

**PENGARUH PEMANASAN TERHADAP KARAKTERISTIK
MATERIAL LEMBARAN (*SHEET-LIKE*) BiOI/ZnO**

SKRIPSI

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si) dalam Ilmu Kimia**



Marisa Dhillah Maharani

NIM 2108036088

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2025**

**PENGARUH PEMANASAN TERHADAP KARAKTERISTIK
MATERIAL LEMBARAN (*SHEET-LIKE*) BiOI/ZnO**

SKRIPSI

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si) dalam Ilmu Kimia**

Marisa Dhillah Maharani

NIM 2108036088

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2025**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Marisa Dhillah Maharani

NIM : 2108036088

Jurusan : Kimia

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

Pengaruh Pemanasan Terhadap Karakteristik Material Lembaran (*Sheet-Like*) BiOI/ZnO

Secara Keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri,
kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 24 Juni 2025

Pembuat Pernyataan,



Marisa Dhillah Maharani

NIM : 2108036088

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : **Pengaruh Pemanasan Terhadap Karakteristik Material Lembaran (*Sheet-Like*) BiOI/ZnO**

Penulis : Marisa Dhillah Maharani

NIM : 2108036088

Jurusan : Kimia

Telah diujikan dalam sidang tugas akhir oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana dalam Ilmu Kimia.

Semarang, 27 Juni 2025

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang,



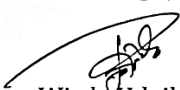
Dr. Eng. Anissa Adiwena Putri M.Sc.
NIP. 198504052011012015

Sekretaris Sidang,



Nana Misrochah, M.Pd
NIP. 198608282019032009

Penguji I,



Wirda Udaibah, M.Si
NIP. 198501042009122003



Penguji II,



Dr. Ervin Tri Suryandari, M.Si
NIP. 197407162009122001

Pembimbing,



Dr. Eng. Anissa Adiwena Putri M.Sc.
NIP. 198504052011012015

NOTA DINAS

Semarang, 24 Juni 2025

Yth. Ketua Program Studi Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum, wr. Wb.

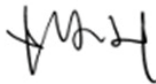
Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Pengaruh Pemanasan Terhadap Karakteristik
Material Lembaran (*Sheet-Like*) BiOI/ZnO
Nama : **Marisa Dhilla Maharani**
NIM : 2108036088
Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diajukan dalam Sidang Munaqosah.

Wassalamu'alaikum, wr.wb.

Pembimbing,



Dr. Eng. Anissa Adiwena Putri, M.Sc
NIP. 198504052011012015

ABSTRAK

Pencemaran air mendorong pengembangan fotokatalisis yang efisien. Komposit BiOI/ZnO menunjukkan potensi sebagai fotokatalis aktif di cahaya tampak, tetapi pengaruh pemanasan terhadap sifat material ini belum banyak dikaji. Penelitian ini mensintesis material lembaran (*sheet-like*) BiOI, ZnO, serta komposit BiOI/ZnO (tanpa pemanasan, pemanasan 100°C dan 300°C) melalui metode kopresipitasi. Karakterisasi dilakukan menggunakan XRD, SEM, UV-Vis DRS dan BET *Surface Area*. Analisis XRD menunjukkan BiOI memiliki struktur tetragonal, sedangkan ZnO memiliki struktur heksagonal. Puncak difraksi BiOI muncul dalam komposit. Pemanasan 100°C tidak menyebabkan pergeseran puncak BiOI, sedangkan suhu 300°C menggeser puncak BiOI ke sudut 2θ yang lebih kecil, yang mengindikasikan ekspansi kisi dan kemungkinan awal terbentuknya fasa $\text{Bi}_7\text{O}_9\text{I}_3$. Pemanasan meningkatkan ukuran kristal sebesar 27,95 nm (100°C) dan 28,26 nm (300°C). Analisis SEM menunjukkan BiOI memiliki morfologi seperti bunga hortensia (*hydrangea-like*), sedangkan ZnO berbentuk lembaran (*sheet-like*). Pada BiOI/ZnO terlihat morfologi lembaran (*sheet-like*) yang halus, setelah pemanasan suhu 300°C *sheet-like* lebih tajam dan teratur. UV-Vis DRS menunjukkan celah pita ZnO sebesar 3,25 eV. Pembentukan komposit menyebabkan penyempitan celah pita menjadi 3,23 eV, menunjukkan penambahan BiOI meningkatkan kemampuan material dalam menyerap cahaya. Setelah pemanasan, celah pita komposit menjadi 3,23 eV (100°C) dan 3,21 eV (300°C). Analisis BET *Surface Area* menunjukkan luas permukaan BiOI 4,015 m²/g dan ZnO 9,063 m²/g. Penggabungan BiOI dan ZnO menghasilkan komposit BiOI/ZnO yang meningkatkan luas permukaan menjadi 11,089 m²/g. Setelah BiOI/ZnO dipanaskan, suhu 300°C menghasilkan luas permukaan yang lebih besar (8,331 m²/g) dibandingkan suhu 100°C (3,905 m²/g).

Kata Kunci : lembaran (*sheet-like*), BiOI/ZnO, pemanasan, struktur kristal, morfologi, celah pita, luas permukaan

TRANSLITERASI HURUF ARAB-LATIN

A. Konsonan

Huruf Arab	Nama	Huruf Latin
أ	Alif	Tidak dilambangkan
ب	Ba	B
ت	Ta	T
ث	Şa	ş
ج	Jim	J
ح	Ĥa	ĥ
خ	Kha	Kh
د	Dal	d
ذ	Žal	ž
ر	Ra	r
ز	Zai	z
س	Sin	s
ش	Syin	sy
ص	Şad	ş
ض	Ḍad	ḍ
ط	Ṭa	ṭ
ظ	Ẓa	ẓ
ع	`ain	`
غ	Gain	g
ف	Fa	f
ق	Qaf	q
ك	Kaf	k
ل	Lam	l
م	Mim	m
ن	Nun	n

و	Wau	w
هـ	Ha	h
ء	Hamzah	‘
ي	Ya	y

B. Vokal

Huruf Arab	Nama	Huruf Latin
ـَ	Fathah	a
ـِ	Kasrah	i
ـُ	Dammah	u

C. Bacaan Madd

Huruf Arab	Huruf Latin
ا...ى...	ā
ى...ى...	ī
و...و...	ū

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim.

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul: “Pengaruh Pemanasan Terhadap Karakteristik Material Lembaran (*Sheet-Like*) BiOI/ZnO”. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada junjungan Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat, serta seluruh umatnya hingga akhir zaman.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan, dukungan, dan doa dari berbagai pihak, skripsi ini tidak akan terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. H. Nizar, M.Ag., selaku Rektor UIN Walisongo Semarang.
2. Prof. Dr. H. Musahadi, M.Ag., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.
3. Mulyatun, S.Pd., M.Si, selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.
4. Dr. Eng. Anissa Adiwena Putri, M.Sc., selaku dosen pembimbing sekaligus dosen wali yang telah

memberikan arahan, bimbingan, dan motivasi selama proses penyusunan skripsi ini dan selama masa perkuliahan.

5. Seluruh dosen dan staf Fakultas Sains dan Teknologi, khususnya di Jurusan Kimia UIN Walisongo Semarang, atas ilmu dan pengalaman yang telah diberikan selama perkuliahan.
6. Kedua orang tua penulis, Bapak Ahmad Jawawi dan Ibu Siti Fatimah, yang selalu memberikan cinta, doa, dan dukungan tiada henti sehingga penulis dapat menyelesaikan kuliah dan skripsi ini dengan baik.
7. Saudara-saudara penulis, Zain Azzi, Nia Zahyati dan Fatan Richy yang selalu memberikan semangat dan motivasi.
8. Teman-teman seperjuangan Kimia angkatan 2021, khususnya kelas Kimia C yang telah menjadi sumber inspirasi, dukungan, dan keceriaan selama masa kuliah.
9. Semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa

mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis, pembaca, serta perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang sains.

Semarang, 21 Juni 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PENGESAHAN	iii
NOTA DINAS	iv
ABSTRAK	v
TRANSLITERASI HURUF ARAB-LATIN	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	9
C. Tujuan Penelitian	10
D. Manfaat Penelitian.....	10
BAB II LANDASAN PUSTAKA	12
A. Landasan Teori	12
1. Semikonduktor sebagai fotokatalis	12
2. Karakteristik Fotokatalis	15
3. <i>Bismuth Oxyiodides</i> (BiOI)	17
4. Seng Oksida (ZnO)	17
5. Heterojungsi BiOI/ZnO.....	18
6. Difraksi Sinar X (XRD).....	25
7. <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	25
8. <i>Ultraviolet–Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (UV–Vis DRS).....	26
8. BET Surface Area	26
B. Kajian Penelitian yang Relevan.....	30
C. Hipotesis Penelitian	36
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	38
A. Tempat dan Waktu Penelitian	38
B. Alat dan Bahan	38

C. Metode Penelitian	39
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	43
A. Sintesis BiOI Murni.....	43
B. Sintesis ZnO Murni	44
C. Sintesis BiOI/ZnO	45
D. Analisis XRD	46
E. Analisis SEM	51
F. Analisis UV-DRS	55
G. Analisis Luas Permukaan (<i>Surface Area</i>)	58
BAB V PENUTUP.....	60
A. Kesimpulan.....	60
B. Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN.....	71

DAFTAR TABEL

Lampiran	Judul	Halaman
Tabel 4.1	Ukuran Kristal pada Sampel	50
Tabel 4.2	Nilai Celah Pita dan Panjang Gelombang Serapan dari Sampel	56
Tabel 4.3	Luas Permukaan pada Sampel	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Celah pita energi isolator, semikonduktor dan logam	12
Gambar 2.2	Struktur kristal BiOI (Bi: ungu, I: biru, dan O: merah)	15
Gambar 2.3	Struktur Kristal ZnO (a) <i>Rocksalt</i> (b) <i>Zinc Blende</i> (c) <i>Wurtzite</i>	17
Gambar 2.4	Skema heterojungsi tipe p-n	19
Gambar 2.5	Prinsip kerja XRD	21
Gambar 2.6	Pola difraksi BiOI, BiOI/ZnO, ZnO	23
Gambar 2.7	Prinsip kerja SEM	24
Gambar 2.8	Morfologi struktur (a) BiOI (b),(d) BiOI/ZnO (c) ZnO	25
Gambar 2.9	Skema alat UV-Vis DRS	26
Gambar 4.1	Hasil Sintesis (a) BiOI/ZnO, (b) BiOI/ZnO 100, (c) BiOI/ZnO 300, (d) BiOI, dan (e) ZnO	46
Gambar 4.2	(a) Difraktogram BiOI, ZnO, BiOI/ZnO, BiOI/ZnO 100, dan BiOI/ZnO 300, (b) Puncak BiOI pada komposit	47
Gambar 4.3	Morfologi (a) BiOI, (b) ZnO, (c) BiOI/ZnO, (d) BiOI/ZnO 100 dan (e) BiOI/ZnO 300	53
Gambar 4.4	Kurva Energi (eV) terhadap $(F(R)h\nu)^2$	57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Judul	Halaman
Lampiran 1	Diagram Alir	77
Lampiran 2	Perhitungan Stoikiometri	78
Lampiran 3	Difraktogram	79
Lampiran 4	Perhitungan Ukuran Kristal	82
Lampiran 5	Morfologi	85
Lampiran 6	Perhitungan Diameter Ukuran Partikel	90
Lampiran 7	Spektrum UV DRS dan Celah Pita	95
Lampiran 8	Perhitungan Panjang Gelombang Serapan dari Sampel	98
Lampiran 9	Analisis BET <i>Surface Area</i>	100

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pencemaran air menjadi salah satu isu lingkungan yang cukup serius di Indonesia. Berbagai sumber pencemaran seperti limbah domestik, limbah industri dan pertanian masih banyak yang tidak dikelola dengan baik. *Ecological Observation and Wetlands Conservation* (ECOTON) menyebutkan bahwa sungai di Indonesia terutama di luar pulau Jawa tercemar bahan kimia seperti pestisida dan logam berat (Fajar, 2024). Fenomena kerusakan lingkungan ini sesungguhnya telah diingatkan dalam Al-Qur'an Surat Ar-Rum ayat 41.

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي
عَمَلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya: "Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia. Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)." (QS. Ar-Rum 30: ayat 41)

Ayat tersebut menunjukkan bahwa kerusakan di bumi timbul akibat perbuatan manusia yang mengikuti hawa nafsu. Allah SWT membiarkan agar manusia merasakan

sebagian dampak dari tindakan mereka sendiri agar kembali ke pada jalan yang benar. Ayat ini tidak hanya menjadi peringatan tentang konsekuensi dari perusakan lingkungan, tetapi juga mendorong kita untuk mengambil peran aktif dalam menjaga dan melestarikan alam (Kementrian Agama Republik Indonesia, 2022). Untuk mengatasi permasalahan pencemaran ini, berbagai metode telah dilakukan, seperti adsorpsi, koagulasi, filtrasi dan berbagai metode oksidasi. Namun metode ini memiliki kelemahan seperti efisiensi yang rendah dan membutuhkan pengolahan atau aktivasi lebih lanjut (Jorfi et al., 2018).

Salah satu metode yang efektif untuk menghilangkan kontaminasi dalam air melalui fotokatalisis. Fotokatalisis merupakan teknik yang memanfaatkan semikonduktor untuk mengurangi polutan organik secara efisien dan ramah lingkungan. Efisiensi metode ini bergantung pada spesies pengoksidasi kuat seperti radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) yang dapat mengurai senyawa organik beracun menjadi zat yang kurang beracun, seperti air, karbon dioksida, dan senyawa organik rantai pendek (Ruziwa et al., 2023).

Sifat yang terpenting dari material fotokatalis adalah celah pita yang sesuai, luas permukaan yang besar, morfologi yang sempurna, dan stabilitas kimia (Hassaan et.al., 2023).

Fotokatalis yang umum digunakan saat ini yaitu titanium oksida (TiO_2) dan seng oksida (ZnO). ZnO termasuk dalam material semikonduktor tipe-n yang memiliki celah pita sebesar 3,37 eV. Sebagai fotokatalis, ZnO memiliki beberapa keunggulan diantaranya stabilitas eksitonik yang tinggi, mobilitas elektron yang tinggi, serta sifat transparansi yang baik.

Celah pita yang lebar menyebabkan ZnO hanya aktif pada penyinaran sinar ultraviolet (UV). Hal ini menjadi keterbatasan karena sinar UV yang terkandung dalam cahaya matahari hanya sekitar kurang dari 5%, sementara proporsi sinar tampak (*visible light*) mencapai sekitar 43% (Adenuga, 2019). Sinar tampak juga lebih ramah lingkungan dibandingkan sinar UV karena memiliki energi yang lebih rendah. Selain itu, penggunaan sinar UV buatan seperti lampu merkuri tidak efisien dan berdampak negatif terhadap lingkungan (Blatchley, 2022). Oleh karena itu, radiasi sinar tampak lebih menguntungkan daripada sinar UV untuk fotodegradasi polutan organik karena biaya yang lebih rendah dan ketersediaan yang lebih luas memungkinkan aktivitas fotokatalisis yang efisien (Mohammadhosseini et al., 2022).

Semikonduktor berbasis bismut adalah salah satu fotokatalis yang aktif di bawah sinar tampak, memiliki stabilitas kimia dan termal yang baik, serta tidak beracun (Boochakiat et al., 2023). Di antara semikonduktor berbasis bismut, bismut oksihalida dengan rumus kimia BiOX ($X = \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$) mendapat perhatian sebagai fotokatalis karena bersifat inert, memiliki toleransi fotokorosi yang tinggi dan tidak berbahaya dalam media air (Lv et al., 2022). Bismut oksiidida (BiOI) memiliki energi celah pita terkecil ($\sim 1,7$ eV) dibandingkan BiOBr ($\sim 2,7$ eV) dan BiOCl ($\sim 3,2$ eV). Celah pita yang sempit ini membuat BiOI memiliki kinerja fotokatalisis yang aktif di bawah cahaya tampak. Meskipun demikian, aktivitas fotokatalisis BiOI masih kurang optimal karena terjadi rekombinasi pasangan elektron-hole yang terbentuk selama proses iradiasi. Rekombinasi ini menghambat pembentukan spesies reaktif yang diperlukan dalam reaksi reduksi oksidasi (redoks) (Guo et al., 2021). Penelitian Malefane et al. (2020) menunjukkan bahwa BiOI memiliki efisiensi fotodegradasi yang rendah terhadap ibuprofen dan trimethoprin di bawah cahaya tampak.

Salah satu strategi yang telah dilakukan untuk mengatasi keterbatasan adalah dengan membentuk heterojungsi melalui penggabungan dengan semikonduktor

lain (Hou et al., 2019). BiOI merupakan semikonduktor tipe-p, yang memiliki kelebihan *hole* (h^+) sebagai pembawa muatan utama. Sifat ini membuat BiOI kompatibel dengan ZnO, yang merupakan semikonduktor tipe-n. Dengan menggabungkan BiOI (tipe-p) dan ZnO (tipe-n) terbentuk heterojungsi tipe p-n (Ashiegbu dan Potgieter, 2023). Heterojungsi ini memiliki kemampuan untuk memisahkan pasangan elektron dan *hole* yang terbentuk saat cahaya diserap. Pemisahan muatan yang efektif ini menghambat proses rekombinasi elektron (e^-) dan *hole* (h^+), sehingga meningkatkan efisiensi proses fotokatalisis secara keseluruhan (Xiao et al., 2024).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Tong et al. (2017) menunjukkan bahwa kombinasi ZnO-BiOI dapat meningkatkan aktivitas fotokatalisis dalam degradasi *Rhodamin Blue* (RhB). Dalam waktu penyinaran 20 menit, efisiensi degradasi mencapai 58,6% yang lebih tinggi dibandingkan BiOI murni (9,8%). Peningkatan ini terjadi karena adanya penyerapan cahaya tampak dan pembentukan antarmuka heterogen yang dapat memisahkan pembawa muatan yang terinduksi cahaya. Penelitian Jiang et al. (2017) menunjukkan pembuatan komposit BiOI/ZnO yang memiliki kinerja fotokatalisis yang baik pada degradasi

fenol yaitu mencapai 99,9% dalam waktu 2 jam di bawah simulasi iradiasi sinar matahari. Penelitian Xiao et al. (2020) berhasil mengembangkan BiOI/ZnO yang mampu mendegradasi metilen biru secara efisien, dengan peningkatan kinerja katalisis sebesar 4,4 kali lipat dibandingkan BiOI murni dalam waktu 3 jam. Peningkatan kinerja ini disebabkan oleh kemampuan heterojungsi BiOI/ZnO dalam memisahkan pembawa muatan secara efektif, sehingga mengurangi rekombinasi elektron-hole dan meningkatkan jumlah spesies reaktif yang tersedia untuk reaksi fotokatalisis.

Melihat potensi BiOI/ZnO sebagai fotokatalis yang efektif di bawah cahaya tampak, karakteristik dari material dapat memengaruhi kinerjanya. Kinerja fotokatalis dipengaruhi oleh tingkat kristalinitas dan morfologinya. Kristalinitas yang tinggi dan luas permukaan yang besar dapat meningkatkan daya adsorpsi katalis, sehingga meningkatkan kinerja fotokatalisisnya (Dewa, 2016). Pemanasan dapat mengubah struktur kristal, morfologi dan sifat optik material. Hal ini disebabkan oleh peningkatan mobilitas atom akibat pemanasan, yang memungkinkan penyusunan ulang atom-atom dalam kisi kristal sehingga terjadi perubahan karakteristik (Bastami et al., 2025).

Penelitian Sharma et al. (2023) menunjukkan bahwa suhu pemanasan antara 400-600°C memengaruhi karakteristik struktural dan optik ZnO, di antaranya peningkatan ukuran kristalit dan penurunan celah pita energi dari 3,15 menjadi 3,05eV. Sejalan dengan itu, studi Saidani et al. (2025) mengungkapkan bahwa peningkatan suhu pemanasan juga menurunkan jumlah cacat kristal dan luas permukaan spesifik dari ZnO serta menyebabkan penyempitan celah pita akibat ukuran partikel.

Pemanasan juga memengaruhi karakteristik BiOI. Penelitian yang dilakukan oleh Putri et al. (2019) menunjukkan bahwa material BiOI memiliki stabilitas struktur kristal pada rentang suhu 100°C hingga 200°C, ditunjukkan dengan pola difraksi yang tetap identik dengan referensi JCPDS BiOI tanpa adanya pergeseran sudut maupun perubahan fasa. Namun, ketika dipanaskan hingga suhu 300°C, terdeteksi adanya pergeseran puncak ke sudut 2θ yang lebih rendah serta perubahan intensitas, yang mengindikasikan terjadinya transformasi parsial ke fasa $\text{Bi}_7\text{O}_9\text{I}_3$. Pada suhu yang lebih tinggi, yakni 450°C dan 550°C, BiOI mengalami transformasi fasa lebih lanjut menjadi $\text{Bi}_5\text{O}_7\text{I}$ dan kristal $\beta\text{-Bi}_2\text{O}_3$. Hal serupa dilaporkan oleh Matiur et al. (2021), yang menyatakan bahwa BiOI yang dipanaskan pada

suhu 100 °C hingga 200°C masih mempertahankan struktur kristalnya dan menunjukkan karakteristik khas BiOI. Namun, pada suhu 300°C, terjadi perubahan menuju fasa $\text{Bi}_7\text{O}_9\text{I}_3$, dan ketika dipanaskan hingga 400°C, fasa dominan bergeser menjadi $\text{Bi}_5\text{O}_7\text{I}$. Kedua studi tersebut menunjukkan bahwa pemanasan pada BiOI memiliki pengaruh signifikan terhadap stabilitas fasa, di mana suhu di atas 300°C berpotensi mendorong transformasi struktur kristal menjadi fasa oksida bismut lainnya. Fasa BiOI yang kaya bismut seperti $\text{Bi}_4\text{O}_5\text{I}_2$, $\text{Bi}_5\text{O}_7\text{I}$, dan $\text{Bi}_7\text{O}_9\text{I}_3$ memiliki aktivitas fotokatalisis yang signifikan. Peningkatan aktivitas ini dikaitkan dengan beberapa faktor, termasuk peningkatan kandungan bismut, luas permukaan spesifik yang lebih tinggi (Wu et.al., 2019).

Beberapa studi juga menunjukkan bahwa pemanasan dapat meningkatkan efisiensi transfer muatan pada sistem heterojungsi. Negi et al. (2023) mengungkapkan bahwa perlakuan panas dapat meningkatkan kristalinitas fotokatalis secara signifikan. Pada heterojungsi $\text{TiO}_2\text{-ZnO}$ yang disintesis, proses pemanasan tidak hanya menghasilkan struktur kristal yang lebih teratur, tetapi juga meningkatkan kualitas antarmuka antara kedua semikonduktor. Hal sama juga ditemukan Jv et al. (2024)

yang menunjukkan bahwa perlakuan panas pada heterojungsi $\text{BiOBr/Bi}_2\text{O}_2\text{CO}_3$ menghasilkan antarmuka transfer muatan yang lebih efisien, karena pemanasan membantu memfasilitasi interaksi yang lebih baik antara kedua material.

Meskipun efektivitas komposit BiOI/ZnO sebagai fotokatalis telah dibuktikan dalam berbagai penelitian, kajian pengaruh pemanasan terhadap karakteristik material ini perlu dikaji lebih lanjut. Pemanasan dapat memengaruhi struktur kristal, morfologi, sifat optik serta luas permukaan fotokatalis. Penelitian ini difokuskan untuk menganalisis perubahan karakteristik BiOI/ZnO sebelum dan sesudah pemanasan, sehingga diharapkan dapat memberikan kontribusi baru dalam pengembangan material fotokatalis yang lebih efisien dan aplikatif.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh pemanasan terhadap struktur kristal material BiOI/ZnO ?
2. Bagaimana pengaruh pemanasan terhadap morfologi BiOI/ZnO ?

