

**SINTESIS SENYAWA $\text{Bi}_4\text{Ti}_2,9\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ DENGAN MENGGUNAKAN
METODE LELEHAN GARAM NaCl , KCl , DAN NaCl-KCl**

SKRIPSI

**Oleh:
Efrilia Rochayati
NIM. 18630056**



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

**SINTESIS SENYAWA $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ DENGAN MENGGUNAKAN
METODE LELEHAN GARAM NaCl , KCl , DAN NaCl-KCl**

SKRIPSI

Oleh:

EFRILIA ROCHAYATI

NIM. 18630056

Diajukan Kepada:

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

**Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam Memperoleh Gelar Sarjana
Sains (S. Si)**

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

**SINTESIS SENYAWA $\text{Bi}_4\text{Ti}_2\text{Fe}_{11}\text{O}_{12}$ DENGAN MENGGUNAKAN
METODE LELEHAN GARAM NaCl , KCl , DAN NaCl-KCl**

SKRIPSI

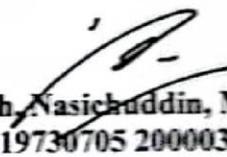
Oleh :
EFRILIA ROCHAYATI
NIM. 18630056

Telah disetujui dan disahkan
Pada tanggal 12 Juni 2023

Pembimbing I


Dr. Anton Prasetyo, M.Si
NIP. 19770925 200604 1 003

Pembimbing II


Ach. Nasichuddin, M.A
NIP. 19730705 200003 1 002

Mengetahui,

Ketua Program Studi Kimia


Rachmawati Hingsin, M.Si
NIP. 19840311 200801 2 010

**SINTESIS SENYAWA $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ DENGAN MENGGUNAKAN
METODE LELEHAN GARAM NaCl , KCl , DAN NaCl-KCl**

SKRIPSI

Oleh :
EFRILIA ROCHAYATI
NIM. 18630056

**Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan Dinyatakan
Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 29 Mei 2023**

Penguji Utama : Dr. Akyunul Jannah, M.Si, M.P
NIP. 19750410 200501 2 009

(.....)

Ketua Penguji : Lilik Miftahul Khoiroh, M.Si
NIP. 19831226 201903 2 008

(.....)

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

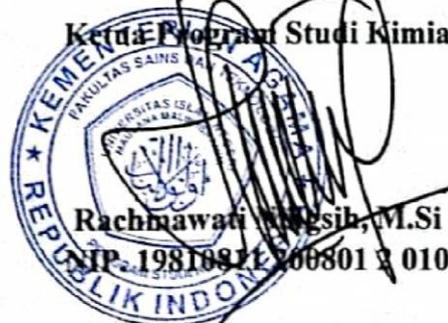
(.....)

Anggota Penguji : Ach. Nasichuddin, M.A
NIP. 19730705 200003 1 002

(.....)

Mengesahkan

Ketua Program Studi Kimia



Rachmawati Wahsib, M.Si
NIP. 19810811 200601 3 010

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Efrilia Rochayati

NIM : 18630056

Program Studi : Kimia

Fakultas : Sains dan teknologi

Judul Penelitian : Sintesis Senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_{12}$ dengan Menggunakan Metode Lelehan Garam NaCl, KCl, dan NaCl-KCl

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi yang saya tulis merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan data, tulisan, atau pikiran orang lain, kecuali dalam bentuk kutipan yang sudah disebutkan sumbernya. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia mempertanggungjawabkannya sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 05 Juni 2023

: membuat pernyataan,



Efrilia Rochayati
NIM. 18630056

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan anugrah dan hidayah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan naskah skripsi ini dengan judul **“Sintesis Senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ dengan Menggunakan Metode Lelehan Garam NaCl , KCl , dan NaCl-KCl ”**. Sholawat serta salam tetap turunkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi suri tauladan bagi kita semua, dalam penyusunan naskah ini penulis mendapat banyak bimbingan, nasehat serta dorongan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, MA., selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini M. Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Rachmawati Ningsih, M. Si., selaku ketua Program Studi Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Dr. Anton Prasetyo, M. Si., selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan nasehat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Ach. Nasichuddin, M. A., selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan nasehat selama penyusunan naskah skripsi.
6. Dr. Akyunul Jannah, M. Si., M. P., selaku penguji I dan Lilik Miftahul Khoiroh, M. Si., selaku Penguji II yang telah memberikan bimbingan dan perbaikan dalam penulisan skripsi ini.
7. Rachmawati Ningsih, M. Si, selaku Dosen Wali.
8. Seluruh dosen, laboran, dan staf Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan ilmu, pengetahuan, pengalamannya sebagai pedoman dan bekal bagi penulis.
9. Kepada Ayah dan Ibu tercinta dan orang-orang terdekat yang senantiasa memberikan doa dan dukungannya kepada penulis.

10. Teman-teman Program Studi Kimia dan semua pihak yang senantiasa memberikan bantuan dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan naskah skripsi.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan naskah skripsi ini sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan.

Malang, 10 Mei 2023

Penulis

HALAMAN PERSEMBAHAN

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT. Yang telah memberikan kelancaran dalam menyelesaikan penelitian dan penyusunan naskah skripsi ini. Pertama, skripsi ini penulis persembahkan kepada kedua orang tua penulis Bapak Ramidin dan Ibu Siti Umaroh yang telah berjuang agar saya dapat menyelesaikan perkuliahan hingga mendapatkan gelar S. Si serta segala doa yang selalu dilangitkan untuk saya.

Penulis juga mengucapkan Terimakasih kepada dosen pembimbing Bapak Dr. Anton Prasetyo, M. Si dan Bapak Ach. Nasichuddin, M.A yang telah memberikan arahan serta bimbingan yang begitu luar biasa dalam proses penyusunan skripsi ini.

Terimakasih kepada teman seperbimbingan “Photokatalis”, Rizki Fitriana Dewi, Ulvi Dwi Pertiwi, Nurul Fitriathus, Kanty Mariani, Fitria Maulidiah, dan Diajeng Nadia yang telah memberikan dukungan, membantu dan menyemangati penulis selama proses penulisan skripsi ini. Terimakasih kepada Nurul Khasanah, Nur Istiqomah, Rohmatin Munirotuz, Nadila Ayu Novanti, Viska Kholifatul yang telah mendengarkan keluh kesah penulis. Tak lupa Terimakasih juga untuk teman-teman Kimia B angkatan 2018 yang telah memberikan kenangan yang berharga selama masa perkuliahan.

Last but not least, I wanna thank me, I wanna thank me for believing in me, I wanna thank me for doing all this hard work, I wanna thank me for having no day off, I wanna me for never quitting, for just being me at all times.

MOTTO

“Cukup fokus pada hal-hal positif, meskipun itu sulit namun, hidup terlalu singkat untuk fokus pada hal-hal negatif.”

-Kim Namjoon-

&

“Rahasia sukses itu tidak ada dan walaupun ada itu hanya ada dua, pertama bertahan sampai akhir dan jangan menyerah. Kedua, jika ingin menyerah maka harus balik lagi ke rahasia pertama.”

-Zhong Chenle-

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
MOTTO	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT.....	xvi
مستخلص البحث.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan	6
1.4 Batasan masalah	6
1.5 Manfaat Penelitian.	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1. Senyawa Bismut Titanat	8
2.2. $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ sebagai Material Fotokatalis	9
2.3. Doping pada Senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$	12
2.4. Pengaruh Morfologi terhadap Aktivitas Fotokatalis	13
2.5. Metode Lelehan Garam.....	17
2.6. Sintesis Senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ menggunakan Metoda Lelehan Garam	20
2.7. Menjaga Kelestarian Alam dalam Perspektif islam	23
BAB III METODE PENELITIAN.....	26
3.1. Waktu dan Tempat Pelaksanaan	26

3.2. Alat dan Bahan.....	26
3.2.1. Alat	26
3.2.2. Bahan	26
3.3. Tahapan Penelitian	27
3.4. Prosedur Kerja.....	27
3.4.1. Preparasi Bahan	27
3.4.2. Sintesis $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ dengan Lelehan Garam	27
3.4.3. Karakterisasi $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ dengan XRD	28
3.4.4. Karakterisasi $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ dengan SEM-EDS	28
3.4.5. Karakterisasi $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ dengan UV-Vis DRS	29
3.5. Analisis Data	29
3.5.1. Analisis Data XRD	29
3.5.2. Analisis Data SEM-EDS	29
3.5.3. Analisis Data UV-Vis DRS	30
BAB 1V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1. Sintesis Senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ Menggunakan Lelehan Garam	31
4.2. Karakterisasi $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ Menggunakan XRD	32
4.3. <i>Refinement</i> Data $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$	35
4.4. Karakterisasi $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ Menggunakan SEM-EDS	37
4.5. Karakterisasi $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ Menggunakan UV-Vis DRS	41
4.6. Sintesis Senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ dalam Perspektif islam.	44
BAB V	
PENUTUP.....	46
5.1. Kesimpulan	46
5.2. Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN.....	52

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Alir.....	52
Lampiran 2. Perhitungan.....	54
Lampiran 3. Hasil Karakterisasi Menggunakan XRD	56
Lampiran 4. Hasil Karakterisasi Menggunakan SEM-EDS.....	65
Lampiran 5. Hasil Karakterisasi Menggunakan UV-Vis DRS	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Struktur senyawa Bismut Titanat.....	9
Gambar 2. 2	Spektrum UV- DRS senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$	10
Gambar 2. 3	Mekanisme fotokatalitik $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$	10
Gambar 2. 4	(a) Aktivitas fotokatalitik $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ untuk degradasi RhB; (b) aktivitas fotokatalitik $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ untuk degradasi zat warna.....	11
Gambar 2. 5	(a) dan (b) adalah aktivitas fotokatalitik untuk degradasi BPA dengan sampel yang berbeda dari $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, 2%Fe/BTO dan Au-2%Fe/BTO di bawah sinar cahaya; (c) dan (d) adalah aktivitas fotokatalitik untuk degradasi fenol dengan sampel yang berbeda dari BTO, 2%Fe/BTO dan Au-2%Fe/BTO di bawah penyinaran cahaya.....	12
Gambar 2. 6	Spektra UV-Vis DRS dari $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ didoping Fe (2, 4, dan 6%).....	13
Gambar 2. 7	Hasil karakterisasi SEM senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ (a) metode solid-state dan metode lelehan garam pada 800 oC dengan rasio molar garam (b) 4; (c) 8; (d) 16; (e) 32; (f) 40; (g) 50; (h) 60.....	14
Gambar 2. 8	Laju degradasi rhodamin B dengan sinar tampak pada pH 5,3.....	15
Gambar 2. 9	Hasil karekterisasi SEM senyawa (a) $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, (b) S1, (c) S2, dan (d) S3.....	16
Gambar 2. 10	Hasil karekterisasi SEM senyawa (a) $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, (b) S1, (c) S2, dan (d) S3.....	17
Gambar 2. 11	Skema metode lelehan garam.....	18
Gambar 2. 12	Proses pembentukkan $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ <i>plate-like</i>	20
Gambar 2. 13	Pola difraksi sinar-X pada $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ menggunakan metode lelehan garam NaCl dengan variasi suhu 800; 850; 900; dan 950 °C	21
Gambar 2. 14	Hasil karakterisasi SEM senyawa yang disintesis dengan variasi suhu (a) 800; (b) 850; (c) 900; dan (d) 950 °C.....	22
Gambar 2. 15	(a) Hasil difraktogram senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$; (b) Hasil puncak difraktogram senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{3-x}\text{V}_x\text{O}_{12}$ ($x = 0, 0,05; 0,1; 0,15$ dan $0,2$) pada posisi 2θ ($^\circ$) = 30,1.....	23
Gambar 2. 16	(a) Hasil difraktogram senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$; (b) Hasil puncak difraktogram senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{3-x}\text{V}_x\text{O}_{12}$ ($x = 0, 0,05; 0,1; 0,15$ dan $0,2$) pada posisi 2θ ($^\circ$) = 30,1.....	23
Gambar 4. 1	(a) sampel sebelum ditanur; (b) sampel setelah ditanur; (c) sampel setelah pencucian dan dikeringkan.....	32
Gambar 4. 2	Difaktogram senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ yang disintesis dengan variasi jenis garam (NaCl, KCl, NaCl-KCl (1:3,5:3,5) dan NaCl-KCl (1:7:7)).....	33

Gambar 4. 3	Pergeseran puncak khas senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ yang disintesis dengan variasi jenis garam (NaCl, KCl, NaCl-KCl (1:3,5:3,5) dan NaCl-KCl (1:7:7)).....	35
Gambar 4. 4	Plot <i>refinement</i> senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ yang disintesis menggunakan garam KCl.....	36
Gambar 4. 5	Morfologi partikel senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ yang disintesis menggunakan garam (a) NaCl; (b) KCl; (c) NaCl-KCl (1:7:7); dan (d) NaCl-KCl (1:3,5:3,5).....	40
Gambar 4. 6	Spektra UV-Vis DRS hubungan %reflektansi dan panjang gelombang senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ yang disintesis dengan variasi jenis garam (NaCl, KCl, NaCl-KCl (1:3,5:3,5) dan NaCl-KCl (1:7:7)).....	41
Gambar 4. 7	Spektra energi celah pita senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ yang disintesis menggunakan garam (a) NaCl; (b) KCl; (c) NaCl-KCl (1:7:7); dan (d) NaCl-KCl (1:3,5:3,5).....	43

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1	Massa tiap prekursor untuk mendapatkan senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$	28
Tabel 4. 1	Data kristalografi senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ yang disintesis menggunakan garam KCl.....	37
Tabel 4. 2	Data EDS Senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$	41
Tabel 4. 3	Energi celah pita dan panjang gelombang senyawa senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ yang disintesis menggunakan garam NaCl, KCl, NaCl-KCl (1:7:7), dan NaCl-KCl (1:3,5:3,5).....	42

ABSTRAK

Rochayati, Efrilia. 2023. **Sintesis Senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ Menggunakan Metode Lelehan Garam NaCl, KCl, dan NaCl-KCl**. Skripsi. Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing I : Dr. Anton Prasetyo, M. Si; Pembimbing II : Achmad Nasichudin, M. A.

