak celah pita maka semakin sulit elektron tereksitasi, dan semakin berkurang dampak efek fotokatalitik yang diberikan. Energi celah pita ini dapat diukur dengan menggunakan panjang gelombang cahaya mengeksitasi elektron. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi reaksi fotokatalis dari semikonduktor adalah struktur pitanya. (Sutanto, dkk., 2015).

Syarat yang diperlukan untuk bahan semikonduktor yang akan digunakan sebagai fotokatalis, menurut Hartini (2011) adalah memiliki sifat fotoaktif, memiliki kemampuan memanfaatkan cahaya tampak atau ultraviolet dekat, bersifat inert (lembam) secara kimiawi dan biologis, dan bersifat stabil terhadap cahaya (fotostabil). Sifat fotokatalis sangat tergantung pada lebar energi celah, posisi pita konduksi dan pita valensi bahan semikonduktor (Sutanto, H, dkk., 2017).

Fotokatalis merupakan proses reaksi kimia yang melibatkan fotokimia dan katalitik. Dalam hal ini memerlukan cahaya dan katalis untuk mempercepat transformasi kimia. Pada proses tersebut diperlukan katalis yang mampu

menyerap foton (Linsebigler, dkk.,1995). Jika fotokatalis disinari dengan panjang gelombang antara 100-400 nm, elektron akan teraktivasi dari pita valensi ke pita konduksi. Oleh karena itu, ini mengarah pada pembentukan *hole* (muatan positif) di pita valensi (h^+_{cb}) dan elektron di pita konduksi (e^-_{cb}) (Ariyanti, 2012).

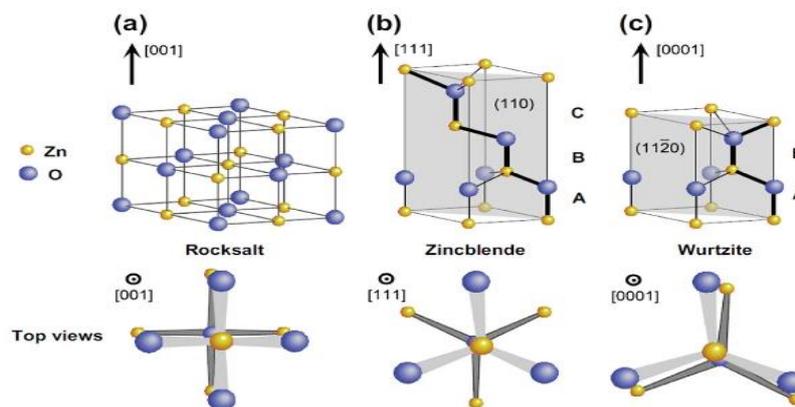
Proses didalam fotokatalis ialah Jika semikonduktor tipe-*n* disinari dengan cahaya ($h\nu$) dengan energi yang sesuai, elektron (e^-) pada pita valensi akan berpindah ke pita konduksi dan meninggalkan *hole* (lubang) positif pada pita valensi. Sebagian besar pasangan e^- dan h^+ ini akan bergabung kembali di permukaan atau dalam partikel curah. Sedangkan sebagian lain dari pasangan e^- dan h^+ dapat dipertahankan pada permukaan semikonduktor, akhirnya h^+ dapat memulai reaksi oksidasi, sedangkan di sisi lain e^- akan memulai reaksi reduksi kimia di sekitar permukaan semikonduktor (Arutanti dan Abdullah, dkk., 2009). Ketika elektron tereksitasi berdifusi ke permukaan katalis, reaksi oksidasi terjadi. Secara khusus, h^+ dapat bereaksi dengan permukaan H_2O atau OH^- untuk menghasilkan radikal hidroksil ($\cdot OH$), bereaksi dengan oksigen (O_2), dan mereduksi ketika e^- menghasilkan reaksi anion radikal superoksida ($\cdot O_2^-$). Radikal hidroksil mempunyai sifat oksidator kuat dan memiliki potensi reduksi oksidasi yang cukup besar yaitu 2,8V. Potensi radikal hidroksil ini cukup untuk mengoksidasi sebagian besar zat organik menjadi air, asam hidroksi dan karbon dioksida (Sutanto dan Wibowo, 2015).

Dalam mekanisme fotokatalis memanfaatkan energi dari sinar matahari untuk mengaktifkan reaksi, hal tersebut melibatkan penggunaan semikonduktor logam ramah lingkungan, seperti TiO_2 , SnO_2 , ZnO , WO_3 . Semikonduktor logam yang digunakan dalam penelitian ini adalah ZnO .

Seng oksida atau *zinc oxide* merupakan senyawa anorganik dengan rumus kimia ZnO. ZnO adalah material semikonduktor logam tipe-n golongan II-VI dengan lebar energi gap 3,37 eV. Oleh karena itu, ZnO merupakan senyawa semikonduktor yang cocok pada rentang panjang gelombang pendek untuk optoelektronik. Energi ikat eksiton yang tinggi (60 MeV) pada kristal ZnO dapat membuat emisi elektron menjadi efisien pada suhu kamar dan efisien pada rentang panjang gelombang ultraviolet (<400 nm) (Wang, dkk., 2004). Selain itu, material ZnO memiliki keunggulan seperti senyawa kimia yang mudah untuk bereaksi dengan senyawa lain, transparansi yang tinggi pada panjang gelombang tampak, celah energi lebar, konduktivitas tinggi, tahan pada suhu tinggi, *luminescence* yang kuat pada suhu kamar, stabilitas yang tinggi, serta non toksik, sehingga ramah lingkungan (Daratika, 2016), Mobilitas elektron pada ZnO cukup tinggi dan struktur pita elektroniknya sama dengan TiO₂ (Marimuthu, dkk., 2016).

ZnO dapat mengkristal pada tiga bentuk, yaitu *wurtzite hexagonal*, *zinc blend cubic*, *rocksalt cubic* seperti pada Gambar 2.2. Struktur *wurtzite* memiliki grup ruang *P63mc*, yang terbentuk di bawah tekanan normal dan kondisi fase termodinamika stabil (Sutanto, dkk., 2015), dan dikalsinasi pada suhu yang relatif rendah 350-400°C (Shang, 2013). Struktur *zinc blend cubic* merupakan struktur yang metastabil, yang hanya dapat distabilkan oleh pertumbuhan heteroepitaxial pada substrat kubik, seperti ZnS, GaAs/ZnS dan Pt/Ti/SiO₂/Si, serta untuk membentuknya diperlukan suhu kalsinasi 800°C, dan memiliki grup ruang *F43m* (Sutanto, dkk., 2015; Asrafi, dkk., 2007). Struktur *rocksalt* memiliki grup ruang *Fm3m* dan sangat jarang ditemukan kecuali pada tekanan sekitar 10 Gpa (Wulandari, 2016).

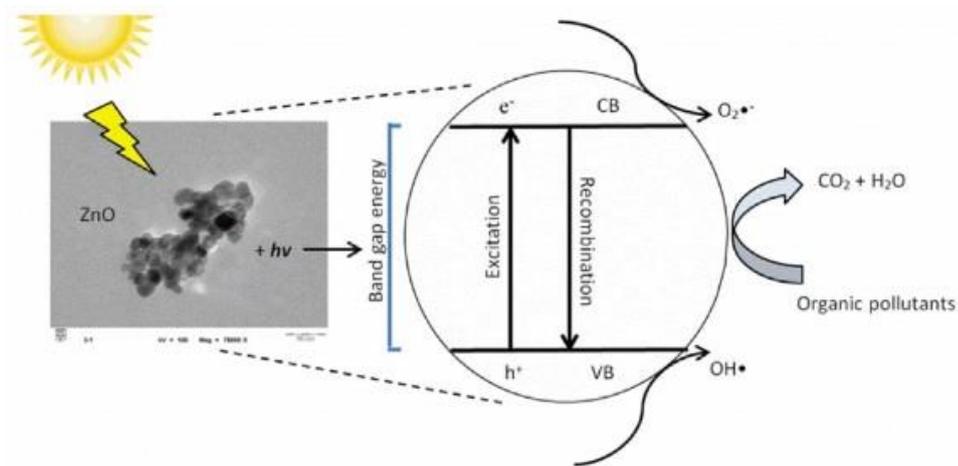
ZnO yang biasa diproduksi secara komersial merupakan hasil sintesis dan berstruktur *wurtzite* (Haslinda, 2009). Struktur kristal *wurtzite* merupakan struktur yang paling stabil pada keadaan suhu ruang. Selain itu struktur kristal *wurtzite* lebih rapat dan rata sehingga ZnO memiliki luas penampang yang lebih lebar dan rapat (Wulandari, 2016). ZnO memiliki struktur heksagonal wurtzite seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 dengan celah pita lebar 3,37 eV pada suhu kamar.



Gambar 2.1 Struktur kristal ZnO, (a) *rocksalt*, (b) *zincblende*, (c) *wurtzite* (Ong, dkk., 2018)

Struktur wurtzite memiliki sel satuan heksagonal dengan dua parameter kisi, a dan c , dengan rasio $c/a = 8/3 = 1,633$ (dalam struktur wurtzite yang ideal). Struktur ini terdiri dari dua *Hexagonal Closepacked (hcp)* sub kisi yang saling meresap, masing – masing terdiri dari satu tipe atom transisi dan bergabung ke masing – masing atom sepanjang tiga kali lipat sumbu c oleh jumlah $u = 3/8 = 0,375$ (dalam struktur wurtzite ideal) dalam koordinat bagian (Sutanto, 2015). Menurut Raharjo (2009) parameter pada sumbu $a = 3,2495 \text{ \AA}$ dan $c = 5,2069 \text{ \AA}$. Ini bergantung pada kecilnya deviasi stoikiometri yang ditempati oleh atom Zn berselang seling dengan lapisan yang ditempati atom O. Jarak Zn-O yang sejajar

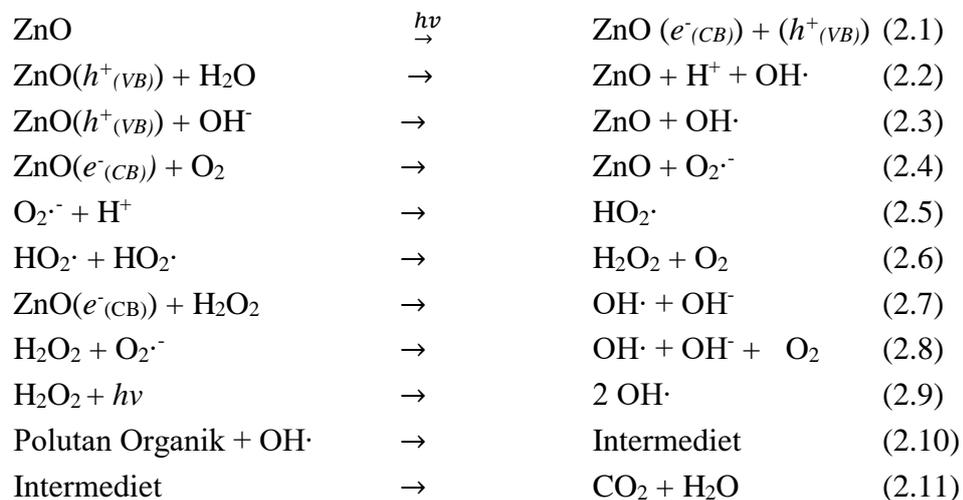
dengan sumbu c adalah 1,992 Å dan pada tiga arah lainnya adalah 1,973 Å dengan susunan tetrahedral dari tetangga dekatnya. Titik leleh ZnO sekitar 1980°C.



Gambar 2.2 Skema Fotokatalitik pada Semikonduktor ZnO untuk degradasi polutan organik (Ong, dkk., 2018).

Proses fotokatalis terjadi ketika ZnO diinduksi oleh cahaya matahari dengan energi foton ($h\nu$) sama dengan atau lebih besar dari energi eksitasi (E_g), e^- dari pita valensi terisi berpindah ke pita konduksi kosong. Proses ini menghasilkan pasangan elektron-hole (e^-/h^+). Pasangan elektron-hole dapat bermigrasi ke permukaan ZnO dan terlibat dalam reaksi redoks, dimana h^+ bereaksi dengan air dan ion hidroksida untuk menghasilkan radikal hidroksil, sementara e^- bereaksi dengan oksigen untuk menghasilkan anion radikal superoksida kemudian hidrogen peroksida. Hidrogen peroksida kemudian akan bereaksi dengan radikal superoksida membentuk radikal hidroksil. Kemudian, radikal hidroksil yang dihasilkan, yang merupakan oksidator kuat, akan menyerang polutan yang teradsorpsi pada permukaan ZnO untuk menghasilkan senyawa *Intermediet* dengan cepat. Zat antara pada akhirnya akan diubah menjadi senyawa hijau seperti CO, H₂O dan asam

mineral (Ong, dkk., 2018) Gambar 2.2 mengilustrasikan reaksi redoks yang terjadi selama fotokatalisis. Oleh karena itu, mekanisme fotodegradasi senyawa organik dengan semikonduktor ZnO dapat diringkas pada persamaan 2.1–2.11 (Ong, dkk, 2018) :



Zinc Oxide (ZnO) adalah material semikonduktor alternatif yang memiliki efisiensi fotokatalis yang lebih tinggi daripada TiO₂ karena dapat menghasilkan H₂O₂ yang lebih banyak. Selain itu, ZnO dapat menyerap sinar UV yang kuat dari sinar matahari (Carraway, dkk., 1994). Namun demikian, ZnO memiliki beberapa kekurangan seperti celah pita lebar yang berarti hanya menyerap sinar UV, hal ini menghasilkan efisiensi kuantum yang rendah sehingga cepat terjadi rekombinasi cepat dari pasangan e^{-}/h^{+} dan mempengaruhi aktivitas fotokatalitiknya (Thi Viet, dkk., 2017). Maka untuk meningkatkan aktivitas, perlu penambahan dopan logam tanah jarang seperti lantanum (La³⁺).

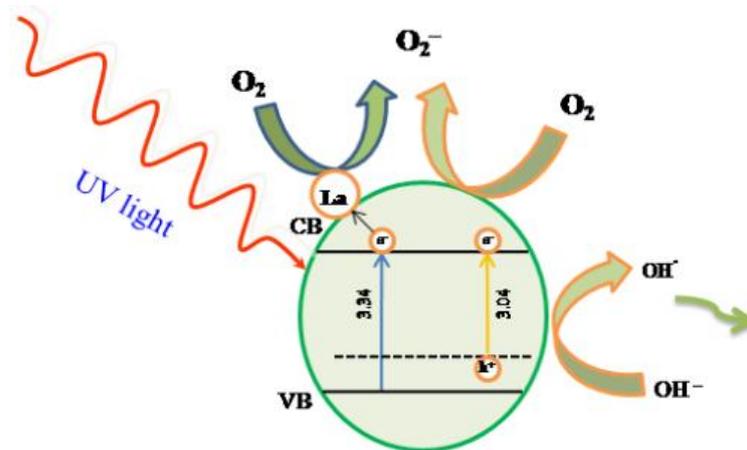
2.2 Modifikasi Fotokatalis ZnO dengan Doping Lantanum

Doping merupakan salah satu metode yang digunakan penambahan sejumlah kecil atom pengotor ke dalam struktur kristal semikonduktor. Tujuan dari doping adalah untuk mengoptimalkan sifat dari material (Syuhada, dkk., 2017). Doping memiliki beberapa keunggulan, antara lain meningkatkan konduktivitas semikonduktor, memperoleh semikonduktor dengan pembawa muatan tunggal (elektron atau *hole*), dan memperoleh semikonduktor dengan energi celah pita yang lebih rendah daripada asalnya (Safitri, 2019).

ZnO memiliki beberapa kekurangan termasuk kecepatan rekombinasi yang cepat dari *photogenerate* pasangan elektron-*hole* dan efisiensi kuantum yang rendah dalam reaksi fotokatalitik pada larutan berair, sehingga menghambat proses degradasi fotokatalis (Ananda, dkk., 2007). Penambahan unsur logam tanah jarang ke ZnO untuk degradasi fotokatalitik polutan organik telah menyebabkan tingkat rekombinasi yang lebih rendah pada ZnO sebagai akibat dari perangkap elektron pada tingkat energi akseptor yang dibuat melalui proses doping (Jin Chung Sin, dkk., 2014 dan Santanu, dkk., 2017).

Lantanida trivalen (dopan Ln) dalam ZnO membantu pembentukan anion superoksida dan bertanggung jawab atas pembentukan radikal hidroksil (Khatamian, dkk., 2012). menggunakan lantanum (La^{3+}) merupakan unsur tanah jarang dan lantanida trivalen, yang penambahannya memberikan pergeseran merah pada spektrum penyerapan ZnO, yang mengarah pada aktivitas ZnO yang lebih baik untuk degradasi polutan organik. Serta memiliki kemampuan untuk menempati kisi kristal ZnO sebagai dopan melalui *pyrolysis* (Khatamian, dkk., 2012). Jari-jari ionik Zn^{2+} dan La^{3+} masing-masing adalah 0,6 dan 1,06 sehingga doping ion La^{3+} akan menghambat difusi dan pertumbuhan butiran kristal ZnO, yang mengakibatkan

pengurangan ukuran partikel dan parameter kisi. Oleh karena itu, ukuran partikel dan parameter kisi struktur nano ZnO menurun dengan meningkatnya dopan La^{3+} . Penggabungan lantanum dalam kisi ZnO mengurangi ukuran kristal, yang menyediakan area yang lebih aktif untuk reaksi fotokatalitik. Proses doping juga dapat membantu menghambat rekombinasi lubang elektron pada eksitasi ZnO yang didoping La^{3+} , sehingga meningkatkan foto-aktif ZnO yang didoping La^{3+} dalam kondisi cahaya tampak (Thi Viet, dkk., 2017). Mekanisme penambahan lantanum pada pita energi ZnO ditampilkan pada Gambar 2.3.