3. Bagaimana pengaruh pemanasan terhadap celah pita material BiOI/ZnO?
4. Bagaimana pengaruh pemanasan terhadap luas permukaan BiOI/ZnO

C. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui pengaruh pemanasan terhadap struktur kristal material BiOI/ZnO.
2. Mengetahui pengaruh pemanasan terhadap morfologi BiOI/ZnO.
3. Mengetahui pengaruh pemanasan terhadap celah pita material BiOI/ZnO.
4. Mengetahui pengaruh pemanasan terhadap luas permukaan BiOI/ZnO.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Mengembangkan material fotokatalis berbasis BiOI yang mampu bekerja secara efisien di bawah radiasi sinar tampak
2. Memberikan kontribusi untuk pengembangan sintesis material fotokatalis.
3. Penelitian ini juga dapat membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut mengenai modifikasi fotokatalis

dan aplikasinya dalam degradasi berbagai jenis polutan organik.

BAB II

LANDASAN PUSTAKA

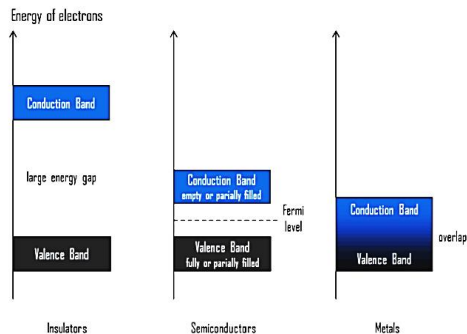
A. Landasan Teori

1. Semikonduktor sebagai Fotokatalis

Semikonduktor adalah material yang memiliki kemampuan menghantarkan arus listrik dalam kondisi tertentu, khususnya ketika mendapatkan energi tambahan seperti panas atau cahaya. Pada suhu kamar, semikonduktor berperilaku seperti isolator tetapi konduktivitas listriknya meningkat seiring dengan kenaikan suhu. Secara struktur, semikonduktor memiliki pita valensi yang sepenuhnya terisi oleh elektron serta pita konduksi yang kosong, yang dipisahkan oleh celah energi (*band gap*). Berbeda dengan isolator yang memiliki celah energi yang terlalu besar dan logam yang tidak memiliki celah energi sama sekali, semikonduktor berada di antara keduanya (Terna et al., 2021). Perbedaan celah energi antara isolator, semikonduktor dan konduktor ditunjukkan pada Gambar 2.1.

Semikonduktor diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan asal muatan pembawa, yaitu semikonduktor intrinsik dan ekstrinsik. Semikonduktor intrinsik yaitu semikonduktor yang bersifat murni tanpa akseptor, memiliki

jumlah elektron dan *hole* yang sama serta konduktivitasnya rendah karena mobilitas pengangkut muatan rendah. Contoh semikonduktor intrinsik yaitu silikon (Si) dan germanium (Ge). Semikonduktor ekstrinsik adalah semikonduktor yang telah mengalami penambahan atom pengotor atau doping. Doping ini bertujuan untuk meningkatkan konduktivitas dengan cara menambahkan pembawa muatan berupa elektron atau *hole*, tergantung pada jenis atom pengotornya. Semikonduktor ekstrinsik dibedakan menjadi dua tipe, yaitu semikonduktor tipe-n dan tipe-p (Kesuma, 2019).



Gambar 2.1 Celah pita energi isolator, semikonduktor dan logam (Terna et al., 2021)

Semikonduktor tipe p adalah jenis semikonduktor yang dihasilkan dari pencampuran atom-atom yang tidak memiliki elektron bebas dan cenderung menerima elektron. *Hole* dalam semikonduktor ini bertindak sebagai muatan positif dan sering disebut sebagai pembawa muatan utama.

Di sisi lain semikonduktor tipe n dihasilkan dengan menambahkan atom lain untuk meningkatkan jumlah elektron bebas. Pada semikonduktor tipe n, elektron bebas bertindak sebagai pembawa muatan utama (Sujarwata dan Marwoto, 2014). Contoh semikonduktor tipe n meliputi ZnO, SnO₂, TiO₂, WO₃, MoO₃, In₂O₃, α -Fe₂O₃, dan CeO₂, sedangkan semikonduktor tipe p termasuk CuO, NiO, Co₃O₄, Cr₂O₃, Mn₃O₄, BiOI dan Cu₂O (Pascariu et al., 2023).

Semikonduktor dapat berperan sebagai fotokatalis karena memiliki energi celah pita yang mampu menghasilkan elektron dan *hole* melalui proses eksitasi elektron. Ketika semikonduktor mendapatkan energi sebanding dengan celah pita, elektron akan tereksitasi ke pita konduksi dan terbentuk *hole* di pita valensi. Sebagian besar *hole* dan elektron ini akan tetap di sekitar permukaan semikonduktor yang memungkinkan *hole* dan elektron untuk memulai reaksi reduksi oksidasi (Irshad et al., 2018).

2. Karakteristik Fotokatalis

Sifat yang terpenting dari material fotokatalis adalah celah pita yang sesuai, luas permukaan yang besar, morfologi yang sempurna, dan stabilitas kimia. Morfologi seperti ukuran dan bentuk partikel akan berpengaruh terhadap aktivitas fotokatalisis karena interaksi langsung antara permukaan katalis dengan polutan organik. Semakin banyak

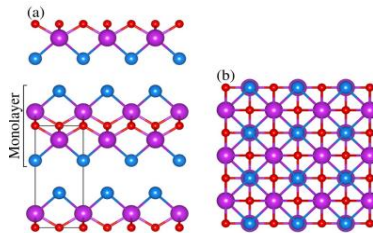
cahaya (foton) yang mengenai permukaan fotokatalis, proses penguraian polutan bisa berjalan lebih cepat. Fotokatalis yang memiliki luas permukaan yang lebih besar menandakan lebih banyak situs aktif yang dapat dihasilkan pada permukaan fotokatalis sehingga menghasilkan lebih banyak spesies radikal untuk penguraian polutan yang efektif (Hassaan et.al., 2023).

Laju reaksi fotokatalisis ditentukan oleh jumlah cahaya (foton) yang mengenai permukaan fotokatalis. Efisiensi penyerapan cahaya bergantung pada celah pita fotokatalis. Celah pita yang lebih sempit (< 3 eV) ideal untuk penyerapan cahaya tampak, sedangkan celah pita yang lebih lebar cocok untuk penyerapan cahaya UV (Kumari et.al., 2024). Selain itu, kristalinitas yang tinggi meningkatkan transportasi pembawa muatan dan mengurangi rekombinasi pasangan muatan (Chung et.al., 2020).

3. *Bismuth Oxyiodide (BiOI)*

Bismuth Oxyiodide (BiOI) adalah material golongan BiOX (X= Br, Cl, atau I) yang merupakan bahan semikonduktor tipe-p berlapis yang mengkristal dalam bentuk *matlockite* tetragonal. BiOI adalah semikonduktor yang terdiri dari tiga unsur dan memiliki struktur kristal tetragonal. Struktur kristal BiOI dapat dilihat pada Gambar 2.2, yang menunjukkan bahwa setiap lapisan tunggal BiOI

terdiri dari lapisan $[\text{Bi}_2\text{O}_2]^{2+}$ yang diselingi dengan dua lapisan halogen I (Sajjad et al., 2020). Karena celah pita yang relatif sempit (1.6 – 1.9 eV), BiOI sering digunakan untuk aplikasi fotokatalisis cahaya tampak. BiOI menghasilkan aktivitas cahaya tampak yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh lapisan intralayer yang kuat dan interlayer *van der Waals* yang lemah, elektron dan *hole* yang dihasilkan foto juga terpisah sempurna dari BiOI (Anku et al., 2018).



Gambar 2.2 Struktur kristal BiOI (Bi: ungu, I: biru, dan O: merah) (Sajjad et al., 2020)

Celah pita sempit pada BiOI membuat pasangan elektron dan *hole* yang terbentuk hanya dapat bergerak dalam jarak pendek. Akibatnya, pasangan ini cepat saling bertemu dan berekombinasi, sehingga tidak sempat digunakan untuk reaksi fotokatalisis. Kondisi ini menyebabkan kinerja fotokatalisis yang buruk, karena hanya sedikit pasangan elektron-*hole* yang dapat dimanfaatkan untuk reaksi (Wang et al., 2019). Selain BiOI, fotokatalis MnO_2 juga rentan terhadap rekombinasi karena celah pita MnO_2 yang sempit,

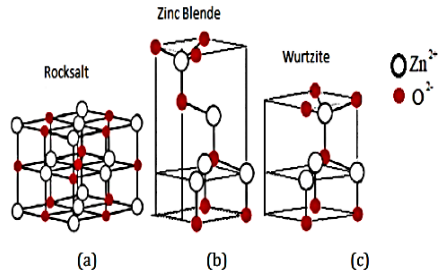
yang mengakibatkan tingginya rekombinasi antara elektron dan *hole* yang dihasilkan (Zhou et al., 2018).

4. Seng Oksida (ZnO)

Seng Oksida (ZnO) termasuk semikonduktor tipe II-VI yang memiliki celah pita (3,37 eV) serta energi ikatan eksiton mencapai 60 meV (Charlena et al., 2024). ZnO berbentuk serbuk putih termokromik yang dapat berubah warna secara reversibel dari putih menjadi kuning saat dipanaskan, perubahan ini disebabkan oleh hilangnya oksigen dari kisi kristalnya. ZnO hampir tidak larut dalam air tetapi terdegradasi dalam sebagian asam dan basa karena merupakan oksida amfoter (Zielinska et al., 2015).

ZnO memiliki dua fase struktur kristal yaitu heksagonal dan kubus, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Struktur heksagonal, dikenal sebagai *wurtzite*, merupakan bentuk paling stabil dalam kondisi normal. Struktur kubus terdiri dari *zinc blende*, yang stabil pada substrat kubik, dan kubus *rocksalt*, yang jarang ditemui kecuali di bawah tekanan kira-kira 10 GPa (Astuti et al., 2022). Struktur heksagonal terdiri atas dua sub kisi, yaitu Zn^{2+} dan O^{2-} yang secara bergantian membentuk bidang dasar kristal. ZnO termasuk semikonduktor tipe n karena adanya kekosongan oksigen dalam struktur kristalnya. Kekosongan ini menghasilkan

elektron bebas, sehingga elektron menjadi pembawa muatan utama dalam ZnO (Mishra et al., 2020).



Gambar 2.3 Struktur Kristal ZnO (a) *Rocksalt* (b) *Zinc Blende* (c) *Wurtzite* (Astuti et al., 2022; Qi, 2014)

ZnO memiliki beberapa kelebihan, di antaranya stabilitas eksitonik yang tinggi, lebar celah pita, mobilitas elektron yang tinggi, serta transparansi yang baik. Sifat ini memungkinkan ZnO untuk menyerap cahaya UV dengan efisien dan mendegradasi polutan organik seperti zat warna, senyawa aromatik dan fenolik (Taylor et al., 2019). Selain itu, karena morfologi ZnO yang mudah dikendalikan secara eksperimental, memungkinkan berbagi bentuk dan struktur. Hal ini menjadikan ZnO sering dikombinasikan dengan material semikonduktor lain melalui berbagai metode sintesis dan dengan biaya yang rendah (Wang et al., 2023).

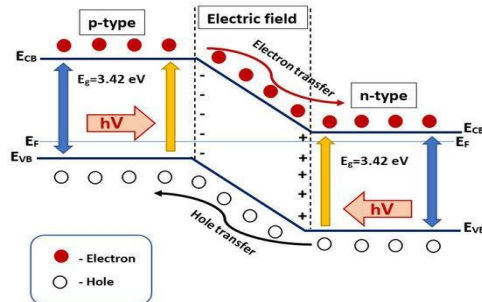
5. Heterojungsi BiOI/ZnO

Heterojungsi adalah antarmuka yang terbentuk antara dua lapisan semikonduktor yang memiliki celah pita yang

berbeda. Pembuatan heterojungsi ini dilakukan untuk meningkatkan efisiensi aktivitas fotokatalisis melalui pemisahan muatan yang lebih efektif. Berdasarkan penyusunnya, heterojungsi dapat diklasifikasikan ke dalam empat kategori, yaitu heterojungsi semikonduktor-semikonduktor, heterojungsi semikonduktor-logam, heterojungsi semikonduktor-gugus karbon (karbon aktif, karbon *nanotube* dan *graphene*), serta heterojungsi multikomponen (Wang et al., 2014).

Heterojungsi semikonduktor-semikonduktor sendiri terbagi menjadi dua jenis, yaitu heterojungsi tipe p-n dan heterojungsi non p-n. Ketika semikonduktor tipe p dan n bersentuhan, terjadi pembentukan sambungan p-n yang menciptakan daerah muatan ruang di antarmuka karena adanya difusi elektron dan *hole*. Daerah ini menghasilkan potensial listrik bawaan yang dapat mendorong gerakan elektron dan *hole* ke arah yang berlawanan. Ketika heterojungsi p-n terkena cahaya dengan energi sama atau lebih besar dari celah pita fotokatalis mengenai heterojungsi p-n, pasangan elektron-*hole* yang terbentuk dapat dipisahkan secara langsung oleh medan listrik yang terbentuk di wilayah muatan ruang (Jiang et al., 2012). Medan listrik ini mendorong elektron bergerak ke pita konduksi semikonduktor tipe n, sementara *hole* bergerak ke

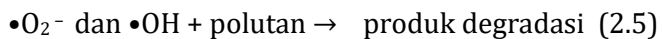
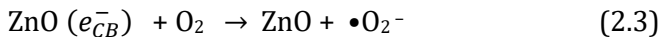
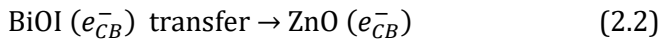
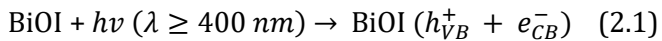
pita valensi semikonduktor tipe p. Proses pemisahan pasangan elektron-hole terjadi lebih cepat karena adanya medan listrik internal dan pengaturan pita energi (Lv et al., 2022). Heterojungsi semikonduktor tipe p-n memiliki banyak manfaat, antara lain pemisahan muatan yang lebih efektif, transfer muatan ke katalis cepat, peningkatan masa pakai pembawa muatan (Ong et al., 2018).



Gambar 2.4 Skema heterojungsi tipe p-n (Bahadoran et al., 2022)

Gambar 2.4 menunjukkan mekanisme fotokatalis heterojungsi BiOI/ZnO di bawah iradiasi cahaya tampak. BiOI adalah semikonduktor tipe p dengan level fermi dekat pita valensi sedangkan ZnO tipe n dengan level fermi dekat pita konduksi. Saat membentuk sambungan p-n, elektron berpindah dari ZnO ke BiOI, dan *hole* bergerak ke arah sebaliknya. Saat level energi fermi BiOI dan ZnO mencapai keseimbangan, terbentuk medan listrik internal yang mengarah dari ZnO ke BiOI yang berfungsi untuk menghentikan difusi muatan dari ZnO ke BiOI. Dalam proses

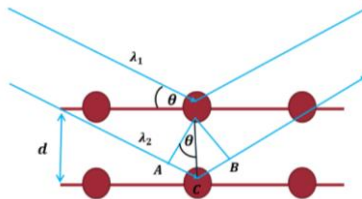
ini, pita energi ZnO bergeser ke bawah bersamaan dengan level fermi, sementara pita energi pada BiOI bergeser ke atas. Ketika struktur heterojungsi ZnO/BiOI terkena cahaya tampak, pasangan elektron-*hole* akan dihasilkan di dalam BiOI. Elektron yang dihasilkan akan berpindah dari BiOI ke pita konduksi (CB) ZnO, sedangkan *hole* tetap berada di permukaan BiOI karena potensial pita valensi (VB) BiOI lebih tinggi dibandingkan ZnO. Selain itu, medan listrik internal berperan dalam meningkatkan pemisahan pasangan elektron-*hole* yang menyebabkan elektron bergerak melintasi antarmuka ke daerah ZnO dan *hole* tetap di BiOI (Jiang et al., 2011). Mekanisme fotokatalisis heterojungsi BiOI/ZnO dalam mendegradasi polutan organik ditulis dalam Persamaan 2.1 – 2.5 (Ashiegbu et al., 2022).



6. Difraksi Sinar X (XRD)

Difraksi Sinar X adalah teknik analisis yang dilakukan untuk mengidentifikasi struktur kristal dalam sampel serbuk maupun padat. Metode ini memungkinkan identifikasi dan kuantifikasi struktur kristal, kristalinitas, ukuran serta

parameter struktur kristal tanpa merusak sampel (Muttaqin et al., 2023). Prinsip dasar XRD adalah memancarkan sinar-X ke dalam kristal yang menyebabkan sinar tersebut terdifraksi. Difraksi terjadi jika panjang gelombang sinar-X sebanding dengan jarak antar atom dalam kristal yaitu 1 Angstrom. Sinar-X mengenai kristal, maka sebagian akan diserap, diteruskan dan sebagian lainnya akan terdifraksi atau tersebar. Sinar-X yang terdifraksi membentuk pola difraksi. Pola ini terbentuk bergantung pada struktur kristal material (Fatimah et al., 2022). Ilustrasi mengenai proses difraksi sinar-X dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Prinsip kerja XRD (Saputri et al., 2022)

Sinar-X yang terhambur saling memperkuat pada titik-titik tertentu. Panjang lintasan yang ditempuh sinar-X, dari titik masuk hingga titik hamburan, harus sejajar dengan atau merupakan kelipatan bilangan bulat dari panjang gelombang sinar-X untuk mencapai interferensi konstruktif. Kondisi ini dinyatakan dalam Hukum Bragg, ditunjukkan pada Persamaan 2.6.

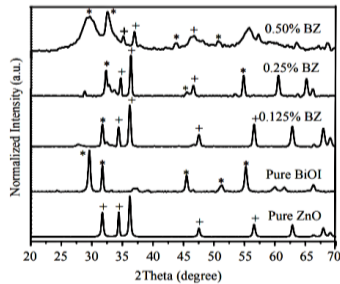
$$n\lambda = 2 d_{hkl} \sin \theta \quad (2.6)$$

Dengan d_{hkl} adalah jarak antar bidang dalam kristal, λ adalah panjang gelombang, θ adalah sudut deviasi, dan n adalah orde difraksi (1, 2, 3, ...) (Saputri et al., 2022). Analisis XRD menghasilkan difraktogram yang menampilkan garis atau puncak dengan intensitas dan posisi berbeda, khas untuk setiap material. Pola difraktogram ini spesifik untuk setiap fase kristal. Untuk menentukan struktur kristal yang terbentuk sesuai, dilakukan dengan mencocokkan puncak pada difraktogram dengan referensi JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standard*) (Pranata et al., 2020). Apabila pola difraksi sampel mirip dengan referensi JCPDS, maka sampel yang diidentifikasi sama dengan material referensi. Ketajaman puncak pada difraksi dapat menunjukkan material bersifat kristalin atau amorf. Struktur kristalin memiliki puncak difraksi tajam, sedangkan amorf memiliki puncak difraksi melebar (Fatimah et al., 2022). Ukuran kristal dapat diperkirakan berdasarkan hasil analisis XRD dengan menggunakan Persamaan Scherrer ditunjukkan pada Persamaan 2.7.

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos(\theta)} \quad (2.7)$$

K adalah konstanta yang nilainya tergantung pada faktor bentuk kristal, bidang (hkl) difraksi, dan definisi ukuran β yang digunakan sebagai *Full Width at Half Maximum* (FWHM)

dari puncak. Umumnya, nilai K yang digunakan adalah 0,94 untuk β adalah FWHM (Sumadiyasa dan Manuaba, 2018).

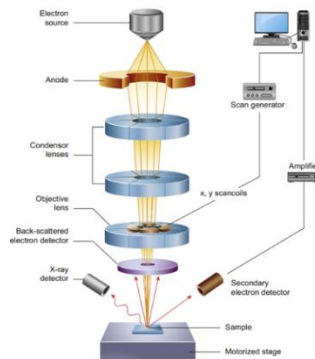


Gambar 2.6 Pola difraksi BiOI, BiOI/ZnO, ZnO (Natkritta et al., 2018)

Berdasarkan penelitian Natkritta et al. (2018), pola difraksi dari BiOI, ZnO dan BiOI/ZnO dapat dilihat pada Gambar 2.6. Puncak pada BiOI murni terdeteksi pada sudut $29,6^\circ$; $31,6^\circ$; $37,0^\circ$; $39,3^\circ$; dan $45,3^\circ$, yang sesuai dengan bidang kristal tetragonal (012), (110), (013), (014), dan (112) berdasarkan data dari JCPDS no. 10-0445. Sementara itu, puncak difraksi untuk ZnO murni muncul pada $31,7^\circ$; $34,4^\circ$; $36,3^\circ$; $47,5^\circ$; $56,6^\circ$; dan $62,9^\circ$ yang sesuai dengan bidang kristal (100), (002), (101), (102), (110), dan (103) dari struktur *wurtzite* heksagonal ZnO (JCPDS no. 36-1451). Pola difraksi dari semua komposit BiOI/ZnO dalam Gambar 2.6 menunjukkan adanya puncak karakteristik dari kedua fase kristal BiOI dan ZnO.

7. *Scanning Elektron Microscope (SEM)*

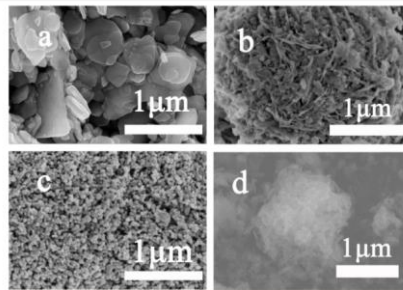
Scanning Elektron Microscope (SEM) adalah instrumen mikroskopi yang efektif untuk analisis morfologi permukaan, struktur, dan komposisi kimia sampel dengan resolusi yang tinggi. SEM bekerja dengan memindai permukaan sampel menggunakan elektron yang diarahkan dengan cara memindai secara sistematis. Hasil dari interaksi antarmuka sampel dengan elektron akan menghasilkan sinyal yang digunakan untuk memperoleh gambar yang baik. Resolusi gambar yang dapat dihasilkan oleh SEM mencapai beberapa nanometer (Zhou et al., 2006).



Gambar 2.7 Prinsip kerja SEM (Inkson, 2016)

Gambar 2.7 menunjukkan prinsip kerja dari SEM. SEM bekerja dengan menembakkan berkas elektron terfokus pada sampel. Anoda dalam pistol elektron mempercepat elektron, dan lensa magnetik memfokuskan ke sampel. Elektron yang dilepaskan akan ditangkap oleh detektor,

kemudian diteruskan ke layar monitor (CRT) untuk menghasilkan gambar. Beberapa jenis sinyal penting dihasilkan dalam proses ini, salah satunya adalah elektron sekunder dan sinar-X karakteristik yang memberikan informasi tentang permukaan dan komposisi sampel sedangkan pantulan elastis menghasilkan sinyal berupa *backscattered elektron* yang menunjukkan kepadatan atom dalam sampel (Wijayanto dan Bayuseno, 2014).



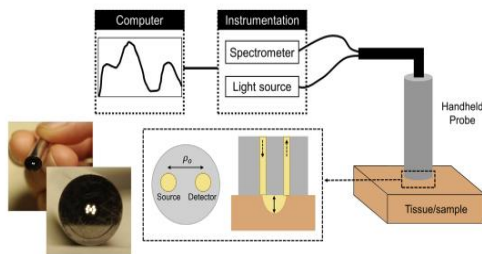
Gambar 2.8 Morfologi struktur (a) BiOI (b) (d) BiOI/ZnO (c) ZnO (Zhang et al., 2018)

Menurut Zhao et al. (2023) BiOI memiliki banyak bentuk morfologi seperti bunga, mikrosfer dan berlapis. ZnO juga memiliki berbagai bentuk morfologi, termasuk nanopartikel, batang, kawat, serpihan, bunga, dan lembaran (*sheets*) (Zhu dan Wang, 2025).