Kata Kunci: Aurivillius, $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, Metode Lelehan Garam, Fotokatalis

Bismut titanat ($\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$) merupakan salah satu material Aurivillius lapis tiga yang berpotensi sebagai material fotokatalis yang memiliki energi celah pita sebesar 2,95 eV. Morfologi partikel memiliki peran penting terhadap material fotokatalis karena ukuran partikel dan luas permukaan akan berpengaruh terhadap aktivitas fotokatalisnya. Metode sintesis lelehan garam dikenal dapat menghasilkan morfologi dan ukuran partikel yang seragam sehingga dapat memberikan keuntungan pada material fotokatalis. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui struktur kristal, morfologi, ukuran partikel, dan energi celah pita. Dalam penelitian ini, disintesis senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ dengan metode lelehan garam pada variasi garam NaCl, KCl, dan NaCl-KCl. Hasil penelitian menunjukkan bahwa senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ berhasil disintesis berdasarkan karakterisasi instrumen *X-ray diffraction (XRD)*, *scanning electron microscopy-energy dispersive X-ray (SEM-EDS)* dan *ultraviolet-visible diffuse reflectance spectroscopy (UV-Vis DRS)*. Data difraktogram senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ menunjukkan fasa terbentuk dan terdapat pengotor. Bentuk morfologi yang terlihat dari hasil mikroskop senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ berupa *plate-like* dan masih terdapat aglomerasi dengan ukuran partikel rata-rata sebesar 869,4; 238,7; 307,4 dan 373,9 nm. Sedangkan, pada spektra DRS menunjukkan bahwa senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ memiliki energi celah pita sebesar 2,28; 2,11; 2,27 dan 2,19 eV sehingga dapat bekerja pada rentang sinar tampak.

ABSTRACT

Rochayati, Efrilia. 2023. **Synthesis of $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ Compounds Using Molten Salt Method of NaCl, KCl, dan NaCl-KCl**. Thesis. Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Universitas Islam Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor I : Dr. Anton Prasetyo, M. Si; Supervisor II : Achmad Nasichuddin, M. A.

Keyword : Aurivillius, $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, Molten Salt Method, Photocatalyst.

Bismuth titanate ($\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$) is one of the three-layer Aurivillius materials which has the potential as a photocatalyst material which has a bandgap energy of 2.95 eV. Particle morphology has an important role for the photocatalyst material because the particle size and surface area will affect the photocatalyst activity. The salt melt synthesis method is known to produce uniform morphology and particle size so that it can provide advantages for photocatalyst materials. The purpose of this study was to determine the crystal structure, morphology, particle size, and bandgap energy. In this study, the compound $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ was synthesized by the salt melting method in various salts of NaCl, KCl, and NaCl-KCl. The results showed that the compound $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ was successfully synthesized based on the characterization of X-ray diffraction (XRD) instruments, scanning electron microscopy-energy dispersive X-ray (SEM-EDS) and ultraviolet-visible diffuse reflectance spectroscopy (UV-Vis DRS). The diffractogram data of the $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ compound shows that the phase is formed and there are impurities. The morphological form that can be seen from the results of the micrograph of the $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ compound is plate-like and there is still agglomeration with average of particle size is 869,4; 238,7; 307,4 and 373,9 nm. Meanwhile, the DRS spectra show that the compound $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ has a band gap energy of 2.28; 2.11; 2.27 and 2.19 eV so that it can work in the visible light range.

مستخلص البحث

روحاياتي، إفريقيا. ٢٠٢٣. توليف مركب $\text{Bi}_4\text{Ti}_2,9\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ باستخدام طريقة إذابة الملح NaCl و KCl و NaCl-KCl . البحث الجامعي. قسم الكيمياء، كلية العلوم والتكنولوجيا بجامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول: د. أنطون براسيتيو، الماجستير. المشرف الثاني: أحمد ناصح الدين، الماجستير.

الكلمات الرئيسية: $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ، Aurivillius، طريقة إذابة الملح، المنشطات، محفز ضوئي.

يسموت تينانات ($\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$) هي واحدة من مواد Aurivillius من الطبقة الثالثة التي لديها القدرة على استخدامها كمادة محفزة ضوئية لها طاقة فجوة نطاق تبلغ ٢,٩٥ فولت. مورفولوجيا الجسيمات لها دور مهم في المواد المحفزة الضوئية لأن حجم الجسيمات ومساحة السطح سيؤثران على نشاط المحفز الضوئي. من المعروف أن طريقة ذوبان الملح تنتج شكلاً وحجمًا موحدًا للجسيمات بحيث يمكن أن توفر مزايا لمادة الحفز الضوئي. الغرض من هذا البحث هو معرفة ذلك التركيب البلوري والتشكل وحجم الجسيمات والطاقة المشقوقة. توليف $\text{Bi}_4\text{Ti}_2,9\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ في هذه الدراسة، باستخدام طريقة إذابة الملح مع اختلافات أملاح NaCl و KCl و NaCl-KCl . أظهرت النتائج أن المركب $\text{Bi}_4\text{Ti}_2,9\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ تم تصنيعها بنجاح بناء على توصيف حيود الأشعة السينية (XRD)، ومسح المجهر الإلكتروني بالأشعة السينية المشتتة للطاقة (SEM-EDS) وأدوات التحليل الطيفي للانعكاس المنتشر فوق المرئي بالأشعة فوق البنفسجية (UV-Vis DRS). أشارت بيانات الحيود لمركب $\text{Bi}_4\text{Ti}_2,9\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ إلى تكوين الطور ووجود الشوائب. الشكل المورفولوجي الذي أظهر من نتائج الصورة المجهرية لمركب $\text{Bi}_4\text{Ti}_2,9\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ يشبه الصفائح ولا تزال هناك تكتلات بمتوسط حجم جسيم يبلغ ٤٨٦٩,٤؛ ٢٣٨,٧؛ ٣٠٧,٤ و ٣٧٣,٩ نانومتر. وفي الوقت نفسه، أظهرت أطياف DRS أن المركب $\text{Bi}_4\text{Ti}_2,9\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ لديه طاقة فجوة نطاق تبلغ ٢,٢٨؛ ٢,١١؛ ٢,٢٧؛ ٢,١٩ فولت حتى يتمكن من العمل في نطاق الضوء المرئي.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki banyak industri tekstil yang menghasilkan limbah zat warna dan berdampak negatif pada lingkungan karena mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya bagi ekosistem seperti rhodamin B, metil jingga, metilen biru, dan lain sebagainya (Quarde, 2010). Manusia diperintahkan untuk menjaga dan melestarikan apa yang telah Allah berikan di muka bumi ini dan tidak melakukan kerusakan, seperti yang tertera dalam firman Allah surah al-A'raf (7) ayat 56:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ

Artinya: “Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya dan berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik.” (Q.S. al-A'raf (7): 56).

Ayat diatas mengandung makna larangan untuk manusia melakukan perbuatan yang melampaui batas yaitu membuat kerusakan pada muka bumi. Allah SWT menciptakan alam semesta dengan keadaan yang baik dan untuk memenuhi kebutuhan makhluk-Nya, sehingga Allah memerintahkan hamba-Nya untuk menjaga dan memperbaikinya (Yunus, dkk., 2021). Larangan merusak lingkungan adalah untuk membentuk kesadaran dan kepekaan terhadap lingkungan, kemudian memasukkan pengetahuan bahwa lingkungan harus dilindungi. Sehingga, diharapkan dapat mengubah perilaku merusak lingkungan untuk menjaga

lingkungan, memiliki pengetahuan yang profesional dan berpartisipasi dalam perlindungan lingkungan (Mustakim, 2017).

Oleh karena itu, untuk mengatasi masalah yang terjadi dibutuhkan suatu metode untuk mendegradasi limbah tersebut agar menjadi aman dan tidak menimbulkan pencemaran air. Salah satu metode yang berpeluang digunakan adalah metode fotokatalisis yang memanfaatkan sinar matahari dengan menggunakan material semikonduktor sebagai katalis dapat mendegradasi dan mereduksi limbah zat warna menjadi komponen-komponen sederhana yang lebih aman, ekonomis, ramah lingkungan. Oleh karena itu, para ilmuwan menggunakan metode ini sebagai solusi yang efektif digunakan untuk mengatasi masalah pencemaran lingkungan (Liu, dkk., 2017; Zhang, dkk., 2018).

Fotokatalisis merupakan proses yang terjadi ketika bahan semikonduktor terkena cahaya. Bahan semikonduktor menyerap foton dengan energi yang sama atau lebih besar dari energi celah pita, sehingga elektron bebas akan tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi dan akan meninggalkan *hole* positif pada pita valensi (Liu, dkk., 2017). Bahan semikonduktor akan menyerap foton dengan energi yang sama atau lebih tinggi dari energi celah pita, elektron bebas pada pita valensi akan tereksitasi ke pita konduksi yang akan meninggalkan lubang positif. Lubang-lubang ini nantinya akan bereaksi dengan air (H_2O) atau gugus hidroksil (OH^-) yang diserap permukaan dan akan menghasilkan radikal hidroksil (OH^{\bullet}) sedangkan elektron akan terperangkap pada spesies oksigen terlarut yang akan membentuk radikal anion superoksida ($\text{O}^{\bullet-}$) (Munadhiroh, 2021). Beberapa material semikonduktor yang dapat dimanfaatkan dalam fotokatalis adalah TiO_2 , Fe_2O_3 ,

senyawa-senyawa yang memiliki struktur perovskit dan senyawa-senyawa yang memiliki struktur Aurivillius (He, dkk., 2018).

Senyawa Aurivillius memiliki rumus umum $[\text{Bi}_2\text{O}_2]^{2+}[\text{A}_{n-1}\text{B}_n\text{O}_{3n+1}]^{2-}$ dan terdiri dari lapisan n pseudoperovskit yang bergantian dengan lapisan $[\text{Bi}_2\text{O}_2]^{2+}$ (Moure, 2018). Dimana kation-A merupakan kation berkoordinasi 12 seperti Bi^{3+} , Pb^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} , Ba^{2+} , dan lain sebagainya. Sedangkan, untuk kation-B merupakan kation berkoordinasi 6 seperti Fe^{3+} , Mn^{3+} , Ti^{4+} , V^{5+} , Ta^{5+} , W^{6+} , dan lain sebagainya (Wibowo, dkk., 2019). $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ (BIT) adalah salah satu golongan material aurivillius lapis tiga yang berpotensi digunakan sebagai material fotokatalis dengan energi celah pita sebesar 2,95 eV. Akan tetapi, material $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ini tidak terlalu efisien digunakan untuk fotokatalis karena energi celah pita yang tinggi (Liu, dkk., 2016).

Berbagai upaya dilakukan untuk memodifikasi senyawa BIT dengan tujuan meningkatkan aktivitas fotokatalitiknya. Teknik pendopongan pada material fotokatalis merupakan salah satu strategi yang efektif untuk menurunkan energi celah pita sehingga dapat bekerja pada daerah cahaya tampak 450-600 nm (Liu, dkk., 2017). Gu, dkk. (2017) dalam penelitiannya melaporkan bahwa energi celah pita dari senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ mengalami penurunan setelah di doping dengan Vanadium yaitu sebesar 2,67 eV ($x=0,05$) dan 2,37 eV ($x=0,1$). Liu, dkk. (2017) mensintesis senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ dengan doping Fe^{3+} dengan konsentrasi doping 2, 4, dan 6% mengalami penurunan energi celah pita sebesar 2,43; 2,36; dan 2,28 eV dan bekerja pada daerah sinar tampak 450-600 nm. Berdasarkan hal ini, diketahui bahwa semakin besar konsentrasi doping Fe yang digunakan maka energi celah pitanya akan semakin rendah. Logam Fe memiliki kelebihan yaitu stabil pada suhu

tinggi, memiliki sifat multivalen, efektif dalam menurunkan energi celah pita dan dapat menekan laju rekombinasi. Selain doping, faktor lain yang dapat mempengaruhi aktivitas fotokatalis adalah ukuran partikel, luas permukaan, dan morfologi.

Morfologi partikel berperan penting terhadap material fotokatalis (Yin, dkk., 2018; He, dkk., 2014). Ukuran partikel dan luas permukaan akan berpengaruh terhadap aktivitas fotokatalisis, ukuran partikel yang lebih kecil dan luas permukaan yang besar dapat meningkatkan efisiensi transfer muatan yang sangat dibutuhkan untuk menyerap cahaya tampak dan akan meningkatkan aktivitas fotokatalis (Chen, dkk., 2016). Material $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ memiliki luas permukaan yang besar (seperti lempengan), lempengan yang berukuran kecil akan memperpendek jarak migrasi pasangan elektron dan *hole* ke situs reaktif, medan listrik internal akan mendorong pemisahan yang efisien dari pembawa muatan yang diinduksi foton dan secara efektif menekan tingkat rekombinasi sehingga akan menghasilkan peningkatan besar dalam aktivitas fotokatalisis (Zhang, dkk., 2018). Munadhiroh. (2021) berhasil mensintesis senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ dengan doping Fe diperoleh bentuk kristal *plate-like* yang memiliki kemampuan adsorpsi yang sangat tinggi.