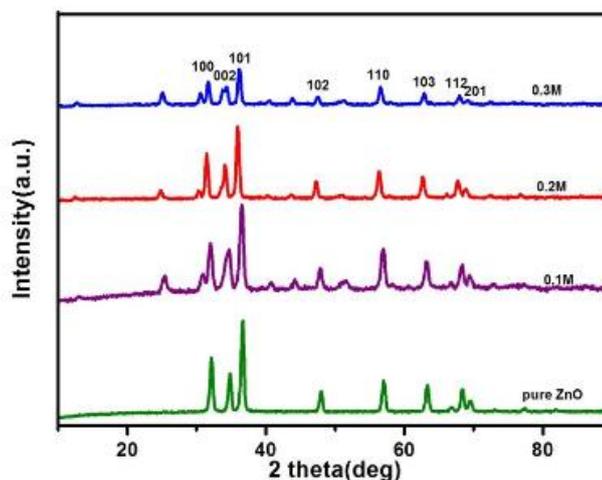


Gambar 2.3 Mekanisme reaksi fotokatalis ZnO doping lantanum (Korake, dkk., 2013)

Gambar 2.3 menjelaskan bahwa dopan lantanum memiliki *sub-band gap* tersendiri. Tingkat energi yang terbentuk ini menawarkan transisi elektronik ZnO dari pita valensi ke tingkat energi *sub-band gap* ion lantanum yang kosong. Transisi ini membutuhkan energi yang lebih sedikit daripada transisi elektronik ZnO dari pita valensi ke pita konduksi dan dapat diinduksi oleh cahaya tampak. Dengan cara

ini, lantanum dapat meningkatkan pemisahan elektron (e^-) dan *hole* (h^+) sehingga berkontribusi untuk mendegradasi senyawa organik.

Penelitian Porkalai, dkk. (2017) mensintesis ZnO yang didoping lantanum (La^{3+}) konsentrasi 0,1, 0,2, dan 0,3 menggunakan metode sol-gel yang dikalsinasi pada suhu $600^\circ C$ selama 2 jam, menghasilkan pola XRD yang dapat dilihat pada Gambar 2.4 menunjukkan bahwa Intensitas kuat puncak ion difraksi dapat diindeks pada struktur wurtzite heksagonal ZnO (JCPDS 79-0208). Diamati bahwa ketika konsentrasi doping meningkat, intensitas puncak menurun yang pada gilirannya menurunkan ukuran nanopartikel. Adapun nilai ukuran partikel ditunjukkan pada tabel 2.1.

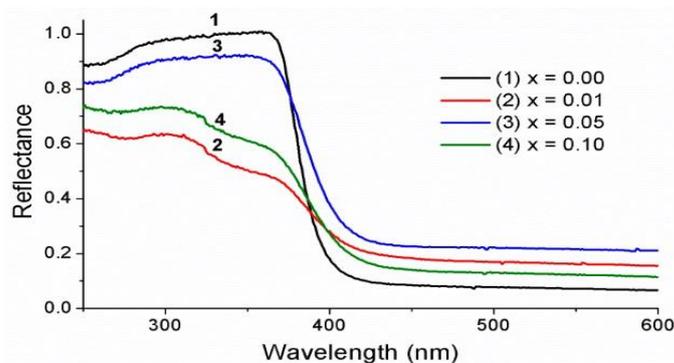


Gambar 2.4 Spektra XRD dari ZnO murni dan ZnO dopan La^{3+} (Porkalai, dkk., 2017)

Tabel 2.1 Ukuran partikel ZnO murni dan ZnO dopan La³⁺

No	Sampel	2 θ	FWHM (β) (rad)	Ukuran Kristal (D) nm	Struktur Kristal
1	ZnO Murni	42,6	0,0103	15,12	
2	0,1 M	41,1	0,0167	8,11	Hexagonal
3	0,2 M	41,13	0,0118	11,48	
4	0,3 M	41,16	0,0104	12,98	

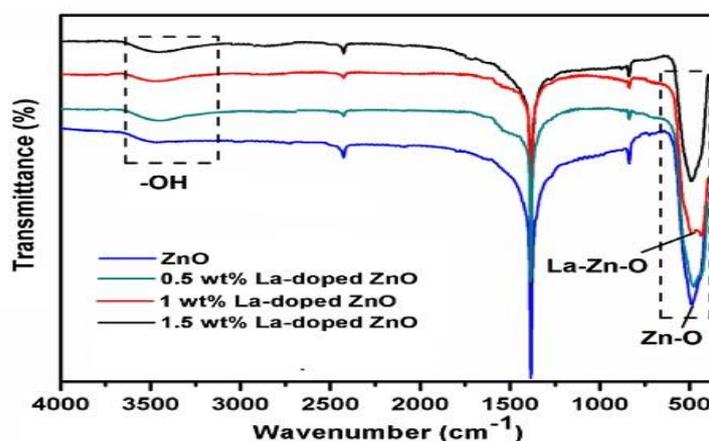
Penelitian Nguyen, dkk. (2019) nanopartikel ZnO yang didoping lantanum (La³⁺) disintesis dengan konsentrasi La yang berbeda dengan menggunakan metode *gel-combustion* menggunakan reagen *poly (vinyl alcohol)* (PVA) menghasilkan spektra DRS yang dapat dilihat pada Gambar 2.5 menunjukkan efektivitas lantanum dalam meningkatkan sifat optik katalis yang baik. Hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya serapan sinar ZnO di daerah sinar UV dan sinar tampak, sehingga dapat meningkatkan aktivitas fotokatalitik untuk degradasi polutan organik. Adapun nilai energi celah pita juga menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi dopan ditunjukkan pada Tabel 2.2.

**Gambar 2.5.** Spektra UV-DRS dari La_xZn_(1-x)O (Nguyen, dkk., 2019).

Tabel 2.2. Nilai energi celah pita dan panjang gelombang dengan perbedaan konsentrasi dopan lantanum.

Sampel	ZnO	La _{0,01} Zn _{0,99} O	La _{0,05} Zn _{0,95} O	La _{0,1} Zn _{0,9} O
E_g (eV)	3,1	2,91	2,82	2,78
λ (nm)	400	425	440	445

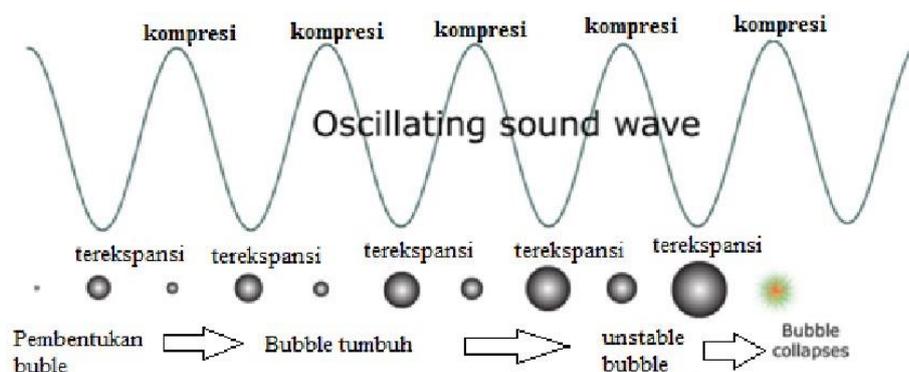
Hasil IR untuk sintesis ZnO doping lantanum dengan struktur kristal hexagonal wurtzite dilaporkan pada penelitian Thi Viet, dkk (2017) untuk mengetahui karakteristik struktur melalui deteksi gugus fungsi. Spektra IR pada Gambar 2.6 menunjukkan pita serapan antara 500 dan 700 cm^{-1} merupakan puncak dari Zn-O-Zn dan La-O-Zn. Dalam spektrum ZnO murni, tidak ada puncak signifikan yang diamati antara kisaran 1500–1600 cm^{-1} , 2800–2900 cm^{-1} dan 3300–3700 cm^{-1} . Namun, dalam spectrum ZnO yang didoping-La, beberapa puncak terdeteksi pada rentang tersebut. Pita lebar dalam kisaran 3300–3700 cm^{-1} ditentukan untuk keberadaan gugus –OH.



Gambar 2.6. Spektra FTIR dari ZnO murni dan ZnO dopan Lantanum (Thi Viet, dkk., 2017)

2.3 Penggunaan Metode Sonikasi Pada Sintesis ZnO dan ZnO Doping Logam

Metode sonikasi merupakan metode yang menggunakan gelombang ultrasonik dengan frekuensi 20 KHz-10 Mhz. Metode ini dinilai lebih efektif dan efisien dalam sintesis, karena memerlukan waktu yang relatif lebih singkat dan tidak banyak bahan kimia yang terbuang. Dari segi keamanan, metode ini aman karena menggunakan frekuensi yang tidak terlalu tinggi (Thomas, dkk, 2011). Metode ini selain lebih mudah serta proses reaksinya lebih cepat, juga memiliki kelebihan dapat memecah agregat kristal berukuran besar menjadi agregat kristal berukuran kecil hingga berskala yang sangat kecil, yaitu skala nano (Alfarisa, dkk,2018). Pada reaksi yang menggunakan bahan padat, gelombang ultrasonik dapat memecah padatan dari energi ditimbulkan akibat pecahnya kavitasi, sehingga memberikan komponen reaktan padat luas permukaan yang lebih besar untuk meningkatkan laju reaksi (Rismiarti, dkk., 2016). Memanfaatkan gelombang ultrasonik yang merambat dalam medium cair, ia memiliki kemampuan untuk terus menghasilkan semacam gelembung atau rongga (kavitasi) di dalam medium tersebut, yang mengarah pada pembentukan, pertumbuhan, dan pecahnya gelembung kecil gas. Gelembung-gelembung yang pecah akan menghasilkan energi kinetik yang sangat besar, yang kemudian diubah menjadi energi panas. Bahwa saat kehancuran gelembung mikro bisa mencapai suhu 5000°K, tekanan 1000 atm (Suslick, dkk, 1998). Mekanisme dari proses kavitasi ditunjukkan seperti Gambar 2.7.



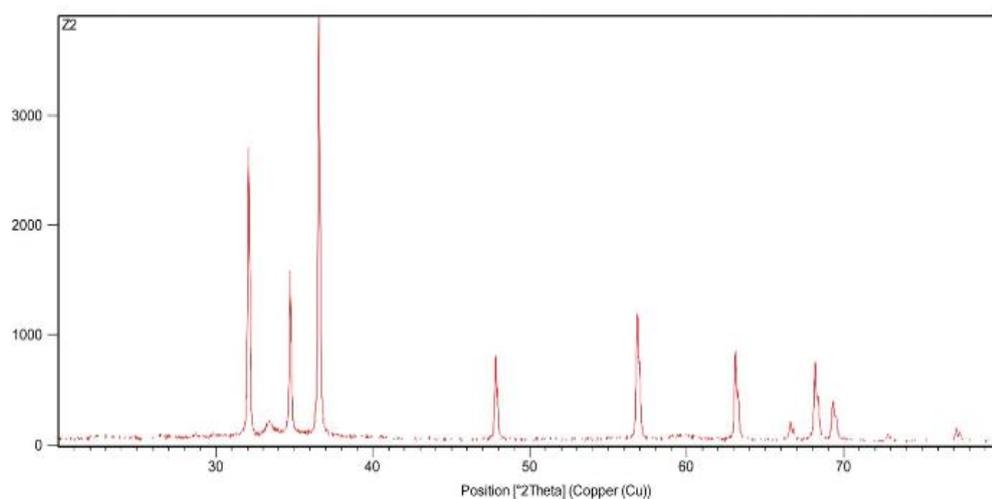
Gambar 2.7. Mekanisme kavitasi yang diakibatkan oleh gelombang ultrasonik (Arifin, 2014).

Hasil penelitian Bordbar, dkk. (2016) mensintesis ZnO menggunakan metode kopresipitasi, hidrotermal, dan sonikasi. Pada penggunaan metode sonikasi menghasilkan bentuk morfologi yang lebih seragam dan berbentuk bulat dengan ukuran diameter 65-70 nm. Sedangkan metode hidrotermal dan kopresipitasi dihasilkan morfologi dengan ukuran tidak teratur dan terdapat agregat.

Berdasarkan tipe sonikator yang digunakan terdapat dua macam yaitu sonikasi *low intensity* dan sonikasi *high intensity*. Perbedaan sonikasi *low intensity* dan sonikasi *high intensity* antara lain ialah sonikasi *low intensity* memiliki frekuensi gelembung 42 kHz, 100 W, sedangkan sonikasi *high intensity* menggunakan gelombang mekanik energi tinggi 20-100 kHz dengan menggunakan tingkat daya (600-2000 W) dan waktu (5-30 menit) sehingga akan mempengaruhi ukuran partikel dan sifat optik (Zhao, dkk., 2021).

Sintesis ZnO yang dilakukan Yadav, dkk. (2007) dilaporkan bahwa sintesis ZnO dengan variasi waktu sonikasi (*low intensity*) 15, 30, 45, 60, 75, 90, 120, dan 360 menit pada suhu ruang. Hasil penelitian menunjukkan semakin lama waktu sonikasi dihasilkan ukuran kristal yang semakin membesar.

Penggunaan sonikasi *high intensity* dengan cepat mengurangi ukuran partikel hingga 5 μm , meningkatkan luas permukaan secara signifikan, menyebabkan peningkatan agregasi partikel, dan efisiensi waktu sonikasi (Suslick, dkk., 1987). Penelitian Singh, dkk. (2013) berhasil mensintesis ZnO menggunakan sonikasi *high intensity* selama 15 menit dengan metode hidrotermal-sonikasi, dan pola XRD ditampilkan pada Gambar 2.8.

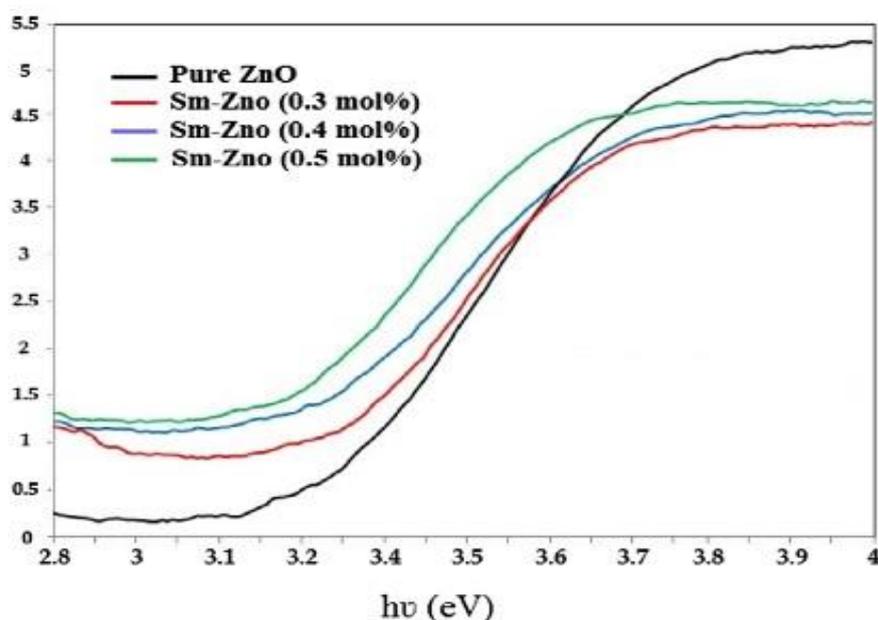


Gambar 2.8 Spektrum XRD untuk nanopartikel seng oksida menunjukkan puncak difraksi (Singh, dkk., 2013).

Gambar 2.8 menjelaskan bahwa hasil pola data XRD, didapatkan struktur *wurtzite* heksagonal sesuai pada standar JCPDS : 36-1451 dan Spektrum difraksi menunjukkan bebas dari pengotor karena tidak mengandung karakteristik puncak XRD selain puncak ZnO. Ukuran partikel rata-rata sampel sebesar 14,15 nm.

Penelitian Eskandarloo, dkk. (2015) berhasil mensintesis ZnO terdoping samarium (Sm^{3+}) menggunakan metode sonikasi *high intensity* selama 30 menit. Dihasilkan struktur *wurtzite* heksagonal dengan ukuran kristal rata rata ZnO murni dan yang didoping Sm^{3+} adalah 20 nm dan 16 nm. Untuk mempelajari sifat

penyerapan optik dari nanopartikel ZnO murni dan yang didoping Sm, telah dilakukan analisis DRS. Spektrum pantulan menunjukkan panjang gelombang serapan pergeseran merah untuk sampel ZnO yang didoping Sm. Nilai *band gap* untuk nanopartikel ZnO murni dan yang didoping Sm (0,3, 0,4, dan 0,5 mol%) masing-masing adalah 3,18, 3,15, 3,07, dan 3,03 eV, dan spektra UV-Vis DRS ditunjukkan pada Gambar 2.9



Gambar 2.9 Hasil spektra UV-vis dari nanopartikel ZnO (Eskandarloo, dkk., 2016).

Penggunaan waktu sonikasi *high intensity* yang lebih lama (2 jam), didapatkan intensitas *layered hydrate zinc acetate* (LHZA) yang cukup tinggi dan terdapat aglomerasi dalam skala nano. Berdasarkan hal tersebut sonikasi *high intensity* menggunakan waktu sintesis yang relatif singkat (15 menit) dan berdasarkan hasil pada Gambar 2.8, sonikasi *high intensity* menghasilkan tingkat kristalinitas yang tinggi dan bebas dari pengotor.

Penggunaan metode sol-gel untuk sintesis ZnO terdoping La^{3+} , dilaporkan menghasilkan ZnO dan fasa pengotor seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.4. Berdasarkan uraian diatas dapat dilakukan sintesis ZnO terdoping La^{3+} 0,1% menggunakan metode sonikasi *high intensity* dengan variasi lama waktu sonikasi 15, 30, dan 60 menit. Dilakukan variasi lama waktu sonikasi *high intensity* karena dapat menyebabkan ukuran partikel kecil, nilai band gap semakin turun, dan serapan panjang gelombangnya mengarah ke sinar tampak. Selain itu, penggunaan suhu kalsinasi pada metode ini relatif rendah (300°C). Hal ini berdasarkan hasil penelitian Sheydaei, dkk. (2019) menunjukkan bahwa saat suhu kalsinasi dinaikkan dari 300 menjadi 500°C , efisiensi degradasi polutan organik menurun. Dengan meningkatnya suhu kalsinasi, kristalisasi nanokomposit dapat ditingkatkan. Hal ini menyebabkan peningkatan ukuran partikel yang dikembangkan. Luas permukaan berkorelasi dengan ukuran kristal, partikel yang dikembangkan pada 300°C memiliki ukuran yang lebih kecil memiliki luas permukaan spesifik yang lebih besar.

2.4 Pandangan Islam Tentang Material Fotokatalis

Fotokatalis merupakan proses reaksi kimia yang melibatkan material fotokatalis dan cahaya sebagai pemicu terjadinya reaksi. Sinar atau cahaya merupakan faktor yang sangat penting dalam proses fotokatalitik. Energi yang dimiliki cahaya diperlukan untuk mengaktifkan material fotokatalis sehingga mempercepat reaksi kimia. Allah SWT memerintahkan manusia untuk memanfaatkan cahaya dalam kehidupannya. Allah SWT berfirman dalam surat Yunus ayat 5 :

هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسَ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُورًا وَقَدَرَهُ مَنَازِلَ لِتَعْلَمُوا عَدَدَ السِّنِينَ
وَالْحِسَابَ ۗ مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ يُفَصِّلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ

Artinya : “Dialah yang menjadikan matahari bersinar dan bulan bercahaya. Dialah pula yang menetapkan tempat-tempat orbitnya agar kamu mengetahui bilangan tahun dan perhitungan (waktu). Allah tidak menciptakan demikian itu, kecuali dengan benar. Dia menjelaskan tanda-tanda (kebesaran-Nya) kepada kaum yang mengetahui”.