8. *Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS)*

Diffuse Reflectance Spectroscopy adalah teknik analisis

yang efektif, digunakan dalam berbagai bidang ilmiah. Teknik ini berfokus pada pengukuran intensitas cahaya yang dipantulkan dari sampel pada berbagai panjang gelombang (Mancuso et al., 2024). Prinsip dasar UV-Vis DRS adalah mengumpulkan cahaya yang dipantulkan secara difusi dan menganalisisnya menggunakan spektrometer. Komponen UV-Vis DRS seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 terdiri dari sumber cahaya dan spektrometer yang terhubung ke komputer melalui serat optik ke *probe* optik. Proses ini melibatkan penempatan *probe* pada sampel, penerangan sampel, dan pengumpulan spektrum oleh *probe*. Sumber cahaya yang digunakan seperti lampu halogen, xenon, dan LED putih dengan pemilihan berdasarkan spektrum yang dipancarkan (Moy dan Tunnell, 2016).



Gambar 2.9 Skema alat UV-Vis DRS (Moy dan Tunnell, 2016)

Teknik ini juga dapat digunakan untuk mengetahui nilai energi celah pita suatu material. Celah pita energi dapat ditentukan dari tepi absorpsi material, yaitu titik di mana

reflektansi turun tajam karena terjadinya transisi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. (Mirabella, 1998). Penentuan energi celah pita dilakukan dengan mengubah nilai %R (Reflektansi) menggunakan Persamaan Kubelka-Munk ($F(R)$), yang dinyatakan dalam Persamaan 2.8.

$$F(R) = \frac{K}{S} = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (2.8)$$

Faktor Kubelka-Munk dinyatakan sebagai $F(R)$, dengan K sebagai koefisien absorptansi, S adalah koefisien scattering, dan R adalah nilai reflektansi. Nilai energi celah pita dapat diperoleh melalui grafik hubungan antara $(F(R)hv)^2$ dan hv (eV). Proses penentuannya dilakukan dengan ekstrapolasi linier kurva $(F(R)hv)^2$ terhadap hv (eV), dimana titik potong pada sumbu y adalah nilai energi celah pita (Rahmayanti et al., 2023). Nilai hv (eV) dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.9.

$$Eg = hv = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.9)$$

Eg adalah energi celah pita (eV), h adalah tetapan Planck ($6,624 \times 10^{-34}$ Js), c adalah kecepatan cahaya ($2,998 \times 10^8$ m/s), dan λ adalah panjang gelombang (nm) (Novitasari et al., 2022).

9. BET Surface Area

Metode Brunauer Emmett Teller (BET) merupakan metode analisis yang digunakan untuk mengukur luas

permukaan spesifik suatu material melalui proses adsorpsi fisik molekul gas pada permukaannya. Dalam metode ini, nitrogen sering digunakan sebagai gas adsorbat karena sifatnya yang inert serta kemampuannya memberikan hasil pengukuran yang konsisten. Pengukuran luas permukaan material dilakukan dengan menggunakan instrumen *Surface Area Analyzer* (SAA). Proses analisis dimulai dengan persiapan sampel melalui pembersihan dan degasifikasi, lalu dilanjutkan dengan pengukuran isoterm adsorpsi menggunakan gas nitrogen pada berbagai tekanan relatif. Data adsorpsi yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung kapasitas monolayer dan luas permukaan spesifik menggunakan persamaan BET (Irwansyah et al., 2024). Persamaan BET dapat dilihat pada persamaan 2.10.

$$\frac{x}{V(1-x)} = \frac{1}{Vm \cdot C_{BET}} + \frac{x \cdot (C_{BET}-1)}{Vm \cdot C_{BET}} \quad (2.10)$$

Di mana V adalah volume molekul gas yang teradsorpsi, V_m adalah volume monolayer, C_{BET} adalah konstanta BET, dan x adalah tekanan relatif (P/P^0). Dari grafik $\frac{x}{V(1-x)}$ terhadap x , diperoleh garis lurus dengan kemiringan (*slope*) $\frac{(C_{BET}-1)}{Vm \cdot C_{BET}}$ dan titik potong (*intercept*) $\frac{1}{Vm \cdot C_{BET}}$. Volume monolayer kemudian dapat dihitung dengan persamaan 2.11.

$$Vm = \frac{1}{slope + intercept} \quad (2.11)$$

Setelah diperoleh nilai V_m , luas permukaan spesifik (SSA) dihitung dengan persamaan 2.12.

$$SSA = \frac{V_m \times N_A \times a_m}{V_m^{molar} \times m_s} \quad (2.12)$$

Dengan N_A adalah bilangan Avogadro ($6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$), a_m adalah luas penampang efektif satu molekul adsorbat, V_m^{molar} adalah volume molar gas adsorbat ($22,400 \text{ mL/mol}$ pada kondisi standar), dan m_s adalah massa sampel atau material (Naderi, 2015).

B. Kajian Penelitian yang Relevan

Penggabungan BiOI dan ZnO sebagai material fotokatalis telah banyak diteliti karena kemampuan yang efektif dalam degradasi polutan di bawah radiasi cahaya tampak. Salah satunya adalah penelitian Xiao et al. (2020), yang menggunakan BiOI/ZnO untuk degradasi metilen biru. Heterojungsi ini menunjukkan peningkatan kinerja fotokatalisis sebesar 94% dalam waktu 3 jam di bawah cahaya tampak, di mana hasil ini 4,4 kali lipat lebih tinggi dari BiOI murni. Beberapa penelitian mengungkapkan bahwa rasio tertentu dari BiOI terhadap ZnO memengaruhi aktivitas fotokatalisisnya. Jiang et al. (2017) mensintesis BiOI/ZnO dengan variasi 5%, 10% dan 15% BiOI. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan pada rasio 10% dan 15% terbentuk struktur campuran ZnO *wurtzite* dan fase tetragonal BiOI

sedangkan pada rasio 5% tidak ditemukan puncak difraksi BiOI yang jelas. Analisis UV-DRS menunjukkan bahwa peningkatan kandungan BiOI menurunkan energi celah pita dari 2,78 eV (5%) menjadi 2,15 eV (15%) dan menyebabkan pergeseran merah puncak serapan. Dalam uji degradasi fenol, efisiensi tertinggi dicapai 10%BiOI/ZnO dengan efisiensi degradasi sebesar 99,9% setelah 2 jam, atau 7,4 kali lebih tinggi dari ZnO murni.

Liu et al. (2019) juga membandingkan aktivitas fotokatalisis ZnO-BiOI dengan rasio molar Bi/Zn sebesar 0,5%, 2%, 10% dan 20% terhadap degradasi Rhodamin biru. Hasil terbaik diperoleh pada rasio 10%. Peningkatan rasio hingga 10% meningkatkan efisiensi, namun pada rasio di atasnya efisien fotokatalisisnya menurun, kemungkinan karena kelebihan BiOI di permukaan ZnO menghambat transfer fotoelektron. Temuan serupa dilaporkan oleh Zhu et al. (2023), dimana 10% BiOI/ZnO menunjukkan puncak difraksi yang paling lebar dan ukuran partikel terkecil. Selain itu 10% BiOI/ZnO memiliki luas permukaan spesifik terbesar (30,09 m²/g). Heterojungsi 10% BiOI/ZnO dapat menghilangkan metronidazole sepenuhnya dalam waktu 180 menit, yang 2,6 kali dan 4,8 kali lebih efektif dibandingkan ZnO dan BiOI murni. Pada tahun yang sama Ashiegbu dan Potgieter (2023) juga menguji ZnO-BiOI

dengan variasi 5%, 10% dan 20%. Hasil XRD menunjukkan bahwa pada rasio 5% tidak terdeteksi puncak BiOI, sementara pada 10% dan 15% terlihat puncak khas BiOI. Nilai band gap untuk rasio 5%, 10% dan 15% masing-masing sebesar 3,08 eV, 3,00 eV, dan 2,20 eV dengan luas permukaan ZnO-10%BiOI tertinggi (19,79 m²/g). ZnO-10% BiOI dan ZnO- 20% BiOI dapat menghilangkan metil oranye 100% dalam waktu 120 dan 180 menit.

Kinerja fotokatalis tidak terlepas dari karakteristik materialnya meliputi morfologi, lebar celah pita, struktur kristal dan ukuran partikel memengaruhi kinerja fotokatalisis. Faktor morfologi seperti tekstur dan kekasaran permukaan memengaruhi kemampuan material dalam menangkap foton serta pembentukan cacat kristal selama sintesis. Lebar celah pita memengaruhi rentang spektrum cahaya yang dapat diserap, celah pita sempit optimal untuk cahaya tampak, sedangkan celah pita lebar cocok untuk radiasi UV. Selain itu, struktur kristal dan ukuran partikel berperan dalam mengatur mobilitas muatan dan efisiensi pemisahan elektron-*hole*, semakin kecil ukuran partikel, maka semakin besar luas permukaan material (Hassaan et al., 2023).

Pemanasan dapat memengaruhi karakteristik fotokatalis berdasarkan luas permukaan spesifik, tingkat

kristalinitas, konversi fase dan aktivitas fotokatalisisnya. Ashraf et al. (2015) meneliti pengaruh kalsinasi ZnO pada suhu 100-500°C dan menemukan bahwa ukuran kristalit menurun (24-17 nm) seiring dengan peningkatan suhu hingga 300°C tetapi meningkat kembali di suhu lebih tinggi. Celah pita juga meningkat dari 3,39 eV menjadi 3,41 eV seiring dengan naiknya suhu kalsinasi. Hal sebaliknya dilaporkan Sugihartono et al. (2019) yang menunjukkan bahwa peningkatan suhu kalsinasi dari 200°C ke 600°C menyebabkan peningkatan ukuran kristalit ZnO dari 9,50 nm menjadi 21,50 nm, namun disertai penurunan band gap berdasarkan pergeseran serapan UV-Vis ke panjang gelombang yang lebih besar. Sharma et al. (2023) juga mengonfirmasi peningkatan ukuran kristalit dan penurunan band gap dari 3,15 eV menjadi 3,05 eV pada suhu 400-600°C.

Pemanasan juga memengaruhi karakteristik BiOI. Penelitian yang dilakukan oleh Putri et al. (2019) menunjukkan bahwa material BiOI memiliki stabilitas struktur kristal pada rentang suhu 100°C hingga 200°C, ditunjukkan dengan pola difraksi yang tetap identik dengan referensi JCPDS BiOI tanpa adanya pergeseran sudut maupun perubahan fasa. Namun, ketika dipanaskan hingga suhu 300°C, terdeteksi adanya pergeseran puncak ke sudut 2θ yang lebih rendah serta perubahan intensitas, yang

mengindikasikan terjadinya transformasi parsial ke fasa $\text{Bi}_7\text{O}_9\text{I}_3$. Pada suhu yang lebih tinggi, yakni 450°C dan 550°C , BiOI mengalami transformasi fasa lebih lanjut menjadi $\text{Bi}_5\text{O}_7\text{I}$ dan kristal $\beta\text{-Bi}_2\text{O}_3$. Penelitian Cheng et al. (2020) melaporkan bahwa pemanasan BiOI pada suhu $340\text{-}500^\circ\text{C}$ menyebabkan perubahan fasa bertahap dari BiOI ke $\text{Bi}_4\text{O}_5\text{I}_2$ dan akhirnya menjadi $\text{Bi}_5\text{O}_7\text{I}$. Puncak difraksi (102) BiOI bergeser ke sudut lebih rendah pada 340°C , menandakan awal transformasi. Energi celah pita meningkat dari $1,80\text{ eV}$ menjadi $3,06\text{ eV}$ seiring kenaikan suhu. Luas permukaan spesifik meningkat pada suhu $340\text{-}450^\circ\text{C}$ dan menurun pada suhu 500°C . Penelitian Matiur et al. (2021) menyatakan bahwa BiOI yang dipanaskan pada suhu 100°C hingga 200°C masih mempertahankan struktur kristalnya dan menunjukkan karakteristik khas BiOI . Namun, pada suhu 300°C , terjadi perubahan menuju fasa $\text{Bi}_7\text{O}_9\text{I}_3$, dan ketika dipanaskan hingga 400°C , fasa dominan bergeser menjadi $\text{Bi}_5\text{O}_7\text{I}$. Kedua studi tersebut menunjukkan bahwa pemanasan pada BiOI memiliki pengaruh signifikan terhadap stabilitas fasa, di mana suhu di atas 300°C berpotensi mendorong transformasi struktur kristal menjadi fasa oksida bismut lainnya. Fasa BiOI yang kaya bismut seperti $\text{Bi}_4\text{O}_5\text{I}_2$, $\text{Bi}_5\text{O}_7\text{I}$, dan $\text{Bi}_7\text{O}_9\text{I}_3$ memiliki aktivitas fotokatalisis yang signifikan. Peningkatan aktivitas ini

dikaitkan dengan beberapa faktor, termasuk peningkatan kandungan bismut, luas permukaan spesifik yang lebih tinggi (Wu et.al., 2019).

Beberapa studi juga menunjukkan bahwa pemanasan dapat meningkatkan efisiensi transfer muatan pada sistem heterojungsi. Zhang et al. (2018) mensintesis heterojungsi ZnO-BiOI dengan penambahan kalsinasi pada suhu 300. Hasil XRD menunjukkan bahwa puncak difraksi BiOI (102) mengalami pelebaran dan pergeseran posisi. Hal ini mengindikasikan bahwa ikatan antara ZnO dan BiOI menjadi lebih kuat setelah proses kalsinasi yang dapat menguntungkan dalam transfer muatan selama fotokatalisis. Negi et al. (2023) mengungkapkan bahwa perlakuan panas dapat meningkatkan kristalinitas fotokatalis secara signifikan. Pada heterojungsi TiO_2 -ZnO yang disintesis, proses pemanasan tidak hanya menghasilkan struktur kristal yang lebih teratur, tetapi juga meningkatkan kualitas antarmuka antara kedua semikonduktor.

Meskipun efektivitas komposit BiOI/ZnO sebagai fotokatalis telah dibuktikan dalam berbagai penelitian, kajian pengaruh pemanasan terhadap karakteristik material ini perlu dikaji lebih lanjut. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi secara mendalam pengaruh pemanasan pada suhu 100°C dan 300°C selama 1 jam

terhadap karakteristik 10%BiOI/ZnO. Berdasarkan penelitian Putri et al. (2019) dan Matiur et al. (2021), suhu 100°C dipilih karena pada suhu ini BiOI mempertahankan stabilitas struktur kristalnya. Sementara itu, suhu 300°C dipilih untuk mengevaluasi pengaruh yang lebih drastis, mengingat pada suhu ini terdeteksi adanya pergeseran puncak XRD dan potensi transformasi menuju fasa $\text{Bi}_7\text{O}_9\text{I}_3$, fasa yang diketahui memiliki aktivitas fotokatalisis signifikan. Analisis berupa perubahan morfologi, struktur kristal dan sifat optik BiOI/ZnO sebelum dan sesudah perlakuan pemanasan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai pengaruh kalsinasi terhadap karakteristik material ini.

C. Hipotesis Penelitian

BiOI/ZnO adalah komposit fotokatalis yang terbukti efektif dalam mendegradasi berbagai polutan. Namun, pengaruh perlakuan pemanasan terhadap karakteristik material ini belum banyak dieksplorasi. Dalam penelitian ini, BiOI/ZnO dipanaskan pada suhu 100°C dan 300°C untuk menguji pengaruhnya terhadap sifat material. Hipotesis dari penelitian ini adalah bahwa jika pemanasan diberikan pada BiOI/ZnO maka akan berpengaruh pada struktur kristal, morfologi, sifat optiknya serta luas permukaan. Hal ini disebabkan oleh peningkatan mobilitas atom akibat

pemanasan, yang memungkinkan penyusunan ulang atom-atom dalam kisi kristal sehingga terjadi perubahan karakteristik material.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia UIN Walisongo Semarang. Analisis XRD dan SEM dilakukan di Laboratorium Terpadu UPN Veteran Yogyakarta, karakterisasi UV-DRS dilakukan di Laboratorium Kimia FMIPA Universitas Indonesia. Analisis BET *surface area* dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Islam Indonesia. Penelitian dilakukan pada bulan Desember 2024 – Juni 2025.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua kelompok yaitu alat sintesis dan alat analisis. Alat sintesis meliputi alat-alat gelas, *magnetic stirrer*, kertas saring, mortar, neraca analitik (Ohaus PX224/E), *furnace* (NEYCRAFT) dan oven (Memmert UN55). Adapun alat analisis terdiri dari *X-Ray Diffraction* (XRD, Melvern Panalytical Empyrean, Series 3), *Scanning Electron Microscope* (SEM, JEOL, JSM-IT510LV), *UV-Visible Diffuse Reflectance* (DR-UV, Shimadzu UV-2450), dan Surface Area

Analyzer (SAA, Quantachrome Novatouch Lx4).

2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Bismuth(III) Nitrat Pentahidrat ($\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, Damao, p.a), Kalium Iodida (KI, Merck, p.a), Seng Asetat Dihidrat ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Smartlab, p.a), NaOH (Natrium Hidroksida, Merck, p.a), Akuades, Etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, Merck, p.a).

C. Metode Penelitian

1. Sintesis BiOI

Sintesis BiOI dilakukan dengan mengadaptasi Ashiegbu et al. (2024). Sebanyak 1,94 gram $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ditambahkan ke dalam 1000 mL akuades serta diaduk hingga larut. Secara terpisah; 0,66 gram KI dilarutkan dalam 1000 mL akuades, kemudian larutan ditambahkan perlahan ke dalam larutan Bi sambil terus diaduk kuat selama 3 jam. Setelah reaksi selesai, endapan yang terbentuk disaring dan dicuci dengan etanol serta akuades sampai filtrat bening untuk menghilangkan pengotor. Selanjutnya, endapan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 18 jam. Terakhir, produk dihaluskan menggunakan mortar untuk mendapatkan serbuk BiOI.

2. Sintesis ZnO

Sintesis ZnO dilakukan berdasarkan prosedur yang dilakukan oleh Jati (2023) dengan modifikasi. Sebanyak 15 gram $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dimasukkan ke dalam gelas beaker yang berisi 100 mL NaOH 1,5 M. Campuran kemudian diaduk selama 3 jam pada suhu 80°C . Setelah pengadukan selesai, larutan ditutup dengan aluminium foil dan dibiarkan pada suhu ruang selama 24 jam untuk mendapatkan endapan putih. Endapan tersebut kemudian disaring dan dicuci dengan etanol dan akuades sampai filtrat bening. Setelah itu, endapan dikeringkan dalam oven pada suhu 150°C selama 90 menit. Endapan yang diperoleh kemudian digiling hingga menjadi serbuk halus dan dikalsinasi dalam *furnace* pada suhu 300°C selama satu jam.

3. Sintesis BiOI/ZnO

Sintesis BiOI/ZnO dengan 10% massa BiOI mengacu pada prosedur yang telah dilakukan oleh Ashiegbu et al. (2024). Sebanyak 3 gram ZnO disuspensikan dalam akuades. Secara terpisah, sebanyak 0,41 gram $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dilarutkan dalam 213 mL akuades, kemudian dituangkan secara perlahan ke dalam suspensi ZnO sambil terus diaduk. Selanjutnya, sebanyak 0,14 gram KI yang telah dilarutkan dalam 213 mL akuades ditambahkan secara perlahan ke dalam campuran sambil terus diaduk kuat selama 3 jam.

Setelah reaksi selesai, terbentuk endapan kuning. Endapan ini kemudian disaring dan dicuci dengan etanol dan akuades sampai filtrat bening. Selanjutnya, endapan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 18 jam. Terakhir, produk dihaluskan menggunakan mortar untuk mendapatkan BiOI/ZnO. Serbuk BiOI/ZnO dibagi menjadi tiga bagian dengan perlakuan berbeda: (1) sampel tanpa kalsinasi, (2) sampel dikalsinasi pada suhu 100°C selama 1 jam, dan (3) sampel dikalsinasi pada suhu 300°C selama 1 jam untuk mengamati pengaruh pemanasan terhadap karakteristik material ini.

4. Karakterisasi

Karakterisasi material BiOI, ZnO, BiOI/ZnO, BiOI/ZnO 100, dan BiOI/ZnO 300 meliputi struktur kristal, morfologi, nilai celah pita dan luas permukaan. Analisis struktur kristal dilakukan menggunakan XRD merek Melvern Panalytical Empyrean dengan sumber sinar $\text{CuK}\alpha 1$ ($\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$) dengan sudut difraksi (2θ) antara 10° hingga 80°. Analisis morfologi dilakukan menggunakan SEM merek JEOL JSM-IT510LV dengan 4 kali perbesaran dari 1.000-15.000 kali. Analisis celah pita dilakukan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis & DRS merek Shimadzu UV-2450 dengan rentang panjang gelombang 200 nm sampai 800 nm, hasil pembacaan analisis ini adalah reflektansi dan panjang

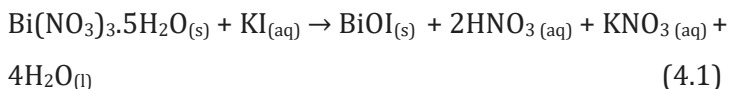
gelombang. Analisis luas permukaan dilakukan menggunakan *Surface Area Analyzer* merek Quantachrome Novatouch Lx4. Sampel terlebih dahulu didegassing pada suhu 200°C selama 4 jam untuk menghilangkan kelembaban dan kontaminan. Selanjutnya, dilakukan adsorpsi-desorpsi nitrogen pada suhu 77 K. Data yang diperoleh dari analisis ini meliputi nilai luas permukaan spesifik (*surface area*) untuk setiap sampel, serta grafik multi-point BET yang menunjukkan hubungan antara $1/[W((P/P_0)-1)]$ terhadap tekanan relatif (P/P_0).

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Sintesis BiOI Murni

Sintesis BiOI dilakukan melalui metode kopresipitasi menggunakan $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ sebagai prekursor bismut sedangkan sumber ion iodida (I^-) didapat dari KI. Proses sintesis dimulai dengan melarutkan kedua bahan tersebut secara terpisah dalam akuades. Larutan KI kemudian ditambahkan secara bertahap ke dalam larutan bismut(III) nitrat sambil terus diaduk dengan kecepatan konstan. Reaksi yang terjadi ditandai dengan perubahan warna larutan menjadi kuning yang kemudian berubah menjadi oranye setelah pengadukan selama 3 jam. Menurut Imam et al. (2018) reaksi yang terjadi antara bismut (III) nitrat dan KI ditunjukkan pada Persamaan 4.1.



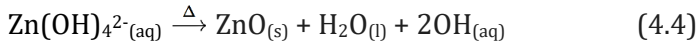
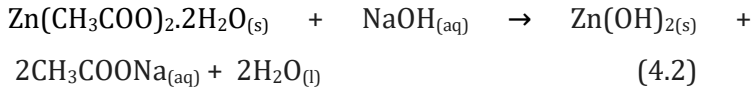
Terbentuknya endapan berwarna oranye menjadi tanda bahwa BiOI berhasil disintesis (Huidobro et al., 2024). Endapan tersebut kemudian disaring dan dicuci dengan etanol dan akuades untuk menghilangkan sisa-sisa prekursor. Setelah itu, endapan BiOI dikeringkan pada suhu 60°C dalam oven untuk menghilangkan kandungan air. Untuk

mengidentifikasi karakter BiOI dilakukan proses karakterisasi menggunakan XRD, SEM dan DR-UV.

B. Sintesis ZnO

Sintesis ZnO dilakukan melalui reaksi presipitasi basa antara seng asetat dihidrat $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ yang berfungsi sebagai sumber ion seng dan NaOH sebagai sumber ion hidroksida (OH^-). Sintesis dilakukan dengan menambahkan larutan NaOH 1,5 M ke dalam seng asetat dihidrat dan dilakukan pengadukan selama 3 jam agar larutan homogen. Pembentukan ZnO dimulai dengan pengendapan $\text{Zn}(\text{OH})_2$. Senyawa ini kemudian sebagian larut dalam air dan membentuk ion $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$. Ketika konsentrasi ion-ion tersebut mencapai batas tertentu, ZnO mulai terbentuk (Fan et al., 2016). Menurut Dakhsi et al. (2011) reaksi yang terjadi antara seng asetat dan NaOH dijelaskan melalui Persamaan 4.2-4.4. Setelah pengadukan selesai, larutan dibiarkan 24 jam pada suhu ruang untuk mendapatkan endapan putih. Endapan tersebut kemudian disaring dan dicuci dengan etanol dan akuades untuk menghilangkan pengotor dan menetralkan pH. Selanjutnya, endapan dikeringkan pada suhu 150°C dalam oven untuk menghilangkan kandungan air, dilanjutkan dengan kalsinasi pada suhu 300°C selama 1 jam untuk memperoleh kristal

ZnO. Untuk mengidentifikasi karakter ZnO dilakukan proses karakterisasi menggunakan XRD, SEM dan DR-UV.