Beberapa metode banyak digunakan untuk mensintesis senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ antara lain, *solid-state reaction* (SSR) (He, dkk., 2014), *Sol-gel* (Yang, dkk., 2003), hidrotermal (Liu, dkk., 2020) dan lelehan garam. Metode lelehan garam banyak digunakan oleh peneliti karena merupakan metode sintesis sederhana yang memiliki beberapa kelebihan seperti suhu yang dibutuhkan untuk melakukan sintesis relatif rendah, memiliki kemampuan untuk mengontrol ukuran atau bentuk partikel, produk yang dihasilkan relatif murni dengan tingkat keseragaman tinggi,

ramah lingkungan, stabil, biaya relatif murah, garam mudah dihilangkan dengan penambahan air, garam mudah didapatkan, mengontrol aglomerasi (Agustina, 2020; Kimura, 2011). Berbagai macam garam yang digunakan untuk sintesis dalam metode lelehan garam telah dipelajari secara ekstensif, seperti KCl, NaCl, Na₂SO₄, K₂SO₄, dan campuran beberapa garam. Titik leleh dari campuran beberapa garam lebih rendah dibandingkan titik leleh garam tunggal (Kimura, 2011). Marella, dkk. (2021) telah berhasil mensintesis Bi₄Ti₃O₁₂ menggunakan garam tunggal NaCl dengan variasi suhu menghasilkan bentuk *plate-like* dengan ukuran yang berbeda-beda, garam NaCl digunakan dalam metode ini karena mudah ditemukan, harganya lebih terjangkau dan tidak toksik. Zhang, dkk. (2018) berhasil mensintesis Bi₄Ti₃O₁₂ terdoping Pr³⁺ menggunakan garam campuran NaCl-KCl pada suhu 800 dan 850 °C menghasilkan bentuk *plate-like* yang seragam (0,5-2 μm) dan halus dengan ketebalan 106 nm. Zhang dan Guo. (2011) juga melaporkan sintesis Bi₄Ti₃O₁₂ menggunakan metode lelehan garam campuran NaCl-KCl menghasilkan bentuk *plate-like*. Kelebihan dari penggunaan garam campuran NaCl-KCl adalah memiliki suhu eutetik yang lebih rendah yaitu sebesar 650 °C (Wibowo, dkk., 2019). Liu, dkk. (2020) mensintesis senyawa YVO₄: Sm³⁺ (2%), Eu³⁺ (3%) menggunakan metode lelehan garam dengan variasi garam NaNO₃, KNO₃, NaCl, dan KCl diperoleh morfologi partikel yang berbeda-beda pada setiap garam. Hal ini membuktikan bahwa perbedaan garam yang digunakan dalam sintesis akan berpengaruh terhadap morfologi senyawa.

Berdasarkan uraian diatas, dilakukan penelitian ini yang bertujuan untuk mengetahui struktur kristal, morfologi, ukuran partikel, dan energi celah pita material fotokatalisis Bi₄Ti_{2,9}Fe_{0,1}O₁₂ yang disintesis menggunakan metode lelehan

garam NaCl, KCl, dan NaCl-KCl. Hasil sintesis selanjutnya dikarakterisasi dengan menggunakan (a) teknik difraksi sinar-X (XRD) untuk identifikasi fasa yang terbentuk dan kemurniannya, (b) *scanning electron microscope-energy dispersive x-ray spectroscopy* (SEM-EDS) untuk identifikasi morfologi senyawa yang terbentuk, dan (c) *ultraviolet-visible diffuse reflectance spectrophotometer* (UV-Vis) DRS untuk identifikasi energi celah pita.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana struktur kristal, morfologi, ukuran partikel, dan energi celah pita material fotokatalisis $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ yang disintesis dengan metode lelehan garam pada variasi garam ?

1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur kristal, morfologi, ukuran partikel, dan energi celah pita material fotokatalisis $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ yang disintesis dengan metode lelehan garam pada variasi garam.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini yaitu:

- a. Rasio mol produk/garam adalah 1 : 7
- b. Waktu sintesis yang digunakan adalah 6 jam
- c. Suhu sintesis yang digunakan adalah 830 dan 855 °C

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi garam terhadap struktur kristal, morfologi, ukuran partikel, dan energi celah pita material fotokatalisis $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ yang disintesis dengan metode lelehan garam pada variasi garam.

BAB II

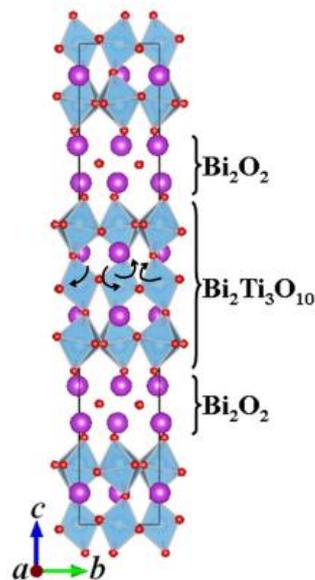
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Senyawa Bismut Titanat

Bismuth titanat ($\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$) termasuk dalam golongan material Aurivillius yang memiliki struktur perovskit berlapis. Lapisan bismuth titanat terdiri dari lapisan oksida $[\text{Bi}_2\text{O}_2]^{2+}$ dan lapisan perovskit $[\text{Bi}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}]^{2-}$ yang ditumpuk secara bergantian sepanjang sumbu c . Kedua lapisan tersebut membentuk medan listrik di dalamnya, yang akan mendorong pemisahan elektron dan *hole* untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitik. $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ merupakan semikonduktor dengan celah pita sempit karena hibridisasi pita valensinya oleh orbit Bi $6s^2$ dan orbit O $2p$, kedua orbit tersebut berinteraksi kuat sehingga mengurangi simetri $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ dan memiliki fluiditas muatan yang lebih tinggi, yang bermanfaat untuk pemisahan pembawa yang diinduksi sinar. Senyawa ini memiliki energi celah pita sebesar 2,95 eV dan memiliki laju rekombinan yang tinggi dari pasangan *hole-electron* (Liu, dkk., 2016 dan Zhang, dkk., 2018).

Senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ memiliki beberapa bentuk struktur yaitu dalam suhu ruang berbentuk monoklinik dan *orthorombik* dengan parameter kisi $a= 5,41 \text{ \AA}$, $b= 5,448 \text{ \AA}$, dan $c= 32,84 \text{ \AA}$. Sedangkan, ketika suhu pemanasan dinaikkan akan berubah menjadi bentuk tetragonal dan fasa paraelektrik (Zhang, dkk., 2018). Selain memiliki bentuk struktur yang beragam, senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ini memiliki stabilitas yang tinggi, kualitas optik yang tinggi dan metode untuk sintesisnya sederhana. Senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ini bersifat feroelektrik, luminesensi, dan

fotoelektrik (Ciu, dkk., 2016). Sifat feroelektrik pada senyawa ini bermanfaat dalam bidang sensor, perangkat optik, kapasitor, dan fotokatalis (Liu, dkk., 2017). Kemampuan fotokatalis pada senyawa ini berguna untuk memecah air untuk menghasilkan hidrogen atau mendegradasi polutan organik (Zhang, dkk., 2018). Struktur senyawa BIT ditunjukkan pada Gambar 2.1.



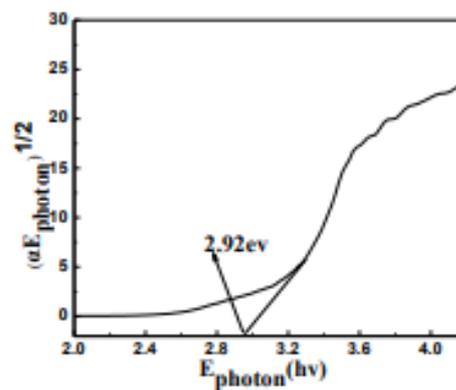
Gambar 2. 1 Struktur senyawa Bismut Titanat (Roy, dkk., 2013).

Pada strukturnya terdapat TiO_6 oktagonal atau TiO_4 tetrahedron, dan polihedron sambungan BiO_n mengandung stereo-aktif Bi^{3+} karena memiliki pasangan elektron bebas $6s^2$, sehingga $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ menunjukkan aktivitas katalitik yang baik (Wang, dkk., 2013).

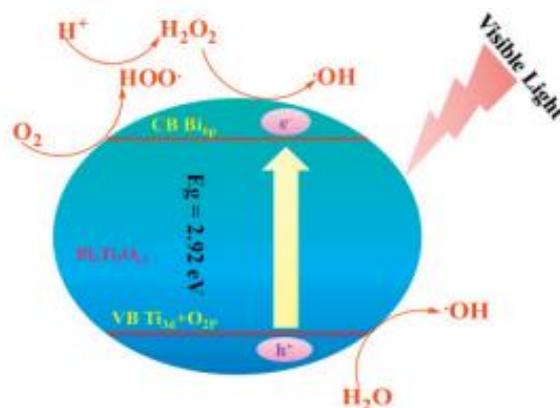
2.2. $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ sebagai Material Fotokatalisis

Material fotokatalis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ dilaporkan memiliki energi celah pita sebesar 2,9 eV (427 nm) (Liu, dkk., 2017). Spektrum DRS senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ditampilkan pada Gambar 2.2. Transisi elektronik pada senyawa BIT melibatkan pita valensi

(VB) ditempati oleh orbital O 2*p* dan Ti 3*d* sedangkan pita konduksi (CB) ditempati oleh orbital Bi 6*p*. Mekanisme fotokatalitiknya, ketika material Bi₄Ti₃O₁₂ dirangsang oleh cahaya tampak, elektron di VB dapat terangsang ke CB dan menghasilkan pasangan h^+/e^- yang bermigrasi ke permukaan katalis dan bereaksi dengan air dan oksigen untuk menghasilkan masing-masing radikal bebas $\cdot\text{OH}$ dan $\text{O}_2^{\cdot-}$. Spesies aktif menunjukkan kemampuan oksidasi yang tinggi dan mampu mengoksidasi polutan dan bahkan memineralisasi substrat menjadi CO₂ dan H₂O (Wang, dkk., 2013). Mekanisme fotokatalitik Bi₄Ti₃O₁₂ ditunjukkan pada Gambar 2.3.

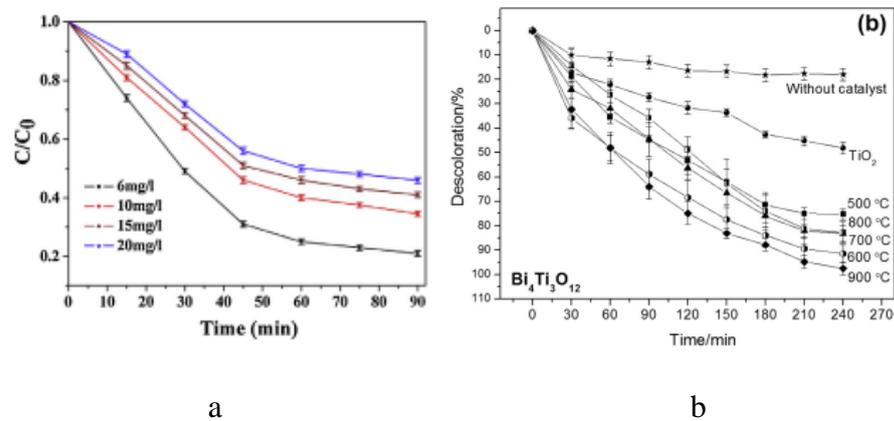


Gambar 2. 2 Spektrum UV- DRS senyawa Bi₄Ti₃O₁₂ (Wang, dkk., 2013).

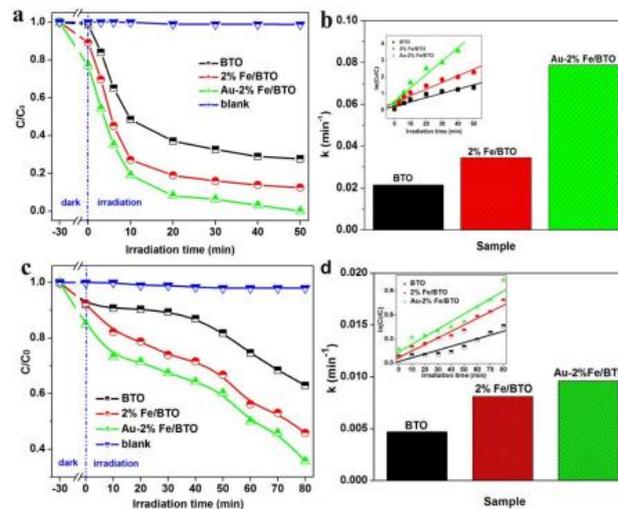


Gambar 2. 3 Mekanisme fotokatalitik Bi₄Ti₃O₁₂ (Wang, dkk., 2013).

Banyak peneliti telah melaporkan uji fotokatalitik pada senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$. Chen, dkk. (2016) mensintesis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ menggunakan metode sol-gel dan hidrotermal. Hasil yang diperoleh pada sintesis ini yaitu $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ mampu mendegradasi rhodamin B (RhB) 79,2% (konsentrasi awal 6 ppm) dalam waktu dibawah 90 menit. Nogueira, dkk. (2014) mensintesis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ menggunakan metode *oxidant peroxide method* (OPM) dan hasil yang diperoleh pada sintesis ini yaitu menunjukkan aktivitas fotokatalis dari senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ dengan suhu kalsinasi 900°C mampu mendegradasi zat warna sebanyak 98% pada energi celah pita 2,63 eV. Liu, dkk. (2017) melaporkan aktivitas fotokatalitik dari senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ *nanosheet* yang didoping Fe^{3+} dan penambahan logam Au berhasil mendegradasi bisphenol A dan phenol sebesar 99,2% dalam waktu 50 menit.



Gambar 2. 4 (a) Aktivitas fotokatalitik $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ untuk degradasi RhB (Chen, dkk., 2016); (b) aktivitas fotokatalitik $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ untuk degradasi zat warna (Nogueira, dkk., 2014).