Menurut tafsir Kemenag (2019) Allah SWT. menjadikan matahari dan bulan berbeda sifat fisisnya. Matahari bersinar karena memancarkan cahayanya, sedangkan bulan bercahaya karena memantulkan cahaya matahari untuk dapat digunakan sebagai perkiraan waktu dan bilangan tahun. Dikatakan pada lafadz “Adh-dhiyaa’u” yang memiliki makna sumber cahaya atau cahaya yang sangat terang dan dapat dimanfaatkan. Ayat diatas menjelaskan bahwa cahaya matahari memiliki banyak manfaat bagi manusia. Cahaya matahari dapat digunakan sebagai sumber foton untuk proses eksitasi electron pada mekanisme fotokatalitik. Material fotokatalis yang dihasilkan dapat digunakan sebagai material pendegradasi zat warna menjadi zat yang ramah lingkungan.

BAB III METODOLOGI

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei - Juni 2022 di Laboratorium Kimia Anorganik dan Laboratorium Instrumentasi Jurusan Kimia, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : neraca analitis, tanur, gelas arloji, pipet tetes, spatula, aluminum foil, neraca analitik, *mortal agate*, krusibel alumina, *hotplate*, magnetik stirer, oven, gelas ukur 50 mL, corong gelas, erlenmeyer 250 mL, statif, *ultrasonic vibra-cell*, *X-Ray Diffraction* bubuk (XRD, Phillip E'xpert Pro), dan *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (UV-Vis DRS).

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : *zinc acetate dehydrate* ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), *lanthanum nitrate hexahydrate* ($\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), etanol (EtOH, *p.a*), natrium hidroksida (NaOH), Aquades, dan isopropanol, *p.a*.

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan ini adalah sintesis ZnO terdoping lantanum menggunakan metode sonikasi *high intensity* dengan prekursor *zinc acetate*

dehydrate, *lanthanum nitrate hexahydrate*, dan NaOH, dengan menggunakan waktu variasi 15, 30, dan 60 menit dengan suhu kalsinasi 300°C. Hasil sintesis akan dikarakterisasi struktur materialnya dengan XRD, untuk mengetahui lebar celah pita material (*band gap*) hasil sintesis menggunakan UV-Vis DRS.

3.4 Tahapan Penelitian

- a. Sintesis ZnO terdoping lantanum (III) menggunakan metode sonikasi *high intensity* dengan variasi waktu 15, 30, dan 60 menit.
- b. Karakterisasi struktur material ZnO terdoping lantanum (III) dengan instrumen XRD.
- c. Karakterisasi untuk mengetahui lebar celah pita material ZnO terdoping lantanum (III) dengan instrumen DRS
- d. Analisis data

3.5 Prosedur Kerja

3.5.1 Sintesis Material ZnO Terdoping Lantanum (III) dengan Menggunakan Metode Sonikasi

Sintesis ZnO terdoping lantanum (III) dilakukan dengan menimbang *zinc acetate dehydrate* ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), dicampur 50 mL isopropanol dan ditambahkan NaOH 1M, penambahan jumlah prekursor terlampir dalam Lampiran 2. Selanjutnya, dimasukkan 0.1% *lanthanum nitrate hexahydrate* ($\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) sebanyak 0.0107 gram, dan diaduk menggunakan magnetik *stirrer* sampai sempurna. Kemudian diatur pH pada larutan dengan penambahan NaOH 1M perlahan sampai pH 10, selanjutnya diaduk dengan magnetik *stirrer* selama 15 menit sampai homogen pada suhu ruang. Campuran kemudian disonikasi menggunakan

ultrasonic vibracell selama 15, 30, dan 60 menit. Hasil dari sonikasi didiamkan selama 24 jam untuk memaksimalkan proses kristalisasi material. Selanjutnya, disaring dan dicuci dengan etanol dan akuades. Kemudian hasil sonikasi diuapkan pelarutnya di dalam oven pada temperatur 105°C selama 2 jam. Kemudian padatan digerus dengan mortal *agate* dan dibuat pelet. Setelah itu, dikalsinasi didalam tanur pada suhu 300°C selama 3 jam. Selanjutnya, dilakukan karakterisasi menggunakan XRD dan UV-Vis DRS.

3.5.2 Karakterisasi dengan XRD

Karakterisasi XRD (*X-Ray Diffraction*) digunakan untuk menganalisis material hasil sintesis ZnO terdoping lantanum (III). Tujuan dari karakterisasi ini adalah untuk mengetahui identifikasi fasa, kristalinitas dari material, perubahan struktur akibat adanya dopan. Pengukuran pada XRD dilakukan dengan logam target Cu K α ($\lambda = 1,5405 \text{ \AA}$) pada arus 30 mA, dan generator 40 kV dan pada sudut $2\theta (^{\circ}) = 15 - 60^{\circ}$. Prinsip dari pengukuran XRD adalah adanya elektron dari tabung katoda yang akan menumbuk pada logam target sehingga menghasilkan sinar-X sehingga terjadi hamburan difraksi. Preparasi material ini dengan menghaluskan sampel menjadi bubuk halus, kemudian dimasukkan dalam sampel holder untuk dikenai sinar-X. Hasil dari karakterisasi dengan XRD adalah difaktrogram yang mana akan dibandingkan dengan standar COD ZnO no. 96-900-4180 *hexagonal wurtzite* dan standart La₂O₃ (ICSD 24693). Pengelolahan data yang diperoleh akan *direfinement* dengan program Rietica dan metode Le Bail. Ukuran kristal hasil sintesis ZnO diukur dengan persamaan Debye Scherer yang ditunjukkan pada persamaan 3.1

$$D = \frac{(K\lambda)}{\beta \cos \theta} \dots\dots\dots 3.1$$

dengan D adalah ukuran partikel (nm), λ adalah panjang gelombang radiasi, K adalah konstanta (0,9), β adalah lebar setengah puncak (FWHM, radian).

3.5.3 Karakterisasi dengan UV-Vis DRS

Karakterisasi DRS digunakan untuk mengetahui panjang gelombang, intensitas cahaya yang diserap baik UV maupun sinar tampak, serta besarnya celah pita (*band gap*). Preparasi sampel yang digunakan harus digerus sampai berbentuk bubuk kemudian ditempatkan pada *sample holder* kemudian diukur persen reflektansinya pada 200-900 nm. Data reflektansi yang diperoleh akan dianalisa menggunakan persamaan Kubelka-Munk yang ditunjukkan pada persamaan 3.2.

$$F(R) = \frac{(1-R)^2}{2R} = \frac{K}{S} \dots\dots\dots 3.2$$

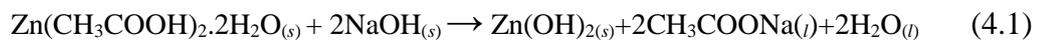
dengan $F(R)$ adalah faktor Kubelka-Munk, K adalah koefisien absorpsi molar, S adalah koefisien *scattering*, R adalah nilai reflektan diukur.

Nilai energi celah pita ditentukan dari membuat plot antara energi foton ($h\nu$) bisa dihitung dari data panjang gelombang yang terukur, dimana $h\nu = hc/\lambda$ dengan c adalah tetapan cahaya, dan h adalah tetapan plank. Energi celah pita dihitung secara regresi linier pada nilai x ($h\nu =$ energi celah pita) ketika $y = 0$.

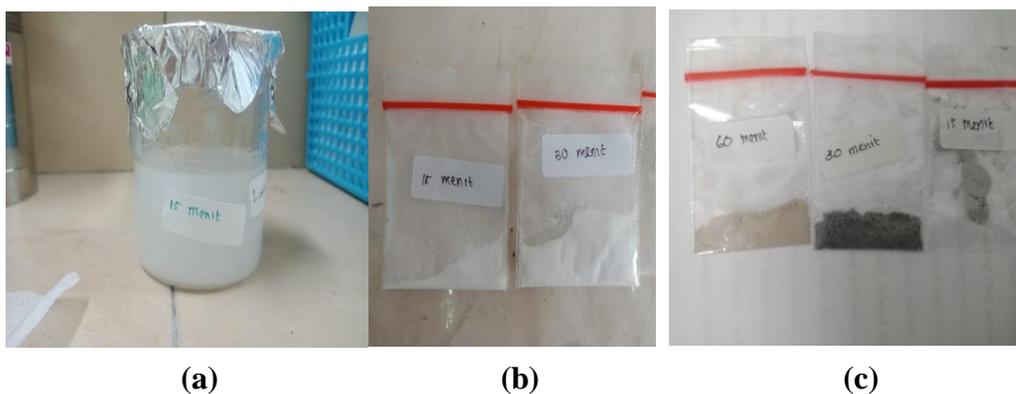
BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Sintesis ZnO terdoping Lanthanum (III) dengan Metode Sonikasi

Material ZnO terdoping lanthanum (III) disintesis menggunakan metode sonikasi menghasilkan padatan putih yang diperlihatkan pada Gambar 4.1. Tahap awal sintesis mencampurkan *zinc acetate dihydrate* ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dan isopropanol yang berfungsi sebagai medium cair dalam perambatan gelombang ultrasonik, membantu proses hidrolisis, dan menyediakan ion hidroksil selama proses sonikasi (Safitri, 2019). Selanjutnya ditambahkan *lanthanum nitrate hexahydrate* ($\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) dan NaOH. Penambahan NaOH saat proses sintesis menghasilkan $\text{Zn}(\text{OH})_2$ yang merupakan unit pembentukan ZnO yang terbentuk pada proses pemanasan. Reaksi larutan $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dan NaOH menghasilkan $\text{Zn}(\text{OH})_2$, CH_3COONa dan H_2O (reaksi 4.1). Pembentukan $\text{Zn}(\text{OH})_2$ diawali dengan terbentuknya larutan keruh kemudian berubah menjadi putih susu dan membentuk suatu koloid. Koloid terbentuk ketika Zn^{2+} dan OH^- mencapai angka kritikal kelarutan (reaksi 4.2). Sementara itu, kelebihan ion OH^- akan bereaksi dengan $\text{Zn}(\text{OH})_2$ membentuk kompleks $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$ (reaksi 4.3). Dengan adanya H_2O dan energi yang diberikan ketika larutan diaduk menggunakan magnetic stirrer, $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$ terdisosiasi kembali membentuk ion Zn^{2+} dan OH^- seperti pada reaksi (4.3) yang selanjutnya membentuk ZnO (reaksi 4.4) (Nurbayasari, dkk., 2017).



Berdasarkan Gambar 4.1 pengamatan secara fisik hasil sintesis terjadi perubahan warna, warna hitam dan coklat merupakan sisa residu yang belum menguap secara sempurna saat dilakukan pemanasan, sehingga saat dilakukan kalsinasi maka sampel tersebut memiliki warna yang berbeda. Proses kalsinasi ini bertujuan untuk menghilangkan sisa reaktan yang tidak tersaring dalam filtrat dan untuk meningkatkan kristalinitas nanopartikel ZnO. Pada proses kalsinasi, temperatur yang tinggi memberikan energi pendorong yang cukup untuk memutus ikatan antara Zn atau OH yang ada pada permukaan atau intersisi ZnO untuk membentuk radikal Zn^{2+} dan OH° yang selanjutnya terjadi penyusunan ulang atau pembentukan nanopartikel (Reaksi 4.5 dan 4.6) (Nurbayasari, dkk., 2017).

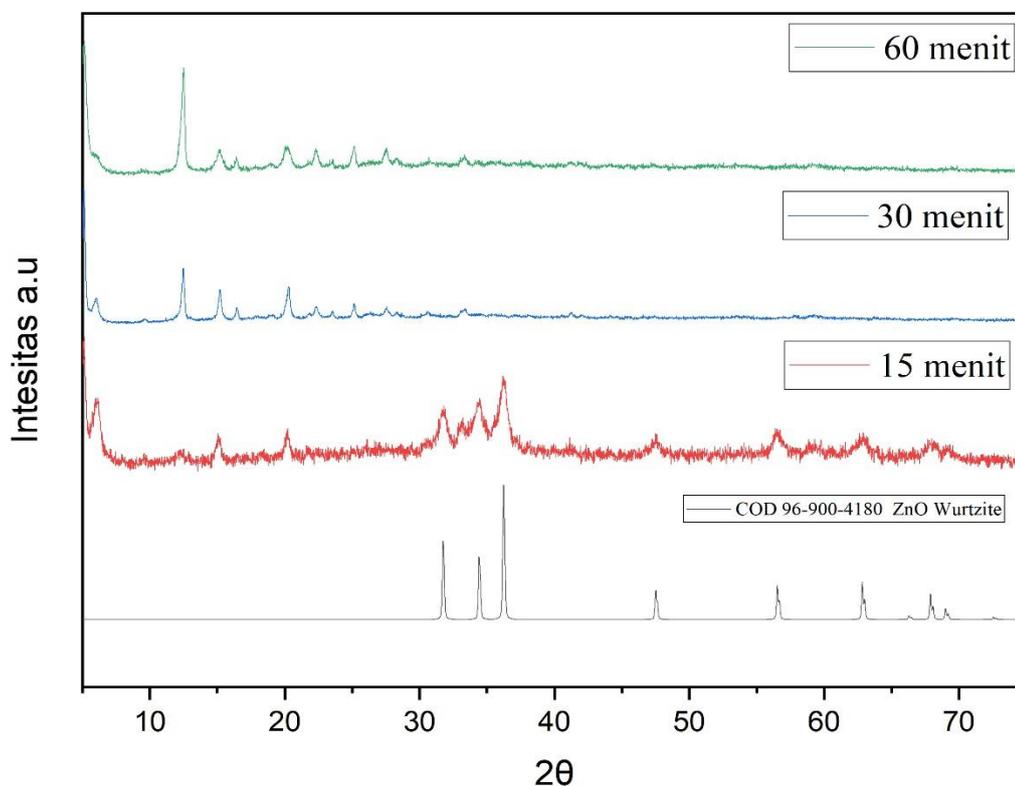


Gambar 4.1 (a) Campuran Zn-asetat dengan NaOH menghasilkan endapan putih, (b) Hasil serbuk variasi waktu sonikasi 15, 30, dan 60 menit $ZnO-La^{3+}$ tanpa kalsinasi, dan (c) Hasil kalsinasi serbuk $ZnO-La^{3+}$ variasi waktu sonikasi 15, 30, dan 60 menit.

4.2 Karakterisasi Hasil Sintesis Material ZnO terdoping Lanthanum (III).

4.2.1 Karakterisasi menggunakan *X-ray Diffraction (XRD)*, Spektroskopi Inframerah (IR) Produk Hasil Sintesis Tanpa Kalsinasi

Tujuan dari karakterisasi ini adalah untuk mengetahui identifikasi fasa, kristalinitas dari material, perubahan struktur akibat adanya dopan. Hasil difaktogram XRD yang diperoleh, selanjutnya dianalisis lebih lanjut dengan membandingkan pola difraksinya dengan data standar *Crystallography Open Database (COD)* ZnO untuk *wurtzite*, *rocksalt*, dan *zinblend*. Difaktogram hasil analisis XRD untuk sampel ZnO terdoping La^{3+} pada berbagai variasi waktu sonikasi tanpa kalsinasi ditunjukkan pada Gambar 4.2.



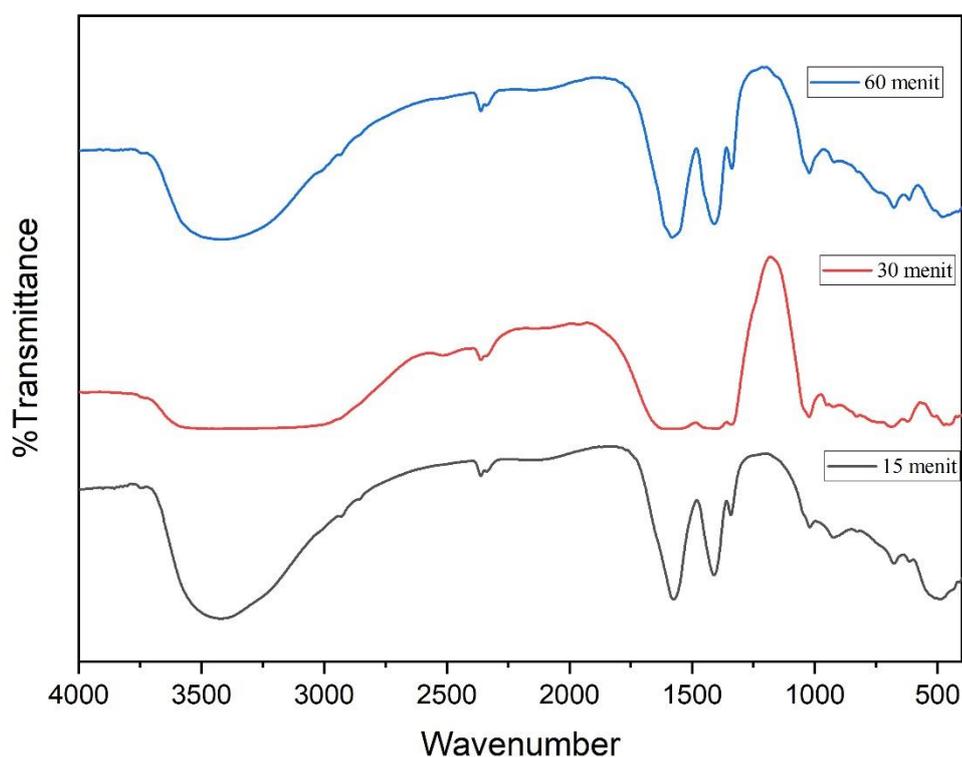
Gambar 4.2. Pola difraksi sinar-X material ZnO terdoping lanthanum (III) menggunakan variasi waktu sonikasi tanpa kalsinasi.

Hasil yang diperoleh dapat diidentifikasi bahwa difaktrogram hasil sintesis ZnO terdoping lantanum (La^{3+}) dengan waktu sonikasi 15 menit mempunyai kesesuaian dengan struktur ZnO wurtzite dan ditemukan pengotor karena adanya puncak lain selain karakter wurtzite. Berdasarkan data COD ZnO no. 96-900-4180 posisi 2θ sekitar $36,29^\circ$ memiliki intensitas paling tinggi yang merupakan ciri khas dari pola difraksi ZnO pada bidang *hkl* 101. Sedangkan pada sampel dengan waktu sonikasi 30 dan 60 menit tidak terbentuk puncak ZnO.