C. Sintesis BiOI/ZnO

Pembuatan komposit BiOI/ZnO dilakukan dengan menyisipkan BiOI ke dalam kisi ZnO. Proses dimulai dengan menyiapkan suspensi ZnO yang telah disintesis kemudian menambahkan larutan bismut (III) nitrat dan larutan KI sambil terus diaduk agar campuran homogen. Proses pengadukan ini menghasilkan suspensi berwarna kuning, yang mengindikasikan terbentuk komposit BiOI/ZnO. Endapan yang terbentuk disaring dan dicuci dengan etanol dan akuades untuk menghilangkan zat pengotor. Setelah itu, endapan dikeringkan pada suhu 60°C untuk menghilangkan kadar air. Komposit BiOI/ZnO yang terbentuk dihasilkan berupa serbuk berwarna kuning. Untuk mempelajari pengaruh pemanasan, komposit dibagi menjadi tiga kelompok perlakuan: (1) tanpa pemanasan, (2) dipanaskan pada suhu 100°C, dan (3) dipanaskan pada suhu 300°C masing-masing selama 1 jam. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pemanasan tidak menyebabkan

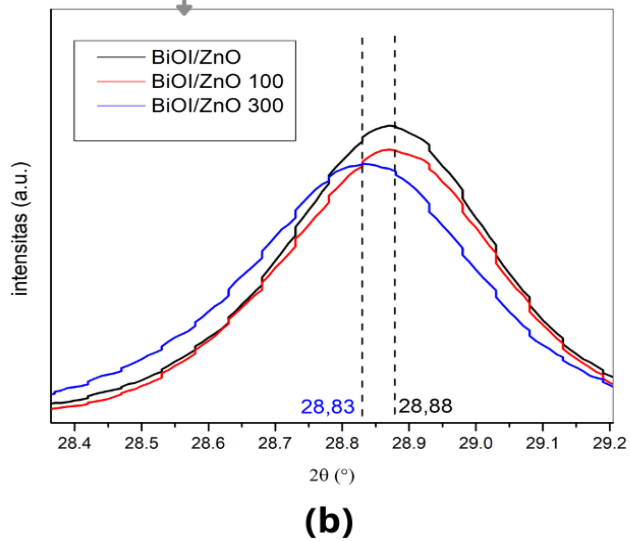
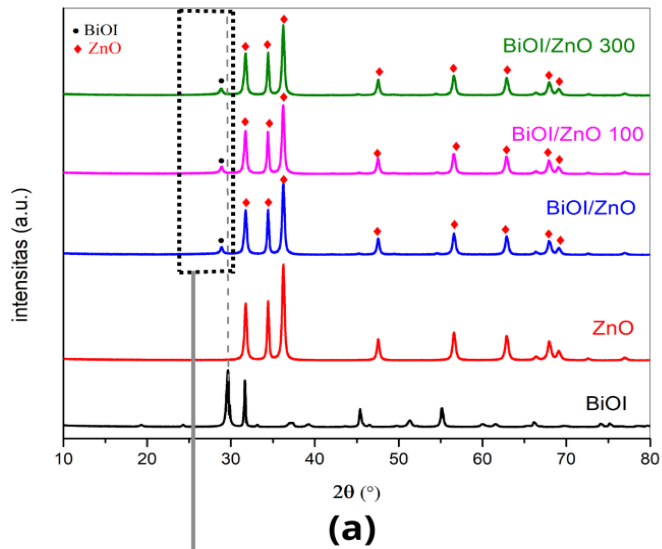
perubahan warna yang signifikan pada komposit BiOI/ZnO seperti yang terlihat pada Gambar 4.1. Untuk mengevaluasi pengaruh perlakuan pemanasan terhadap karakter BiOI/ZnO dilakukan proses karakterisasi menggunakan XRD, SEM dan DR-UV.



Gambar 4.1 Hasil Sintesis (a) BiOI/ZnO, (b) BiOI/ZnO 100 (c) BiOI/ZnO 300, (d) ZnO, dan (e) BiOI

D. Analisis XRD

Karakterisasi struktur kristal dilakukan menggunakan XRD dengan sumber radiasi Cu-K α ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$). Analisis ini dilakukan untuk menentukan fase, kristalinitas, struktur kristal dan ukuran kristal. Gambar 4.2 menunjukkan spektrum difraksi dari BiOI, ZnO, BiOI/ZnO tanpa perlakuan pemanasan, serta BiOI/ZnO yang dipanaskan pada suhu 100°C dan 300°C .



Gambar 4.2 (a) Difraktogram BiOI, ZnO, BiOI/ZnO, BiOI/ZnO 100, dan BiOI/ZnO 300 (b) Puncak BiOI pada komposit

Pada BiOI, puncak difraksi teramati pada 2θ $29,61^\circ$; $31,65^\circ$; $45,42^\circ$ dan $55,16^\circ$, yang masing-masing berkaitan dengan bidang kristal (102), (110), (200), dan (212). Puncak-puncak ini sesuai dengan referensi pola XRD fase tetragonal BiOI (JCPDS No.10-0445) (Arumugam dan Choi, 2020). Kristalinitas BiOI dibuktikan dengan puncak difraksi yang tajam. Pada ZnO, puncak difraksi teramati pada 2θ dan bidang kristal $31,74^\circ$ (100), $34,42^\circ$ (002); $36,24^\circ$ (101); $47,55^\circ$ (002); $56,60^\circ$ (110) dan $62,89^\circ$ (103). Hasil analisis menunjukkan ZnO memiliki struktur kristal heksagonal tipe *wurtzite*, sesuai dengan referensi JCPDS No.36-1451 (Zelekew et al., 2021). Untuk komposit BiOI/ZnO, pola XRD menunjukkan adanya puncak-puncak dari kristal heksagonal ZnO dan bidang tetragonal BiOI pada 2θ $28,88^\circ$, yang menunjukkan bidang kristal (102) BiOI. Puncak difraksi BiOI mengalami pergeseran ke sudut yang lebih rendah. Intensitas puncak difraksi BiOI juga terlihat lebih kecil yang menunjukkan kandungan BiOI yang rendah dalam komposit yaitu 10%. Hal ini sesuai dengan temuan Zhu et al. (2023), yang melaporkan terjadi sedikit pergeseran puncak difraksi BiOI ke sudut yang lebih rendah setelah penggabungan antara BiOI dan ZnO.

Puncak difraksi ZnO pada komposit BiOI/ZnO tidak mengalami pergeseran dan perubahan kristalinitas yang

signifikan, intensitas puncak tetap sama baik sebelum pemanasan maupun setelah pemanasan. Setelah pemanasan suhu 100°C puncak BiOI tidak mengalami pergeseran. Namun, setelah pemanasan suhu 300°C puncak BiOI mengalami sedikit pergeseran ke sudut yang lebih rendah yaitu $28,83^{\circ}$, yang mengindikasikan kemungkinan terjadi ekspansi kisi akibat meningkatnya suhu. Temuan ini sejalan dengan penelitian Putri et al. (2019), yang melaporkan adanya penurunan sudut 2θ setelah perlakuan panas pada suhu 300°C , meskipun pola difraksi tetap identik dengan fasa BiOI. Penurunan sudut ini diduga disebabkan oleh distorsi struktur kristal akibat penambahan bismut dan oksigen dalam kisi, yang mengakibatkan perluasan jarak antar bidang kristal. Selain itu, penelitian Matiur et al. (2021) menyatakan bahwa pergeseran tersebut berpotensi menunjukkan terbentuknya fasa baru, yaitu $\text{Bi}_7\text{O}_9\text{I}_3$ yang memiliki pola XRD serupa dengan BiOI. Oleh karena itu, pergeseran puncak difraksi pada suhu 300°C dalam penelitian ini kemungkinan berkaitan dengan perubahan parameter kisi dan awal terbentuknya fasa $\text{Bi}_7\text{O}_9\text{I}_3$.

Ukuran kristal rata-rata BiOI, ZnO, BiOI/ZnO, BiOI/ZnO 100 dan BiOI/ZnO 300 dihitung menggunakan persamaan Scherrer sebagaimana dijelaskan pada Persamaan 2.7. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Ukuran Kristal pada sampel

Sampel	Ukuran Kristal (nm)
BiOI	46,63
ZnO	30,66
BiOI/ZnO	26,62
BiOI/ZnO 100	27,95
BiOI/ZnO 300	28,26

Berdasarkan Tabel 4.1, ukuran kristal ZnO pada komposit BiOI/ZnO tanpa pemanasan yaitu 26,62 nm tampak lebih kecil dari ukuran kristal ZnO murni 30,66 nm. Hal ini disebabkan terjadinya penghambatan pertumbuhan kristal ZnO selama sintesis oleh BiOI sehingga menghasilkan ukuran kristal yang lebih kecil (Zhu et.al., 2023). Setelah BiOI/ZnO dipanaskan, ukuran kristal BiOI/ZnO mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan suhu yaitu menjadi 27,95 nm pada suhu 100°C dan 28,26 nm pada suhu 300°C. Peningkatan ukuran kristal ini disebabkan oleh peningkatan mobilitas atom akibat pemanasan, yang memungkinkan atom-atom untuk menyusun ulang dan bergabung menjadi struktur kristal yang lebih besar (Berent et.al., 2019).

Menurut Ramos-Huerta et al. (2024), pengaruh ukuran kristalit terhadap kinerja fotokatalisis menunjukkan hasil yang beragam. Beberapa penelitian menyatakan bahwa semakin besar ukuran kristalit, efisiensi fotokatalisis juga

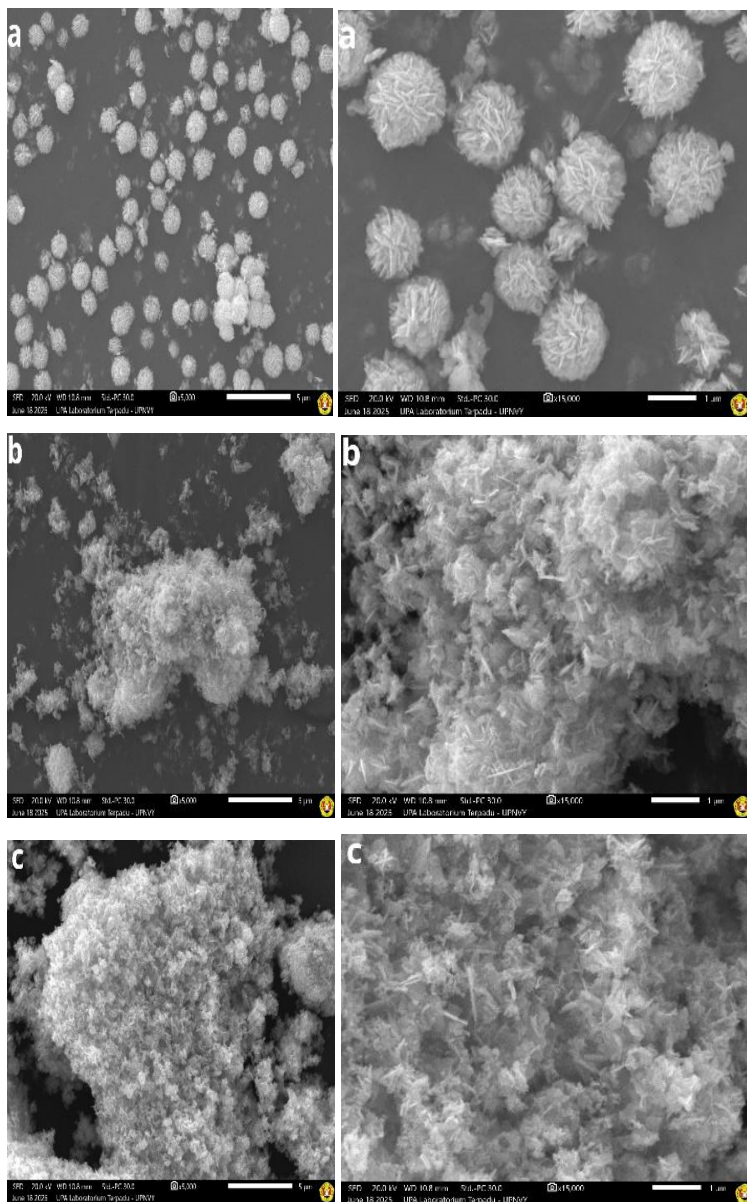
meningkat. Namun, penelitian lain justru menunjukkan bahwa ukuran kristalit yang lebih besar dapat menurunkan kinerja fotokatalis. Perbedaan hasil ini terjadi karena faktor-faktor yang saling berkaitan, seperti perubahan celah pita yang cenderung menyempit saat ukuran kristalit meningkat, serta berkurangnya luas permukaan aktif yang tersedia ketika kristalit menjadi lebih besar.

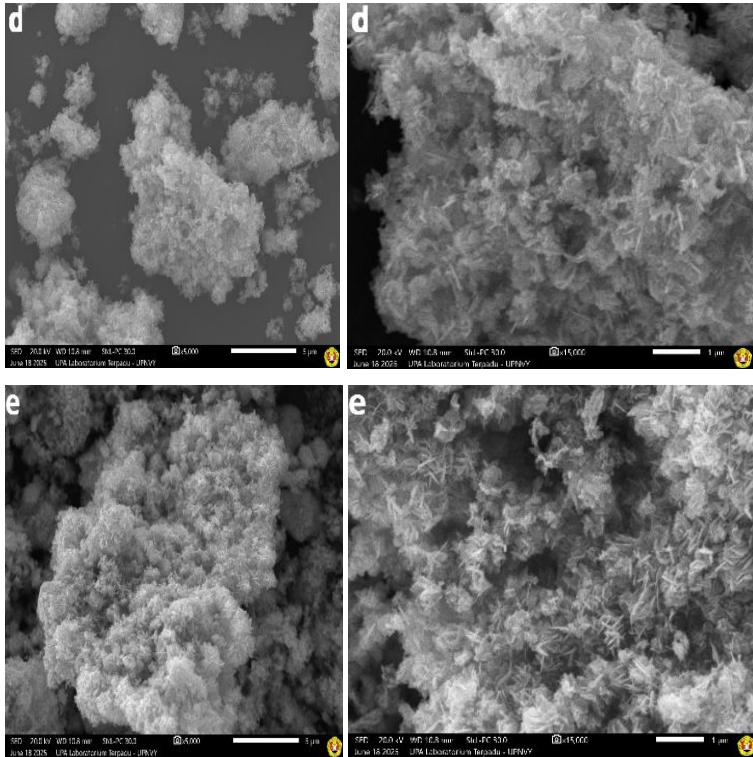
E. Analisis SEM

Karakterisasi SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan material. Hasil analisis SEM dapat dilihat pada Gambar 4.3. Morfologi permukaan BiOI menunjukkan struktur seperti bunga hortensia (*hydrangea-like*) dengan lapisan lembaran (*sheets*) sebagai blok penyusun. Morfologi permukaan ZnO yang ditunjukkan Gambar 4.3 (b), di mana ZnO memiliki bentuk kristal seperti lembaran (*sheet-like*) tidak teratur. Morfologi berbentuk lembaran (*sheet-like*) memberikan keuntungan dalam aplikasi fotokatalisis dengan meningkatkan kontak antara polutan dan katalis, yang sangat menentukan efisiensi reaksi. Struktur *sheet-like* juga memperbanyak jumlah situs aktif pada permukaan, sehingga mempermudah adsorpsi polutan dan mempercepat degradasi polutan melalui proses fotokatalisis (Rathnasamy et.al., 2018).

Untuk komposit BiOI/ZnO terlihat struktur lembaran (*sheet-like*) ZnO tanpa struktur bunga BiOI. Karena kecilnya komposisi BiOI, dimungkinkan lembaran BiOI tersebar di antara lembaran ZnO. Untuk mengetahui persebaran BiOI secara lebih rinci pada permukaan ZnO, seharusnya dicek serta dengan EDX-*mapping*. Karena BiOI dan ZnO memiliki morfologi dasar lembaran, sulit untuk membedakan lembaran ZnO dan lembaran BiOI. Zhu et al. (2023) juga menjelaskan morfologi BiOI/ZnO hanya lembaran ZnO yang terlihat jelas, tanpa struktur BiOI yang jelas. Lebih lanjut, dimungkinkan bahwa BiOI dalam komposit BiOI/ZnO kemungkinan tidak lagi mempertahankan struktur seperti aslinya.

Berdasarkan Gambar 4.3, morfologi BiOI/ZnO sebelum pemanasan menunjukkan struktur *sheet-like* yang relatif halus dan tidak tajam. Setelah pemanasan suhu 100°C, morfologi *sheet-like* terdapat beberapa struktur dengan tepi yang lebih tajam dibandingkan sebelum pemanasan. Setelah pemanasan suhu 300°C menunjukkan morfologi *sheet-like* menjadi lebih teratur dan tepi lembaran yang lebih tajam dan menonjol. Struktur yang lebih teratur dapat meningkatkan jumlah serta ketersediaan situs aktif pada permukaan material, sehingga memungkinkan reaksi fotokatalisis berlangsung lebih efisien (Chen dan Yu, 2020).





Gambar 4.3 Morfologi (a) BiOI, (b) ZnO, (c) BiOI/ZnO, (d) BiOI/ZnO 100 dan (e) BiOI/ZnO 300 perbesaran 5000x dan 15000x

Ukuran rata-rata partikel komposit BiOI/ZnO dianalisa menggunakan *software* imageJ. Hasil analisis menunjukkan bahwa komposit BiOI-ZnO tanpa pemanasan memiliki rata-rata partikel sebesar 10,46 μm . Setelah pemanasan pada suhu 100°C rata-rata partikel meningkat menjadi 11,15 μm dan pada suhu 300°C menjadi 12,54 μm . Peningkatan ini disebabkan oleh terjadinya proses sintering, yang

menyebabkan partikel-partikel kecil bergabung membentuk ukuran partikel yang lebih besar (Othman et.al., 2010).

F. Analisis UV-DRS

Karakterisasi UV-DRS dilakukan untuk menentukan nilai celah pita material. Nilai energi celah pita adalah hal yang penting untuk fotokatalisis karena memengaruhi kinerja fotokatalis dalam perpindahan elektron dan *hole*. Perhitungan energi celah pita dilakukan berdasarkan persamaan Kubelka-Munk. Penentuan celah pita ini dilakukan dengan pembuatan grafik hubungan antara $(F(R)hv)^2$ dengan energi yang dapat dilihat pada Gambar 4.4. Berdasarkan Gambar 4.4, celah pita BiOI didapatkan sebesar 2,14 eV, hasil ini mirip dengan penelitian Narenuch et al. (2021) yang melaporkan nilai celah pita BiOI yaitu 2,15 eV. Nilai ini menunjukkan bahwa BiOI mampu menyerap cahaya pada daerah sinar tampak, dengan panjang gelombang serapan 579 nm sebagaimana tercantum dalam Tabel 4.2.

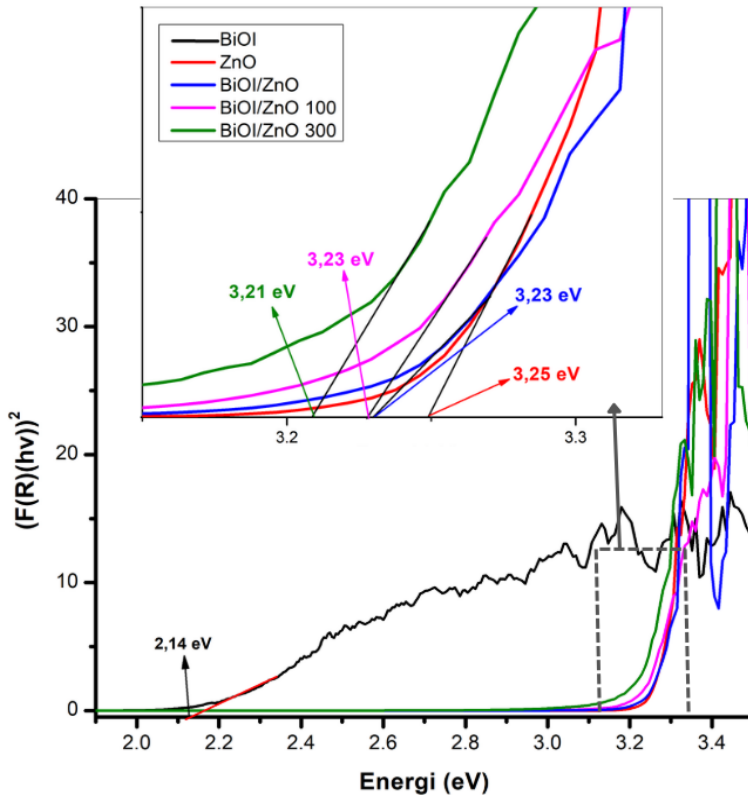
Nilai celah pita ZnO didapatkan sebesar 3,25 eV dengan panjang gelombang serapan 382 nm. Setelah dikombinasikan menjadi komposit BiOI/ZnO terjadi penyempitan celah pita menjadi 3,23 eV dengan panjang gelombang serapan sedikit meningkat menjadi 384 nm. Penyempitan celah pita pada komposit ini sesuai dengan penelitian Ashiegbu dan Potgieter (2023) dan Zhu et al.

(2023), yang menyatakan bahwa penggabungan BiOI dengan ZnO dapat memperluas spektrum serapan cahaya dan menghasilkan pembawa muatan fotogenerasi. Shu (2023) juga mengonfirmasi bahwa modifikasi BiOI pada permukaan ZnO secara efektif dapat meningkatkan pemanfaatan cahaya tampak. Hal ini mengindikasikan bahwa BiOI/ZnO dapat aktif di bawah radiasi cahaya tampak.

Tabel 4.2 Nilai celah pita dan panjang gelombang serapan dari sampel

Sampel	Celah Pita (eV)	Panjang Gelombang (nm)
BiOI	2,14	579
ZnO	3,25	382
BiOI/ZnO	3,23	384
BiOI/ZnO 100	3,23	384
BiOI/ZnO 300	3,21	386

Untuk komposit BiOI/ZnO yang dipanaskan pada suhu 100°C nilai celah pita sebesar 3,23 eV, menunjukkan bahwa belum terjadi perubahan yang signifikan terhadap sifat optik. Setelah pemanasan 300°C, nilai celah pita mengalami sedikit penurunan menjadi 3,21 eV dengan panjang gelombang serapan bergeser menjadi 386 nm. Penurunan ini sejalan dengan penelitian Granerød et al. (2018), dan ElFaham et al. (2021), yang menunjukkan bahwa suhu yang lebih tinggi menyebabkan penurunan celah pita ZnO.



Gambar 4 4. Kurva Energi (eV) terhadap $(F(R)(hv))^2$

Energi celah pita sangat dipengaruhi oleh sejumlah faktor, antara lain keberadaan pengotor, struktur kristal serta ukuran kristalit. Peningkatan suhu pemanasan mendorong pertumbuhan kristalit yang lebih besar, sehingga jumlah batas antar kristalit berkurang. Kondisi ini membuat pembawa muatan dapat bergerak lebih mudah di sepanjang antarmuka karena hambatan yang lebih sedikit, sehingga

menyebabkan penyempitan energi celah pita (Jdidi et.al., 2025). Penurunan energi celah pita ini meningkatkan kemampuan material dalam menyerap cahaya matahari pada spektrum cahaya tampak, sehingga menjadikannya lebih efektif untuk diaplikasikan dalam reaksi fotokatalisis (Wanjari et.al., 2024).