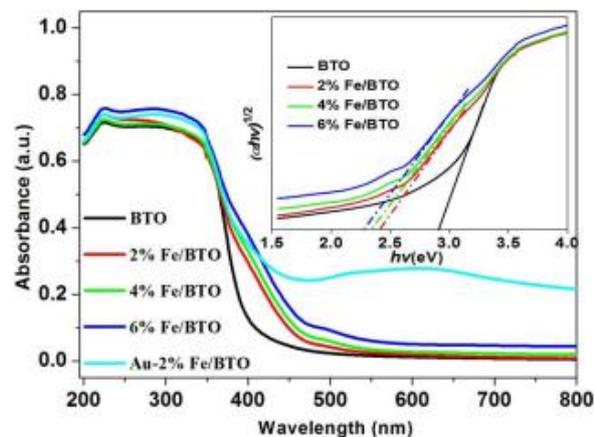
Gambar 2. 5 (a) dan (b) adalah aktivitas fotokatalitik untuk degradasi BPA dengan sampel yang berbeda dari Bi₄Ti₃O₁₂, 2%Fe/BTO dan Au-2%Fe/BTO di bawah sinar cahaya; (c) dan (d) adalah aktivitas fotokatalitik untuk degradasi fenol dengan sampel yang berbeda dari BTO, 2%Fe/BTO dan Au-2%Fe/BTO di bawah penyinaran cahaya (Liu, dkk., 2017).

2.3. Doping pada Senyawa Bi₄Ti₃O₁₂

Metode doping merupakan upaya untuk meningkatkan penyerapan cahaya tampak oleh bahan semikonduktor dengan menggunakan substitusi ion logam transisi, sehingga mengurangi energi celah pita yang berlebihan pada senyawa Bi₄Ti₃O₁₂ (Chen, dkk., 2016). Ukuran jari-jari ion logam yang menggantikan harus memiliki ukuran yang hampir sama dengan ion logam yang digantikan, pada substitusi kation bagian *B* harus memiliki ukuran antara 0,59–0,65 Å seperti W⁶⁺, Nb⁵⁺, Fe³⁺, V⁵⁺, Zr⁴⁺, dan lain-lain (Petrovic dan Bobic., 2018). Diantara ion logam transisi, ion Fe³⁺ dapat membentuk pita energi dopan dan mereduksi celah pita dari fotokatalis, maka elektron dapat tereksitasi oleh energi foton yang lebih rendah. Lebih penting lagi, Fe³⁺ dapat berubah menjadi ion Fe²⁺ atau Fe⁴⁺ masing-masing dengan menjebak elektron atau *hole* yang dihasilkan foton, yang dapat menghambat

proses rekombinasi dan meningkatkan aktivitas fotokatalitik. Selain itu, jari-jari Fe^{3+} (0,064 Å) mirip dengan Ti^{4+} (0,068 Å), sehingga ion Fe^{3+} dapat dengan mudah disubstitusi ke dalam kisi kristal $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ (Guo, dkk., 2017).

Liu, dkk. (2017) melaporkan sintesis senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ dengan didoping Fe^{3+} sebesar 2, 4, dan 6% menggunakan metode lelehan garam. Hasil karakterisasi menggunakan UV-Vis DRS ditunjukkan pada Gambar 2.6. Nilai energi celah pita dari $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, 2%Fe/BTO, 4%Fe/BTO, 6%Fe/BTO masing-masing yaitu 2,92; 2,43; 2,36; dan 2,28 eV. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan doping Fe^{3+} mampu menggeser serapan ke daerah sinar tampak (450-600 nm). Selain itu, semakin besar konsentrasi doping maka akan menghasilkan energi celah pita yang semakin kecil.



Gambar 2. 6 Spektra UV-Vis DRS dari $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ didoping Fe (2, 4, dan 6%) (Liu, dkk., 2017).

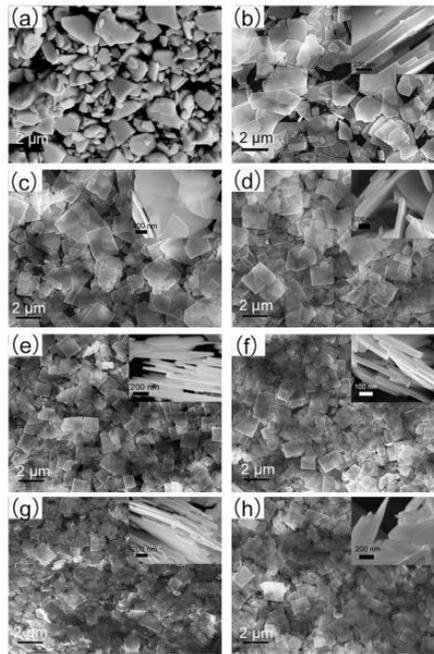
2.4. Pengaruh Morfologi terhadap Aktivitas Fotokatalis

Sifat fotokatalitik semikonduktor sangat bergantung pada morfologi dan ukuran partikel. Luas permukaan yang tinggi, keseragaman tinggi, ketebalan rendah, dan struktur hierarkis (kosong) dan berongga dapat meningkatkan

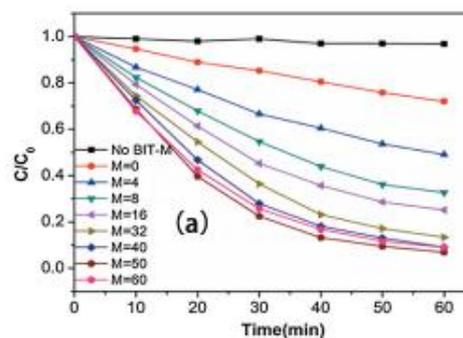
penyerapan cahaya dan aksesibilitas fotokatalis sehingga memungkinkan percepatan migrasi *electron-hole* ke permukaan dan meningkatkan fotokatalis (He, dkk., 2018). Pemilihan metode sintesis dapat digunakan untuk mengatur ukuran dan morfologi partikel.

He, dkk. (2014) melakukan sintesis senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ menggunakan garam NaCl dan KCl dengan penambahan rasio molar garam. Dapat dilihat dari hasil karakterisasi SEM ditampilkan pada Gambar 2.7 dan menunjukkan bahwa semua produk hasil sintesis menggunakan metode lelehan garam mempunyai morfologi *plate-like*, sedangkan metode sintesis *solid-state* menghasilkan partikel *bulk* yang tidak beraturan. Pada perlakuan rasio mol garam (NaCl dan KCl) sebesar 50 ($M = 50/\text{BTO}-5$) menunjukkan partikel memiliki ukuran yang lebih kecil berdasarkan panjangnya dengan frekuensi persebaran pada rentang 0,3–0,5 μm .

Senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ yang diperoleh dari metode lelehan garam memiliki bentuk kristal yang lebih seragam dibandingkan dengan metode *solid-state reaction*, sehingga metode lelehan garam mempunyai aktivitas fotokatalis lebih tinggi. Dapat dilihat dari laju degradasi rhodamin B yang ditampilkan pada Gambar 2.8 hasil degradasi rhodamin B terbaik pada penggunaan metode lelehan garam perlakuan $M = 50$ diperoleh ~93% dalam waktu 60 menit. Sedangkan untuk metode *solid-state* hanya mampu mendegradasi sebesar ~25% dalam waktu yang sama. Sehingga dapat diketahui bahwa metode lelehan garam dapat mendegradasi rhodamin B pada semua perlakuan M lebih baik dibandingkan dengan metode *solid-state reaction* (He, dkk., 2014).



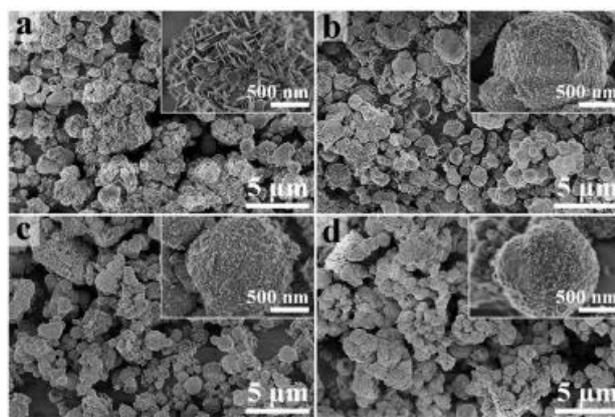
Gambar 2. 7 Hasil karakterisasi SEM senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ (a) metode solid-state dan metode lelehan garam pada $800\text{ }^\circ\text{C}$ dengan rasio molar garam (b) 4; (c) 8; (d) 16; (e) 32; (f) 40; (g) 50; (h) 60 (He, dkk., 2014).



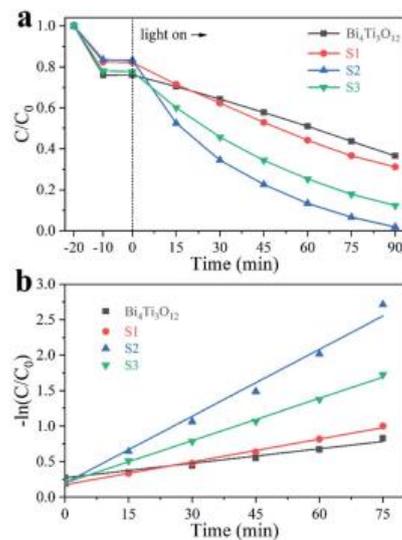
Gambar 2. 8 Laju degradasi rhodamin B dengan sinar tampak pada pH 5,3 (He, dkk., 2014).

Hasil lain dilaporkan oleh Liu, dkk. (2020) yang mensintesis senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ menggunakan metode hidrotermal dengan doping Fe. Dapat dilihat dari hasil karakterisasi SEM yang ditampilkan pada Gambar 2.9 menunjukkan struktur $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ berbentuk bola kecil yang berasal dari kumpulan *nanosheets* (Gambar

2.9a). Struktur khusus ini berasal dari efek *self assembly nanomaterials* dalam proses sintesis hidrotermal. Setelah dilakukan penambahan Fe, pada penambahan Fe sebesar 0,64 mmol (S1) diperoleh bentuk kristal bola kecil dengan permukaan dibentuk dari kumpulan nanopartikel, sedangkan untuk penambahan konsentrasi Fe sebesar 0,96 mmol (S2) dan 1,6 mmol (S3) diperoleh bentuk kristal bola kecil yang dibentuk dari kumpulan *nanosheets* dengan ukuran kristal berkurang secara signifikan dibandingkan dengan $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$. Aktivitas fotokatalitik senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ menggunakan metode hidrotermal dengan doping Fe ditampilkan pada Gambar 2.10. Hasil fotodegradasi dari larutan *methylen blue* 20 mg/L dengan adanya katalis yang berbeda setelah 90 menit penyinaran di bawah lampu Xe (menghasilkan sinar tampak dan sinar UV) diperoleh sebesar 63,5% dengan adanya $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$. Setelah dilakukan penambahan Fe dalam sampel efisiensi fotodegradasi secara signifikan meningkat. Persentase degradasi yang dicapai S1, S2, dan S3 masing-masing adalah 68,8; 98,2; dan 87,7%. Hasil ini menunjukkan bahwa S2 memiliki aktivitas fotokatalisis tertinggi diantara sampel-sampel lain.



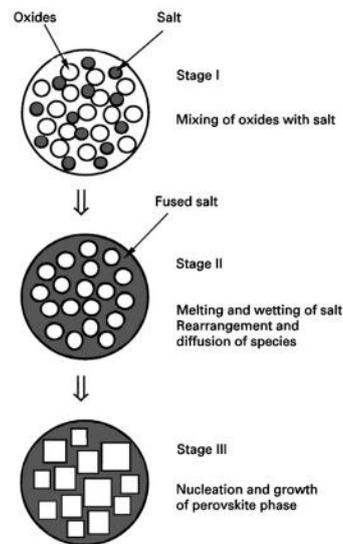
Gambar 2. 9 Hasil karekterisasi SEM senyawa (a) $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, (b) S1, (c) S2, dan (d) S3 (Liu, dkk., 2020).



Gambar 2. 10 Hasil karakterisasi SEM senyawa (a) $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, (b) S1, (c) S2, dan (d) S3 (Liu, dkk., 2020).

2.5. Metode Lelehan Garam

Sintesis lelehan garam merupakan salah satu metode pembuatan serbuk keramik yang melibatkan lelehan garam sebagai media untuk pembuatan oksida kompleks dari bahan penyusunnya (oksida dan karbonat). Sintesis garam cair merupakan modifikasi dari metode metalurgi serbuk. Garam dengan titik leleh rendah ditambahkan ke dalam reaktan kemudian dipanaskan di atas titik leleh garam (Kimura, 2011). Garam yang paling sering digunakan adalah NaCl, KCl, Na_2SO_4 , K_2SO_4 , dan campurannya pada titik eutektik yang menurunkan suhu leleh (Moire, 2018). Keunggulan metode lelehan garam ini dibandingkan dengan metode yang lain yaitu (1) metode lelehan garam merupakan salah satu metode paling sederhana dan sangat hemat biaya; (2) membutuhkan waktu sintesis lebih singkat (He, dkk., 2014); (3) ramah lingkungan; (4) morfologi dapat dikontrol; (5) suhu sintesis relatif rendah (Xue, dkk., 2018).



Gambar 2. 11 Skema metode lelehan garam (Xue, dkk., 2018).

Metode lelehan garam terbagi menjadi 3 tahap, pada tahap I dicampurkan prekursor dengan garam yang diinginkan dengan perbandingan rasio garam lebih besar daripada sampel. Tahap II, campuran dipanaskan pada suhu di atas titik leleh garam yang digunakan untuk membentuk *fluks* cair, pada suhu ini molekul precursor akan menyebar, terdisosiasi, mengatur ulang, dan kemudian berdifusi dengan cepat ke seluruh garam. Pada tahap II, partikel produk mulai berinti dan tumbuh melalui proses pengendapan larutan. Karakteristik produk dikendalikan dengan memilih suhu dan durasi pemanasan. Selanjutnya, produk didinginkan sampai suhu kamar dan dicuci dengan pelarut yang sesuai (biasanya menggunakan air) untuk menghilangkan garam (Xue, dkk., 2018). Skema metode lelehan garam ditunjukkan pada Gambar 2.11.