Hasil yang diperoleh dapat diidentifikasi bahwa difaktrogram hasil sintesis ZnO terdoping lantanum (La^{3+}) dengan waktu sonikasi 15 menit mempunyai kesesuaian dengan struktur ZnO wurtzite dan ditemukan pengotor karena adanya puncak lain selain karakter wurtzite. Berdasarkan data COD ZnO no. 96-900-4180 posisi 2θ sekitar $36,29^\circ$ memiliki intensitas paling tinggi yang merupakan ciri khas dari pola difraksi ZnO pada bidang *hkl* 101. Sedangkan pada sampel dengan waktu sonikasi 30 dan 60 menit tidak terbentuk puncak ZnO. Puncak pengotor pada sampel terkait dengan adanya LHZA ($\text{Zn}_5(\text{OH})_8(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), $\text{Zn}(\text{OH})_2$, dan natrium asetat. Puncak ZnO tidak terlihat pada sampel, dapat disimpulkan bahwa kristal belum terjadi pertumbuhan. Setelah proses sonikasi akan terbentuk endapan $\text{Zn}(\text{OH})_2$, yang merupakan unit pembangun inti ZnO, melalui proses pemanasan $\text{Zn}(\text{OH})_2$ kristal ZnO akan terbentuk. Proses pembentukan ikatan Zn-O dan kristalisasi ZnO terjadi pada saat proses kalsinasi yang dipengaruhi oleh suhu kalsinasi (Hernowo, 2019).

Karakterisasi inframerah (IR) bertujuan untuk mengetahui mode vibrasi IR dari sampel ZnO terdoping lantanum. Spektra IR ditampilkan pada Gambar 4.3 dan identifikasi modus vibrasi IR pada sampel dirangkum pada Tabel 4.1. Berdasarkan

pada Gambar 4.3 menunjukkan modus vibrasi $3130\text{--}3516\text{ cm}^{-1}$ ditemukan pada sampel yang merupakan modus vibrasi O-H. Hal ini mengindikasikan OH^- dari air dan pelarut. Puncak lebar terpusat 3400 cm^{-1} (vibrasi renggang gugus OH^- dari H_2O) yang mendukung keberadaan air yang terabsorb pada permukaan ZnO yang ditunjukkan pada puncak $416\text{--}569\text{ cm}^{-1}$ vibrasi ulur dari ZnO. Proses pemanasan yang rendah menyebabkan gugus karbonil pada ZnO masih teramati. Pita $1350\text{--}1600\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan spesies asetat yang terserap kedalam permukaan ZnO. Serapan $1079\text{--}790\text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi ulur dari $T\text{-O-T}$ dan O-T-O , T merupakan mineral Si atau Al.



Gambar 4.3. Spektra IR ZnO-La³⁺ tanpa kalsinasi

Spektra IR pada sampel 15, dan 60 menit, pada daerah panjang gelombang sekitar 400 cm^{-1} tidak memiliki menunjukkan puncak tajam dan melebar yang merupakan modus vibrasi ulur Zn-O. Hal ini dimungkinkan adanya pembentukan

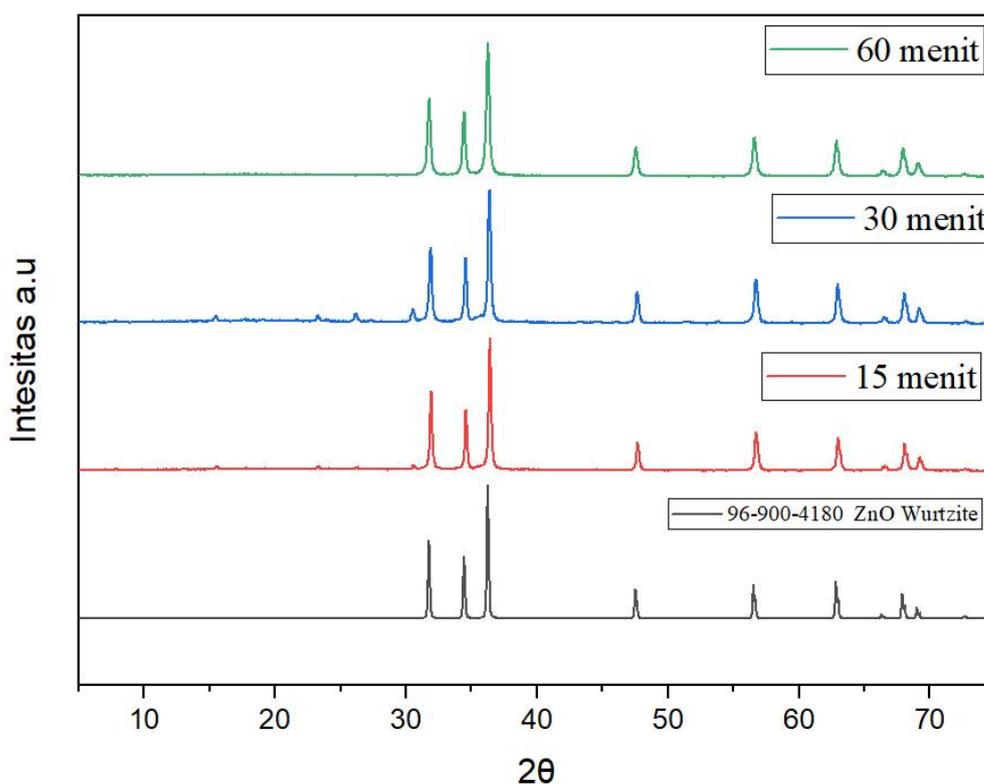
senyawa intermediet $\text{Zn}(\text{OH})_2$ yang mengakibatkan adanya modus vibrasi tekuk Zn-OH dengan intensitas lemah pada bilangan gelombang 700-600 cm^{-1} (Radzimska, dkk., 2012). Keberadaan vibrasi non Zn-O menunjukkan bahwa masih ada sisa-sisa senyawa yang terlibat pada mekanisme reaksi.

Tabel 4.1. Hasil karakterisasi gugus fungsi pada sampel ZnO tanpa kalsinasi.

Sampel	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Modus Vibrasi
ZnO-La 15 menit	3424	Vibrasi ulur O-H
	2359	Vibrasi ulur $\text{C}\equiv\text{C}$ (alkuna)
	1575	Vibrasi tekuk C-H
	1409	Vibrasi tekuk $\text{C}=\text{C}$
	1341	Vibrasi tekuk $\text{C}=\text{O}$
	923-1020	Vibrasi T-O-T
	615-677	Vibrasi tekuk Zn-OH
	489	Vibrasi Zn-O-La
ZnO-La 30 menit	3130-3515	Vibrasi ulur O-H
	2360	Vibrasi ulur $\text{C}\equiv\text{C}$ (alkuna)
	2338	Vibrasi tekuk $\text{C}=\text{C}$
	1415	Vibrasi tekuk $\text{C}=\text{C}$
	1338	Vibrasi tekuk $\text{C}=\text{O}$
	952-1022	Vibrasi T-O-T
	621-684	Vibrasi tekuk Zn-OH
	468-506	Vibrasi ulur ZnO-La
ZnO-La 60 menit	3416	Vibrasi ulur O-H
	2360	Vibrasi ulur $\text{C}\equiv\text{C}$ (alkuna)
	1583	Vibrasi tekuk C-H
	1409	Vibrasi tekuk $\text{C}=\text{C}$
	1334	Vibrasi tekuk $\text{C}=\text{O}$
	920	Vibrasi T-O-T
	677	Vibrasi tekuk Zn-OH
	482	Vibrasi ulur ZnO-La

4.2.2 Karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)* Produk Hasil Sintesis dengan Kalsinasi Pada Suhu 300°C Selama 3 Jam

Difaktogram sampel ZnO terdoping La³⁺ pada berbagai variasi waktu sonikasi dengan kalsinasi pada suhu 300°C selama 3 jam ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Pola difraksi sinar-X material ZnO terdoping lanthanum (III) menggunakan variasi waktu sonikasi dengan kalsinasi pada suhu 300°C

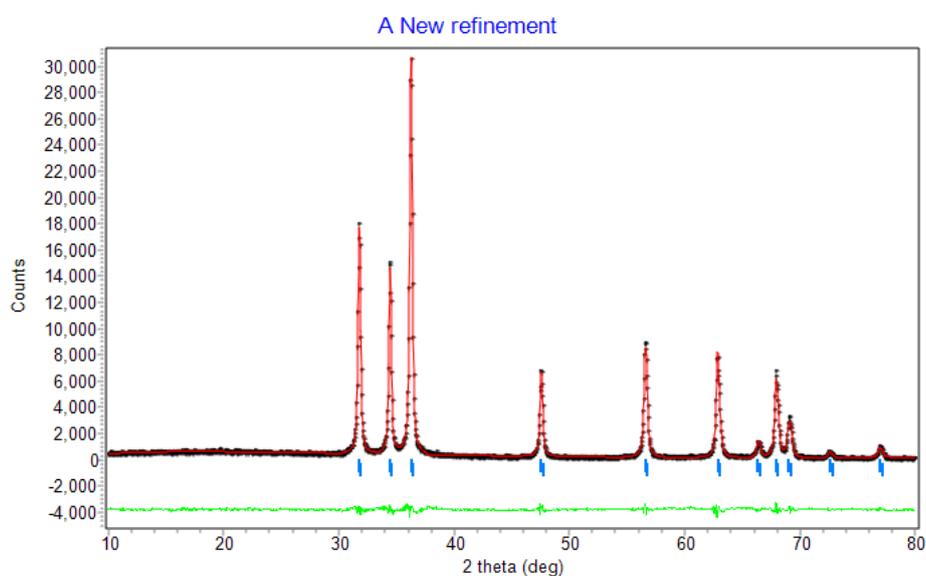
Hasil yang diperoleh dapat diidentifikasi bahwa difaktogram hasil sintesis sampel ZnO terdoping La³⁺ pada variasi waktu sonikasi dengan kalsinasi pada suhu 300°C selama 3 jam mempunyai kesesuaian dengan struktur ZnO *wurtzite*, dan pada waktu sonikasi 60 menit memiliki kemurnian yang tinggi karena tidak adanya puncak lain selain karakter *wurtzite*, sedangkan pada waktu sonikasi 15 dan 30 menit ditemukan puncak lain selain puncak ZnO *wurtzite*, yakni natrium asetat dan

zinc hydroxide dihydrate. Berdasarkan data COD ZnO no. 96-900-4180 posisi 2θ sekitar $36,41^\circ$ memiliki intensitas paling tinggi yang merupakan ciri khas dari pola difraksi ZnO pada bidang *hkl* 101. Berdasarkan hasil difraktogram XRD yang ditunjukkan, bahwa waktu lama sonikasi tidak menyebabkan perubahan transformasi fasa struktur ZnO.

Hasil yang diperoleh dapat diidentifikasi bahwa difraktogram hasil sintesis sampel ZnO terdoping La^{3+} pada variasi waktu sonikasi dengan kalsinasi pada suhu 300°C selama 3 jam mempunyai kesesuaian dengan struktur ZnO *wurtzite*, dan pada waktu sonikasi 60 menit memiliki kemurnian yang tinggi karena tidak adanya puncak lain selain karakter *wurtzite*, sedangkan pada waktu sonikasi 15 dan 30 menit ditemukan puncak lain selain puncak ZnO *wurtzite*, yakni natrium asetat dan *zinc hydroxide dihydrate*. Berdasarkan data COD ZnO no. 96-900-4180 posisi 2θ sekitar $36,41^\circ$ memiliki intensitas paling tinggi yang merupakan ciri khas dari pola difraksi ZnO pada bidang *hkl* 101. Berdasarkan hasil difraktogram yang ditunjukkan, bahwa waktu lama sonikasi tidak menyebabkan perubahan transformasi fasa struktur ZnO.

Berdasarkan hasil difraktogram yang diperoleh, terlihat adanya pergeseran posisi puncak ke arah 2θ yang lebih besar pada variasi waktu 15 menit. Pergeseran puncak 2θ tersebut dimungkinkan berkaitan dengan regangan kisi dan beberapa jenis cacat dalam kristal ZnO. Hal ini mengindikasikan adanya perubahan kisi dan cacat kristal akibat adanya dopan La^{3+} yang tersubstitusi ke dalam kisi kristal ZnO. Perbedaan jari-jari ionik Zn^{2+} dan La^{3+} masing-masing adalah 0,6 dan 1,06 sehingga doping ion La^{3+} menyebabkan struktur ZnO mengalami distorsi, regangan kisi, dan cacat kristal (Thi Viet, dkk., 2017).

Untuk memperoleh data kristalografi dilakukan proses *refinement* dengan metode Le Bail. Proses *refinement* menggunakan data standar COD ZnO Wurtzite No.96-900-4180 yang memiliki parameter kisi a (Å) = b (Å) = 3,2530, c (Å) = 5,2070, $Z = 2$, sel satuan heksagonal, dan volume sel satuan 47,72 dengan grup ruang P63mc. Gambar hasil dan data yang dihasilkan setelah dilakukan proses *refinement* ditunjukkan pada Gambar 4.5 untuk waktu sonikasi 60 menit dengan kalsinasi 300°C selama 3 jam. Dan hasil *refinement* dirangkum pada Tabel 4.2.



Gambar 4.5 Plot hasil *refinement* ZnO-La³⁺ waktu sonikasi 60 menit dengan suhu kalsinasi 300°C selama 3 jam.

Berdasarkan Tabel 4.2 diketahui bahwa ZnO-La³⁺ waktu sonikasi 30 menit dengan suhu kalsinasi 300°C selama 3 jam, memiliki kecocokan yang baik dengan data standar COD ZnO Wurtzite No.96-900-4180, hal ini dapat dilihat dari nilai profil (R_p) dan nilai residu profil berbobot (R_{wp}), menurut Andrieux, dkk (2018) nilai kesesuaian parameter didapat jika nilai profil (R_p) dibawah 10 dan nilai residu

profil berbobot (R_{wp}) dibawah 20%. Adanya variasi waktu sonikasi tidak berpengaruh terhadap struktur kristal maupun gugus ruang.

Tabel 4.2. Data kristalografi ZnO dari *refinement* dengan metode Le Bail

Parameter	Waktu Sonikasi 30 menit
Grup Ruang	$P6_3mc$
Kisi Kristal Unit Asimetrik (Z)	2
$a = b$ (Å)	3,253285 (0)
c (Å)	5,206778 (0)
Volume sel (Å ³)	47,72478 (0)
R_p (%)	7,25
R_{wp} (%)	4,20
GoF (χ)	0,7893

Keterangan : $P6_3mc$ (P : jenis kisi primitive, 6_3 : *screw rotation* (translasi dan rotasi), m : bidang cermin, dan c : *glide* pada sumbu c)

Crystalite size senyawa ZnO diukur menggunakan persamaan Debye-Scherer. Contoh perhitungan ditampilkan pada lampiran dan hasil perhitungan *crystalite size* ditunjukkan pada Tabel 4.3. Dari hasil perhitungan diperoleh hasil bahwa semakin lama waktu sonikasi, ukuran kristal ZnO semakin kecil. Naimah dan Ernawati (2011) melaporkan bahwa material fotokatalis yang berukuran nano, yaitu <100 nm, hal ini disebabkan oleh iradiasi gelombang ultrasonik yang menyebabkan ukuran kristal lebih kecil akibat adanya proses kavitasi. Namun pada data yang diperoleh tidak berkesesuaian dengan teori, menurut Alfarisa, dkk (2018) semakin lama waktu sonikasi maka rentang ukuran kristal ZnO semakin membesar. karena semakin lama sonikasi Zn(OH)₂ yang terbentuk semakin banyak sehingga distribusi kristalnya cepat dan terbentuk kristal ZnO yang besar. Namun diperlukan analisis lebih lanjut seperti hasil mikroskop elektron untuk dapat mendukung hasil tersebut.

Tabel 4.3. Hasil perhitungan *Crystallite size* ZnO

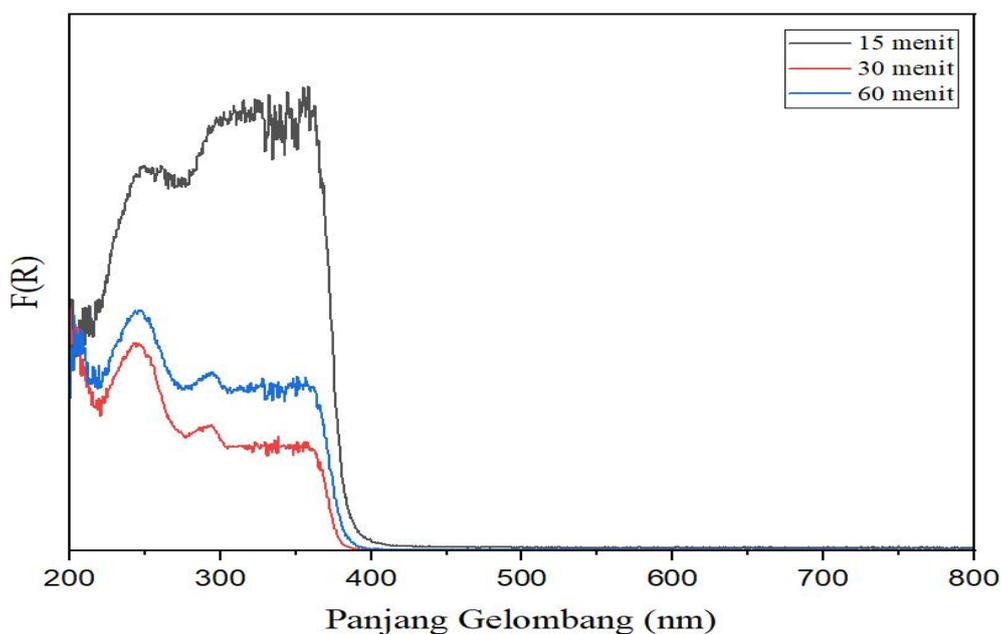
Waktu (Menit)	$2\theta(^{\circ})$	FWHM	<i>Crystallite size</i> (nm)
15	36,411	0,166	45,4
30	36,367	0,227	33,2
60	36,234	0,245	30,8

4.2.3 Karakterisasi menggunakan *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (DRS).

Pengukuran menggunakan Spektrofotometer UV-Vis DRS bertujuan untuk mengetahui karakteristik serapan sinar pada daerah ultraviolet maupun sinar tampak dan menentukan energi celah pita produk hasil sintesis. Serapan sinar dan energi celah pita dapat mempengaruhi kinerja dari semikonduktor dalam mengeksitasi elektron. Hasil pengukuran menggunakan UV-Vis DRS ditampilkan pada Gambar 4.6 dan 4.7.