G. Analisis Luas Permukaan (*Surface Area*)

Luas permukaan diketahui dengan analisis menggunakan *surface area analyzer* dengan metode perhitungan BET. Luas permukaan spesifik fotokatalis merupakan faktor penting karena berperan dalam pembentukan situs aktif pada permukaan material. Semakin besar luas permukaan fotokatalis, semakin banyak situs reaksi yang tersedia, sehingga meningkatkan peluang interaksi antara molekul polutan dengan pembawa muatan pada permukaan. Hal ini dapat mempercepat laju reaksi fotokimia (Wang et.al., 2022).

Hasil analisis luas permukaan dapat dilihat dalam Tabel 4.3. Berdasarkan Tabel 4.3, BiOI memiliki luas permukaan sebesar 4,015 m²/g sedangkan ZnO memiliki luas permukaan sebesar 9,063 m²/g. Setelah dikompositkan, luas permukaan meningkat menjadi 11,089 m²/g. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya Zhu et al. (2023) dan Ashiegbu dan Potgieter (2023) yang menunjukkan bahwa

penggabungan BiOI ke dalam ZnO menyebabkan peningkatan luas permukaan jika dibandingkan dengan ZnO murni.

Tabel 4.3 Luas Permukaan pada sampel

Sampel	Luas Permukaan (m^2/g)
BiOI	4,015
ZnO	9,063
BiOI/ZnO	11,089
BiOI/ZnO 100	3,905
BiOI/ZnO 300	8,331

Setelah komposit BiOI/ZnO diberi pemanasan suhu 100°C luas permukaan mengalami penurunan menjadi $3,905 \text{ m}^2/\text{g}$. Kemudian pada suhu 300°C luas permukaan mengalami peningkatan kembali menjadi $8,331 \text{ m}^2/\text{g}$. Secara umum, peningkatan suhu menyebabkan penurunan luas permukaan. Penurunan ini terjadi karena proses sintering (penggabungan partikel) dan pertumbuhan butir pada suhu tinggi sehingga mengurangi total area permukaan (Prayitno et.al., 2025). Namun, dalam penelitian ini, suhu yang lebih tinggi (300°C) menghasilkan luas permukaan yang lebih tinggi dibandingkan suhu 100°C .

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Penelitian ini berhasil mensintesis BiOI dan ZnO, serta komposit BiOI/ZnO. Karakterisasi XRD menunjukkan bahwa BiOI memiliki fase tetragonal dan ZnO memiliki struktur heksagonal tipe *wurzite*. Pembentukan komposit BiOI/ZnO dibuktikan dengan adanya puncak difraksi BiOI. Pemanasan suhu 300°C menyebabkan pergeseran puncak difraksi BiOI ke sudut 2θ yang lebih kecil, yang mengindikasikan terjadinya ekspansi kisi dan kemungkinan awal terbentuknya fasa $\text{Bi}_7\text{O}_9\text{I}_3$, tanpa mengubah struktur kristal ZnO. Ukuran kristal meningkat seiring kenaikan suhu, dari 26,62 nm (tanpa pemanasan) menjadi 27,95 nm (100°C) dan 28,26 nm (300°C).
2. BiOI memiliki morfologi seperti bunga dengan bentuk *hydrangea-like*, sedangkan ZnO memiliki bentuk kristal lembaran (*sheet-like*) tidak beraturan. Pada komposit BiOI/ZnO, struktur bunga BiOI tidak terlihat jelas pada permukaan ZnO. Komposit BiOI/ZnO menunjukkan morfologi *sheet-like* yang lebih tajam dan teratur setelah pemanasan suhu 300°C. Ukuran rata-rata partikel meningkat dari 10,46 μm (tanpa pemanasan) menjadi 11,15 μm (100°C) dan 12,54 μm (300°C).

3. Karakterisasi UV-DRS menunjukkan celah pita BiOI sebesar 2,14 eV dan ZnO sebesar 3,25 eV. Pembentukan Komposit BiOI/ZnO menyebabkan penyempitan celah pita menjadi 3,23 eV, yang mengindikasikan bahwa penambahan BiOI meningkatkan kemampuan material dalam menyerap cahaya. Setelah dilakukan pemanasan pada suhu 100°C dan 300°C, nilai celah pita komposit masing-masing menjadi 3,23 eV dan 3,21 eV. Penurunan celah pita ini dikaitkan dengan pertumbuhan kristalit dan berkurangnya hambatan pada antarmuka kristal.
4. Luas permukaan BiOI sebesar 4,015 m²/g sedangkan ZnO sebesar 9,063 m²/g. Setelah dikompositkan, luas permukaan meningkat menjadi 11,089 m²/g yang menunjukkan bahwa penggabungan BiOI ke dalam ZnO menyebabkan peningkatan luas permukaan jika dibandingkan dengan ZnO murni. Setelah BiOI/ZnO diberi pemanasan, suhu 300°C justru menghasilkan luas permukaan yang lebih besar (8,331 m²/g) dibandingkan suhu 100°C (3,905 m²/g).

B. Saran

Saran yang diberikan untuk kelanjutan penelitian ini sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan analisis EDX *mapping* untuk mengetahui persebaran BiOI pada permukaan ZnO
2. Perlu dilakukan uji XPS untuk mengetahui *binding energy* dari BiOI, ZnO, dan komposit sehingga dapat diilustrasikan heterojungsi yang akan terjadi
3. Perlu dilakukan analisis photoluminesensi dan *lifetime* elektronnya.
4. Perlu dilakukan uji kemampuan fotokatalis yang disintesis sebagai fotokatalis zat warna.

DAFTAR PUSTAKA

- Adenuga, D.O. 2019. *Facile Synthesis Of Ag/Agcl/Biocl Composite Z-Scheme Photocatalyst for Visible-Light-Driven Pollutant Removal*. University of Pretoria.
- Anku, W.W., Oppong, S.O.B. & Govender, P.P. 2018. Bismuth-Based Nanoparticles as Photocatalytic Materials. In *Bismuth - Advanced Applications and Defects Characterization*. InTech.
- Apostolov, A. T., Apostolova, I. N., & Wesselinowa, J. M. 2024. Competition between Electron–Phonon and Spin–Phonon Interaction on the Band Gap and Phonon Spectrum in Magnetic Semiconductors. *Applied Sciences*, 14(5): 1686.
- Arumugam, M. & Choi, M.Y. 2020. Recent progress on bismuth oxyiodide (BiOI) photocatalyst for environmental remediation. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 81: 237–268.
- Ashiegbu, D.C., Moloto, N. & Potgieter, H. 2022. Improved photocatalytic activity of ZnO-[10%]BiOI and ZnO-[10%]WO₃ heterostructure in the destruction of 2-chlorobiphenyl. *Environmental Science: Advances*, 2(2): 325–338.
- Ashiegbu, D.C., Nkhoesa, D., Erasmus, R. & Potgieter, H.J. 2024. Efficient Photodegradation of Thiocyanate Ions in Mining Wastewater Using a ZnO-BiOI Heterojunction. *Materials*, 17(15).
- Ashiegbu, D.C. & Potgieter, H.J. 2023. ZnO-based Heterojunction Catalysts for The Photocatalytic Degradation of Methyl Orange Dye. *Heliyon*, 9(10).

- Ashraf, R., Riaz, S., Kayani, Z.N. & Naseem, S. 2015. Effect of Calcination on Properties of ZnO Nanoparticles. In *Materials Today: Proceedings*. Elsevier Ltd: 5468–5472.
- Astuti, B., Sugianto, Maftuchah, I., Arina Firmahaya, N., Marwoto, P., Nurhamid, Darsono, T., Aryanto, D. & Isnaeni. 2022. Efek Daya Plasma Terhadap Sifat Fotoluminesen Film Tipis ZnO Doping Al. In *Book Chapter Kimia Jilid 1*. Semarang: LPPM Universitas Negeri Semarang.
- Bahadoran, A., Liu, Q., Ramakrishna, S., Sadeghi, B., De Castro, M.M. & Cavaliere, P.D. 2022. Hydrogen Production as a Clean Energy Carrier through Heterojunction Semiconductors for Environmental Remediation. *Energies*, 15(9).
- Bastami, H., Grayeli, A., Arman, A., Matos, R.S., Ferreira, N.S., da Fonseca Filho, H.D. & Țălu, Ș. 2025. Microstructure of ZrO₂ films: Hydrophilic properties and optical band gaps. *Materials Today Communications*, 45: 112338.
- Berent, K., Komarek, S., Lach, R., & Pyda, W. 2019. The Effect of Calcination Temperature on the Structure and Performance of Nanocrystalline Mayenite Powders. *Materials*, 12(21), 3476.
- Blatchley, E.R., I. 2022. Ultraviolet Radiation Sources. In *Photochemical Reactors*. Wiley: 105–133.
- Boochakiat, S., Inceesungvorn, B., Nattestad, A. & Chen, J. 2023. Bismuth-Based Oxide Photocatalysts for Selective Oxidation Transformations of Organic Compounds. *ChemNanoMat*, 9(7).
- Charlena, C., Sugiarti, S. & Khefanny, Y.C. 2024. Synthesis and Characterization of ZnO with Calcination Temperature Variation and Surfactant Addition using Chemical

- Coprecipitation Method. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, 9(3): 123-129.
- Chen, Qing-Xia, & Yu, Shu-Hong. 2020. Ordering Nanostructures Enhances Electrocatalytic Reactions. *Trends in Chemistry*, 2(10), 888–897.
- Cheng, H., Huang, Y., Wu, J., Ling, Y., Dong, L., Zha, J., Yu, M. & Zhu, Z. 2020. Controllable Design Of Bismuth Oxyiodides By In-Situ Self-Template Phase Transformation And Heterostructure Construction For Photocatalytic Removal Of Gas-Phase Mercury. *Materials Research Bulletin*, 131: 110968.
- Chung, H. Y., Wu, X., Amal, R., & Ng, Y. H. 2020. Balancing The Crystallinity and Specific Surface Area of Bismuth Tungstate for Photocatalytic Water Oxidation. *Molecular Catalysis*, 487.
- Dakhsi, K., Zouihri, H., Abdelouahdi, K., Larbi, L., Conde, M.N., Laanab, L., Benaissa, M. & Jaber, B. 2011. *Preparation of ZnO Nanoparticles without Any Annealing and Ripening Treatment*.
- Dewa, R.M. 2016. *Sintesa Partikel Tungsten Trioxide (WO₃) sebagai Fotokatalis dengan Metode Flame Spray Pyrolysis*. Skripsi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- ElFaham, M.M., Mostafa, A.M. & Mwafy, E.A. 2021. The Effect of Reaction Temperature on Structural, Optical and Electrical Properties of Tunable ZnO Nanoparticles Synthesized By Hydrothermal Method. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 154: 110089.
- Fajar, A. 2024. WWF ke-10: Ecoton Soroti Pencemaran Air Sungai. *IDN Times Jatim*. Tersedia di: <https://jatim.idntimes.com/news/jatim/ardiansyah->

[fajar/wwf-ke-10-ecoton-soroti-pencemaran-air-sungai](https://www.fajar/wwf-ke-10-ecoton-soroti-pencemaran-air-sungai)
(Diakses: 5 Mei 2025)

- Fan, J., Li, T. & Heng, H. 2016. Hydrothermal growth of ZnO nanoflowers and their photocatalyst application. *Bulletin of Materials Science*, 39(1): 19–26.
- Fatimah, S., Ragadhita, R., Fitria, D., Husaeni, A., Bayu, A. & Nandiyanto, D. 2022. How to Calculate Crystallite Size from X-Ray Diffraction (XRD) using Scherrer Method. *ASEAN Journal of Sciencw and Engineering*, 2(1): 65–76.
- Granerød, C.S., Galeckas, A., Johansen, K.M., Vines, L. & Prytz, Ø. 2018. The Temperature-Dependency of The Optical Band Gap of ZnO Measured by Electron Energy-Loss Spectroscopy In A Scanning Transmission Electron Microscope. *Journal of Applied Physics*, 123(14).
- Guo, J., Li, X., Liang, J., Yuan, X., Jiang, L., Yu, H., Sun, H., Zhu, Z., Ye, S., Tang, N. & Zhang, J. 2021. Fabrication and Regulation of Vacancy-Mediated Bismuth Oxyhalide Towards Photocatalytic Application: Development Status and Tendency. *Coordination Chemistry Reviews*, 443.
- Hassaan, M.A., El-Nemr, M.A., Elkatory, M.R., Ragab, S., Niculescu, V.C. & El Nemr, A. 2023. Principles of Photocatalysts and Their Different Applications: A Review. *Topics in Current Chemistry*, 381(6).
- Hou, J., Jiang, T., Wei, R., Idrees, F. & Bahnemann, D. 2019. Ultrathin-layer structure of BiOI microspheres decorated on N-doped biochar with efficient photocatalytic activity. *Frontiers in Chemistry*, 7.
- Huidobro, L., Domingo, A., Gómez, E. & Serrà, A. 2024. Bismuth oxyiodide-based composites for advanced visible-light

- activation of peroxymonosulfate in pharmaceutical mineralization. *Chemosphere*, 366: 143532.
- Imam, S.S., Zango, Z.U. & Abdullahi, H. 2018. Room Temperature Synthesis of Bismuth Oxyiodide with Different Morphologies for the Photocatalytic Degradation of Norfloxacin. *American Scientific Research Journal for Engineering, , Technology, and Sciences*, 41(1): 26–39.
- Inkson, B.J. 2016. Scanning Electron Microscopy (SEM) and Transmission Electron Microscopy (TEM) for Materials Characterization. In: G. Hübschen, I. Altpeter, R. Tschuncky and H.-G. Herrmann, eds. *Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods*. Cambridge: Woodhead Publishing, pp. 17–43.
- Irshad, K., Khan, M.T. & Murtaza, A. 2018. Synthesis and Characterization of Transition-Metals-Doped ZnO Nanoparticles by Sol-Gel Auto-Combustion Method. *Physica B: Condensed Matter*, 543: 1–6.
- Irwansyah, F.S., Amal, A.I., Diyanthi, E.W., Hadisantoso, E.P., Noviyanti, A.R., Eddy, D.R. & Risdiana, R. 2022. How to Read and Determine the Specific Surface Area of Inorganic Materials using the Brunauer-Emmett-Teller (BET) Method. *ASEAN Journal of Science and Engineering*, 4(1): 61–70.
- Jati, W.W. 2023. *Fotokatalis ZnO Terdoping MgO Untuk Fotodegradasi Congo Red*. Skripsi. Semarang: UIN Walisongo Semarang.
- Jdidi, A.R., Nouira, W., Selmi, A., Drissi, N., Aissa, M., Hcini, S. & Gassoumi, M. 2025. Impact of Calcination Temperature on the Properties and Photocatalytic Efficiency of

- $\text{Cd}_{0.6}\text{Mg}_{0.2}\text{Cu}_{0.2}\text{Fe}_2\text{O}_4$ Spinel Ferrites Synthesized via the Sol-Gel Method. *Crystals*, 15(5): 457.
- Jiang, J., Wang, H., Chen, X., Li, S., Xie, T., Wang, D. & Lin, Y. 2017. Enhanced Photocatalytic Degradation of Phenol and Photogenerated Charges Transfer Property Over BiOI-Loaded ZnO Composites. *Journal of Colloid and Interface Science*, 494: 130–138.
- Jiang, J., Zhang, X., Sun, P. & Zhang, L. 2011. ZnO/BiOI Heterostructures: Photoinduced Charge-transfer Property and Enhanced Visible-light Photocatalytic Activity. *Journal of Physical Chemistry C*, 115(42): 20555–20564.
- Jiang, L., Zhou, G., Mi, J. & Wu, Z. 2012. Fabrication of Visible-light-Driven One-dimensional Anatase TiO_2/Ag Heterojunction Plasmonic Photocatalyst. *Catalysis Communications*, 24: 48–51.
- Jorfi, S., Barkhordari, M.J., Ahmadi, M., Jaafarzadeh, N., Moustofi, A. & Ramavandi, B. 2018. Photodegradation of Acid Red 18 Dye by BiOI/ZnO Nanocomposite: A dataset. *Data in Brief*, 16: 608–611.
- Jv, A., Wu, L., Lu, J., Feng, B., Che, G., Guan, R., Zhang, Y., Liu, C., Yu, J. & Sun, T. 2024. BiOBr/ $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{CO}_3$ Heterojunction Photocatalyst for the Degradation of Tetracycline. *ACS Applied Nano Materials*, 7(11).
- Kementrian Agama Republik Indonesia. 2022. Tafsir Ringkas KEMENAG. Tersedia di: <https://quran.kemenag.go.id/quran/per-ayat/surah/30?from=41&to=41>. (Diakses: 16 Juni 2025)
- Kesuma, W.A.P. 2019. *Penumbuhan dan Karakterisasi Film Tipis ZnO:Cu (CZO) dengan Metode Spray Pyrolysis Sederhana*

Sebagai Fotodetektor UV. Skripsi. Sumatera: Institut Teknologi Sumatera.

- Kumari, S., Sharma, K., Korpai, S., Dalal, J., Kumar, A., Supreet, N., Kumar, S., & Duhan, S. 2024. A Comprehensive Study on Photocatalysis: Materials and Applications. *CrystEngComm*, 26(35), 4886–4915.
- Liu, J., Zou, S., Lou, B., Chen, C., Xiao, L. & Fan, J. 2019. Interfacial Electronic Interaction Induced Engineering of ZnO-BiOI Heterostructures for Efficient Visible-Light Photocatalysis. *Inorganic Chemistry*, 58(13): 8525–8532.
- Lv, X., Lam, F.L.Y. & Hu, X. 2022. A Review on Bismuth Oxyhalide (BiOX, X=Cl, Br, I) Based Photocatalysts for Wastewater Remediation. *Frontiers in Catalysis*, 2.
- Malefane, M.E., Feleni, U., Mafa, P.J. & Kuvarega, A.T. 2020. Fabrication of Direct Z-scheme $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{BiOI}$ for Ibuprofen and Trimethoprim Degradation Under Visible Light Irradiation. *Applied Surface Science*, 514.
- Mancuso, A., d'Avanzo, N., Cristiano, M.C. & Paolino, D. 2024. Reflectance Spectroscopy: A Non-Invasive Strategy to Explore Skin Reactions to Topical Products. *Frontiers in Chemistry*, 12.
- Matiur, R.M., Abuelwafa, A.A., Putri, A.A., Kato, S., Kishi, N. & Soga, T. 2021. Annealing Effects on Structural and Photovoltaic Properties of The Dip-SILAR-Prepared Bismuth Oxyhalides (BiOI , $\text{Bi}_7\text{O}_9\text{I}_3$, $\text{Bi}_5\text{O}_7\text{I}$) Films. *SN Applied Sciences*, 3(2).
- Mirabella, F.M. 1998. *Modern Techniques in Applied Molecular Spectroscopy: Techniques in Analytical Chemistry*. New York: John Wiley & Sons.

- Mishra, P.K., Ayaz, S., Kissinquinker, B. & Sen, S. 2020. Defects Assisted Visible Light Sensing in $\text{Zn}_{1-x}(\text{GaSi})_x/\text{ZnO}$. *Journal of Applied Physics*, 127(15).
- Mohammadhosseini, S., Al-Musawi, T.J., Romero Parra, R.M., Qutob, M., Gatea, M.A., Ganji, F. & Balarak, D. 2022. UV and Visible Light Induced Photodegradation of Reactive Red 198 Dye and Textile Factory Wastewater on $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Bentonite}/\text{TiO}_2$ Nanocomposite. *Minerals*, 12(11).
- Moy, A.J. & Tunnell, J.W. 2016. Diffuse Reflectance Spectroscopy and Imaging. In *Imaging in Dermatology*. Elsevier Inc.: 203–215.
- Muttaqin, R., Prayitno, W.S.W. & Nurbaiti, U. 2023. Pengembangan Buku Panduan Teknik Karakterisasi Material : X-ray Diffractometer (XRD) Panalytical Xpert3 Powder. *INDONESIAN JOURNAL OF LABORATORY*, 6(1): 9–16.
- Naderi, M. 2015. Surface Area. In *Progress in Filtration and Separation*. Elsevier: 585–608.
- Narenuch, T., Senasu, T., Chankhanittha, T. & Nanan, S. 2021. Sunlight-Active BiOI Photocatalyst as an Efficient Adsorbent for The Removal of Organic Dyes And Antibiotics From Aqueous Solutions. *Molecules*, 26(18).
- Natkritta, N., Channei, D., Inceesungvorn, B. & Zhao, C. 2018. Visible Light-Driven BiOI/ZnO Photocatalyst Films and Its Photodegradation of Methomyl Insecticide. *KMUTNB International Journal of Applied Science and Technology*, 11(4).
- Negi, A., Ringwal, S., Kumar vishwakarma, R., Singh Negi, D. & Author, C. 2023. *Z-scheme Heterojunction Photocatalyst*

potential of TiO₂ implanted with ZnO for Wastewater treatment. India.

- Novitasari, D., Lusiana, L.A., Sembiring, S. & Junaidi, D. 2022. Studi Pendahuluan Penentuan Nilai Energi Band Gap Komposit Perak Silika (Ag/SiO₂) Berbasis Sekam Padi. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 10(01): 36-40.
- Ong, C.B., Ng, L.Y. & Mohammad, A.W. 2018. A review of ZnO Nanoparticles as Solar Photocatalysts: Synthesis, Mechanisms and Applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81: 536–551.
- Othman, S. H., Abdul Rashid, S., Mohd Ghazi, T., Idaty Abdullah, T., & Norhafizah, A. (2010). Effect Of Postdeposition Heat Treatment on The Crystallinity, Size, and Photocatalytic Activity of TiO₂ Nanoparticles Produced Via Chemical Vapour Deposition. *Journal of Nanomaterials*, 2010, 512785.
- Pascariu, P., Gherasim, C. & Airinei, A. 2023. Metal Oxide Nanostructures (MONs) as Photocatalysts for Ciprofloxacin Degradation. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(11).
- Pranata, D.E., Syarif, A. & Yerizam, M. 2020. Characterization of Fly Ash Catalyst Using XRD Method for Biofuel Production from Used Cooking Oil. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, 6(3): 90–95.
- Prayitno, B., Musyarofah, M., Tajalla, G.U.N., Nafisah, A.R., Norhidayah, S. & Kartika, S.A. 2025. The Effect of Calcination Temperature and Holding Time on Structural Properties of Calcia Powders Derived from Eggshell Waste. *Indonesian Physical Review*, 8(1): 281–299.