Faktor-faktor yang mempengaruhi hasil sintesis menggunakan metode lelehan garam yaitu:

a. Suhu Sintesis

Suhu dapat mempengaruhi struktur morfologi kristal, semakin tinggi suhu pemanasan maka morfologi kristal yang diperoleh relatif semakin besar. Hal ini disebabkan, pada suhu tinggi energi permukaan partikel akan menurun sehingga akan terbentuk partikel yang semakin baik (Zhao, dkk., 2014).

b. Jenis Garam

Jenis garam yang digunakan secara signifikan akan mempengaruhi morfologi partikel dari produk yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena perbedaan ukuran anion garam dan kelarutan oksida penyusun dalam *fluks* garam (Kan, dkk., 2003).

c. Jenis Prekursor

Jenis prekursor akan berpengaruh terhadap morfologi partikel yang terbentuk. Penggunaan jenis prekursor awal yang berbeda menghasilkan morfologi partikel yang berbeda. Hal ini disebabkan karena tempat pembentukan *template* terletak pada prekursor awal (Cai, dkk., 2007).

d. Waktu Pemanasan

Waktu pemanasan berpengaruh terhadap morfologi partikel yang dihasilkan. Peningkatan waktu pemanasan akan menghasilkan morfologi partikel menjadi teratur dan homogen dengan ukuran partikel yang semakin besar. Selain itu, peningkatan waktu pemanasan juga akan mengurangi intensitas pengotor (Liu, dkk., 2015).

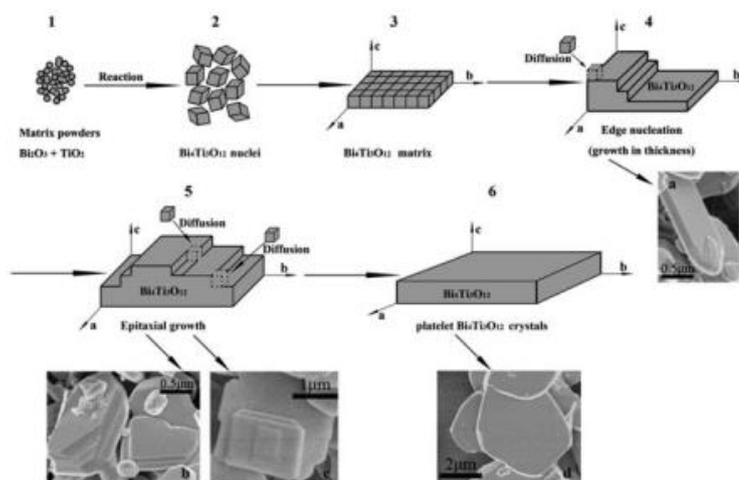
e. Laju penurunan suhu sintesis (Proses pendinginan)

Laju penurunan suhu sintesis akan mempengaruhi ukuran partikel kristal yang dihasilkan. Ukuran partikel dapat meningkat melalui proses pendinginan yang

lambat. Selain itu, proses pendinginan juga berpengaruh terhadap rasio diameter dan ketebalan dari kristal yang dihasilkan. Proses pendinginan yang lambat akan mengakibatkan pendinginan mendadak dan dapat mencegah proses nukleasi secara spontan (Zhao, dkk., 2014).

2.6. Sintesis Senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ menggunakan Metode Lelehan Garam

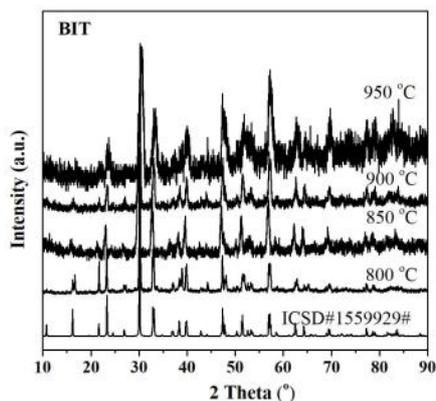
Zhao, dkk. (2014) melaporkan mekanisme pembentukan $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ menggunakan metode lelehan garam yang menghasilkan bentuk *plate-like*. Terdapat 4 mekanisme pembentukan $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ *plate-like* yaitu: (1) reaksi padatan dan nukleasi, (2) membentuk matriks *plate-like*, (3) difusi dan nukleasi tepi, (4) difusi dan pertumbuhan kristal. Ilustrasi proses pembentukan $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ *plate-like* ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Proses pembentukan $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ *plate-like* (Zhao, dkk., 2014).

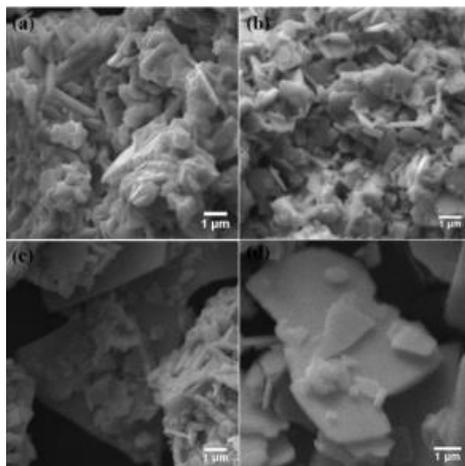
Marella, dkk. (2021) berhasil mensintesis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ menggunakan metode lelehan garam NaCl dengan variasi suhu 800, 850, 900, dan 950°C. Pola difraksi sinar-X ditunjukkan pada Gambar 2.13. Hasil tersebut menunjukkan bahwa

diperoleh senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ murni tanpa adanya pengotor. Pada suhu $950\text{ }^\circ\text{C}$ terjadi pertumbuhan kristal lebih cepat yang mengakibatkan kumpulan atom tidak teratur, sehingga sampel pada suhu ini memiliki kristalinitas yang lebih sedikit dibandingkan dengan sampel lain.



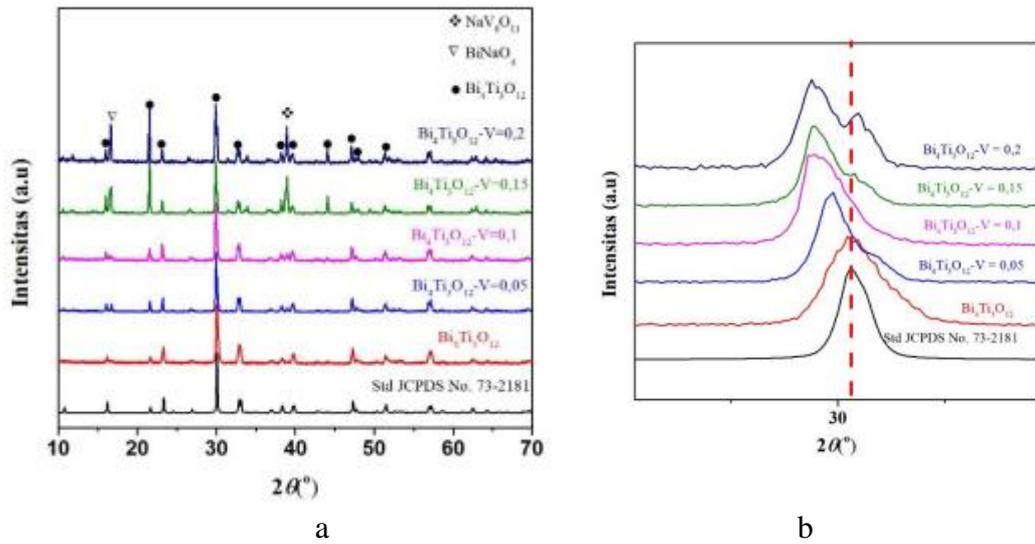
Gambar 2. 13 Pola difraksi sinar-X pada $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ menggunakan metode lelehan garam NaCl dengan variasi suhu 800 ; 850 ; 900 ; dan $950\text{ }^\circ\text{C}$ (Marella, dkk., 2021).

Gambar SEM senyawa produk yang ditunjukkan pada Gambar 2.14. Dapat dilihat bahwa partikel $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ pada suhu 800 dan $850\text{ }^\circ\text{C}$ lebih kecil, dan akan menjadi lebih besar seiring peningkatan suhu. Hal ini disebabkan oleh laju nukleasi pada suhu tersebut lebih cepat sehingga menghasilkan ukuran partikel yang kecil karena pembentukan inti kristal yang cepat. Sedangkan, pada suhu yang lebih tinggi (900 dan $950\text{ }^\circ\text{C}$) secara signifikan ukuran partikel lebih besar karena laju difusi atom dan laju pertumbuhan kristal lebih cepat sehingga ukuran partikel yang diperoleh lebih besar (Marella, dkk., 2021).

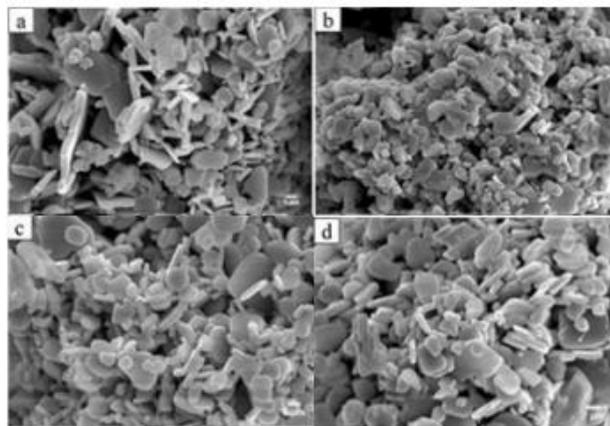


Gambar 2. 14 Hasil karakterisasi SEM senyawa yang disintesis dengan variasi suhu (a) 800; (b) 850; (c) 900; dan (d) 950 °C (Marella, dkk., 2021).

Hasil penelitian lain yang dilakukan oleh Agustina, dkk. (2020) yang mensintesis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ terdoping vanadium dengan metode lelehan garam tunggal NaCl dengan pemanasan pada suhu 900 °C selama 8 jam. Difraktogram senyawa produk ditunjukkan pada Gambar 2.15 dan diketahui terdapat senyawa pengotor yaitu senyawa $\text{NaV}_6\text{O}_{11}$ dan BiNaO_3 . Berdasarkan Gambar 2.16 diketahui terdapat pergeseran puncak pada $2\theta (^{\circ}) = 30,1$ hal ini mengindikasikan bahwa terdapat perubahan parameter kisi yang memungkinkan terjadi pergantian logam vanadium pada sebagian posisi Ti^{4+} . Gambar SEM produk ditampilkan pada Gambar 2.17 menunjukkan morfologi partikel senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{3-x}\text{V}_x\text{O}_{12}$ ($x = 0, 0,05; 0,1; 0,15$ dan $0,2$) memiliki bentuk *plate-like* atau lempengan dan tidak terbentuk aglomerasi.



Gambar 2. 15 (a) Hasil difraktogram senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$; (b) Hasil puncak difraktogram senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{3-x}\text{V}_x\text{O}_{12}$ ($x = 0, 0,05; 0,1; 0,15$ dan $0,2$) pada posisi 2θ (°) = $30,1$ (Agustina, dkk., 2020).



Gambar 2. 16 (a) Hasil difraktogram senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$; (b) Hasil puncak difraktogram senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{3-x}\text{V}_x\text{O}_{12}$ ($x = 0, 0,05; 0,1; 0,15$ dan $0,2$) pada posisi 2θ (°) = $30,1$ (Agustina, dkk., 2020).

2.7. Menjaga Kelestarian Lingkungan dalam Perspektif Islam

Lingkungan merupakan sumber kehidupan bagi makhluk hidup yang berada di bumi. Pencampuran lingkungan dengan zat beracun mengakibatkan fungsi udara, air, dan tanah yang diperlukan menurun, dan dapat dikatakan bahwa lingkungan tercemar (Habibaturrahim dan Bakrie., 2020). Permasalahan yang terjadi ini sebagian besar disebabkan oleh manusia yang melakukan perbuatan melewati batas sehingga menimbulkan kerusakan. Sebagaimana firman Allah SWT pada surat ar-Rum ayat 41:

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

Artinya: *“Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar) (Q.S. ar-Rum: 41).*

Berdasarkan tafsir Ibnu Katsir dalam jurnal Nurhayati, dkk. (2018) Ayat tersebut menjelaskan bahwa berkurangnya hasil tanaman dan buah-buahan disebabkan oleh perbuatan maksiat yang dilakukan para penghuninya. Selain itu, Al-Razi dalam jurnal Hakim dan Munawir. (2020) berpendapat bahwa segala kerusakan yang terjadi disebabkan oleh kesyirikan manusia. Menurut Al-Razi kesyirikan tidak hanya pada keyakinan maupun teologi. Akan tetapi, dilakukan juga oleh anggota tubuh. Selain itu, Al-Razi juga menegaskan bahwa kemaksiatan yang dilakukan oleh seseorang tidak akan berdampak buruk pada Allah, melainkan akan berdampak buruk pada dirinya sendiri (Hakim dan Munawir., 2020). Tafsir Al-Maraghi dalam jurnal Ratnasari dan Chodijah. (2020) dijelaskan bahwa Allah memberikan peringatan kepada orang-orang yang melakukan kerusakan di bumi

dengan adanya banjir, kekeringan, kekurangan pangan, dan kebakaran hutan. Akan tetapi, mereka tidak mengindahkan peringatan-peringatan tersebut untuk kembali kejalan yang benar. Sementara itu, dalam surat al-A'raf ayat 56 Allah telah berfirman:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ

Artinya: “Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya dan berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik.” (Q.S. al-A'raf (7): 56).