Gambar 4.6 menunjukkan pengaruh waktu sonikasi ZnO terdoping La^{3+} terhadap nilai $F(R)$ yang berkorelasi dengan koefisien absorpsi per koefisien *scattering*. Pada daerah UV ZnO terdoping La^{3+} dengan waktu sonikasi 15 menit memiliki nilai koefisien absorpsinya yang lebih tinggi, sedangkan ZnO terdoping La^{3+} dengan waktu 60, dan 30 menit mengalami penurunan nilai koefisien absorpsi. Namun pada ZnO terdoping La^{3+} dengan waktu sonikasi 60 menit dengan kalsinasi pada suhu 300°C selama 3 jam memiliki kemampuan absorpsi lebih baik. Hal ini disebabkan tingginya absorpsi berpengaruh pada banyaknya cahaya yang akan diserap sedangkan cahaya yang akan dilewatkan sedikit. Naiknya nilai absorpsi sinar pada rentang daerah sinar tampak memberi potensi penyerapan sinar tampak yang lebih tinggi, sehingga diharapkan memiliki aktivitas fotokatalis yang lebih efektif.

Nilai energi celah pita didapatkan dari perhitungan data persen reflektansi DRS dengan menggunakan persamaan Kubelka-Munk (Persamaan 3.2). Dari perhitungan persamaan 3.2. didapatkan hubungan antara $(FR/h\nu)^{1/2}$ dengan energi foton ($h\nu$) yang ditampilkan pada Gambar 4.7 Perhitungan nilai energi celah pita dirangkum pada Tabel 4.4.

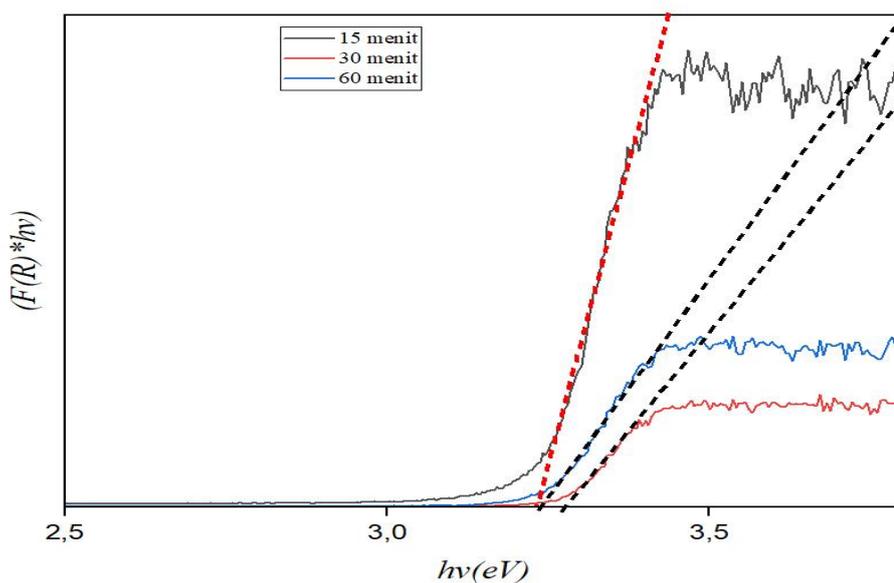


Gambar 4.6. Hubungan spektra UV-DRS antara $F(R)$ dengan panjang gelombang (tanpa kalsinasi)

Tabel 4.4 Nilai energi celah pita

Tanpa Kalsinasi	
Waktu Sonikasi (menit)	Energi celah pita (eV)
15	3,20
30	3,23
60	3,22
Kalsinasi 300°C	
Waktu Sonikasi (menit)	Energi celah pita (eV)
60	3,04

Nilai energi celah pita ZnO terdoping La^{3+} memiliki energi celah pita sebesar 3,30 eV dengan panjang gelombang cahaya yang dibutuhkan oleh energi celah pita tersebut 376 nm (Ananda, dkk., 2007). Dari Tabel 4.4 memiliki energi celah pita paling rendah adalah 3,04 eV dengan panjang gelombang 408,17 nm. Hal tersebut menunjukkan bahwa ZnO terdoping lantanum pada waktu sonikasi 60 menit dengan kalsinasi 300°C selama 3 jam dapat bekerja pada range sinar yang lebih lebar yaitu pada jarak UV hingga sinar tampak. Hal ini disebabkan pada suhu kalsinasi maka semakin besar terjadinya aglomerasi. Aglomerasi yang terjadi selain dapat mempengaruhi pergeseran serapan juga mempengaruhi nilai E_g . Semakin kecil nilai E_g maka akan semakin memudahkan elektron untuk eksitasi dari pita valensi ke pita konduksi (Rosanti, dkk., 2020).



Gambar 4.7. Hubungan $(F(R) \times hv)^{1/2}$ vs energi foton (tanpa kalsinasi)

4.3 Sintesis Material ZnO terdoping Lantanum (III) berdasarkan Perspektif Islam.

Mempelajari dan mengkaji apa yang Allah SWT ciptakan dialam semesta ini seperti atom Zn, O, dan La kemudian diaplikasikan untuk mensintesis senyawa fotokatalis ZnO yang didoping lantanum, merupakan bentuk mengaplikasikan ilmu dan dapat mengambil hikmah dari apa yang telah diciptakan. Hasil penelitian sintesis material ZnO terdoping lantanum (III) berkolerasi dengan firman Allah SWT yang menjelaskan tentang segala sesuatu yang Allah SWT ciptakan di muka bumi ini sesuai dengan ukuran dan fungsinya, hal tersebut dijelaskan dalam surat Fathir ayat 27 berikut ini :

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ ثَمَرَاتٍ مُّخْتَلِفًا أَلْوَانُهَا وَمِنَ الْجِبَالِ جُدَدٌ بَيْضٌ وَحُمْرٌ مُّخْتَلِفٌ
أَلْوَانُهَا وَغَرَابِيبُ سُودٌ

Artinya : *“Tidakkah engkau melihat bahwa Allah menurunkan air dari langit lalu dengan air itu Kami hasilkan buah-buahan yang beraneka macam jenisnya. Dan di antara gunung-gunung itu ada garis-garis putih dan merah yang beraneka macam warnanya dan ada (pula) yang hitam pekat”*.

Pada ayat ini, Allah menguraikan beberapa hal yang menunjukkan kesempurnaan dan kekuasaan-Nya , yang dapat dilihat manusia setiap waktu. Jika mereka menyadari dan menginsyafi semuanya itu, tentu mereka akan menyadari pula keesaan dan kekuasaan Allah Yang Maha Sempurna itu, segala sesuatu yang Allah SWT ciptakan di muka bumi ini sesuai dengan ukuran dan fungsinya. Salah satu contohnya adalah penciptaan gunung-gunung. Allah SWT menciptakan gunung-gunung yang mengandung mineral alam dan logam (Kustomo, 2022).

Logam di alam umumnya tidak ditemukan secara bebas tetapi selalu ada dalam bentuk persenyawaannya. Logam tanah jarang tersebut salah satunya adalah lantanum (III). Lantanum dapat digunakan sebagai doping, modifikasi ZnO terdoping lantanum tersebut bertujuan untuk menurunkan energi celah pita, meningkatkan serapan sinar, dan untuk menurunkan ukuran partikel.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Material fotokatalis ZnO terdoping lantanum (III) dengan variasi waktu sonikasi 15, 30, dan 60 menit dengan kalsinasi 300°C selama 3 jam berhasil disintesis dengan struktur *wurtzite* dan bergrup $P6_3mc$. dan hasil perhitungan *crystalite size* adalah 45,4 ; 33,2; 30,8 nm. Dan material fotokatalis ZnO terdoping lantanum (III) dengan variasi waktu sonikasi 15, 30, dan 60 menit tanpa kalsinasi. Pada waktu sonikasi 15 menit berhasil disintesis dengan struktur *wurtzite* dan bergrup $P6_3mc$. Berdasarkan data DRS menunjukkan ZnO-La³⁺ dengan waktu sonikasi 60 menit dengan kalsinasi 300°C selama 3 jam memiliki nilai energi celah pita paling kecil yaitu sebesar 3,04 eV dengan panjang gelombang 408,17 nm.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan kalsinasi pada sampel ZnO untuk mendapatkan ukuran partikel yang optimum serta untuk membantu menguraikan senyawa-senyawa dalam bentuk garam atau dihidrat menjadi oksida, dan membentuk fase kristal yang optimal.
2. Perlu dilakukan uji aktivitas fotokatalis pada rentang UV maupun *visible*, untuk mengetahui pengaruh dopan terhadap aktivitasnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrozi, A. S. 2010. Sintesis dan Karakterisasi Katalis Nanokomposit Berbasis Titania untuk Produksi Hidrogen dari Gliserol dan Air. *Tesis*. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Alavi, A.M., Morsali, A. 2011. Sonochemically Assited Synthesis of ZnO Nanopartikel : A Novel Direct Method. *Journal Chemistry Engineering*, 30: 75-81.
- Alfarisa,S., Rifai, D.A., dan Toruan, P.L., 2018. Studi Difraksi Sinar-X Struktur Nano ZnO. *Risalah Fisika*, 2 (2): 53-57.
- Al-Qur'an dan terjemahan. Kementrian Agama Republik Indonesia. 2017.
- Anandan, S., Vinu, A., Lovely, K.L.P., Golulakrishnan, N., dkk. 2007. Photocatalytic activity of La-doped ZnO for the degradation of monocrotophos in aqueous suspension. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 266: 149–157.
- Anandan, S., Vinu, A., Lovely, K.L.P.S., Gokulakrishnan, N., Srinivasu, P., Mori, T., Murugesan, V., Sivamurugan, V., dan Ariga, K. 2007. Photocatalytic Activity Of La-Doped ZnO For The Degradation Of Monocrotophos In Aqueous Suspension. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 266: 149–57.
- Ardiansyah, Nur dan Evy. 2014. Maryanti. Pengaruh Penambahan Sulfur Alam Pada Sintesis Nanopartikel ZnO Berbasis Capping agent Ekstrak Air Daging Buah Sapindus rarak DC dengan Metode Sonokimia. *Gradien*, 10 (2) : 1025-1028.
- Arief, M. 2011. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Seng Oksida (ZnO) dengan Metode Proses Pengendapan Kimia Basah dan Hidrotermal untuk Aplikasi Fotokatalisis. *Skripsi*. Depok : Universitas Indonesia.
- Arifin, N.L. 2014. Pengaruh Sonikasi Bertahap dalam Proses Degradasi Kitosan terhadap Komposisi Dan Properti Produk. *Tesis*. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- Ariyanti, D. S. 2012. Pengaruh Penambahan Oksidator H₂O terhadap Degradasi Zat Warna Methyl Orange dengan Fotokatalis ZnO-Zeolit. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya.

- Arutanti, O., Abdullah, M., Khairurrijal, K., dan Mahfudz, H. 2009. Penjernihan Air Dari Pencemaran Organik dengan Proses Fotokatalis pada Permukaan Titanium Dioksida (TiO₂). *Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi*: 53-55.
- Ashrafi, A., dan Jagadish, C. 2007. Review Of Zinc Blend ZnO : Stability of Metastable ZnO Phases. *Journal of Applied Physics*, 102 (7).
- Astuti, K. 2004. Kinetika Degradasi Fotokatalitik Zat Wana Batik Congo Red dengan menggunakan Suspensi TiO. *Skripsi*. Purwokerto : Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jenderal Soedirman.
- Baruah, S., Pal, S.K., dan Dutta, J. 2012. Nanostructure Zinc Oxide for water treatment. *Nanoscience and Nanotechnology Asia*, 2 (2): 90-102.
- Bizarro, M., 2010. High photocatalytic activity of ZnO and ZnO:Al nanostructured film deposited by spray pyrolysis. *Applied Catalysis B: Environmental*, 97 (2): 198-203.
- Bordbar, M., Forghani, P., Yeganeh-Faal, A., dan Khoddadi, B. 2016. Effect of Morphology on the Photocatalytic Behavior of ZnO Nanostructure : Low Temperature Sonochemical Synthesis of Ni Doped ZnO Nanoparticles. *Journal Nanostructure*, 6 (3) : 190-198.
- Carraway, E.R., Hoffman, A.J., dan Hoffman, M.R., 1994. Photocatalytic Oxidation of Organic Acids on Quantum-Sized Semiconductor Colloids. *Environmental Science and Technology*, 28: 786-793.
- Daratika, D.A., Baqiya, M.A., dan Darminto. 2016. Synthesis of Zn_{1-x}Cu_xO Nanoparticles by Coprecipitation and Their Structure and Electrical Property. *3rd International Conference on Functional Materials Science 2016*.
- Durri, S., dan Sutanto, H., 2015. Karakterisasi Sifat Optik Lapisan Tipis ZnO Doping Al yang Dideposisi di Atas Kaca dengan Metode SolGel Teknik Spray-Coating. *Jurnal Fisika Indonesia*. 119 (55): 38-40.
- Emin, S., M. de Respini, M. Fanetti, W. Smith, M. Valanta, dan B. Damb. 2015. A Simple Route For Preparation Of Textured WO₃ Thin Films From Colloidal W Nanoparticles and Their Photoelectron Chemical Water Splitting Properties. *Applied Catalysis B: Environmental* : 166–167.
- Eskandarloo, H., Badiei, A., Behnajady, Mohammad A., dan Ziarani, G.M. 2015. Ultrasonic-assisted degradation of phenazopyridine with a combination of Sm-doped ZnO nanoparticles and inorganic oxidants. *Ultrasonics Sonochemistry*, 28: 169–177.

- Fatimah, I., Sugiharto, E., Wijaya, K., Tahir, I., dan Kamalia. 2006. Titanium Oxide Dispered On Natural Zeolite (TiO /Zeolite) And Its Application For Congo Red Photodegradation. *Indonesian Journal of Chemistry*, 6 (1): 8-42.
- Fujishima, A., Xintong, Z., dan Donald, A. 2008. TiO₂ Photocatalysis and Related Surface Phenomena. *Surface Science Report*, 63 (12): 515-582.
- Ge, C., Xie, C., Hu, M., Gui, Y., Bai, Z., dan Zeng, D. 2007. Structural Characteristics And UV-Light Enhanced Gas Sensitivity Of La-Doped ZnO Nanoparticles. *Materials Science and Engineering: B*, 141 (1–2): 43.
- Gouvea, K., Wypych, F., Moraes, S.G., Duran, N., Nagata, N. dan Zamora, P.P. 2000. Semiconductor-assisted photocatalytic degradation of reactive dyes in aqueous solution. *Chemosphere*, 40 (4): 433-40.
- Hartini, E. 2011. Modifikasi Zeolit Alam dengan ZnO untuk Degradasi Fotokatalisis Zat Warna. *Tesis*. Jurusan Kimia. FMIPA Universitas Indonesia, Depok.
- Haslinda. 2009. Fabrication, Structural and Electrical Characteristics Of Zinc Oxide (ZnO) Thin Films by Direct Current Sputtering. *Skripsi*, Universitas Sains Malaysia.
- Hirotsuka, N., Koichi, K., dan Masashi, T. 2009. Preparation and photocatalytic property of phosphorus-doped TiO₂ particle. *Journal of Oleo Science*, 58 (7): 389-39.
- Hudaya, T., Stefanus, M., dan Agustina, M. H₂O₂/UV Photo-oxidation of Non-biodegradable DYA Textile-dye Wastewater in a Multi-lamp Bubble Column Photoreactor. *Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*. Yogyakarta.
- Hutabarat, R. 2012. Sintesis dan Karakteristik Fotokatalis Fe²⁺- ZnO Berbasis Zeolit Alam. *Skripsi*. Depok : Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Iqbal, J., Xiaofang, L., Huachao, Z., Z.B, Wu., Yong, Z., Dapeng, Y., dan Ronghai, Y. 2009. Raman and Highly Ultraviolet Red-Shifted Near Band-Edge Properties Of LaCe-co-Doped ZnO Nanoparticles. *Acta Materialia*, 57: 4790–4796.
- Jia, T., Weimin, W., Fei, L., Zhengyi, F., Hao, W., dan Qingjie, Z. 2009. Fabrication, Characterization and Photocatalytic Activity Of La-Doped ZnO Nanowires. *Journal of Alloys and Compounds*, 484: 410–415.
- Jin, C.S., Lam, S.M., Satoshi, I., Lee, K.T., Mohamed, A.R., 2014. Sunlight photocatalytic activity enhancement and mechanism of novel europium-

doped ZnO hierarchical micro/nanospheres for degradation of phenol. *Applied Catalysis B: Environmental*, 148: 258-268.

- Khatamian, M., Khandar, A.A., Divband B., Haghghi, M., dan Ebrahimiasl, S. 2012. Heterogeneous photocatalytic degradation of 4- nitrophenol in aqueous suspension by Ln (La^{3+} , Nd^{3+} or Sm^{3+}) doped ZnO nanoparticles. *Journal of Molecular Catalysis A, Chemical*. 365: 120 – 127.
- Korake P.V., Dhabbe, R.S., Kadam, Y.B., Gaikwad, Y.B., dan Garadkar, K.M. 2013. Highly Active Lanthanum Doped ZnO Nanorods for Photodegradation of Metasystox. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 130: 11-19.
- Lee, S.Y., Shin, Y.H, Kim, Y., Kim, S., dan Ju, S., Thermal Quenching Behavior Of Emission Bands In Eu-Doped ZnS Nanowires. *Journal of Luminescence*, 131 (11) :1336.
- Li, G.R., Lu, X.H., Wang, Z.L., Yu, X.L., dan Tong, Y.X. 2010. Controllable Electrochemical Synthesis Of $\text{La}^{3+}/\text{ZnO}$ Hierarchical Nanostructures And Their Optical And Magnetic Properties. *Electrochim Acta*, 55 (11): 3687.
- Linsebigler, A. L., Lu, G., dan Yates, J. T. 1995. Photocatalysis on TiO Surfaces : Principles, Mechanisms, and Selected Results. *Chemical Reviews*. 95: 735-758.
- Malato, S., dan Robert, D. 2002. Solar Photocatalysis : A clean Process for water detoxification. *The science of the Total Environment*, 291 : 85-77.
- Marimuthu,T., Anandhan,N., Thangmuthu,R., Surya,S., 2016. Facile Growth of ZnO Nanowire Arrays and Nanoneedle Arrays with Flower Structure on ZnO-TiO₂ Seed Layer for DSSC Applications. *Journal of Alloys and Compounds*. 693: 1011-1019.
- Miyake, M., Takayuki, M., Shunsuke, N., dan Yoshikazu, K. 2015. Water Treatment Efficacy Of Various Metal Oxide Semiconductors For Photocatalytic Ozonation Under UV and Visible Light Irradiation. *Chemical Engineering Journal*, 264: 221–229.
- Nguyen, Loan T.T., Nguyen, T.H., Duong, Anh., Nguyen, Bui., Nguyen, Q.H., Viet, H.C., Nguyen, L.G. 2019. Preparation, Characterization and Photocatalytic Activity of La-Doped Zinc Oxide Nanoparticles. *Journal Materials*. 12: 1195.
- Ningsi, Sherly. K. W., Nizar, U., Bahrizal., Nasra, E., dan Fatimah, S. 2021. Sintesis Mg^{2+} Doped ZnO dengan Penambahan Albumen Ayam Ras Menggunakan Gabungan Metode Sol-gel dan Sonokimia. *Jurnal Riset Kimia*, 12 (1).