- Putri, A.A., Kato, S., Kishi, N. & Soga, T. 2019. Study of Annealing Temperature Effect on the Photovoltaic Performance of BiOI-Based Materials. *Applied Sciences*, 9(16): 3342.
- Qi, L.L. 2014. Study on Preparation of Porous ZnO Microspheres and Photocatalytic Performance. In *Applied Mechanics and Materials*. Trans Tech Publications Ltd: 45–50.
- Rahmayanti, D., Manurung, P. & Marjunus, R. 2023. Perbandingan Aktivitas Fotokatalis Nanotitania Tanpa Dan Dengan Penambahan Etanolamina Di Bawah Sinar Matahari. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 11(01).
- Ramos-Huerta, L. A., Aguilar-Martínez, O., Santes, V., Tzompantzi Morales, F. J., & Santolalla-Vargas, C. E. (2024). Time-dependent Synthesis of Zns and Its Influence on Photocatalytic Hydrogen generation. *Chemical Engineering Science*, 294, 120067.
- Rathnasamy, R., Thangamuthu, R., & Alagan, V. (2018). Sheet-Like Orthorhombic MoO₃ Nanostructures Prepared Via Hydrothermal Approach for Visible-Light-Driven Photocatalytic Application. *Research on Chemical Intermediates*, 44(3), 1647–1660.
- Ruziwa, D.T., Oluwalana, A.E., Mupa, M., Meili, L., Selvasembian, R., Nindi, M.M., Sillanpaa, M., Gwenzi, W. & Chaukura, N. 2023. Pharmaceuticals in wastewater and Their Photocatalytic Degradation Using Nano-enabled Photocatalysts. *Journal of Water Process Engineering*, 54.
- Saidani, A., Boudraa, R., Fendi, K., Benouadah, L., Benabbas, A., Djermoune, A., Salvestrini, S., Bollinger, J.C., Alayyaf, A.A. & Mouni, L. 2025. Effect of Calcination Temperature on the Photocatalytic Activity of Precipitated ZnO Nanoparticles

- for the Degradation of Rhodamine B Under Different Light Sources. *Water (Switzerland)*, 17(1).
- Sajjad, M., Singh, N. & Larsson, J.A. 2020. Bulk and Monolayer Bismuth Oxyiodide (BiOI): Excellent High Temperature p - type Thermoelectric Materials. *AIP Advances*, 10(7).
- Saputri, E.D., Munir, R. & Natalisanto, A.I. 2022. Investigasi Pola XRD dan Ukuran Kristal pada TiO₂ Terdoping Vanadium Menggunakan Aplikasi VESTA. *Progressive Physics Journal*, 3(1).
- Sharma, V., Sharma, J.K., Kansay, V., Sharma, V.D., Sharma, A., Kumar, S., Sharma, A.K. & Bera, M.K. 2023. The Effect of Calcination Temperatures on The Structural and Optical Properties of Zinc Oxide Nanoparticles and Their Influence on The Photocatalytic Degradation of Leather Dye. *Chemical Physics Impact*, 6: 100196.
- Shu, X. 2023. Research on Photoelectric Properties of ZnO-based Semiconductor Material. *Journal of Physics: Conference Series*, 2541(012060).
- Sugihartono, I., Retnoningtyas, A., Rustana, C., Umiatin, Yudasari, N., Isnaeni, Imawan, C. & Kurniadewi, F. 2019. The Influence of Calcination Temperature on Optical Properties of ZnO Nanoparticles. *AIP Conference Proceedings*, 2169: 060010-3.
- Sujarwata & Marwoto, P. 2014. *Karakterisasi Film Tipis Teori, Penerapan dan Analisis Hasil Deposisi Film Tipis*. 1st ed. Yogyakarta: Deepublish.
- Sumadiyasa, M. & Manuaba, I.B.S. 2018. Penentuan Ukuran Kristal Menggunakan Formula Scherrer, Williamson-Hull

- Plot, dan Ukuran Partikel dengan SEM. *Buletin Fisika*, 19(1): 28–35.
- Taylor, C.M., Ramirez-Canon, A., Wenk, J. & Mattia, D. 2019. Enhancing the Photo-corrosion Resistance of ZnO Nanowire Photocatalysts. *Journal of Hazardous Materials*, 378.
- Terna, A.D., Elemike, E.E., Mbonu, J.I., Osafire, O.E. & Ezeani, R.O. 2021. The future of semiconductors nanoparticles: Synthesis, properties and applications. *Materials Science and Engineering: B*, 272.
- Tong, Y., Zheng, C., Lang, W., Wu, F., Wu, T., Luo, W. & Chen, H. 2017. ZnO-embedded BiOI hybrid nanoflakes: Synthesis, characterization, and improved photocatalytic properties. *Materials and Design*, 122: 90–101.
- Wang, H., Zhang, L., Chen, Z., Hu, J., Li, S., Wang, Z., Liu, J. & Wang, X. 2014. Semiconductor Heterojunction Photocatalysts: Design, Construction, and Photocatalytic Performances. *Chemical Society Reviews*, 43(15): 5234–5244.
- Wang, X., Zhou, C., Yin, L., Zhang, R. & Liu, G. 2019. Iodine-Deficient BiOI Nanosheets with Lowered Valence Band Maximum to Enable Visible Light Photocatalytic Activity. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 7(8): 7900–7907.
- Wang, M., Li, C., Liu, B., Qin, W. & Xie, Y. 2022. Influence of Calcination Temperature on Photocatalyst Performances of Floral Bi₂O₃/TiO₂ Composite. *Catalysts*, 12(12): 1635
- Wijayanto, S.O. dan A.P Bayuseno. 2014. Analisis Kegagalan Material Pipa Ferrule Nickel Alloy N06025 Pada Waste Heat

Boiler Akibat Suhu Tinggi Berdasarkan Pengujian: Mikrografi Dan Kekerasan. *Jurnal Teknik Mesin*.

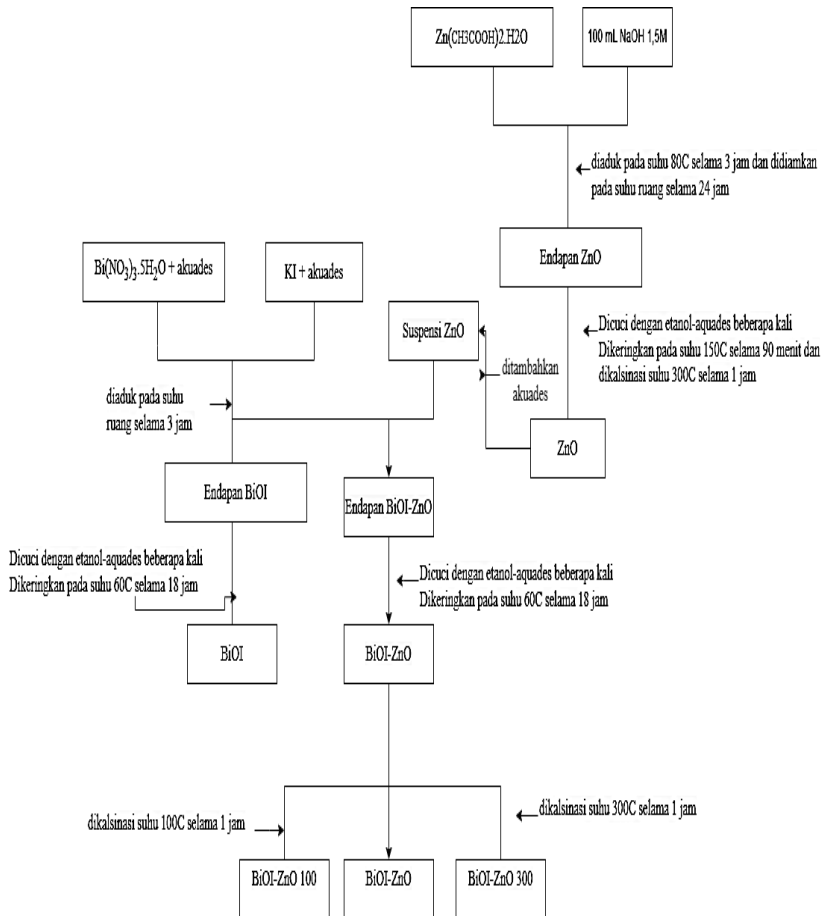
- Wu, P., Feng, L., Liang, Y., Zhang, X., Li, X., Tian, S., Hu, H., Yin, G., & Khan, S. 2020. Large-scale Synthesis of 2D Bismuth-enriched Bismuth Oxyiodides at Low Temperatures for High-Performance Supercapacitor and Photocatalytic Applications. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31(7), 5385–5401.
- Xiao, W., Su, Y., Luo, J., Jiang, L., Wu, X., Liu, Z., Pang, H., Zhang, Q. & Zhang, P. 2020. Flower-like Hierarchical Architecture of BiOI/ZnO p-n junction Composites with High-Efficient Visible-light photodegradation activities. *Solid State Sciences*, 108 (106432).
- Xiao, Y., Wang, Z., Li, M., Liu, Q., Liu, X. & Wang, Y. 2024. Efficient Charge Separation in Ag/PCN/UPDI Ternary Heterojunction for Optimized Photothermal-Photocatalytic Performance via Tandem Electric Fields. *Small*, 20(28).
- Yang, P., Li, Z., Zhong, J., Huang, S. & Li, J. 2024. Study on Phase Transformation of BiOI and Corresponding Photocatalytic Activity. *Solid State Sciences*, 147 (107387).
- Zelekew, O.A., Asefa, P., Sabir, F.K. & Duma, A.D. 2021. Green Synthesis Of Co-Doped ZnO Via The Accumulation Of Cobalt Ion Onto Eichhornia Crassipes Plant Tissue And The Photocatalytic Degradation Efficiency Under Visible Light. *SSRN Electronic Journal*.
- Zhang, M., Qin, J., Yu, P., Zhang, B., Ma, M., Zhang, X. & Liu, R. 2018. Facile Synthesis of a ZnO-BiOI p-n Nano-heterojunction with Excellent Visible-light Photocatalytic Activity. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 9(1): 789–800.

- Zhao, J.W., Wei, Z.Q., Huang, S.P., Li, L. & Ma, J.H. 2023. Photocatalytic properties of bismuth oxyiodide nanomaterials with different morphologies. *Desalination and Water Treatment*, 281: 287–295.
- Zhou, Q., Zhang, L., Zuo, P., Wang, Y. & Yu, Z. 2018. Enhanced Photocatalytic Performance of Spherical BiOI/MnO₂ Composite and Mechanism Investigation. *RSC Advances*, 8(63): 36161–36166.
- Zhou, W., Apkarian, R.P., Lin Wang, Z. & Joy, D. 2006. Fundamentals of Scanning Electron Microscopy. In *Scanning Microscopy for Nanotechnology*. New York: Springer: 1–40.
- Zhu, C. & Wang, X. 2025. Nanomaterial ZnO Synthesis and Its Photocatalytic Applications: A Review. *Nanomaterials*, 15(9).
- Zhu, Z., Zhang, X., Wang, W., Cong, X., Qin, H. & Guo, F. 2023. BiOI/ZnO Heterojunction for Increased Photodegradation of Metronidazole under Visible Light Irradiation. *ChemistrySelect*, 8(22).
- Zielinska, I., Szlachetko, J., Cieślak, A.M., Sokołowski, K., Lewiński, J. & Sá, J. 2015. Chemical Science Review and Letters Synthesis, Characterization and Application to Catalysis of ZnO Nanocrystals. *Chemical Science Review and Letters*, 4(14): 736.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Diagram Alir

Sintesis BiOI Murni, ZnO murni dan BiOI/ZnO



Lampiran 2 Perhitungan Stoikiometri

Sintesis BiOI

Massa yang dibutuhkan untuk membuat $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0,004 M

$$M = \frac{m}{Mr} \times \frac{1000}{V}$$

$$0,004 \text{ M} = \frac{m}{485,07 \text{ g/mol}} \times \frac{1000}{500}$$

$$m = 0,97 \text{ gram}$$

Massa KI yang dibutuhkan untuk membuat 500 mL KI 0,004 M

$$M = \frac{m}{Mr} \times \frac{1000}{V}$$

$$0,004 \text{ M} = \frac{m}{166 \text{ g/mol}} \times \frac{1000}{500}$$

$$m = 0,332 \text{ gram}$$

Sintesis 10% BiOI/ZnO

Massa ZnO = 3 gram

$$m_{\text{total}} = \frac{m_{\text{ZnO}}}{90\%} = \frac{3}{0,9} = 3,33 \text{ gram}$$

$$m_{\text{BiOI}} = 10\% \times 3,33 = 0,333 \text{ gram}$$

$$\text{mol BiOI} = \frac{0,333 \text{ gram}}{351,88 \text{ g/mol}} = 0,000946 \text{ mol}$$

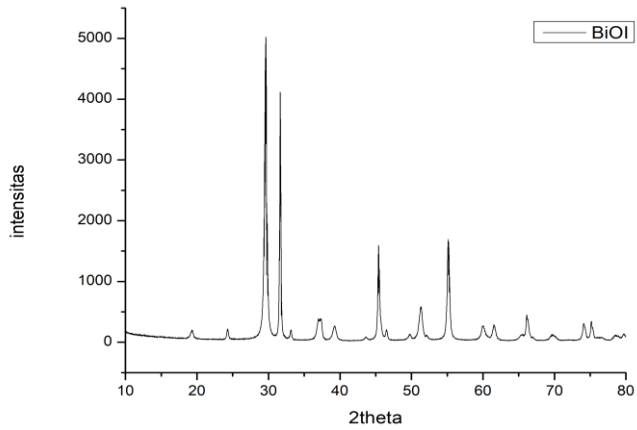
rasio molar Bi : I = 1 : 1

$$\text{massa Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 0,000946 \text{ mol} \times 485,07 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 0,459 \text{ gram}$$

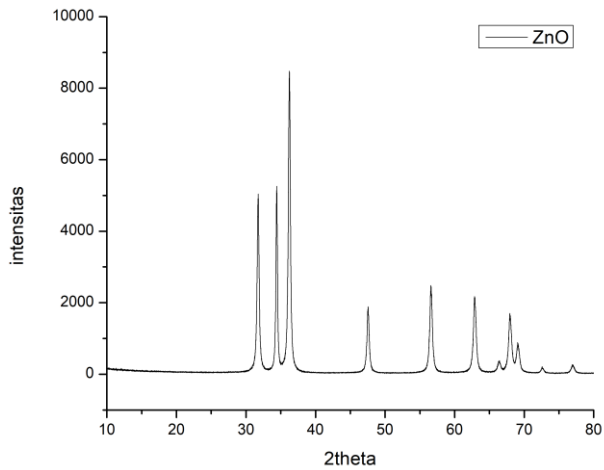
$$\text{massa KI} = 0,000946 \text{ mol} \times 166 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 0,157 \text{ gram}$$

Lampiran 3 Difraktogram

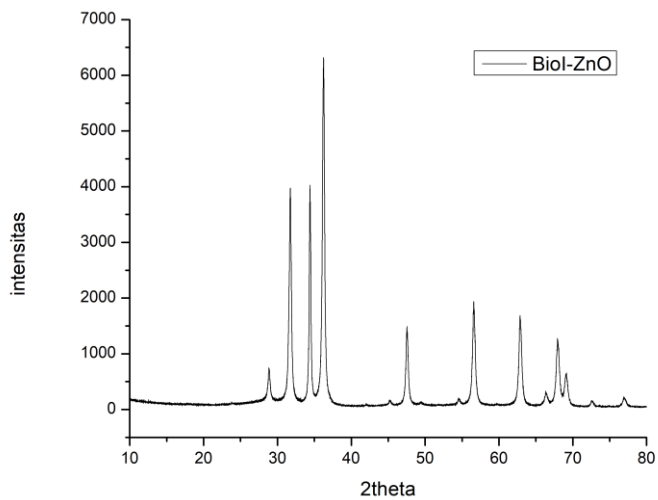
Difraktogram BiOI



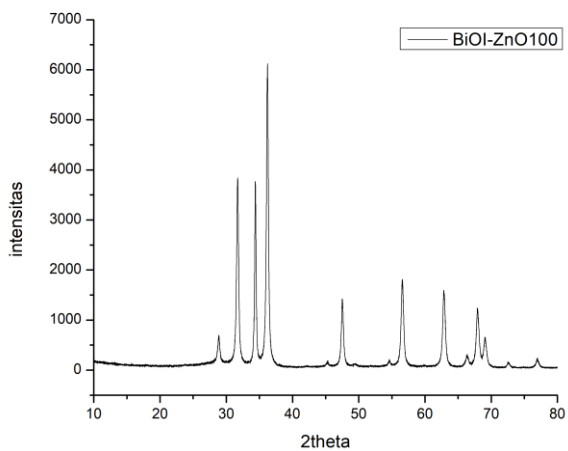
Difraktogram ZnO



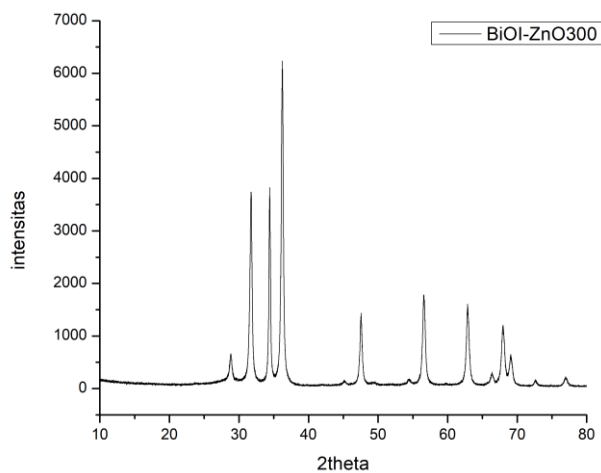
Difraktogram BiOI/ZnO



Difraktogram BiOI/ZnO 100



Difraktogram BiOI/ZnO 300



Lampiran 4 Perhitungan Ukuran Kristal

Ukuran Kristal Rata-Rata BiOI

2theta	FWHM	Ukuran Kristal (nm)
29,13	0,42428	19,338
29,43	0,0749	109,620
29,43	0,26723	30,724
29,59	0,12079	67,998
29,69	0,07829	104,936
29,74	0,22308	36,831
29,78	0,22579	36,393
29,80	0,115	71,456
30,01	0,44808	18,348
31,62	0,22887	36,061
31,66	0,10335	79,866
31,75	0,21939	37,632
33,97	2,28	3,640
Rata-rata		46,63

Ukuran Kristal Rata-rata ZnO

2theta	FWHM	Ukuran Kristal (nm)
31,31	0,28452	28,986
31,68	0,34817	23,708
31,76	0,19621	42,078
31,78	0,29563	27,929
32,08	0,28469	29,023
32,34	0,13209	62,596
34,43	0,19018	43,714
34,43	0,43781	18,988
36,25	0,29469	28,354
36,25	6,69	1,2485
Rata-rata		30,66

Ukuran Kristal Rata-rata BiOI/ZnO

2theta	FWHM	Ukuran Kristal (nm)
31,71	0,55942	14,756
31,75	0,26211	31,498
31,80	0,28109	29,375
34,42	0,39364	21,119
34,43	0,16636	49,973
36,24	0,37548	22,253
36,25	0,19447	42,967
36,26	8,50	0,982
Rata-rata		26,62

Ukuran Kristal Rata-rata BiOI/ZnO 100

2theta	FWHM	Ukuran Kristal (nm)
31,69	0,59224	13,938
31,71	0,28018	29,464
31,75	0,14751	55,969
33,16	0,55458	14,940
34,40	0,23636	35,171
36,19	0,65491	12,756
36,23	0,22456	37,207
36,23	0,34579	24,162
Rata-rata		27,95

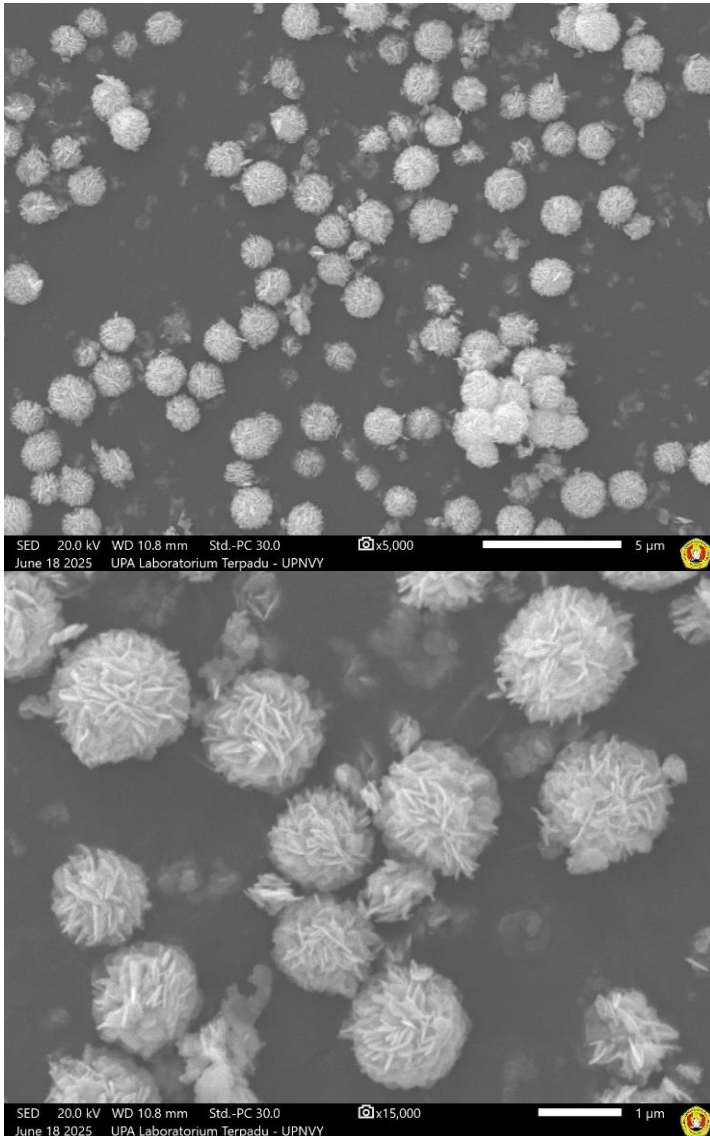
Ukuran Kristal Rata-rata BiOI/ZnO 300

2theta	FWHM	Ukuran Kristal (nm)
31,63	0,63852	12,926
31,73	0,60145	13,726
31,74	0,37092	22,257
31,76	0,20728	39,831
31,63	0,28628	28,830

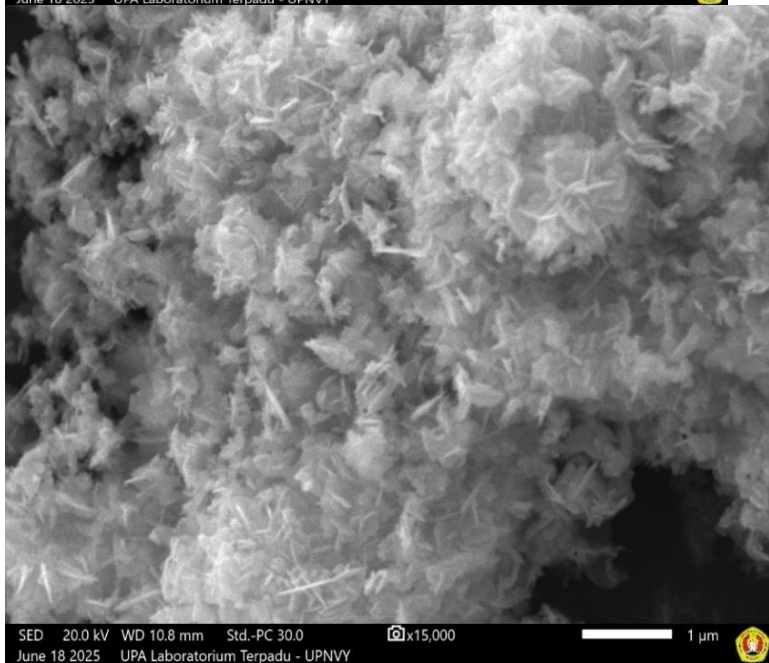
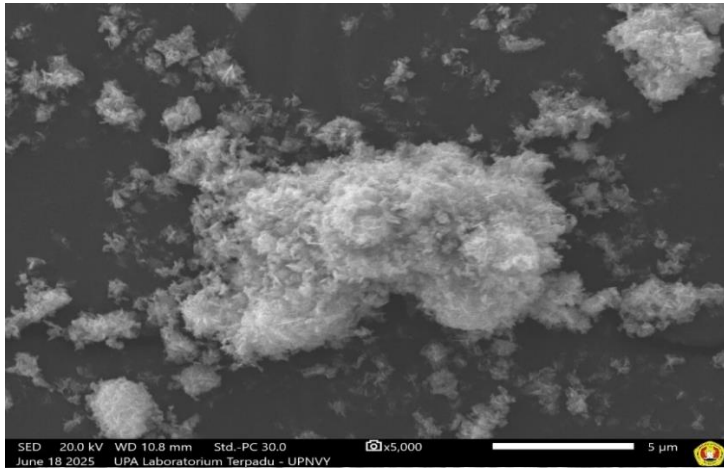
34,42	0,24298	34,214
36,23	0,3278	25,489
36,22	0,38025	21,972
36,25	0,20195	41,375
36,25	0,19923	41,94
36,25	8,46	0,987
Rata-rata		28,26