Berdasarkan tafsir Ibnu Katsir pada lafadz *وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ* menegaskan bahwa Allah SWT melarang tindakan yang menyebabkan kerusakan di bumi seperti kemaksiatan, kelestarian lingkungan setelah diperbaiki dan pencemaran lingkungan. Sedangkan, pada lafadz *الْمُحْسِنِينَ* manusia diberi rahmat atas perbuatan baik dengan menjaga atau tidak merusak lingkungan seperti mengolah limbah zat warna sebelum dibuang ke sungai (Cahyo, 2020). Selain itu, berdasarkan tafsir Al-Misbah dalam jurnal Mustakim. (2011) dijelaskan bahwa melakukan perbuatan kerusakan merupakan salah satu bentuk tindakan yang melampaui batas. Allah menciptakan alam semesta dalam kondisi baik yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan makhluk dan memerintahkan untuk memperbaikinya (Mustakim., 2011).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan November–Desember 2022 yang bertempat di Laboratorium Kimia Fisika Edukasi, Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat gelas, neraca analitik, mortar *agate*, tanur, *hotplate*, krus alumina, oven, aluminium foil, kertas saring, seperangkat instrumen XRD, seperangkat instrumen SEM-EDS, dan seperangkat instrumen UV-Vis DRS.

3.2.2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Bi_2O_3 (Sigma-Aldrich, 99,9%), TiO_2 (Sigma-Aldrich 99,9%), NaCl (Merck 99,5%, serbuk), KCl (Merck, 99,5% serbuk), $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (Himedia, 99,9%), AgNO_3 (Merck, larutan 2,5%), aseton, dan akuades.

3.3. Tahapan Penelitian

a. Preparasi Bahan

Proses ini mencakup pengadaan bahan dan alat, perhitungan jumlah bahan, penggilingan material awal, proses homogenasi.

b. Sintesis $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ dengan lelehan garam

Proses ini mencakup pemanasan sampel pada suhu 830 dan 855 °C selama 6 jam, kemudian didinginkan pada suhu ruang lalu dilakukan pencucian menggunakan akuades panas untuk menghilangkan garam.

c. Karakterisasi

Proses ini mencakup (a) analisis produk menggunakan XRD, (b) analisis morfologi produk menggunakan SEM-EDS, dan (c) analisis perubahan nilai energi celah pita menggunakan UV-Vis DRS.

3.4. Prosedur Kerja

3.4.1. Preparasi Bahan

Sintesis $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ sebanyak 3 gram dengan jumlah prekursor Bi_2O_3 , TiO_2 , dan Fe_2O_3 yang digunakan sesuai pada Tabel 3.1. Kemudian, dihomogenkan prekursor dengan cara digerus dengan mortar *agate* selama 1 jam dan dihomogenkan sampel dengan ditambahkan aseton.

3.4.2. Sintesis $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ dengan lelehan garam

Dihomogenkan prekursor dan garam dengan perbandingan molar antara prekursor dan garam sebesar 1 : 7 dengan cara digerus menggunakan mortar *agate* selama 1 jam. Selanjutnya, dipanaskan pada suhu 830 dan 855 °C selama 6 jam. Hasil pemanasan dikeluarkan dari tanur dan diletakkan di atas kertas saring, kemudian di saring menggunakan corong *Buchner*. Sampel selanjutnya dicuci menggunakan akuades panas beberapa kali untuk menghilangkan garam alkali dan dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 90 °C hingga kering (Zhao, dkk., 2014).

Tabel 3. 1 Massa tiap prekursor untuk mendapatkan senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$.

Variasi Garam	Target Massa Produk (gram)	Massa Pereaksi (gram)				
		Bi_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	NaCl	KCl
NaCl	3	2,3848	0,5929	0,0205	1,0450	-
KCl		2,3848	0,5929	0,0205	-	1,3353
NaCl/KCl (1:7:7)		2,3848	0,5929	0,0205	1,0450	1,3353
NaCl/KCl (1:3,5:3,5)		2,3848	0,5929	0,0205	0,5225	0,6677

3.4.3. Karakterisasi $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ dengan XRD

Tujuan dari karakterisasi menggunakan XRD untuk mengetahui struktur Kristal dan identifikasi fasa produk sintesis. Karakterisasi dilakukan pada suhu kamar menggunakan XRD dengan radiasi $\text{Cu } K\alpha$ pada kV dan 30 mA pada rentang 2θ ($^\circ$)= 10-90 (Ranieri, dkk., 2013).

3.4.4. Karakterisasi $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ dengan SEM-EDS

Tujuan dari karakterisasi menggunakan SEM-EDS untuk mengetahui bentuk morfologi, ukuran partikel dan komposisi unsur penyusun produk sintesis. Karakterisasi dilakukan menggunakan SEM-EDS dengan perbesaran 2.000; 7.000; 15.000; dan 20.000 kali.

3.4.5. Karakterisasi $\text{Bi}_4\text{Ti}_{0,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ dengan UV-Vis DRS

Tujuan dari karakterisasi menggunakan UV-Vis DRS untuk mengetahui intensitas cahaya yang diserap UV maupun sinar tampak. Digerus sampel sampai berbentuk serbuk halus kemudian diletakkan pada *sample holder*.

Karakterisasi menggunakan UV-Vis DRS diukur pada panjang gelombang 200-900 nm (Gu, dkk., 2017; Zhang, dkk., 2018).

3.5. Analisis Data

3.5.1 Analisis Data XRD

Data hasil karakterisasi menggunakan XRD merupakan pola difraksi sinar- X yang akan dibandingkan dengan standar yang terdapat pada pusat data *Inorganic Crystal Structure Database* (ICSD). Dari data XRD yang diperoleh kemudian dilakukan analisa dengan perangkat lunak Rietica menggunakan metode *Le-Bail* untuk mengidentifikasi data kristalografi. Selain itu, data difraksi sinar- X juga dapat menunjukkan kristalinitas dan kemurnian hasil sintesis $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ (Ranieri, dkk., 2013).

3.5.2 Analisis Data SEM-EDS

Hasil sintesis $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ yang dikarakterisasi dengan SEM-EDS berupa gambar yang berisi morfologi, ukuran partikel, dan komposisi unsur-unsur penyusun dari senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$. Gambar yang diperoleh akan dianalisa menggunakan perangkat lunak *image-J* (Handayani, 2018).

3.5.3 Analisis Data UV-Vis DRS

Hasil sintesis $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ yang dikarakterisasi dengan UV-Vis DRS berupa data reflektansi. Data reflektansi dianalisa menggunakan persamaan Kubelka-Munk yang ditunjukkan pada persamaan 3.1 (Gu, dkk., 2017; Yurdakal, dkk., 2019).

$$F(R) = \left(\frac{(1-R)^2}{2R} = \frac{K}{S} \right) \dots \dots \dots (3.1)$$

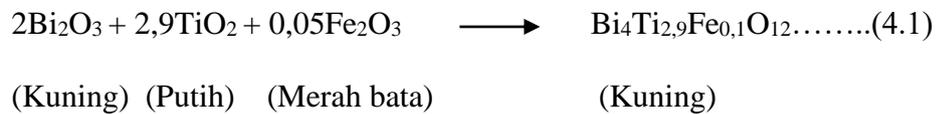
Dimana $F(R)$ merupakan faktor Kubelka-Munk, K adalah koefisien absorpsi molar, S adalah koefisien *scattering*, dan R adalah nilai reflektan yang diukur. Nilai energi celah pita ditentukan dari membuat plot antara *energy* foton ($h\nu$) (sebagai sumbu x) dan $(F(R).h\nu)^{1/2}$ (sebagai sumbu y). Energy foton ($h\nu$) bisa dihitung dari data panjang gelombang yang terukur, dimana $h\nu = hc/\lambda$ dengan c adalah tetapan cahaya dan h adalah tetapan Planck. Energi celah pita dihitung secara regresi linier pada nilai x ($h\nu =$ energi celah pita) ketika $y = 0$ (Gu, dkk., 2017; Yurdakal, dkk., 2019).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Sintesis Senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ Menggunakan Lelehan Garam

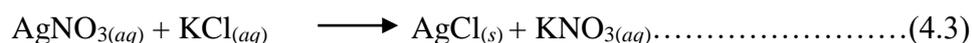
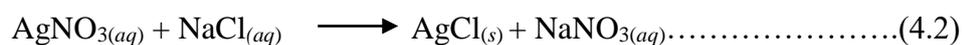
Senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ disintesis dengan mereaksikan prekursor (Bi_2O_3 , TiO_2 , dan Fe_2O_3) dengan garam (NaCl , KCl , dan NaCl-KCl) sintesis dilakukan dengan penggerusan prekursor dan garam dengan komposisi sesuai yang telah dihitung secara stoikiometri serta dilakukan penambahan aseton yang bertujuan untuk meningkatkan homogenitas sampel. Setelah itu, dilakukan dua kali pemanasan dengan suhu 830 dan 855 °C selama 6 jam. Reaksi yang terjadi dalam sintesis $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ ditunjukkan dalam persamaan 4.1.



Gambar 4.1 menunjukkan perubahan warna dari sampel sebelum dan sesudah pemanasan yang awalnya berwarna merah muda menjadi kuning. Hal ini mengindikasikan terbentuknya senyawa baru, berdasarkan dengan reaksi kimia yang terjadi pada persamaan 4.1.

Selanjutnya, senyawa hasil sintesis dicuci menggunakan aquades panas untuk menghilangkan kandungan garam yang terdapat pada senyawa dengan dilakukan pengecekan menggunakan larutan AgNO_3 , apabila kandungan garam tersebut telah menghilang ditandai dengan tidak terbentuk endapan putih pada

filtrat. Reaksi yang terjadi pada proses ini ditampilkan pada persamaan 4.2 dan 4.3. Setelah dipastikan produk bersih, lalu dilakukan pengeringan produk dengan pemanasan pada suhu 90 °C selama 3 jam.



4.2. Karakterisasi $\text{Bi}_4\text{Ti}_2,9\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ Menggunakan XRD

Senyawa produk dikarakterisasi menggunakan XRD untuk memperoleh mengetahui fasa dan struktur kristalnya. Difraktogram senyawa produk dibandingkan dengan data standar ICSD BIT (No. 87808). Hasil difraktogram yang diperoleh ditampilkan dalam Gambar 4.2.

Berdasarkan difraktogram tersebut pola difraksi senyawa produk memiliki kesesuaian dengan pola difraksi data standar $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ (ICSD No. 87808). Kesesuaian tersebut diantaranya berada pada puncak 2θ (°) = 21,63; 23,33; 26,87; 30,06; 32,87; 38,35; dan 47,3°. Akan tetapi, pada garam NaCl, NaCl-KCl (1:3,5:3,5) dan NaCl-KCl (1:7:7) ditemukan pengotor atau puncak baru pada 2θ (°) = 27,82; 27,84; dan 27;80° yang diidentifikasi sebagai puncak difraksi senyawa Bi_2O_3 (ICSD No. 172529). Selain itu, pada garam NaCl dan NaCl-KCl (1:3,5:3,5) juga ditemukan pengotor atau puncak baru pada 2θ (°) = 39,2 dan 39,3° yang diidentifikasi sebagai puncak difraksi senyawa TiO_2 rutil (ICSD No. 23697). Adanya pengotor yang berasal dari prekursor pada sintesis ini dipengaruhi oleh jenis garam yang digunakan. Kelarutan reaktan (prekursor) dalam lelehan garam berperan penting dalam metode ini, dimana kelarutan reaktan terhadap garam akan

berpengaruh terhadap laju reaksi. Reaktan yang lebih larut akan larut ke dalam garam terlebih dahulu dan kemudian berdifusi ke permukaan reaktan yang kurang larut dan akan bereaksi untuk membentuk fase produk (Safaei-Naeini, dkk., 2012). Pengotor dalam bentuk prekursor tersebut menandakan bahwa reaksi yang terjadi pada proses sintesis belum sempurna. Chang, dkk. (2014) melaporkan dalam penelitiannya bahwa sampel yang disintesis menggunakan garam KCl tidak ditemukan adanya pengotor (murni) sedangkan sampel yang disintesis dengan garam NaCl ditemukan adanya pengotor. Hal ini terjadi karena adanya perbedaan kelarutan antara prekursor dengan garam yang dipakai, dimana prekursor (TiO_2) lebih larut dalam lelehan garam KCl dibandingkan dengan lelehan garam NaCl. Selain itu, titik leleh garam KCl lebih rendah dibandingkan dengan titik leleh garam NaCl sehingga garam KCl akan lebih dahulu meleleh dan prekursor akan lebih dahulu bereaksi pada lelehan garam tersebut. Pengotor pada lelehan garam NaCl-KCl (1:3,5:3,5) lebih banyak dibandingkan dengan lelehan garam NaCl-KCl (1:7:7). Hal ini dikarenakan pada garam NaCl-KCl (1:3,5:3,5) memiliki komposisi garam yang lebih sedikit sehingga akan mengakibatkan fungsi dari lelehan garam sebagai media untuk bereaksi tersebut tidak berjalan secara sempurna.

Puncak khas senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ ditunjukkan pada Gambar 4.3 pada posisi 2θ ($^\circ$) = 30,35; 30,18; 30,23; dan 30,14. Berdasarkan gambar tersebut juga dapat diketahui bahwa terjadi pergeseran posisi puncak pada 2θ ($^\circ$) = 30,06 yang lebih besar atau ke arah kanan. Pergeseran yang terjadi ini disebabkan karena adanya doping Fe^{3+} (0,064 nm) yang memiliki jari-jari lebih kecil dibandingkan dengan ukuran jari-jari Ti^{4+} (0,068 nm) (Guo, dkk. 2017 dan Liu, dkk. 2020). Pergeseran

ini menandakan terjadi perubahan parameter kisi yang dapat dilihat dari hasil *refinement*.

4.3. *Refinement* Data XRD $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$

Proses selanjutnya adalah dilakukan *refinement* untuk memperoleh informasi data kristalografinya. *Refinement* ini dilakukan menggunakan aplikasi Rietica dengan menggunakan metode *Le Bail* dan menggunakan data standar ICSD BIT (No. 87808). Plot *refinement* senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ yang disintesis menggunakan garam KCl dapat dilihat pada Gambar 4.4.