- Ong, C.B., Ng,L.Y., dan Mohammad, A.W., 2018. A review of ZnO nanoparticles as solar photocatalysts: Synthesis, mechanisms and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 81, 536–551.
- Pascariu, P., Mihaela, H., Corneliu, C., Petrisor, S., Anton, A., dan Mirela, S. 2019. Preparation Of La Doped ZnO Ceramic Nanostructures By Electrospinning–Calcination Method: Effect Of La³⁺ Doping On Optical And Photocatalytic Properties. *Applied Surface Science*, 476. 16–27.
- Phuruangrat, A., Phattranit, D., Oranuch, Y., Jirapong, A., Somchai, T., dan Titipun, T. 2016. Photocatalytic Activity of La-Doped ZnO Nanostructure Materials Synthesized by Sonochemical Method. *Rare Metals*. 35 : 390–395.
- Porkalai, V., Anburaj, D.B., Sathya, B., dan Meenambika, R. 2017. Study on the Synthesis, Structural, Optical and Electrical Properties of ZnO and Lanthanum Doped ZnO Nano Particles by Sol-Gel Method. *Mechanics, Materials Science and Engineering*. ISSN 2412-5954.
- Rismiarti, Z., Yuniati, Y., dan Alfanaar, R. 2016. Penerapan Metode Sonikasi terhadap Adsorpsi Fe(III) pada Zeolit Alam Teraktivasi. *ALCHEMY: Journal of Chemistry*, 5 : 2, 63-68.
- Safitri, W.N. 2019. Variasi Konsentrasi Dopan Pada Sintesis ZnO Terdoping Vanadium Menggunakan Metode Sonikasi. *Skripsi*, Malang : Jurusan Kimia, UIN Malang.
- Sakthivel, S., Neppolian, B., Shankar, M.V., Arabindoo, B., Palanichamy, M., dan Murugesan, V. 2003. Solar Photocatalytic Degradation of Dye: Comparison of Photocatalytic Efficiency of ZnO and TiO₂. *Solar energy materials and solar cells*, 77(1): 65-82.
- Santanu, Das., Sukhen, Das., Anirban, Roychowdhury., Dipankar, Das., dan Soumyaditya, Sutradhar., 2017. Effect of Gd doping concentration and sintering temperature on structural , optical , dielectric and magnetic properties of hydrothermally synthesized ZnO nanostructure. *Journal of Alloys and Compounds*. 708: 231 – 246.
- Shang, C., dan Barnabe, A.2013. Structural Study and Phase Transition Investigation In a Simple Synthesis of Porous Architected ZnO Nanopowder. *Materials Characterization*, 86: 206-211.
- Sheydaei, M., Marzieh, F., Leila, G., dan Vahid, V. 2019. Systematic Comparison of Sonosynthesized Ce-, La- and Ho-doped ZnO Nanoparticles and Using The Optimum Catalyst In a Visible Light Assisted Continuous Sonophotocatalytic Membrane Reactor. *Ultrasonics Sonochemistry*, 56: 361-371.

- Shihab, M. Quraish. 2002. Tafsir al-Misbah; Pesan, Kesan, dan Keserasian Alquran Vol. 5 Jakarta: Lentera Hati.
- Singh, P., dan Nanda, A. 2013. Synthesis of Highly Dispersed Zinc Oxide Nanoparticles Through Ultrasonication Assisted by Hydrothermal Treatment: A Novel Approach. *Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic, and Nano-Metal Chemistry*. 45: 1121–1131.
- Straumal, B., A. A. Mazilkin., S. G. Protasova., S. V. Stakhanova., P. B. Straumal., M. F. Bulatov., G. Schutz., T. Tietze., E. Goering., dan B. Baretzky. 2015. Grain boundaries as a source of ferromagnetism and increased solubility of Ni in nanograined ZnO. *Reviews on Advanced Materials Science*, 41: 61-71.
- Suslick, K. S. 1998. Sonochemistry, in Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. 4th Ed. J. Wiley & Sons, New York, 26 : 517-541.
- Suslick, K.S., Casadonte, D.J., Greent, M.L.H. dan Thompson, M.E. 1987. Effects of High Intensity Ultrasound on Inorganic Solids. *Ultrasonics*, 25: 56-59.
- Sutanto, H. Hidayanti, E. Irwanto, M. Rhomadhon dan Wahyono, V. 2017. Pengaruh Konsentrasi Dopng Nitrogen (N) Pada Materilal Fotokatalis Seng oksida (ZnO) Terhadap degradasi limbah zat pewarna tekstil. *Jurnal Reaktor*, 17(1) : 36-42.
- Sutanto, H., dan Wibowo, S., 2015. Semikonduktor Fotokatalis Seng Oksida dan Titania, *UPT UNDIP Press* : Semarang
- Thi, V.H., dan Lee, B.K. 2017. Effective photocatalytic degradation of paracetamol using La-doped ZnO photocatalyst under visible light irradiation. *Materials Research Bulletin*, 96. 171–182.
- Thomas, Leong., Muthupandian, Ashokkumar., dan Sandra, Kentish. 2011. The Fundamentals Of Power Ultrasound. *A Review*, 39(2): 54-63.
- Tuty, E.A., dan B, Herni. 2009. Pengolahan Air Limbah Pewarna Sintetis Dengan Menggunakan Reagen Fenton. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia 2009*. Bandung.
- Wang, H., Lichao, J., Peter, B., Sebastian, F., Helmuth, M., dan Dmitry, S. 2013. Size Related Native Defect Engineering In High Intensity Ultrasonication of Nanoparticles For Photoelectrochemical Water Splitting. *Energy and Environmental Science*, 6: 799–804.
- Wang, Z.L. 2004. Zinc Oxide Nanostructures: Growth, Properties and Applications. *J. Physics: Condensed Matter*, 16: 829–858.

Wulandari, D. 2016. Sintesis dan Karakterisasi ZnO dengan Metode Solvothermal Sebagai Alternatif Semikonduktor Dalam DSSC. *Skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya.

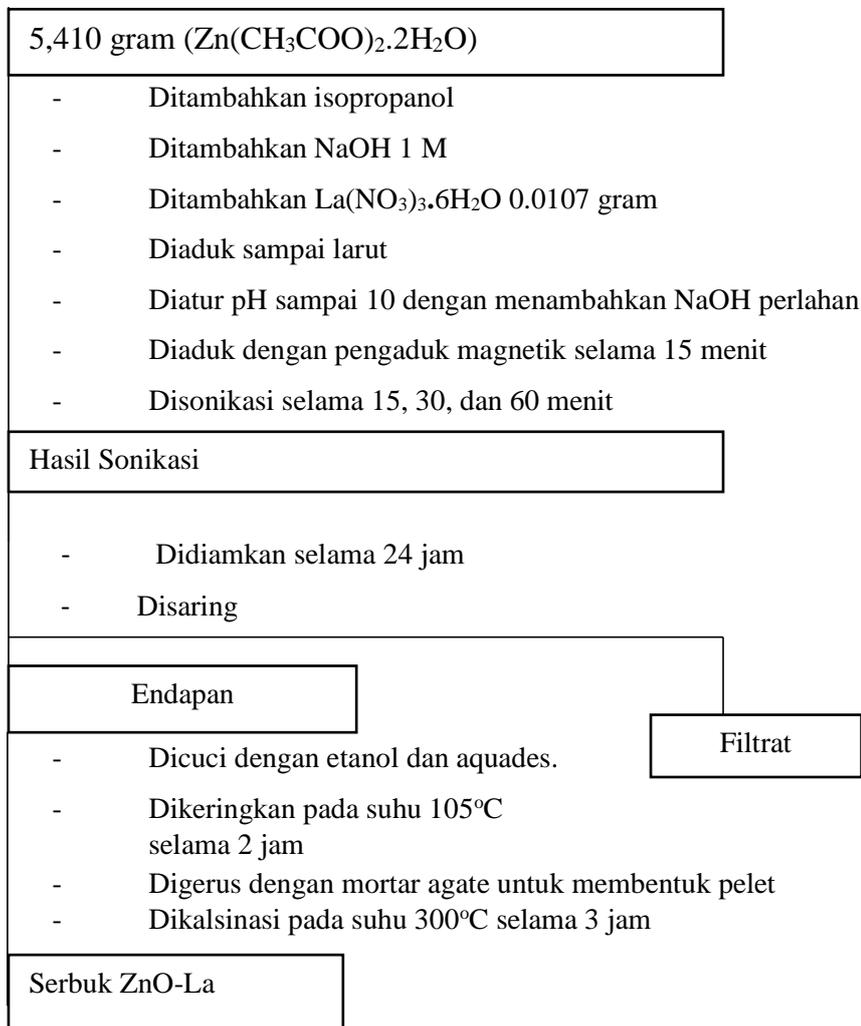
Yadav, R.S., Priya, Mishra., Pandey, A.C. 2008. Growth Mechanism and Optical Property of ZnO Nanoparticles Synthesized by Sonochemical Method. *Ultrasonic Sonochemistry*, 15(5) : 863-868.

Zhao, Xuemei Liu Fei., Zhai, Xiaosong., Wang, Wentao., Lian, Meng., Liang, Guoting., Cui, Jingxiang., dan Dong, Haizhou. Effects of High-Intensity Ultrasound Pretreatment on Structure, Properties, and Enzymolysis of Walnut Protein Isolate. *Molecules*, 27: 208.

LAMPIRAN

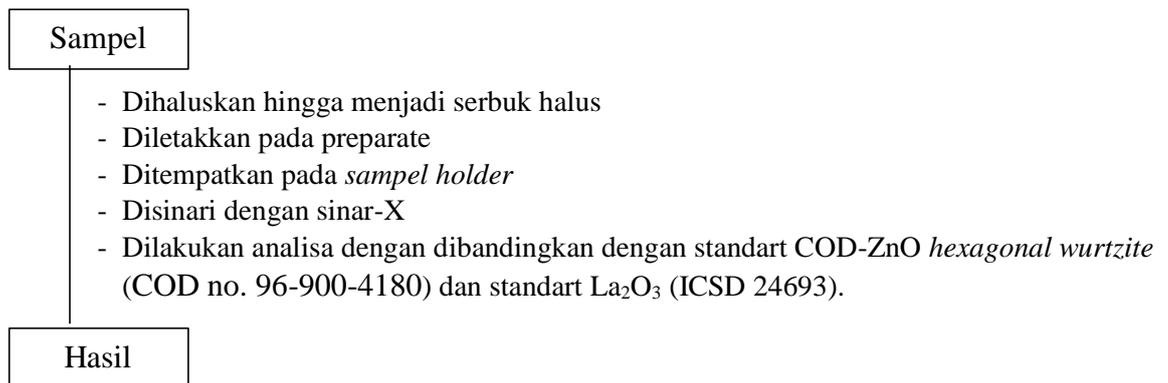
Lampiran 1. Diagram Alir

1. Sintesis ZnO dopan La³⁺ dengan metode sonikasi

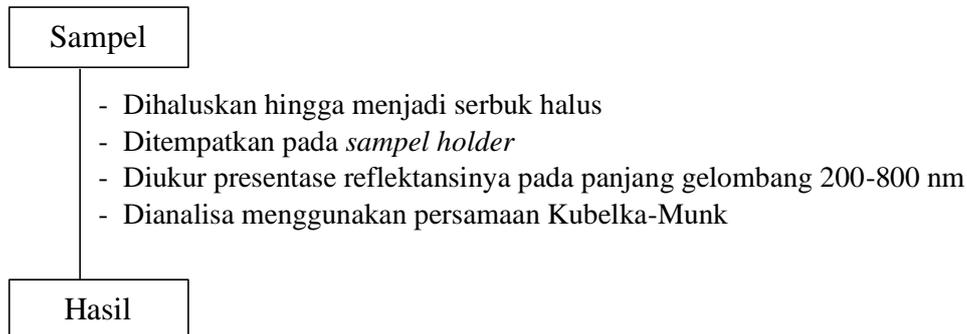


2. Karakterisasi ZnO

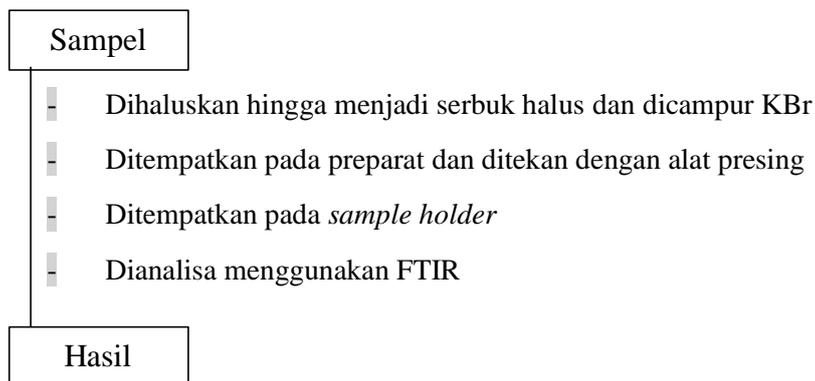
2.1 Karakterisasi dan analisis ZnO menggunakan Instrumen XRD



2.2 Karakterisasi dan analisis ZnO menggunakan UV-Vis DRS



2.3 Karakterisasi dan analisis ZnO menggunakan IR



Lampiran 2. Perhitungan

1. Berat Prekursor yang Digunakan

a. 0,1% La-ZnO

Diketahui	:	
Mr Zn(CH ₃ COO) ₂ .2H ₂ O	:	219,51 gram/mol
Ar Zn	:	65 gram/mol
Mr La(NO ₃) ₃ .6H ₂ O	:	433,01 gram/mol
Ar La	:	138,91 gram/mol
Target	:	2 gram

$$\begin{aligned}
 \text{Massa Zn(CH}_3\text{COO)}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O} &= \frac{0,999 \times \text{Ar Zn}}{\text{Mr}(Zn_{0,999}La_{0,001}O_1)} \times \frac{\text{Mr Zn(CH}_3\text{COO)}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}}{\text{Ar Zn}} \times \\
 \text{Target} & \\
 &= \frac{0,999 \times 65}{(0,999 \times 65) + (0,001 \times 138,91) + (1 \times 16)} \times \frac{219,51}{65} \times 2 \\
 &= 5,410 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa 0,1\% La(NO}_3\text{)}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O} &= \frac{0,001 \times \text{Ar La}}{\text{Ar Zn}_{0,999}\text{La}_{0,001}\text{O}_1} \times \frac{\text{Mr La(NO}_3\text{)}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}}{\text{Ar La}} \times \\
 \text{Target} & \\
 &= \frac{0,001 \times 138,91}{(0,999 \times 65) + (0,001 \times 138,91) + (1 \times 16)} \times \frac{433,01}{138,91} \times 2 \\
 &= 0,0107 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

b. NaOH 1M

$$\text{mol NaOH} = 1\text{M} \times 0,1\text{L} = 0,1 \text{ mol}$$

$$\text{massa NaOH} = \text{mol} \times \text{Mr}$$

$$= 0,1 \text{ mol} \times 40 \text{ gram/mol} = 4 \text{ gram}$$

Lampiran 3. Hasil Karakterisasi Menggunakan XRD

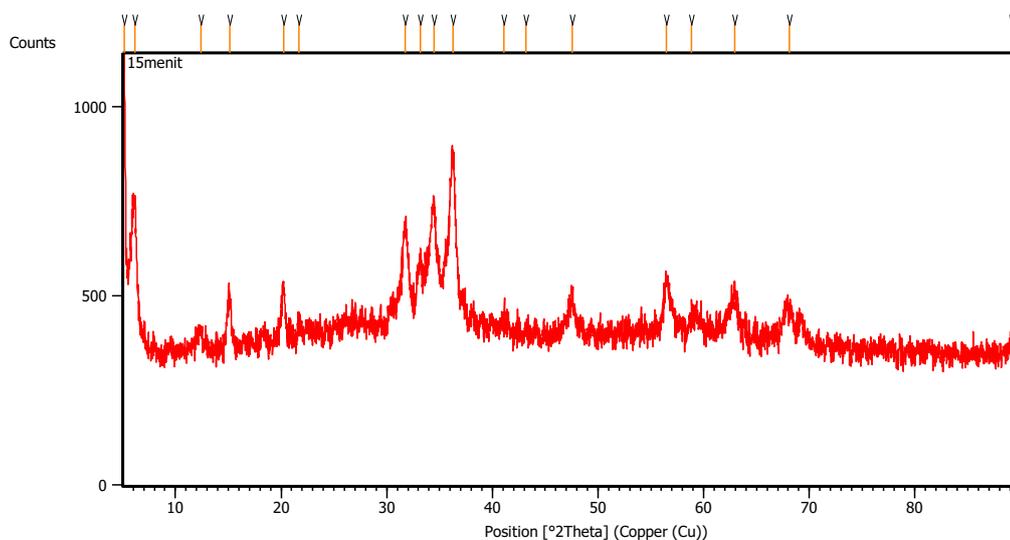
L.3.1 Karakterisasi menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD), Produk Hasil Sintesis Tanpa Kalsinasi

Karakterisasi XRD dilakukan di jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya (ITS).