Lampiran 5 Morfologi

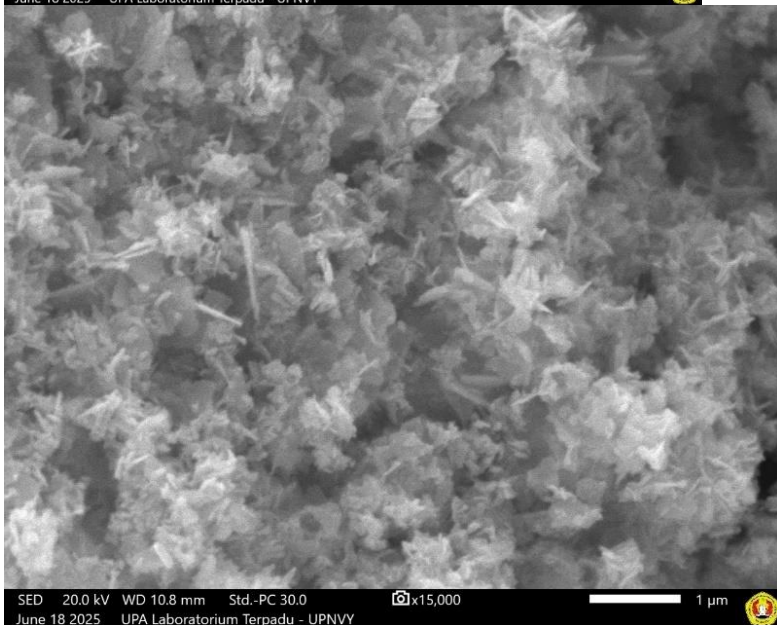
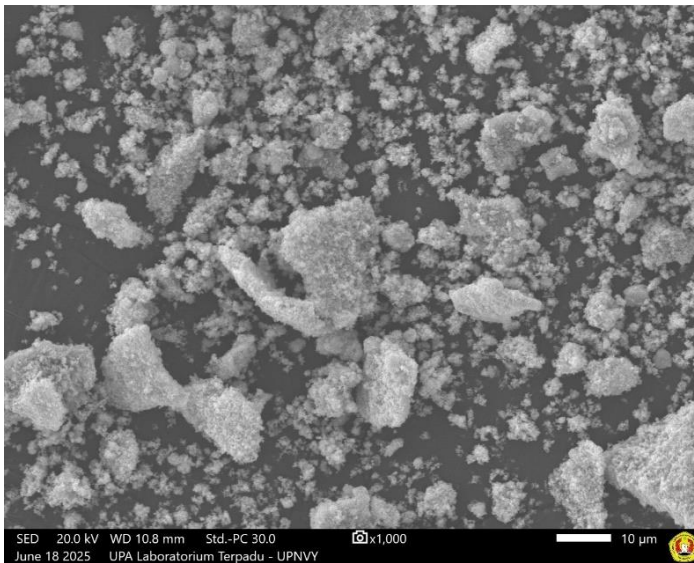
Morfologi BiOI



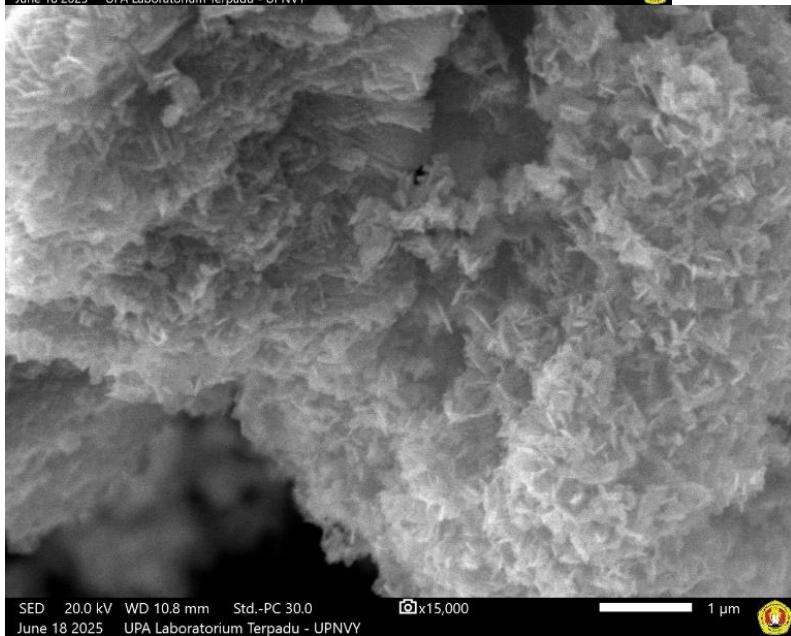
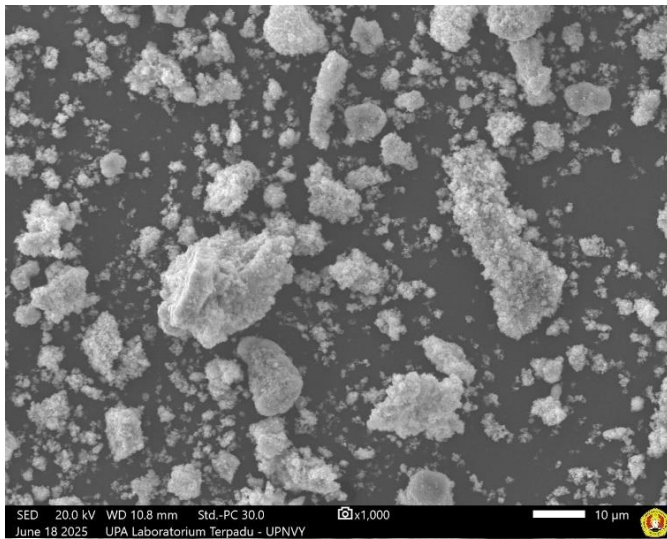
Morfologi ZnO



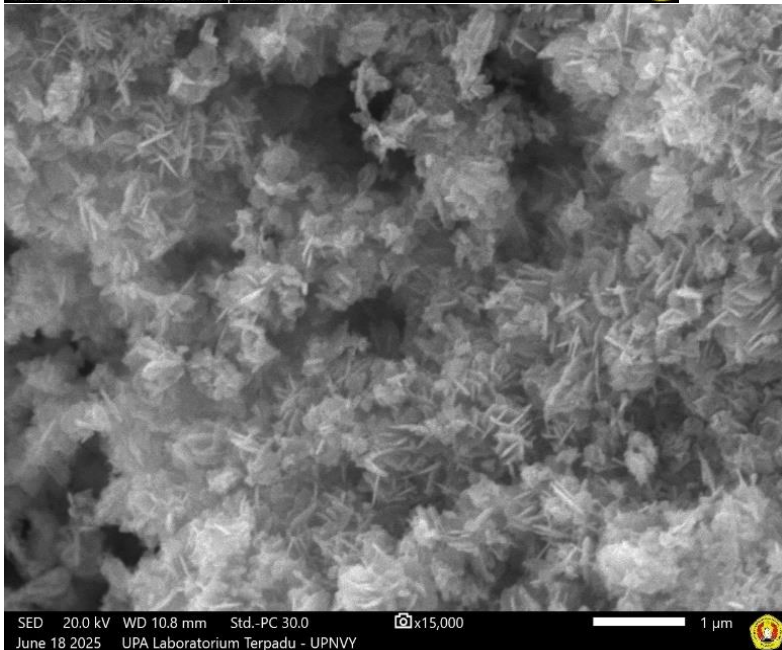
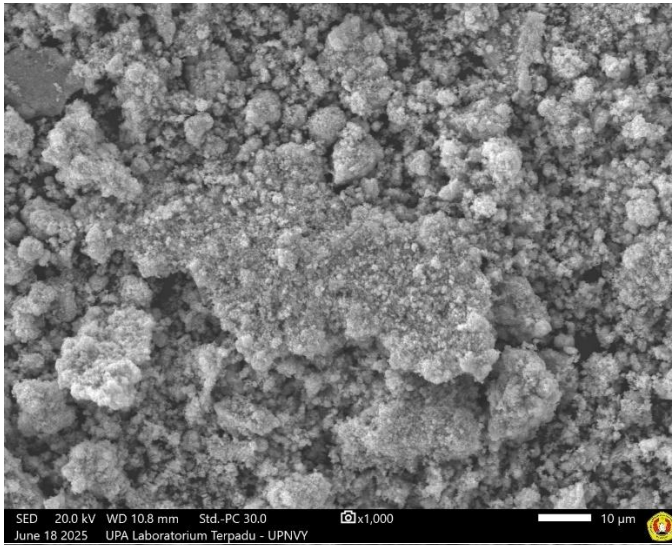
Morfologi BiOI/ZnO



Morfologi BiOI/ZnO 100



Morfologi BiOI/ZnO 300



Lampiran 6 Perhitungan Diameter Ukuran Partikel

Diameter Partikel BiOI-ZnO

Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
1	1.238	178.915	143.000	216.775	-33.179	12.364
2	1.515	151.679	111.526	215.605	-119.932	15.156
3	1.921	176.090	131.888	229.000	-39.958	19.212
4	1.653	151.386	88.274	204.000	-12.529	16.512
5	2.069	151.803	104.577	214.769	-93.302	20.731
6	0.604	155.548	113.000	193.520	7.722	5.924
7	0.475	173.455	125.000	200.222	-9.866	4.646
8	0.663	152.871	108.000	187.000	-1.736	6.570
9	0.465	148.751	127.000	183.922	-57.339	4.609
10	0.832	153.065	97.564	194.972	-19.747	8.246
11	1.218	177.861	124.000	217.268	-32.651	12.172
12	0.703	169.555	146.195	193.682	-122.784	6.983
13	1.683	169.536	104.000	218.640	-32.185	16.812
14	1.515	165.695	111.234	212.804	-105.222	15.159
15	1.643	174.500	151.915	210.237	-45.000	16.464
16	0.911	185.888	156.405	222.630	-118.258	9.037
17	1.465	177.993	128.517	218.129	-95.088	14.585
18	0.970	166.995	121.000	210.412	-87.639	9.660
19	0.881	175.540	150.193	237.660	-56.129	8.748
20	1.119	137.024	97.796	204.082	-64.581	11.127
21	1.267	167.583	131.591	197.843	9.090	12.596
22	0.881	187.848	152.149	226.477	-67.230	8.741
23	0.614	145.036	106.574	198.197	-89.061	6.070
24	1.079	154.564	120.000	232.037	-2.121	10.754
25	0.822	146.026	113.220	196.890	-83.737	8.208
26	1.000	141.352	94.000	195.420	3.434	9.968
27	0.822	172.870	134.317	236.902	5.572	8.198
28	0.644	161.428	135.000	217.000	-72.699	6.357

29	0.604	160.967	112.000	201.000	-90.000	5.970
30	0.931	163.542	100.032	215.699	-2.463	9.262
31	1.931	183.375	108.000	217.261	-102.529	19.264
32	1.752	169.941	0.000	240.695	-8.499	17.505
33	0.901	201.437	167.773	235.430	46.353	8.938
34	0.485	187.704	120.000	228.333	-48.366	4.793
35	0.901	165.159	137.044	200.287	-81.060	8.965
36	0.743	168.418	141.854	196.923	22.380	7.317
37	0.495	139.499	113.000	160.230	-63.435	4.895
38	0.485	144.770	129.000	167.250	30.343	4.727
39	1.327	142.705	102.266	194.171	38.593	13.240
40	0.782	136.005	103.018	194.000	-52.253	7.802
Mean	1.050	163.360	119.048	208.434	-43.677	10.457
SD	0.455	15.951	27.207	18.256	46.978	4.579
Min	0.465	136.005	0.000	160.230	-122.784	4.609
Max	2.069	201.437	167.773	240.695	46.353	20.731

Diameter Partikel BiOI-ZnO 100

Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
1	1.742	157.335	122.339	208.839	-105.524	17.069
2	0.402	171.088	124.377	209.398	-24.567	3.907
3	1.206	185.962	89.000	234.193	-50.954	11.765
4	0.969	187.350	145.000	224.006	34.032	9.433
5	1.257	192.097	120.678	244.132	40.962	12.234
6	0.783	194.375	100.000	228.421	-49.316	7.631
7	1.598	140.012	111.832	176.179	-56.413	15.599
8	1.072	145.750	81.000	175.006	37.093	10.437
9	0.969	166.897	103.000	216.681	-74.476	9.483
10	0.701	165.120	108.000	211.277	9.462	6.793
11	1.175	177.261	135.310	217.735	-92.534	11.483
12	0.742	170.678	135.944	212.437	1.614	7.211

13	2.298	162.469	73.000	253.030	-8.825	22.500
14	2.371	159.573	86.194	214.982	-102.638	23.202
15	1.979	168.710	108.209	230.293	-45.000	19.383
16	0.732	155.710	121.235	193.303	28.025	7.130
17	0.742	158.654	90.000	208.000	-59.452	7.191
18	0.928	151.354	80.000	190.698	31.185	9.019
19	1.216	174.953	116.269	215.383	-95.906	11.839
20	0.866	171.632	76.807	214.096	-2.759	8.436
21	0.783	160.911	134.205	188.944	12.362	7.587
22	0.660	163.501	91.000	191.689	-76.185	6.377
23	3.783	144.557	90.000	215.551	-66.863	37.206
24	0.979	158.086	123.592	191.362	18.048	9.503
25	1.927	154.329	77.297	197.055	13.663	18.911
26	1.412	162.916	90.000	212.713	-64.374	13.850
27	0.752	140.255	108.781	163.000	-28.355	7.268
28	0.886	140.017	116.729	176.062	-16.314	8.674
29	0.691	130.126	106.860	153.826	57.995	6.704
30	1.123	164.857	122.480	218.428	-16.750	10.920
31	0.618	148.112	108.453	181.365	53.326	5.949
32	1.041	165.105	72.000	211.661	-31.159	10.203
33	1.288	155.619	114.824	197.440	-83.967	12.557
34	0.876	140.053	108.524	181.429	-1.364	8.530
35	0.691	128.493	0.000	153.364	-86.532	6.713
36	1.598	181.732	128.121	228.173	-97.079	15.652
37	0.855	152.209	130.417	181.238	-119.055	8.362
38	1.330	180.146	121.602	242.709	-47.215	13.003
39	0.938	165.374	81.778	213.164	44.549	9.117
40	0.773	145.915	75.000	181.489	-10.856	7.546
41	0.814	162.889	109.128	206.231	-119.836	7.958
42	0.897	147.038	91.000	190.724	-34.611	8.758
43	0.649	151.645	117.000	193.000	-122.400	6.253

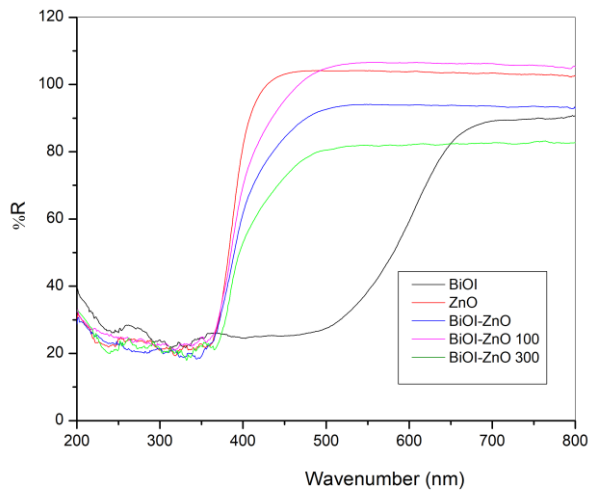
Mean	1.142	160.485	103.418	203.458	-32.767	11.148
SD	0.610	15.712	25.444	23.179	52.544	6.013
Min	0.402	128.493	0.000	153.364	-122.400	3.907
Max	3.783	194.375	145.000	253.030	57.995	37.206

Diameter Partikel BiOI-ZnO suhu 300

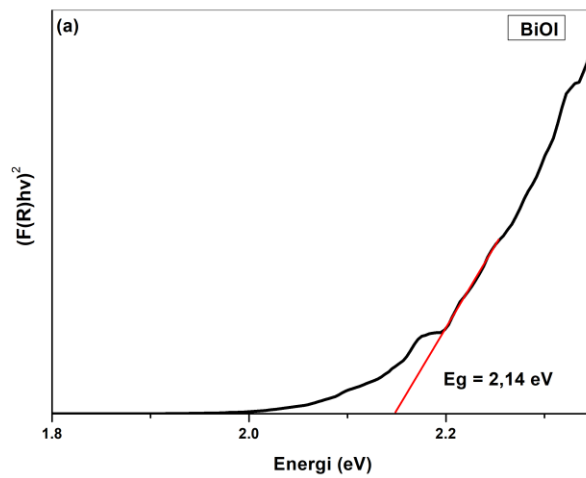
Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length
1	1.343	109.502	93.364	133.455	-23.654	13.276
2	1.313	111.821	89.204	142.524	-115.769	12.946
3	1.929	149.839	96.620	207.378	-47.342	19.133
4	1.111	156.790	121.904	220.752	36.451	10.995
5	1.000	158.298	113.673	198.812	-40.855	9.833
6	0.697	145.102	84.000	183.772	36.027	6.835
7	1.091	148.471	91.000	232.935	-48.411	10.750
8	0.960	127.423	100.739	153.045	28.757	9.401
9	1.859	178.027	101.337	252.885	-112.209	18.346
10	1.354	176.236	114.950	236.154	-18.025	13.317
11	1.040	169.820	135.564	216.104	-27.575	10.204
12	0.727	144.392	80.626	202.038	58.761	7.170
13	1.172	138.727	81.000	195.505	-47.459	11.594
14	0.990	146.032	88.255	203.639	34.509	9.757
15	0.616	146.577	80.000	203.732	-45.674	6.041
16	0.758	147.230	111.000	202.000	45.546	7.462
17	0.626	156.668	99.000	220.251	-37.626	6.091
18	0.727	156.210	103.000	205.456	-142.970	7.176
19	0.788	149.923	101.000	205.519	-34.931	7.723
20	1.061	149.716	105.038	196.899	-130.721	10.476
21	1.566	110.028	65.273	195.000	-2.603	15.493
22	1.414	129.668	68.000	186.590	-92.060	13.979
23	1.687	134.311	95.586	183.792	-77.471	16.679
24	1.212	151.095	98.890	185.471	33.024	11.987

25	0.636	178.905	108.000	230.168	-39.094	6.216
26	0.505	176.307	136.980	210.351	49.145	4.916
27	1.162	147.974	88.133	225.258	-50.711	11.427
28	1.566	160.287	102.657	218.173	44.474	15.493
29	1.697	156.016	115.266	199.291	-97.549	16.829
30	0.434	168.756	135.079	215.286	-9.689	4.180
31	1.151	170.523	111.971	238.150	11.211	11.373
32	0.525	158.681	121.931	199.821	-79.796	5.106
33	1.101	107.046	57.000	170.148	-92.121	10.862
34	1.061	108.170	47.000	164.308	-3.851	10.476
35	8.182	142.259	55.430	240.913	-17.853	81.302
36	3.545	138.206	63.469	225.302	-118.832	35.220
37	0.404	159.472	105.000	193.567	-54.293	3.961
38	0.616	152.817	127.120	199.627	49.708	6.061
39	1.212	170.401	95.000	253.286	0.963	11.961
40	0.747	168.459	118.192	218.301	-92.353	7.343
41	1.040	171.719	123.941	248.500	-95.042	10.291
42	0.707	181.527	95.000	234.043	-4.970	6.961
Mean	1.270	150.225	98.243	205.910	-32.689	12.539
SD	1.221	20.233	21.853	27.392	56.267	12.150
Min	0.404	107.046	47.000	133.455	-142.970	3.961
Max	8.182	181.527	136.980	253.286	58.761	81.302

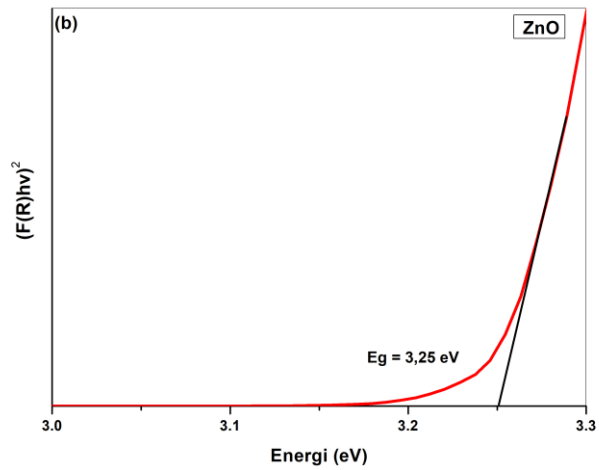
Lampiran 7 Spektrum UV DRS dan Celah Pita



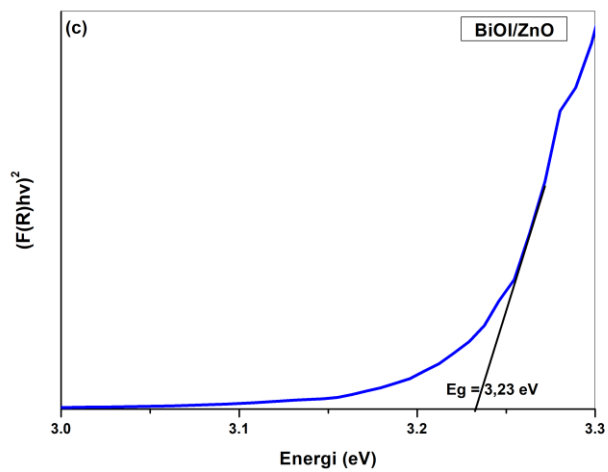
Celah Pita BiOI



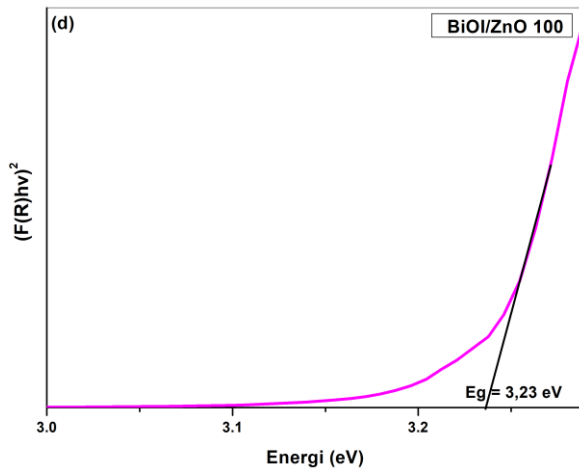
Celah Pita ZnO



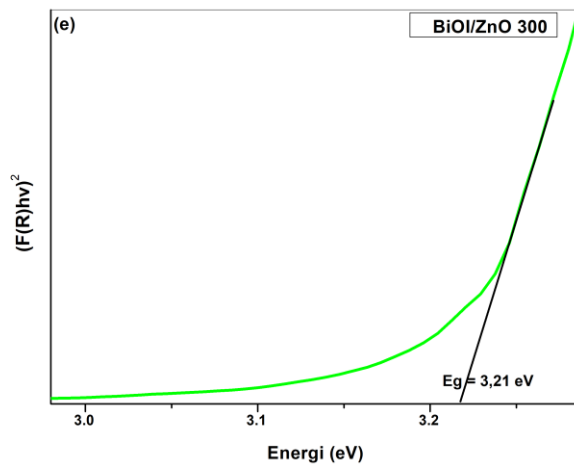
Celah Pita BiOI/ZnO



Celah Pita BiOI/ZnO 100



Celah Pita BiOI/ZnO 300



Lampiran 8 Perhitungan Panjang Gelombang Serapan dari Sampel

Panjang Gelombang Serapan BiOI

$$E = 2,14 \text{ eV} = 2,14 \times 1,602 \times 10^{-19} \text{ J} = 3,43 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J/s}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$3,43 \times 10^{-19} \text{ J} = \frac{6,626 \times 10^{-34} \text{ J/s} \times 3 \times 10^8 \text{ m/s}}{\lambda}$$

$$\lambda = 5,79 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$\lambda = \mathbf{579 \text{ nm}}$$

Panjang Gelombang Serapan ZnO

$$E = 3,25 \text{ eV} = 3,25 \times 1,602 \times 10^{-19} \text{ J} = 5,21 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J/s}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$5,21 \times 10^{-19} \text{ J} = \frac{6,626 \times 10^{-34} \text{ J/s} \times 3 \times 10^8 \text{ m/s}}{\lambda}$$

$$\lambda = 3,82 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$\lambda = \mathbf{382 \text{ nm}}$$