Berdasarkan Gambar 4.4 simbol yang berwarna hitam mewakili puncak yang dihasilkan oleh sampel, simbol warna merah mewakili puncak dari perhitungan *Rietica*, simbol warna hijau mewakili sampel yang sesuai dengan perhitungan *Rietica*, dan simbol berwarna biru mewakili puncak yang seharusnya ada dalam sampel (Rodhiyah, 2018). Data hasil *refinement* dirangkum pada Tabel 4.1. Nilai R_p (%) dan R_{wp} (%) sampel hasil sintesis masih dalam rentang rendah kurang dari 10%. Nilai R_p (%) menunjukkan perbedaan antara data observasi dan kalkulasi, sedangkan R_{wp} merupakan berat residual (sisa), sehingga apabila nilai R_p (%) dan R_{wp} (%) rendah maka tingkat kecocokan antara data sampel dengan data standar semakin tinggi.

Tabel 4.1 menunjukkan hasil *refinement* $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ dengan garam KCl mengalami perubahan panjang parameter kisi kristal a , b , dan c . Hal ini mengindikasikan bahwa perbedaan jenis garam menyebabkan perubahan panjang kisi kristal sampel. Akan tetapi perbedaan jenis garam tidak mengubah sistem kristal maupun grup ruang. Sedangkan, nilai R_p dan R_{wp} yang diperoleh dibawah 10

yang menandakan bahwa pola difraksi XRD sampel memiliki kecocokan yang tinggi dengan pola difraksi XRD standar.

4.4. Karakterisasi $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ Menggunakan SEM-EDS

Morfologi partikel senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ yang dikarakterisasi menggunakan SEM ditampilkan pada Gambar 4.5. Dilihat dari gambar tersebut menunjukkan bahwa morfologi partikel senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ memiliki bentuk *plate-like*. Bentuk ini memiliki kecocokan dengan yang dilaporkan oleh Marella, dkk. (2021) dimana bentuk *plate-like* ini merupakan bentuk khas dari senyawa Aurivillius. Sampel yang disintesis menggunakan garam NaCl memiliki ketebalan yang tipis, tidak teratur dan mengalami aglomerasi. Sedangkan untuk sampel KCl, NaCl-KCl (1:3,5:3,5), dan NaCl-KCl (1:7:7) memiliki ketebalan yang relatif tebal, dengan tingkat keteraturan yang relatif tinggi dan terjadi aglomerasi pada garam NaCl-KCl (1:3,5:3,5). Apabila dilihat Gambar 4.5c dan Gambar 4.5d terjadi perbedaan morfologi, dimana pada penggunaan campuran garam dengan perbandingan 1:7:7 memiliki morfologi yang lebih teratur dan memiliki tingkat aglomerasi yang rendah dibandingkan dengan penggunaan garam campuran dengan perbandingan 1:3,5:3,5. Hal ini dipengaruhi oleh komposisi garam, dalam Kimura. (2011) dan Gupta dan Mao. (2021) dilaporkan bahwa komposisi garam berperan penting dalam metode lelehan garam, apabila komposisi garam terlalu kecil maka fungsi dari lelehan garam sebagai media untuk bereaksi tersebut tidak berjalan secara sempurna.

Berdasarkan Gambar 4.5 dapat diketahui bahwa masing-masing jenis garam yang digunakan dalam sintesis akan menghasilkan bentuk, ukuran dan morfologi

dari senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ yang berbeda-beda. Rata-rata ukuran partikel sintesis menggunakan garam KCl akan menghasilkan ukuran partikel yang relatif kecil dengan rentang ukuran sebesar 0-800 nm dan rata-rata ukuran sebesar 238,7 nm dibandingkan dengan garam NaCl dengan rentang ukuran partikel sebesar 0-3500 nm dan rata-rata sebesar 869,4 nm. Sedangkan, untuk sintesis menggunakan garam NaCl-KCl (1:3,5:3,5) memiliki rentang ukuran partikel sebesar 0-1000 nm dengan rata-rata ukuran sebesar 307,4 nm dan NaCl-KCl (1:7:7) memiliki rentang ukuran partikel 0-1400 nm dengan rata-rata ukuran sebesar 373,9 nm, dimana ukuran ini merupakan kombinasi dari garam NaCl dan KCl. Distribusi partikel pada garam KCl lebih baik karena apabila dilihat dari diagram batang rentang ukuran partikelnya lebih kecil dibandingkan dengan garam yang lain. Sehingga, luas permukaan pada garam KCl lebih besar.

Pertumbuhan kristal pada metode lelehan garam dibagi menjadi dua tahap yaitu pembentukan inti kristal (tahap nukleasi) dan pertumbuhan inti kristal (tahap *crystal growth*) (Maulidiantiyas, dkk., 2021). Laju Pertumbuhan inti kristal yang cepat mengakibatkan hasil partikel yang tidak teratur dan ukuran partikel yang diperoleh lebih besar (Marella, dkk., 2021). Sehingga, berdasarkan pernyataan tersebut diketahui bahwa ukuran partikel yang kecil pada KCl dipengaruhi oleh laju pertumbuhan kristal yang lambat sehingga menghasilkan morfologi yang kecil dan teratur. Sedangkan, pada garam NaCl laju pertumbuhan kristalnya berjalan secara cepat sehingga menghasilkan ukuran partikel yang besar dan tidak teratur. Selain itu, kelarutan reaktan pada lelehan garam juga memberikan pengaruh terhadap ukuran partikel yang terbentuk. Kelarutan yang rendah akan menghasilkan partikel dengan ukuran yang besar (Maulidiantiyas, dkk., 2021).

Hasil EDS ditampilkan pada Lampiran 5. dan dapat diketahui bahwa dopan Fe telah terdiksi pada senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ untuk menggantikan sebagian kecil dari unsur Ti. Selain itu, dalam spektra EDS juga dapat diketahui unsur-unsur penting yang terdapat dalam senyawa. Hasil tersebut dirangkum dalam Tabel 4.2.

Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui keberadaan unsur-unsur penyusun senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ yaitu bismut, titanium, oksigen dan besi.

4.5. Karakterisasi $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ Menggunakan UV-Vis DRS

Energi celah pita dan serapan sinar pada daerah panjang gelombang UV maupun sinar tampak dapat diketahui dengan karakterisasi menggunakan instrumen UV-Vis DRS. Gambar 4.6 menampilkan plot %reflektansi dengan panjang gelombang, dimana dari grafik ini ditunjukkan bahwa serapan sinar senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ pada daerah rentang panjang gelombang 400-600 nm, dari hasil ini kemudian dianalisis untuk menentukan energi celah pita dengan menggunakan persamaan Kubelka-Munk seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.7 dan hasil perhitungannya dirangkum dalam Tabel 4.3.

Berdasarkan hasil energi celah pita dapat diketahui bahwa adanya doping Fe pada senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ dapat menurunkan energi celah pita, dimana energi celah pita sebelum dilakukan pendopingan adalah sebesar 2,9 eV. Hal ini disebabkan oleh adanya pembentukan pita baru dibawah pita konduksi yang berasal dari orbital Fe-3d, sehingga terjadi perubahan transisi elektronik yang semula dari orbital Bi-6s+O-2p (pita valensi) ke orbital Ti^{4+} -3d (pita konduksi) menjadi dari orbital Bi-6s+O-2p (pita valensi) ke orbital Fe^{3+} -3d (pita konduksi). Pembentukan

pita baru ini menyebabkan tingkat laju rekombinasi rendah sehingga akan meningkatkan aktivitas fotokatalis (Gu, dkk., 2017).

Berdasarkan Tabel 4.3 diketahui bahwa sintesis senyawa menggunakan garam KCl memiliki energi celah pita yang lebih rendah daripada NaCl, hal ini disebabkan karena pada garam KCl memiliki ukuran partikel yang relatif kecil sehingga akan memperpendek jarak antara pita konduksi dan pita valensi. Zhang, dkk. (2018) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa luas permukaan yang besar dan ukuran partikel yang kecil akan memperpendek jarak migrasi pasangan elektron-*hole* ke situs reaktif.

4.6. Sintesis Senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ dalam Perspektif Islam

Penelitian tentang Senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ merupakan salah satu bentuk menjaga lingkungan. Manusia yang berkedudukan sebagai khalifah di bumi memiliki tanggung jawab untuk memelihara dan melestarikan alam yang dapat dimanfaatkan untuk mensejahterakan manusia. Sebagaimana firman Allah pada surah al-Baqarah ayat 30:

وَإِذْ قَالَ رَبُّكَ لِلْمَلَائِكَةِ إِنِّي جَاعِلٌ فِي الْأَرْضِ خَلِيفَةً قَالُوا أَتَجْعَلُ فِيهَا مَنْ يُفْسِدُ فِيهَا وَيَسْفِكُ الدِّمَاءَ
وَنَحْنُ نُسَبِّحُ بِحَمْدِكَ وَنُقَدِّسُ لَكَ قَالَ إِنِّي أَعْلَمُ مَا لَا تَعْلَمُونَ

Artinya: “Dan (ingatlah) ketika Tuhanmu berfirman kepada para malaikat, “Aku hendak menjadikan khalifah di bumi.” Mereka berkata, “Apakah Engkau hendak menjadikan orang yang merusak dan menumpahkan darah di sana, sedangkan kami bertasbih memuji-Mu dan menyucikan nama-Mu?” Dia berfirman, “Sungguh, Aku mengetahui apa yang tidak kamu ketahui.” (Q.S. al-Baqarah (2): 30).

Kata *khalīfah* berasal dari kata **خلف** yang bermakna di belakang. Berdasarkan arti tersebut, muncul beberapa kata yang lain, yaitu **خليفة** (pengganti), khalaf (**خالف**) yang berarti lupa atau keliru, dan *khalafa* (**خلف**). Kata khalīfah, secara harfiah berarti pengganti, disebut *khalīfah* karena yang menggantikan selalu berada di belakang atau yang digantikan. Kata ini bisa berarti seseorang yang telah diberi kuasa oleh Allah untuk mengelola suatu wilayah di bumi. Seorang khalīfah tidak boleh bertindak sesuka hatinya ketika mengatur wilayah tempat tinggalnya (Garwan, 2019). Selain itu, dalam tafsir al-Misbah dalam jurnal Ilyas. (2016) kata *khalīfah* dijelaskan pada awalnya berarti “yang menggantikan”. Atas dasar ini, dipahami bahwa kata *khalīfah* bermakna yang menggantikan Allah dalam menerapkan ketetapan-Nya dan menegakkan kehendak-Nya, bukan berarti Allah tidak mampu dan menjadikan manusia berkedudukan sebagai tuhan. Akan tetapi, dengan kata lain Allah bermaksud untuk menguji manusia dan memberinya penghormatan (Ilyas., 2016). Abu ‘Alā al-Mawdudī dalam jurnal Garwan. (2019) menjelaskan bahwa *khalīfah* berarti manusia yang diamanahi oleh Allah untuk menjalankan kehidupan dengan penuh tanggung jawab, pada dasarnya *khalīfah* berarti manusia bukanlah pemilik atau penguasa bumi, akan tetapi hanya wakil dari pemilik sebenarnya yaitu Allah (Garwan, 2019).

Berdasarkan penjelasan tersebut, sebagai seorang khalīfah Allah yang telah diberikan nikmat oleh Allah berupa akal, hendaknya menyadari tugas yang berkewajiban memakmurkan bumi serta menjadi rahmat bagi alam sekelilingnya. Sebagai seorang ilmuwan dapat mengembangkan sesuatu yang diciptakan oleh Allah menjadi sesuatu yang bermanfaat. Salah satunya dengan mengatasi permasalahan-permasalahan lingkungan yang terjadi disekitar. Metode yang

banyak digunakan sebagai salah satu cara untuk menanggulangi dan mengolah limbah cair adalah metode fotokatalis. $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ merupakan salah satu material fotokatalis yang berpotensi memiliki aktivitas fotokatalik yang tinggi sehingga dapat dikembangkan dan digunakan untuk mengatasi permasalahan limbah cair pada lingkungan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_{12}$ sebagai material fotokatalis berhasil disintesis menggunakan metode lelehan garam NaCl, KCl, NaCl-KCl (1:3,5:3,5) dan NaCl-KCl (1:7:7). Akan tetapi, ditemukan pengotor dari prekursor pada jenis garam NaCl-KCl (1:7:7) berupa Bi_2O_3 dan pada jenis garam NaCl dan NaCl-KCl (1:3,5:3,5) berupa Bi_2O_3 dan TiO_2 rutil. Senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_{12}$ memiliki sistem kristal orthorombik dengan grup ruang $Aba2$. Bentuk partikel yang diperoleh dari hasil karakterisasi menggunakan instrumen SEM-EDS berupa *plate-like* dan masih terdapat aglomerasi. Distribusi ukuran partikel garam NaCl, KCl, NaCl-KCl (1:3,5:3,5), dan NaCl-KCl (1:7:7) menunjukkan hasil rata-rata ukuran partikel pada masing-masing garam sebesar 869,4; 238,7; 307,4 dan 373,9 nm. Hasil karakterisasi menggunakan instrumen UV-Vis DRS diperoleh energi celah pita dibawah 2.9 eV.