Spesifikasi alat ditampilkan dalam Tabel L.3.1

Tabel L.3.1 Spesifikasi alat XRD

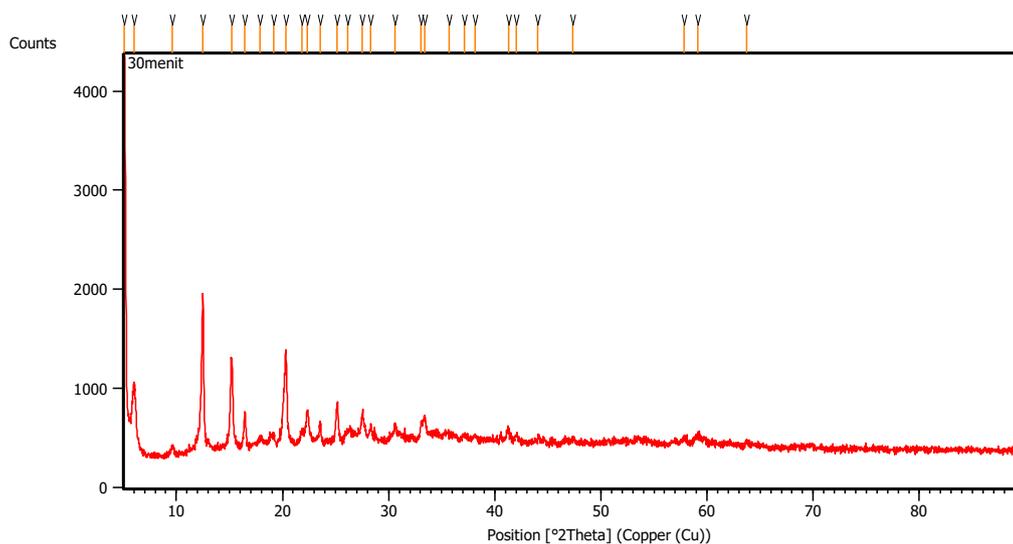
Spesifikasi	ITS
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [Å]	154.060
K-Alpha2 [Å]	154.443
K-Beta [Å]	139.225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 Kv
Diffractometer Type	XPert MPD
Diffractometer Number	1
Start Position [°2Th.]	50.084
End Position [°2Th.]	899.744
Sampel	Waktu Sonikasi 15,30, dan 60 Menit



Gambar L.3.1 Waktu sonikasi 15 menit

Daftar puncak yang muncul :

Pos. [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\text{Th.}$]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
5.1270	749.97	0.1338	17.23659	100.00
6.1838	380.27	0.1673	14.29316	50.71
12.3998	49.27	0.3346	7.13847	6.57
15.1219	133.70	0.2676	5.85903	17.83
20.2253	140.75	0.3346	4.39071	18.77
21.6756	39.98	0.2676	4.10009	5.33
31.7459	240.06	0.4684	2.81873	32.01
33.1663	163.07	0.4684	2.70119	21.74
34.4888	298.57	0.1673	2.60058	39.81
36.2734	419.69	0.4684	2.47663	55.96
41.0862	31.09	0.6691	2.19695	4.15
43.2027	17.19	0.3346	2.09410	2.29
47.5746	93.61	0.3346	1.91137	12.48
56.4820	140.13	0.4015	1.62926	18.68
58.8305	40.25	0.4015	1.56970	5.37
62.9154	102.56	0.5353	1.47726	13.68
68.0792	60.48	0.9368	1.37725	8.06
89.1671	23.08	0.5353	1.09828	3.08

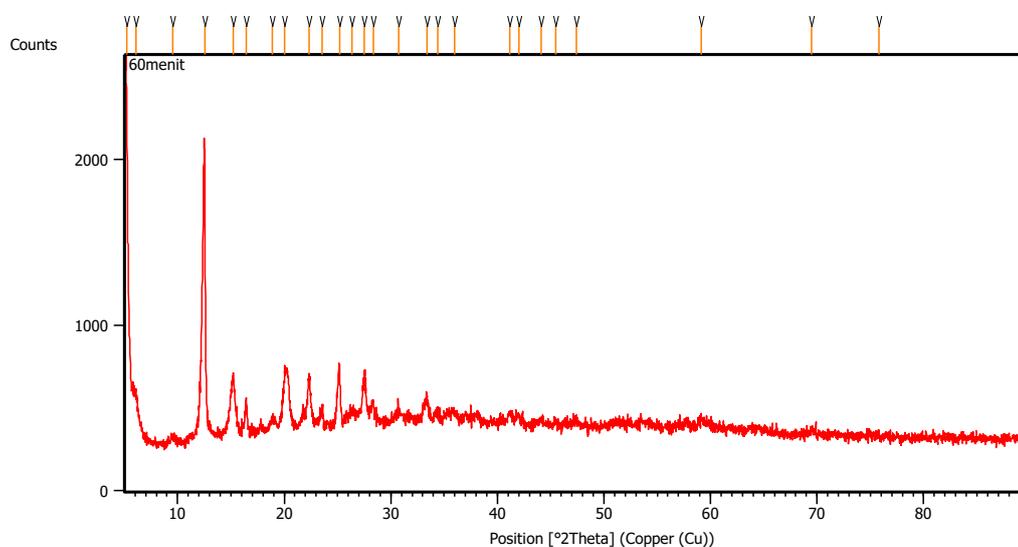


Gambar L.3.2 Waktu sonikasi 30 menit

Daftar puncak yang muncul :

Pos. [$^{\circ}2\text{Th.}$]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\text{Th.}$]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
5.1171	4054.92	0.1506	17.27013	100.00
6.0346	727.49	0.2342	14.64613	17.94
9.6320	97.97	0.2676	9.18266	2.42

12.4991	1618.93	0.1673	7.08196	39.92
15.2423	912.59	0.1338	5.81304	22.51
16.4606	416.33	0.1004	5.38542	10.27
17.8666	131.35	0.3346	4.96468	3.24
19.1616	160.69	0.4015	4.63198	3.96
20.3099	1008.44	0.1171	4.37261	24.87
21.8411	202.05	0.2342	4.06940	4.98
22.3424	391.32	0.2007	3.97922	9.65
23.5460	243.81	0.1004	3.77846	6.01
25.1462	453.47	0.0836	3.54152	11.18
26.1632	159.44	0.6691	3.40612	3.93
27.5321	314.60	0.1673	3.23980	7.76
28.3234	205.92	0.1004	3.15107	5.08
30.5839	192.91	0.1673	2.92312	4.76
33.0547	228.28	0.1004	2.71006	5.63
33.4047	245.24	0.2007	2.68246	6.05
35.7288	78.27	0.5353	2.51312	1.93
37.1092	67.13	0.4015	2.42274	1.66
38.1531	50.59	0.4015	2.35882	1.25
41.2914	117.29	0.2007	2.18651	2.89
42.0246	64.61	0.2676	2.15004	1.59
44.0503	36.28	0.6691	2.05576	0.89
47.3759	44.96	0.4015	1.91892	1.11
57.8579	61.63	0.4684	1.59375	1.52
59.1101	73.07	0.5353	1.56294	1.80
63.7047	36.51	0.3346	1.46085	0.90

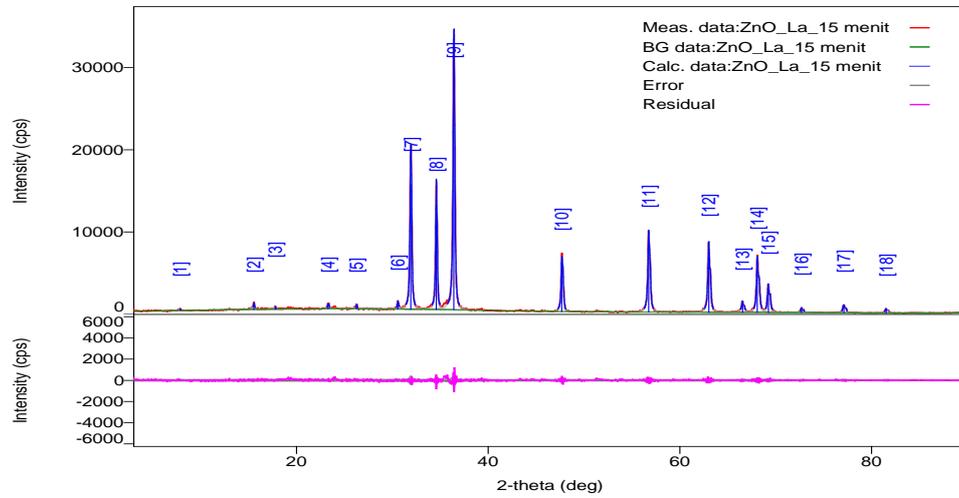


Gambar L.3.3 Waktu sonikasi 60 menit

Daftar puncak yang muncul :

Pos. [$^{\circ}2\theta$.]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\theta$.]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
5.2123	2088.96	0.1338	16.95486	100.00
6.1230	272.48	0.4015	14.43482	13.04
9.5708	29.71	0.5353	9.24123	1.42
12.5216	1758.22	0.1506	7.06930	84.17
15.1838	338.13	0.2676	5.83530	16.19
16.4273	240.35	0.0836	5.39627	11.51
18.8972	101.47	0.4684	4.69618	4.86
20.0539	385.43	0.1004	4.42784	18.45
22.3187	351.81	0.1171	3.98338	16.84
23.5503	122.98	0.1338	3.77778	5.89
25.1701	391.89	0.1338	3.53822	18.76
26.3498	94.89	0.5353	3.38243	4.54
27.5370	321.64	0.1673	3.23924	15.40
28.3375	149.63	0.1673	3.14952	7.16
30.7182	83.87	0.4015	2.91064	4.01
33.3650	154.25	0.2676	2.68555	7.38
34.4053	55.23	0.4684	2.60670	2.64
35.9584	51.13	0.4015	2.49759	2.45
41.1466	66.57	0.3346	2.19387	3.19
41.9875	58.81	0.2676	2.15186	2.82
44.0740	29.38	0.8029	2.05471	1.41
45.4920	32.74	0.4015	1.99391	1.57
47.3804	39.61	0.4015	1.91875	1.90
59.1316	37.20	0.5353	1.56243	1.78
69.4979	22.56	0.8029	1.35257	1.08
75.7966	37.69	0.1224	1.25402	1.80

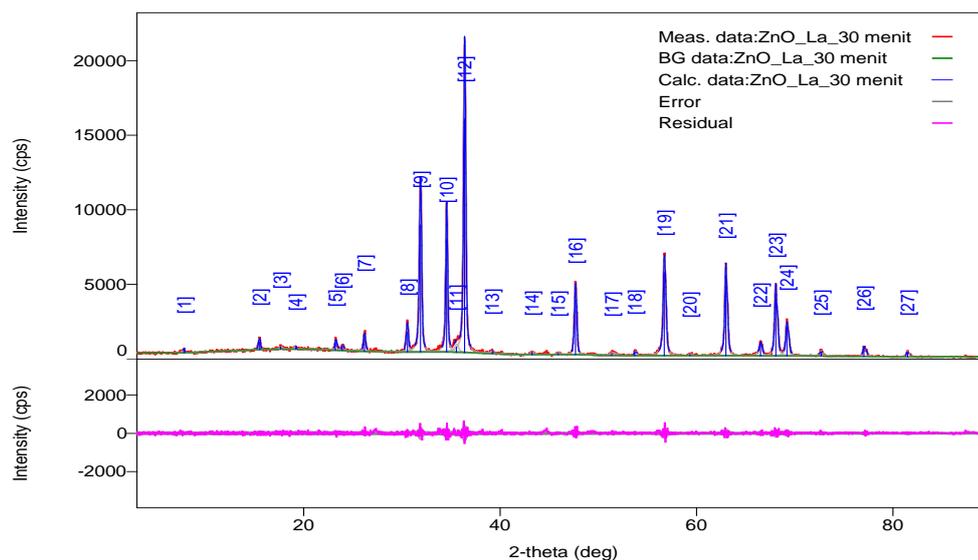
L.3.2 Karakterisasi menggunakan *X-ray Diffraction (XRD)*, Produk Hasil Sintesis dengan Kalsinasi 300°C selama 3 jam.



Gambar L.3.4 Waktu sonikasi 15 menit

Daftar puncak yang muncul :

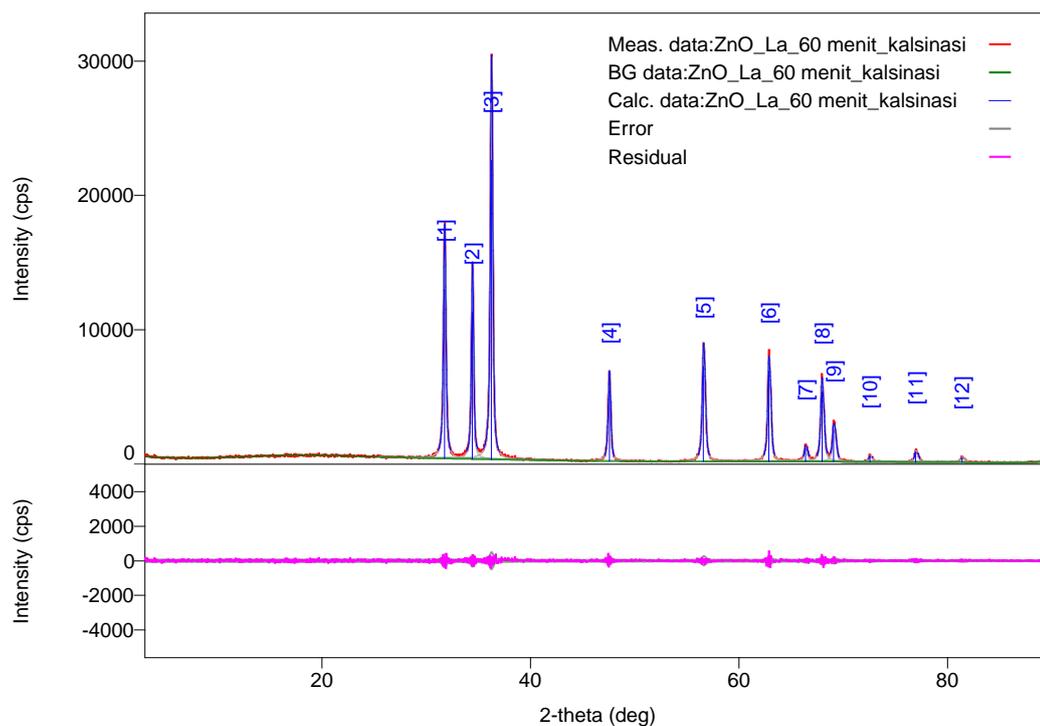
No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)
1	7.847(11)	11.257(16)	160(37)	0.12(3)	29(5)	0.18(7)
2	15.545(8)	5.696(3)	576(69)	0.146(19)	169(8)	0.29(5)
3	17.78(3)	4.985(9)	229(44)	0.18(6)	81(7)	0.35(10)
4	23.273(17)	3.819(3)	514(65)	0.16(3)	145(13)	0.28(6)
5	26.24(2)	3.393(2)	424(59)	0.12(3)	80(9)	0.19(5)
6	30.565(9)	2.9225(8)	768(80)	0.108(19)	133(9)	0.17(3)
7	31.921(4)	2.8014(3)	15201(356)	0.176(3)	3858(21)	0.254(7)
8	34.581(3)	2.5917(2)	12768(326)	0.138(4)	2640(20)	0.207(7)
9	36.411(4)	2.4655(3)	26707(472)	0.166(6)	6774(57)	0.254(7)
10	47.664(5)	1.90641(19)	5878(221)	0.179(7)	1509(17)	0.257(13)
11	56.729(4)	1.62139(10)	8729(270)	0.189(6)	2475(20)	0.283(11)
12	62.993(4)	1.47440(8)	7702(253)	0.177(4)	2119(16)	0.275(11)
13	66.530(11)	1.4043(2)	1176(99)	0.188(14)	371(9)	0.32(3)
14	68.072(4)	1.37623(8)	6164(227)	0.195(5)	1843(16)	0.299(14)
15	69.212(6)	1.35633(10)	3138(162)	0.192(6)	918(11)	0.293(19)
16	72.681(16)	1.2999(3)	572(69)	0.158(19)	147(6)	0.26(4)
17	77.093(12)	1.23613(17)	909(87)	0.219(13)	290(7)	0.32(4)
18	81.499(19)	1.1801(2)	522(66)	0.193(19)	157(6)	0.30(5)
19	89.709(11)	1.09214(10)	1893(126)	0.220(10)	646(18)	0.34(3)



Gambar L.3.5 Waktu sonikasi 30 menit

Daftar puncak puncak yang muncul

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)
1	7.83(3)	11.28(5)	209(42)	0.16(5)	62(9)	0.30(10)
2	15.52(2)	5.706(8)	525(66)	0.247(19)	151(11)	0.29(6)
3	17.64(2)	5.024(6)	149(35)	0.26(9)	66(10)	0.44(17)
4	19.189(16)	4.622(4)	142(34)	0.28(6)	46(11)	0.32(15)
5	23.223(6)	3.8271(11)	500(65)	0.25(2)	163(10)	0.33(6)
6	23.923(11)	3.7167(17)	260(47)	0.26(4)	89(7)	0.34(9)
7	26.16(2)	3.403(3)	878(86)	0.231(19)	273(13)	0.31(5)
8	30.554(16)	2.9235(15)	1331(105)	0.250(14)	416(13)	0.31(3)
9	31.870(4)	2.8057(4)	8513(266)	0.238(3)	2757(18)	0.324(12)
10	34.535(3)	2.5950(2)	7573(251)	0.190(3)	1967(19)	0.260(11)
11	35.552(19)	2.5231(13)	376(56)	0.49(5)	252(20)	0.67(15)
12	36.367(4)	2.4684(2)	15678(361)	0.227(3)	4850(30)	0.309(9)
13	39.19(2)	2.2968(13)	157(36)	0.24(11)	68(9)	0.43(15)
14	43.24(3)	2.0908(13)	148(35)	0.27(16)	69(10)	0.47(18)
15	45.91(13)	1.975(5)	98(29)	0.32(10)	34(11)	0.3(2)
16	47.660(8)	1.9065(3)	3683(175)	0.245(6)	1122(13)	0.305(18)
17	51.35(2)	1.7779(7)	143(34)	0.69(6)	111(11)	0.8(3)
18	53.700(10)	1.7055(3)	288(49)	0.20(4)	82(6)	0.29(7)
19	56.698(7)	1.62223(17)	5600(216)	0.244(8)	1982(17)	0.354(17)
20	59.33(10)	1.556(2)	99(29)	0.35(7)	39(7)	0.39(18)
21	62.965(4)	1.47499(9)	5390(212)	0.212(6)	1672(14)	0.310(15)
22	66.494(16)	1.4050(3)	764(80)	0.27(3)	310(9)	0.41(5)
23	68.054(6)	1.37655(10)	4111(185)	0.242(7)	1381(14)	0.336(19)
24	69.182(9)	1.35684(16)	1944(127)	0.261(12)	709(11)	0.36(3)
25	72.67(3)	1.3000(5)	297(50)	0.30(4)	102(8)	0.34(8)
26	77.027(16)	1.2370(2)	631(72)	0.25(2)	241(7)	0.38(6)
27	81.47(2)	1.1804(3)	347(54)	0.24(3)	121(6)	0.35(7)
28	89.59(4)	1.0933(4)	247(45)	0.24(8)	64(17)	0.26(12)
29	90(4)	1.09(4)	75(25)	0.2(14)	17(1400)	0(19)



Gambar L.3.6 Waktu sonikasi 60 menit.