Panjang Gelombang Serapan BiOI/ZnO

$$E = 3,23 \text{ eV} = 3,23 \times 1,602 \times 10^{-19} \text{ J} = 5,18 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J/s}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$5,18 \times 10^{-19} \text{ J} = \frac{6,626 \times 10^{-34} \text{ J/s} \times 3 \times 10^8 \text{ m/s}}{\lambda}$$

$$\lambda = 3,84 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$\lambda = \mathbf{384 \text{ nm}}$$

Panjang Gelombang Serapan BiOI/ZnO 100

$$E = 3,23 \text{ eV} = 3,23 \times 1,602 \times 10^{-19} \text{ J} = 5,18 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J/s}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$5,18 \times 10^{-19} \text{ J} = \frac{6,626 \times 10^{-34} \text{ J/s} \times 3 \times 10^8 \text{ m/s}}{\lambda}$$

$$\lambda = 3,84 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$\lambda = \mathbf{384 \text{ nm}}$$

Panjang Gelombang Serapan BiOI/ZnO 300

$$E = 3,23 \text{ eV} = 3,23 \times 1,602 \times 10^{-19} \text{ J} = 5,14 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J/s}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$5,14 \times 10^{-19} \text{ J} = \frac{6,626 \times 10^{-34} \text{ J/s} \times 3 \times 10^8 \text{ m/s}}{\lambda}$$

$$\lambda = 3,86 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$\lambda = \mathbf{386 \text{ nm}}$$

Lampiran 9 Analisis BET Surface Area

BiOI

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta
LABORATORIUM TERPADU
Quantachrome TouchWin v1.22



Report date: Wed Jul 2 2025 Operator: Yusuf
Filename: 08340525_1.qcuPhysIso

Analysis Information			
Sample ID	0834_1	Weight	0.0864g
Description	B1 BiOI		
Analysis Data ID	(56da69a7-3ba4-4128-b355-3ec526c199b7)	Date	2025.06.29
Operator	Yusuf	Duration	56.1min
Instrument	St 2 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]	Firmware	1.07
Comments	description of sample	Cell ID	22
Ambient Temp.	21.28°C	Po Mode	Continuous
Cell Type	9mm w/o rod		
Adsorbate Name	Nitrogen	Void Volume Mode	NOVA mode
Non-ideality	6.580000e-05 1/ton	Thermal Delay	300µs
Degas information Time	4.0hours		
		Molecular Weight	28.013g/mol
		Bath Temperature	77.35K
		Cross Section Area	16.2Å ² /mol
		Temp	200.000000°C

Data Reduction Parameters			
Thermal Transpiration	yes	Eff. Molec. Diameter	0Å
Eff. Cell Diameter	0mm		
Adsorbate Model			
Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.0134g
Bath Temperature	77.35K	Cross Section Area	16.2Å ² /molec

BET Multi-point BET results
Isotherm Branch Adsorption
Slope 884.422
Intercept -17.0736
Correlation coeff, r 0.998072
C constant -50.8004
Surface area 4.015 m²/g

Graph - BET Multi-point BET

+ BET (all) ○ BET — BF

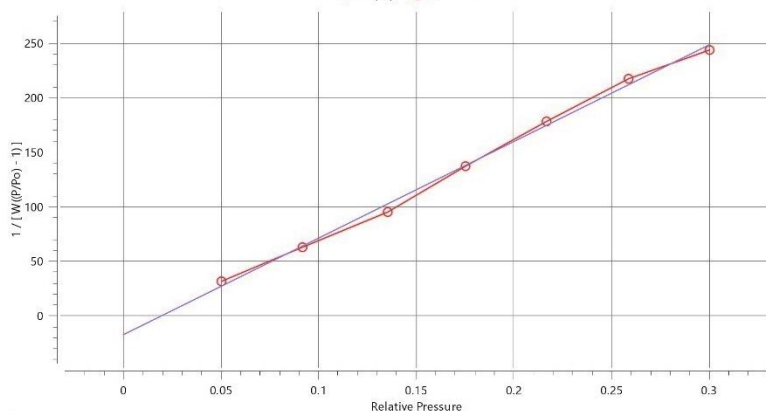
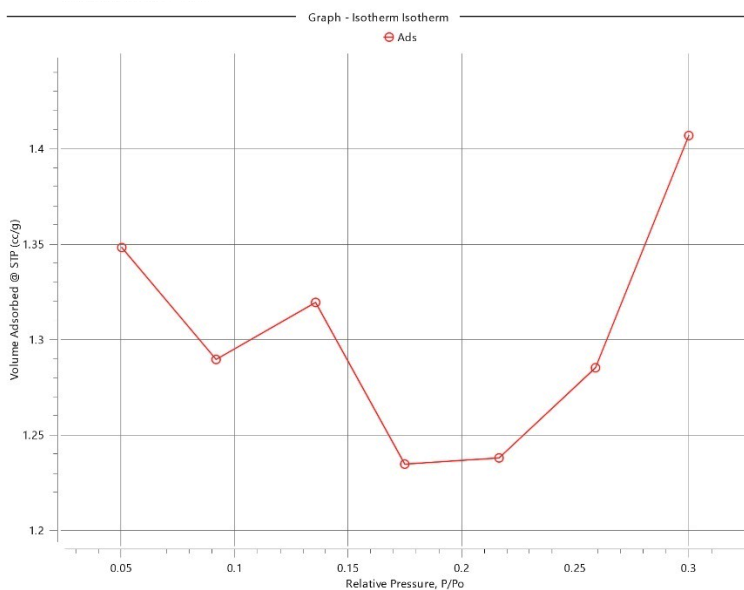


Table - BET Multi-point BET		
Relative Pressure	Volume Adsorbed @STP cc/g	$1 / [W((P/P_o) - 1)]$
0.0501531	1.34828	31.3339
0.091946	1.28945	62.8300
0.135633	1.31949	95.1500
0.175169	1.23460	137.6309
0.216654	1.23801	178.7474
0.258818	1.28524	217.3881
0.300257	1.40689	244.0316



ZnO

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta
LABORATORIUM TERPADU
Quantachrome TouchWin v1.22



Report date: Wed Jul 2 2025 Operator: Yusuf
Filename: 08340525_2.qcuPhystso

Analysis Information

Sample	ID 0834_2	Weight 0.0885g	
Description	B2 ZnO		
Analysis			
Data ID	(4bd1b620-46c6-4326-b50d-f0ed844d26c7)	Date	2025.06.29
Operator	Yusuf	Duration	56.8min
Instrument	St 3 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001]	Firmware	1.07
Comments	description of sample		
Ambient Temp.	21.22°C	Void Volume Mode	NOVA mode
Cell Type	9mm w/o rod	Thermal Delay	300sec
Adsorbate		Cell ID	23
Name	Nitrogen	Po Mode	Continuous
Non-ideality	6.580000e-05 1/20r	Molecular Weight	28.013g/mol
Degas Information		Bath Temperature	77.35K
Time	4.0hours	Cross Section Area	16.2A ² /mol
		Temp	200.000000°C

Data Reduction Parameters

Thermal Transpiration	yes	Eff. Molec. Diameter	0A
Eff. Cell Diameter	0.0mm		
Adsorbate Model			
Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.0134g
Bath Temperature	77.35K	Cross Section Area	16.2A ² /mole

BET Multi-point BET results

Isotherm Branch	Adsorption
Slope	387.508
Intercept	-3.23377
Correlation coeff., r	0.99924
C constant	-118.832
Surface area	9.063 m ² /g

Graph - BET Multi-point BET

+ BET (all) ○ BET — BF

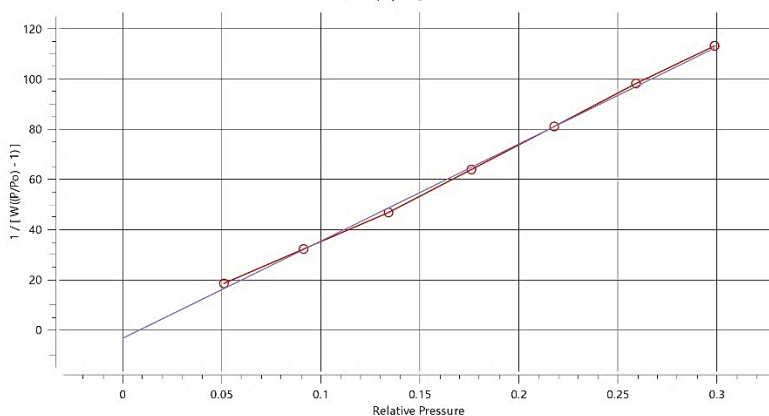
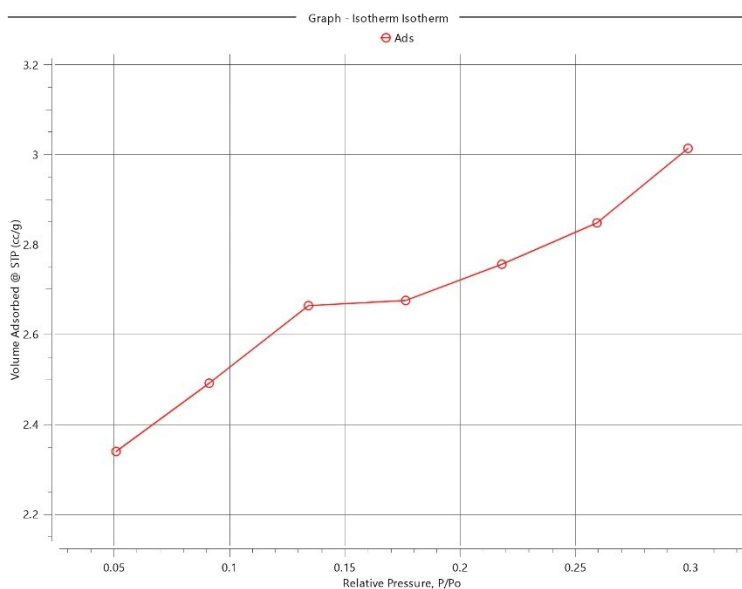


Table - BET Multi-point BET		
Relative Pressure	Volume Adsorbed @ STP cc/g	$1 / [W((P/P_o) - 1)]$
0.0501531	1.34828	31.3339
0.091946	1.28945	62.8300
0.135633	1.31949	95.1500
0.175169	1.23460	137.6309
0.216654	1.23801	178.7474
0.258818	1.28524	217.3881
0.300257	1.40689	244.0316



BiOI/ZnO

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14.5, Sleman Yogyakarta
LABORATORIUM TERPADU
Quantachrome TouchWin v1.22



Report date: Wed Jul 2 2025 Operator: Yusuf
Filename: 08340525_3 ulang.qcuPhysiso

Analysis Information

Sample ID 0834_3 i Weight 0.1090g
Description B3 BiOI-ZnO

Analysis Data ID {1ed49329-cbde-40dc-860b-fd46ce8929aa}
Operator Yusuf Date 2025.06.30 Duration 59.5min
Instrument St 1 on NOVA touch 4LX [s/n:170170510001] Firmware 1.07
Comments description of sample
Ambient Temp. 21.00°C Void Volume Mode NOVA mode Cell ID 21
Cell Type 9mm w/o rod Thermal Delay 300 sec Po Mode Continuous

Adsorbate Name Nitrogen Molecular Weight 28.013g/mol Cross Section Area 16.2Å²/mol
Non-ideality 6.580000e-05 1/ton Bath Temperature 77.35K
Degas information Time 4.0 hours Temp 200.000000°C

Thermal Transpiration yes Data Reduction Parameters Eff. Molec. Diameter 0A
Eff. Cell Diameter 0mm

Adsorbate Model Name Nitrogen Molecular Weight 28.0134g Cross Section Area 16.2Å²/mol
Bath Temperature 77.35K

BET Multi-point BET results

Isotherm Branch Adsorption
Slope 315.165
Intercept -1.10004
Correlation coeff., r 0.998734
C constant -285.504
Surface area 11.089 m²/g

Graph - BET Multi-point BET
+ BET (all) ○ BET — BF

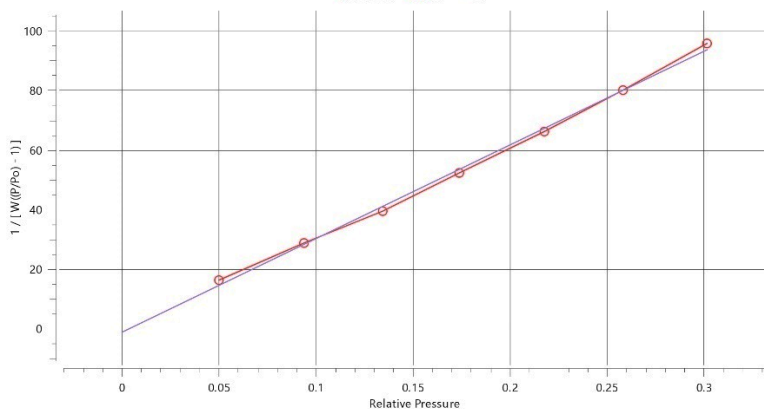
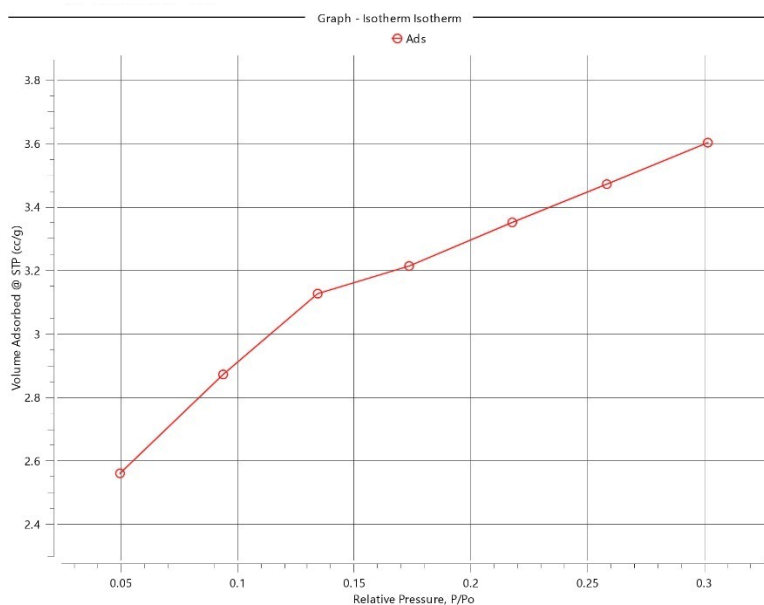


Table - BET Multi-point BET		
Relative Pressure	Volume Adsorbed @STP cc/g	$1 / [W((P/P_o) - 1)]$
0.0501531	1.34828	31.3339
0.091946	1.28945	62.8300
0.135633	1.31949	95.1500
0.175169	1.23460	137.6309
0.216654	1.23801	178.7474
0.258818	1.28524	217.3881
0.300257	1.40689	244.0316



BiOI/ZnO 100

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14,5, Sleman Yogyakarta
LABORATORIUM TERPADU
Quantachrome TouchWin v1.22



Report date: Wed Jul 2 2025 Operator: Yusuf
Filename: 08340525_4.qcuPhysIso

Analysis Information			
Sample	ID 0834_4	Weight	0.1081g
Description	B3 BiOI-ZnO 100		
Analysis			
Data ID	{a9b59b8a-37d1-4a71-9712-58aca5dd9693}	Date	2025.06.30
Operator	Yusuf	Duration	58.1min
Instrument	St 2 on NOVA touch 4LX {s/n:170170510001}	Firmware	1.07
Comments	description of sample		
Ambient Temp.	21.11 °C	Void Volume Mode	NOVA mode
Cell Type	9mm w/o rod	Thermal Delay	300 sec
Cell ID		Po Mode	Continuous
Adsorbate			
Name	Nitrogen	Molecular Weight	28.013 g/mol
Non-ideality	6.580000e-05 1/torr	Bath Temperature	77.35 K
Degas Information			
Time	4.0 hours	Temp	200.000000 °C
Cross Section Area	16.2 N ² /mol		

			Data Reduction Parameters			
Thermal Transpiration		yes			Eff. Molec. Diameter	0 Å
Eff. Cell Diameter		0 mm				
Adsorbate Model						
Name	Nitrogen		Molecular Weight	28.0134 g	Cross Section Area	16.2 Å ² /molec.
Bath Temperature	77.35 K					

BET Multi-point BET results
Isotherm Branch Adsorption
Slope 928.856
Intercept -37.1179
Correlation coeff., r 0.984864
C constant -24.0245
Surface area 3.905 m²/g

Graph - BET Multi-point BET

+ BET (all) ○ BET — BF

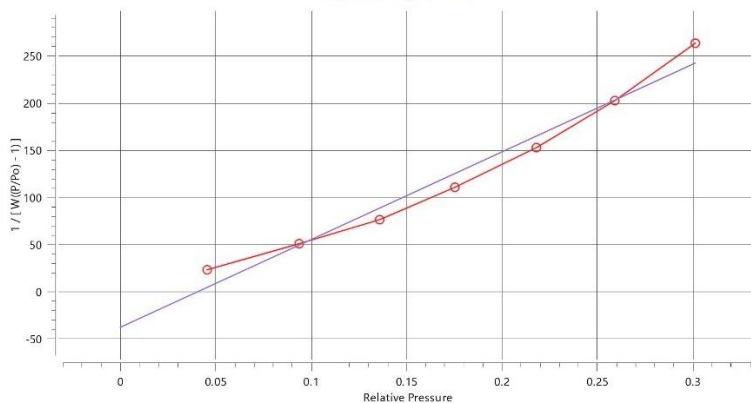
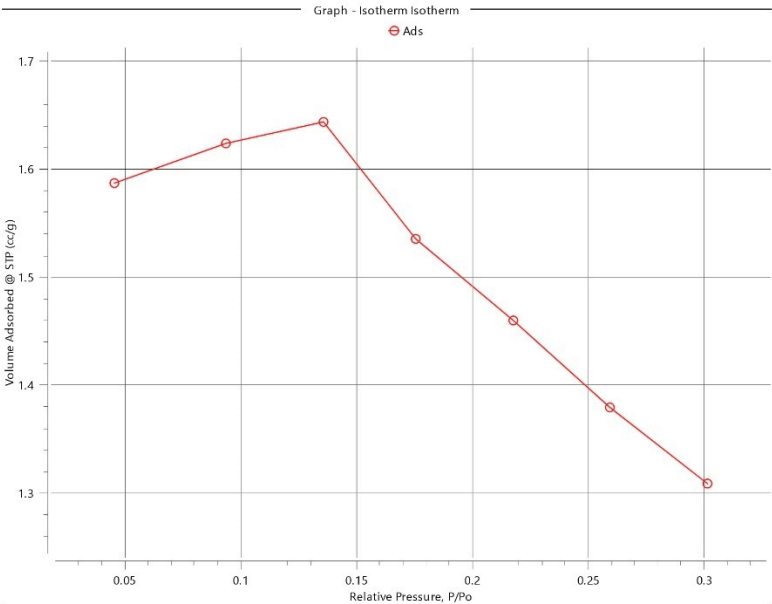


Table - BET Multi-point BET		
Relative Pressure	Volume Adsorbed @ STP cc/g	$1 / [W((P/P_o) - 1)]$
0.0456626	1.58765	24.1132
0.0934593	1.62432	50.7826
0.135887	1.64400	76.5344
0.175339	1.53506	110.8223
0.217805	1.45983	152.6165
0.259261	1.37959	202.9896
0.301229	1.30873	263.5489



BiOI/ZnO 300

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jl. Kaliurang Km 14,5, Sleman Yogyakarta
LABORATORIUM TERPADU
Quantachrome TouchWin v1.22

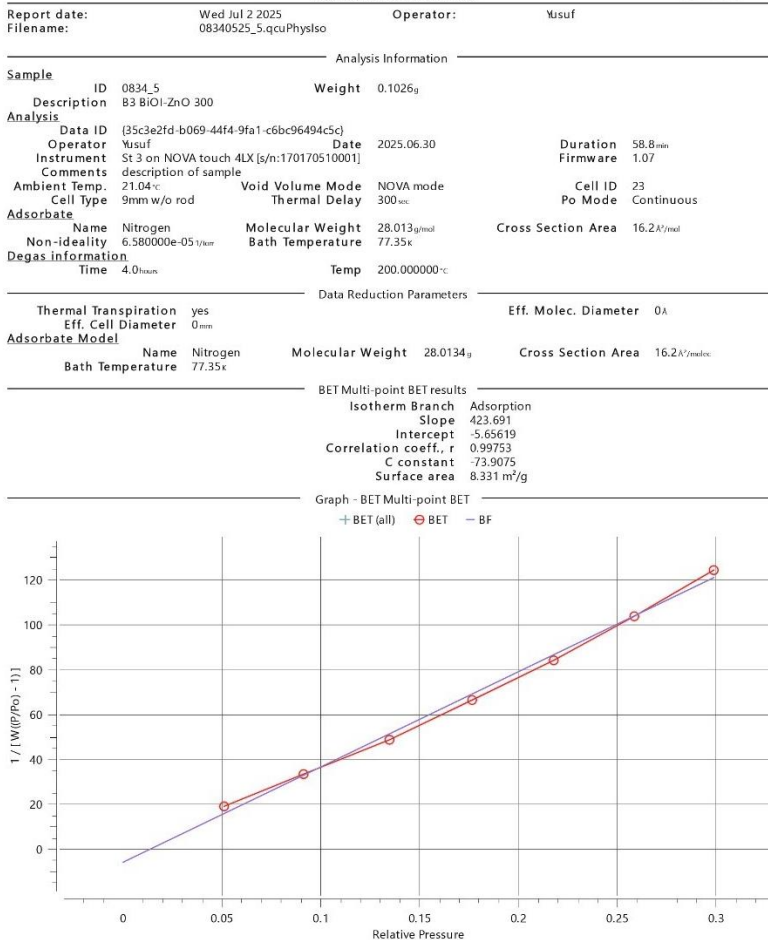
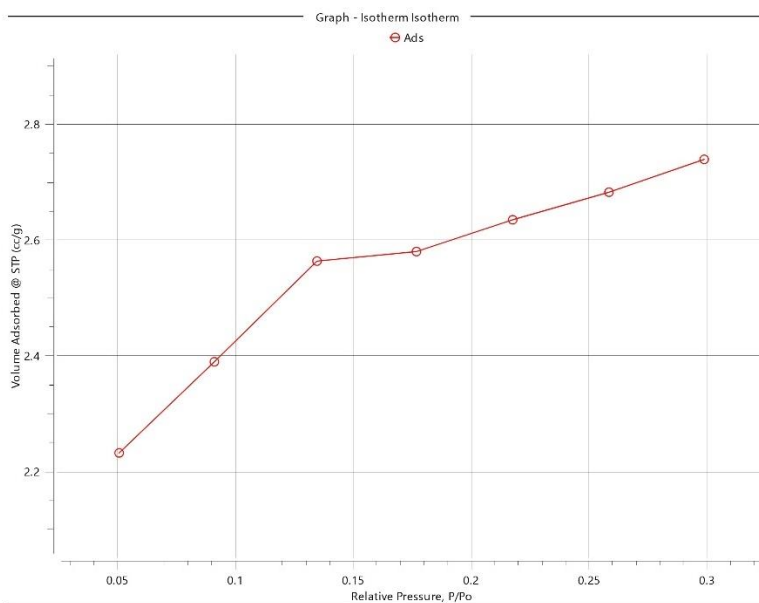


Table - BET Multi-point BET		
Relative Pressure	Volume Adsorbed @STP cc/g	$1 / [W((P/P_o) - 1)]$
0.0509402	2.23248	19.2367
0.0912708	2.38916	33.6358
0.134750	2.56312	48.6150
0.176610	2.57953	66.5304
0.217655	2.63509	84.4747
0.258506	2.68212	104.0006
0.298681	2.73959	124.3815



RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

1. Nama : Marisa Dhillia Maharani
2. Tempat & Tgl.Lahir : Brebes, 11 Juni 2004
3. Alamat Rumah : Dk. Blere RT 04 RW 02 Desa
Adisana Kec. Bumiayu Kab.
Brebes Jawa Tengah.
4. HP : 082135742360
5. E-mail : marisa.dm04@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. SD Adisana 04
2. SMP Negeri 1 Bumiayu
3. MAN 2 Brebes