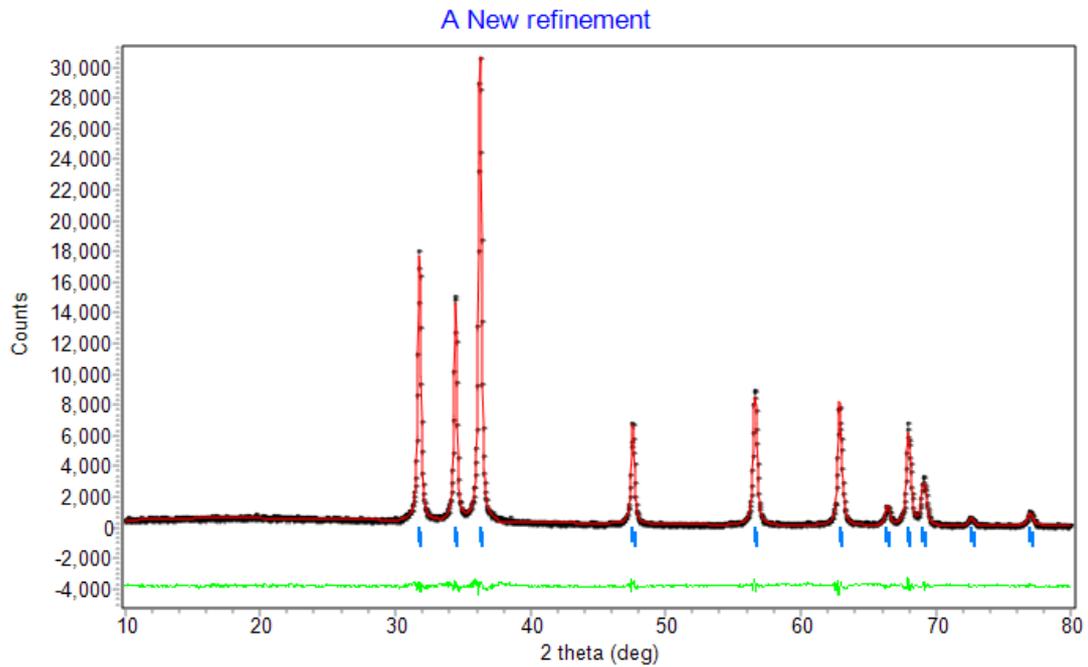
Daftar puncak-puncak yang muncul :

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)
1	31.748(4)	2.8162(4)	12594(324)	0.248(3)	4507(23)	0.358(1)
2	34.416(5)	2.6037(4)	10913(302)	0.213(4)	3375(20)	0.309(1)
3	36.234(4)	2.4771(2)	22254(431)	0.245(3)	7814(32)	0.351(8)
4	47.548(7)	1.9108(3)	5188(208)	0.243(7)	1816(16)	0.350(1)
5	56.581(6)	1.62529(15)	7099(243)	0.272(6)	2779(17)	0.392(1)
6	62.844(5)	1.47753(11)	6694(236)	0.257(7)	2503(18)	0.374(1)
7	66.359(14)	1.4075(3)	966(90)	0.28(2)	411(9)	0.43(5)
8	67.944(6)	1.37851(10)	5192(208)	0.276(8)	2087(16)	0.402(1)
9	69.057(11)	1.35899(19)	2357(140)	0.315(11)	1021(13)	0.43(3)
10	72.53(2)	1.3022(3)	452(61)	0.26(3)	155(7)	0.34(6)
11	76.923(19)	1.2384(3)	731(78)	0.33(2)	317(9)	0.43(6)
12	81.39(3)	1.1813(3)	358(55)	0.32(4)	177(7)	0.49(9)
13	89.602(11)	1.09316(10)	1571(114)	0.310(15)	754(20)	0.48(5)

L.3.3 Penentuan Parameter Kisi dengan Metode Le Bail Program

Rietica

L.3.3.1 ZnO-La³⁺ Waktu Sonikasi 60 Menit dengan Kalsinasi 300°C



```

CELL PARAMETERS      =      3.253285 -0.000012  0.014946
                      =      3.253285 -0.000012  0.014946
                      =      5.206778 -0.000012  0.023921
                      =      90.000008  0.000000  0.000000
                      =      90.000008  0.000000  0.000000
                      =      120.000008  0.000008  0.000000

RECIPROCAL CELL      =      0.355  0.355  0.192  90.000  90.000  60.000
CELL VOLUME          =      47.724781  0.379757

```

```

+-----+
Rp | Rwp | GOF
+-----+
7.21 | 4.17 | 0.7754E+01

```

Lampiran 4. Contoh Perhitungan Ukuran Kristal

Perhitungan *crystallite size* dapat menggunakan persamaan Debye-Scherrer (Persamaan 3.1). Data data untuk perhitungan *crystallite size* ZnO-La³⁺ waktu sonikasi 15 menit adalah

$$\lambda (K\alpha) \quad : \quad 1,54056$$

$$\beta (\text{FWHM}) \quad : \quad 0,166$$

$$2\theta \quad : \quad 36,411$$

$$\theta = \frac{36,411}{2} = 18,2055$$

$$\text{Cos } \theta \quad : \quad 0,9499$$

Sehingga *crystallite size* adalah

$$D = \frac{K \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos \theta} = \frac{0,9 \times 1,54056}{0,166 \times 0,9499} = 45,4$$

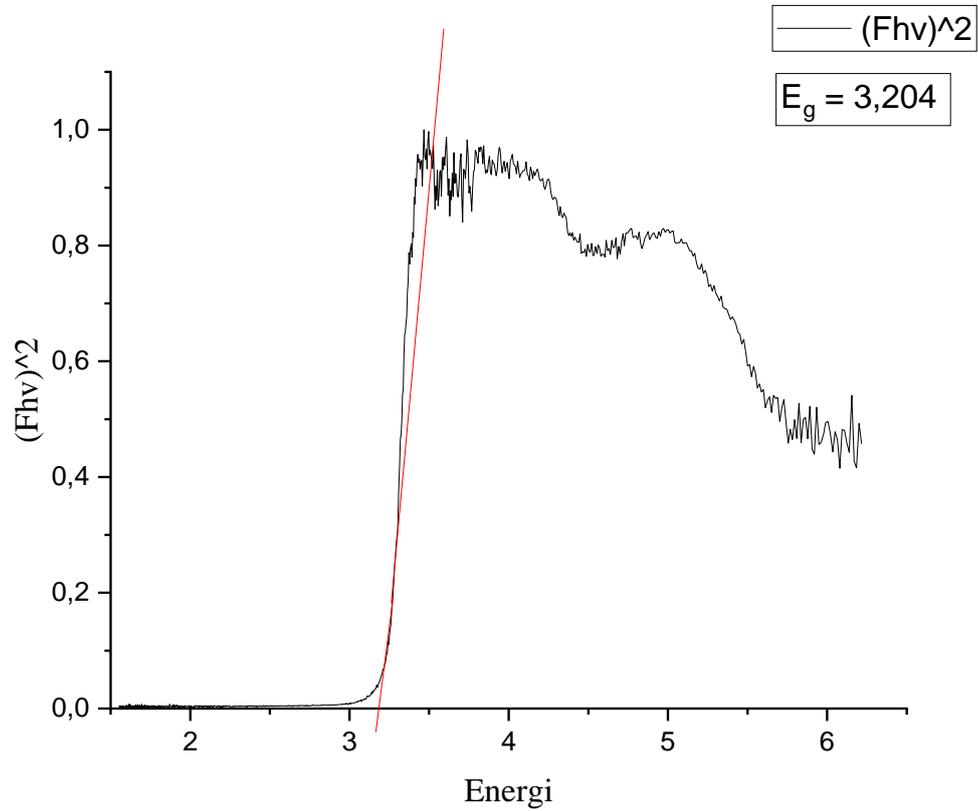
Perhitungan *crystallite size* lainnya dilakukan dengan cara yang sama. Hasil pengukuran *crystallite size* dirangkum pada Tabel L.4.1

Tabel L.4.1 Hasil perhitungan *crystallite size* ZnO-La hasil sintesis dengan kalsinasi

Waktu (Menit)	2 theta	FWHM	Ukuran kristal (Nm)
15	36,411	0,166	45,4
30	36,367	0,227	33,2
60	36,234	0,245	30,8

Lampiran 5. Hasil Karakterisasi Menggunakan UV-DRS

L.5.1 UV-DRS tanpa kalsinasi



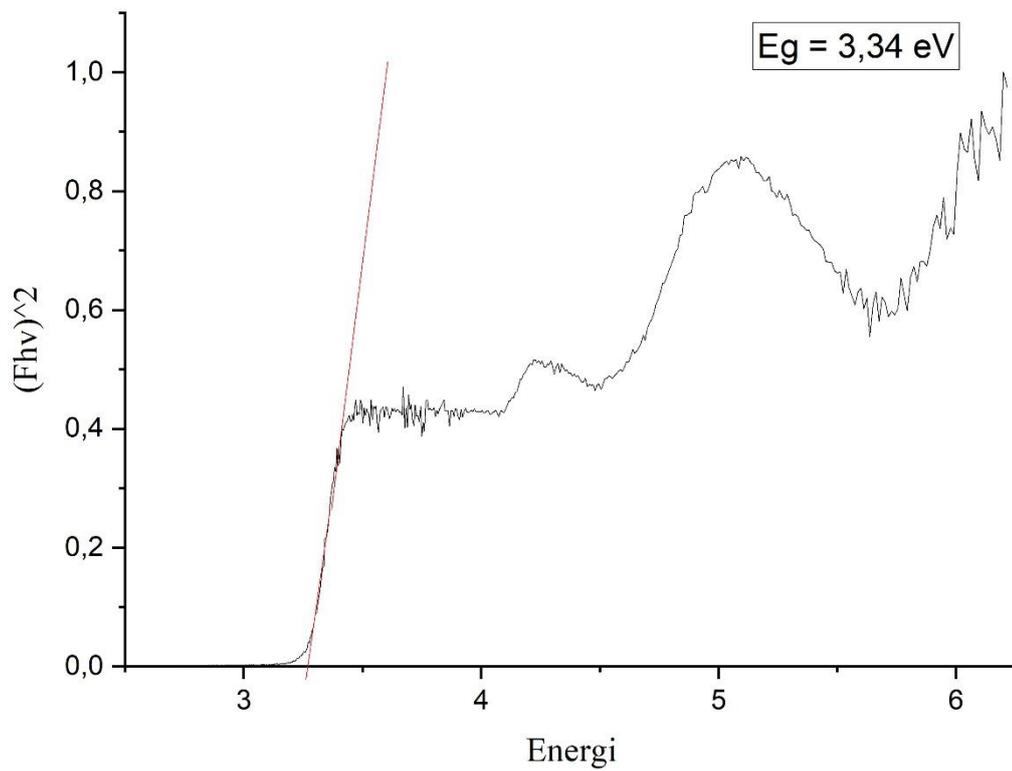
Gambar L.5.1 Nilai band gap waktu sonikasi 15 menit

$$E_g = 3,204 \text{ eV}$$

$$h = \frac{6,626 \times 10^{-34} \text{ j.s}}{1,602 \times 10^{-19} \text{ j.s}} \times 1 \text{ eV} = 4,13608 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$$

Nilai *band gap* pada saat $y = 0$

$$\lambda = \frac{h \times c}{E} = \frac{(4,13608 \times 10^{-15}) \text{ eV.s} \times (3 \times 10^{17}) \text{ nm/s}}{3,204 \text{ eV}} = 387,27 \text{ nm}$$



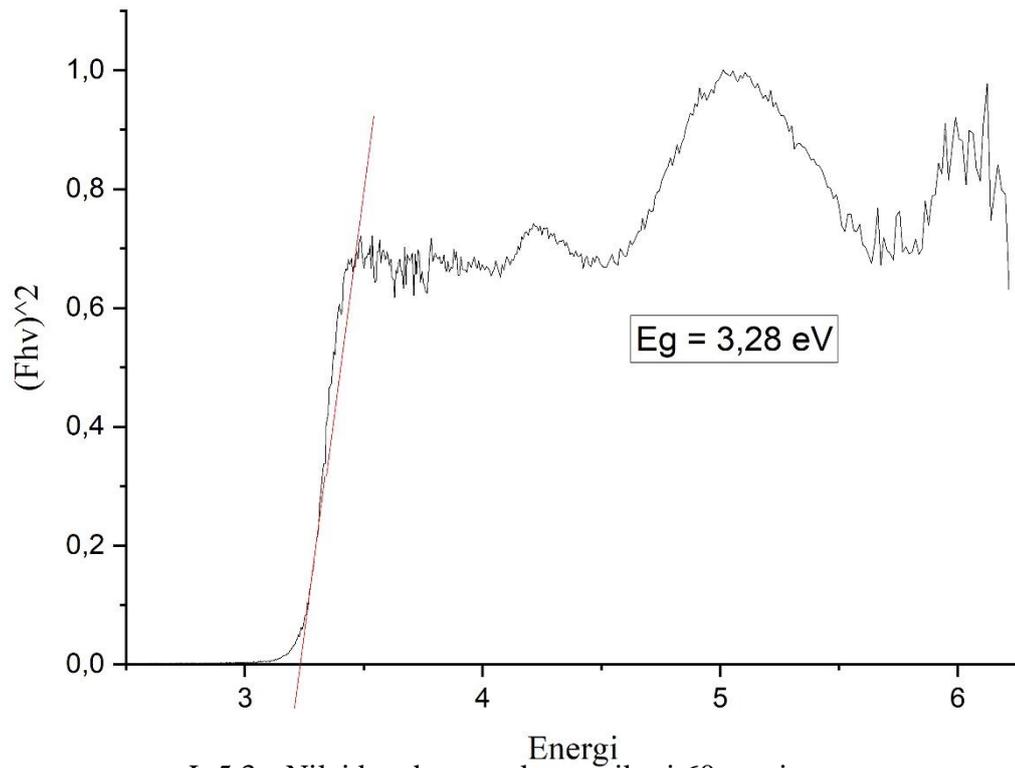
L.5.2 Nilai band gap waktu sonikasi 30 menit

$$E_g = 3,34 \text{ eV}$$

$$h = \frac{6,626 \times 10^{-34} \text{ j.s}}{1,602 \times 10^{-19} \text{ j.s}} \times 1 \text{ eV} = 4,13608 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$$

Nilai *band gap* pada saat $y = 0$

$$\lambda = \frac{h \times c}{E} = \frac{(4,13608 \times 10^{-15}) \text{ eV.s} \times (3 \times 10^{17}) \text{ nm/s}}{3,34 \text{ eV}} = 371,50 \text{ nm}$$



L.5.3 Nilai band gap waktu sonikasi 60 menit

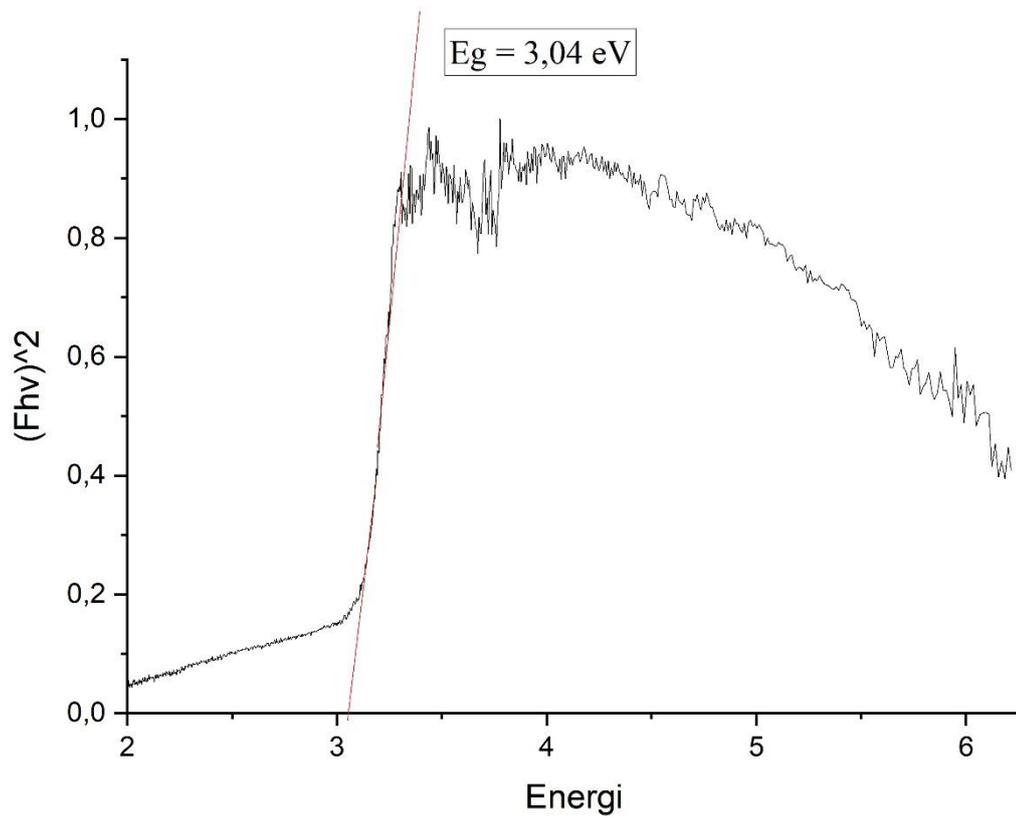
$$E_g = 3,28 \text{ eV}$$

$$h = \frac{6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}}{1,602 \times 10^{-19} \text{ J.s}} \times 1 \text{ eV} = 4,13608 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$$

Nilai *band gap* pada saat $y = 0$

$$\lambda = \frac{h \times c}{E} = \frac{(4,13608 \times 10^{-15}) \text{ eV.s} \times (3 \times 10^{17}) \text{ nm/s}}{3,28 \text{ eV}} = 378,3 \text{ nm}$$

L.5.2 UV-DRS ZnO-La³⁺ dengan kalsinasi 300°C selama 3 jam



Gambar L.5.4 Nilai band gap waktu sonikasi 60 menit

$$E_g = 3,04 \text{ eV}$$

$$h = \frac{6,626 \times 10^{-34} \text{ j.s}}{1,602 \times 10^{-19} \text{ j.s}} \times 1 \text{ eV} = 4,13608 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$$

Nilai *band gap* pada saat $y = 0$

$$\lambda = \frac{h \times c}{E} = \frac{(4,13608 \times 10^{-15}) \text{ eV.s} \times (3 \times 10^{17}) \text{ nm/s}}{3,04 \text{ eV}} = 408,17 \text{ nm}$$