5.2 Saran

Perlu dilakukan uji aktivitas fotokatalis untuk mengetahui pengaruh jenis garam terhadap aktivitas fotokatalitiknya dan kemampuannya dalam mendegradasi limbah cair.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, K. R., Suheriyanto, D., & Prasetyo, A. (2020). Sintesis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ Terdoping Vanadium dengan Metode Lelehan Garam Tunggal NaCl. *Jurnal Kartika Kimia*, 3(1).
- Cahyo, N.I. (2020). Sintesis dan Karakterisasi $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ Terdoping Fe^{3+} dengan Metode Lelehan Garam $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-K}_2\text{SO}_4$. *Skripsi*. Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Cai, Z., Xing, X., Yu, R., Sun, X., & Liu, G. (2007). Morphology-controlled synthesis of lead titanate powders. *Inorganic Chemistry*, 46(18), 7423–7427.
- Chang, Y., Wu, J., Yang, B., Zhang, S., Lv, T., & Cao, W. (2014). Synthesis and properties of high aspect ratio $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ microplatelets. *Materials Letters*, 129, 126–129.
- Chen, Z., Jiang, H., Jin, W., & Shi, C. (2016). Enhanced photocatalytic performance over $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ nanosheets with controllable size and exposed {001} facets for Rhodamine B degradation. *Applied Catalysis B: Environmental*, 180, 698–706.
- Chen, Z., Jiang, X., Zhu, C., & Shi, C. (2016). Chromium-modified $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ photocatalyst: Application for hydrogen evolution and pollutant degradation. *Applied Catalysis B: Environmental*, 199, 241–251.
- Cui, Z. M., Yang, H., Zhang, M., Zhang, H. M., Su, J. Y., & Li, R. S. (2016). Adsorption and photocatalysis performance of $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ nanoparticles synthesized via a polyacrylamide gel route. *Materials Transactions*, 57(10), 1766–1770.
- Dea Marella, S., Aini, N., Hardian, A., Suendo, V., & Prasetyo, A. (2021). The Effect of Temperature Synthesis on the Plate-Like Particle of $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ Obtained by Single Molten NaCl Salt. *The Journal of Pure and Applied Chemistry Research*, 10(1), 64–71.
- Garwan, M. S. (2019). Tela'ah Tafsir Ekologi Al-Qur'an Surat Al-Baqarah Ayat 30: Mengungkap Sikap Antroposentris Manusia pada Kawasan Ake Jira Halmahera. *Tajdid*, 18(1), 23–56.
- Gu, D., Qin, Y., Wen, Y., Li, T., Qin, L., & Seo, H. J. (2017). Electronic structure and optical properties of V-doped $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ nanoparticles. *Journal of Alloys and Compounds*, 695, 2224–2231.
- Guo, Q., Wang, Q., Chen, G., Shen, M., & Li, B. (2017). Molten salt synthesis of different ionic radii metallic compounds doped lithium titanate used in lithium battery anodes. *Materials Transactions*, 58(3), 383–389.

- Gupta, S. K., & Mao, Y. (2021). A review on molten salt synthesis of metal oxide nanomaterials: Status, opportunity, and challenge. *Progress in Materials Science*, 117(September), 100734.
- Habibaturrahim, R., & Bakrie, W. (2020). Pencemaran Lingkungan Dalam Fiqih Islam Dan Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. *Journal of Indonesian Comparative of Law*, 3(1), 59.
- Hakim, L., & Munawir. (2020). Kesadaran Ekologi Dalam Al-Qur ' an :Studi Penafsiran Al-Razi pada QS. Al-Rum (30):41. *Jurnal of Qur'anic Studies*, 5(2), 51–63.
- Handayani, R. (2018). Sintesis dan Identifikasi Struktur Lokal $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ Terdoping V^{5+} dengan Spektroskopi Raman. *Skripsi*. Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- He, H., Yin, J., Li, Y., Zhang, Y., Qiu, H., Xu, J., Xu, T., & Wang, C. (2014). Size controllable synthesis of single-crystal ferroelectric $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ nanosheet dominated with {001} facets toward enhanced visible-light-driven photocatalytic activities. *Applied Catalysis B: Environmental*, 156–157, 35–43.
- He, R., Xu, D., Cheng, B., Yu, J., & Ho, W. (2018). Review on nanoscale Bi-based photocatalysts. In *Nanoscale Horizons Royal Society of Chemistry*, 3(5), 464–504.
- Kan, Y., Jin, X., Wang, P., Li, Y., Cheng, Y. B., & Yan, D. (2003). Anisotropic grain growth of $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ in molten salt fluxes. *Materials Research Bulletin*, 38(4), 567–576.
- Kimura, T. (2011). Molten Salt Synthesis of Ceramic Powders. *Advances in Ceramics Synthesis and Characterization, Processing and Specific Applications*. ISBN 978-953-307-505-1.
- Liu, R., Zhan, Y., Liu, L., Liu, Y., & Tu, D. (2020). Morphology analysis and luminescence properties of $\text{YVO}_4:\text{Sm}^{3+}, \text{Eu}^{3+}$ prepared by molten salt synthesis. *Optical Materials*, 100, 109633.
- Liu, Y., Zhu, G., Gao, J. Z., Hojamberdiev, M., Lu, H., Zhu, R., Wei, X., & Liu, P. (2016). A novel $\text{CeO}_2/\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ composite heterojunction structure with an enhanced photocatalytic activity for bisphenol A. *Journal of Alloys and Compounds*, 688, 487–496.
- Liu, Y., Zhu, G., Gao, J., Hojamberdiev, M., Zhu, R., Wei, X., Guo, Q., & Liu, P. (2017). Enhanced photocatalytic activity of $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ nanosheets by Fe^{3+} doping and the addition of Au nanoparticles: Photodegradation of Phenol and bisphenol A. *Applied Catalysis B: Environmental*, 200, 72–82.
- Liu, Y., Zhu, G., Peng, J., Gao, J., Wang, C., & Liu, P. (2017). One-step molten-salt method fabricated $\text{Bi}_2\text{Ti}_2\text{O}_7/\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ composites with enhanced photocatalytic activity. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28(2), 2172–2182.

- Liu, Z., & Ma, Z. (2020). Promoting the photocatalytic activity of $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ microspheres by incorporating iron. *RSC Advances*, 10(33), 19232–19239.
- Liu, Z., Liang, S., Li, S., Zhu, Y., & Zhu, X. (2015). Synthesis, microstructural characterization, and dielectric properties of BiFeO_3 microcrystals derived from molten salt method. *Ceramics International*, 41(S1), S19–S25.
- Maulidiantiyas, H., Prasetyo, A. D., Haikal, F., Cahyo, I. N., Istighfarini, V. N., & Prasetyo, A. (2021). Pengaruh Penggantian Kation-A/Sr oleh Ba pada Morfologi Partikel $\text{BaSr}(1-x)\text{TiO}_3$ ($x = 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8$) Hasil Sintesis dengan Metode Lelehan Garam. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 17(2), 211.
- Moure, A. (2018). Review and perspectives of Aurivillius structures as a lead-free Piezoelectric system. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 8, Issue 1). MDPI AG
- Munadhiroh, Nur Azah. (2021). Sintesis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ dengan Doping Fe^{3+} menggunakan Metode Lelehan Garam. *Skripsi*. Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Mustakim. (2011). Pendidikan Lingkungan Hidup dan Implementasinya Dalam Pendidikan Islam (Analisis Surat Al-A'raf Ayat 56-58 Tafsir Al Misbah. *Journal of Islamic Education (JIE)*, II(1).
- Nogueira, A. E., Longo, E., Leite, E. R., & Camargo, E. R. (2014). Synthesis and photocatalytic properties of bismuth titanate with different structures via oxidant peroxo method (OPM). *Journal of Colloid and Interface Science*, 415, 89–94.
- Nurhayati, A., Ummah, Z. I. U., & Shobron, S. (2018). Kerusakan Alam dalam al-Quran. *Suhuf*, 30(2), 194–220.
- Quader, A. K. M. A. (2010). Treatment of Textile Wastewater with Chlorine: An Effective Method. *Chemical Engineering Research Bulletin*, 14(1).
- Rahmat Ilyas. (2016). Manusia Sebagai Khalifah dalam Persepektif Islam. *Mawa'izh*, 1(7), 1–27.
- Ranieri, M. G. A., dkk. (2013). Syntheses of Bismuth Titanate Templates Obtained by the Molten Salt Method. *Ceramics International* 39, 7291-7296.
- Ratnasari, J., & Chodijah, S. (2020). Kerusakan Lingkungan Menurut Sains dan Ahmad Mustafa Al-Maraghi: Studi Tafsir Al-Maraghi pada Surat Al-Rum Ayat 41, Al-Mulk Ayat 3-4 dan Al-A'raf Ayat 56). *Al Tadabbur: Jurnal Ilmu Alquran Dan Tafsir*, 5(1), 121–136.
- Rodhiyah, Nurul. (2018). Sintesis Senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ (BIT) dengan Variasi Rasio Mol BIT:NaCl Menggunakan Metode Lelehan Garam. *Skripsi*. Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

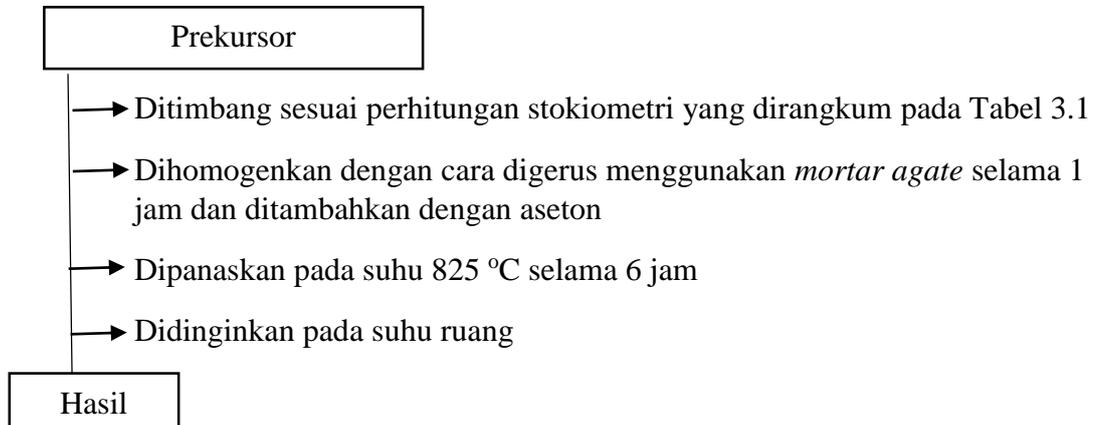
- Roy, A., Prasad, R., Auluck, S., & Garg, A. (2013). Engineering Polarization Rotation in Ferroelectric Bismuth Titanate. *Applied Physics Letters*, *102*(18).
- Safaei-Naeini, Y., Aminzare, M., & Golestani-Fard, F. (2012). The effects of temperature and different precursors in the synthesis of nano spinel in KCl molten salt. *Ceramics International*, *38*(1), 841–845.
- Vijatovic Petrovic, M. M., & Bobic, J. D. (2018). Perovskite and aurivillius: Types of Ferroelectric Metal Oxides. In *Magnetic, Ferroelectric, and Multiferroic Metal Oxides*. Elsevier Inc.
- Wang, L., Ma, W., Fang, Y., Zhang, Y., Jia, M., Li, R., & Huang, Y. (2013). Bi₄Ti₃O₁₂ Synthesized by High Temperature Solid Phase Method and its Visible Catalytic Activity. *Procedia Environmental Sciences*, 547–558.
- Wibowo, G. R. (2019). Sintesis Senyawa Aurivillius Lapis Empat PbBi₄Ti₄O₁₅ dan PbBi₃NdTi₄O₁₅ dengan Metode Lelehan Campuran Garam NaCl-KCl dan Karakterisasi Struktur. *Jurnal Riset Kimia*, *10*(2), 85–92.
- Xue, P., Wu, H., Lu, Y., & Zhu, X. (2018). Recent Progress in Molten Salt Synthesis of Low-Dimensional Perovskite Oxide Nanostructures, Structural Characterization, Properties, and Functional Applications: A review. *Journal of Materials Science and Technology*, *34*(6), 914–930.
- Yang, Q., Li, Y., Yin, Q., Wang, P., & Cheng, Y. B. (2003). Bi₄Ti₃O₁₂ nanoparticles prepared by hydrothermal synthesis. *Journal of the European Ceramic Society*, *23*(1), 161–166.
- Yin, X., Li, X., Gu, W., Zou, W., Liu, H., Zhu, L., Fu, Z., & Lu, Y. (2018). Morphology Effect on Photocatalytic Activity in Bi₃Fe_{0.5}Nb_{1.5}O₉. *Nanotechnology*, *29*(26).
- Yunus, E. M., Andika, A., Yani, A., Nisa, M. K., & Muhammad, H. (2021). Revitalisasi Tafsir Ekologi pada Kandungan Surat Al-A'raf [7] Ayat 56-58 dalam Rencana Penanaman Pohon Trembesi di Lingkungan UIN Walisongo Semarang. *Jurnal Riset Agama*, *1*(3), 112–131.
- Yurdakal, S., dkk. (2019). Scanning Electron Microscopy, in: Materials Science and Engineering of Carbon. *Elsevier*, pp. 71-93.
- Zhang, C. S., & Guo, C. J. (2011). Synthesis of Plated-Like Template Bi₄Ti₃O₁₂ Particles and Properties. *Advanced Materials Research*, 239–242, 2170–2173.
- Zhang, H., Liang, Y., Zhu, Y., Liu, S., Li, K., Yang, J., & Lei, W. (2018). Tuning Photoluminescence in Layered Pr Doped Bi₄Ti₃O₁₂ Nanosheets via Molten Salt Process. *Journal of Alloys and Compounds*, *767*, 1030–1040.
- Zhang, Y., Gao, J., Chen, Z., & Lu, Z. (2018). Enhanced Photocatalytic Performance of Bi₄Ti₃O₁₂ Nanosheets Synthesized by a Self-Catalyzed Fast Reaction Process. *Ceramics International*, *44*(18), 23014–23023.

- Zhang, C. S., & Guo, C. J. (2011). Synthesis of plated-like template $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ particles and properties. *Advanced Materials Research*, 239–242, 2170–2173.
- Zhao, Z., Li, X., Ji, H., & Deng, M. (2014). Formation Mechanism of Plate-Like $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ Particles in Molten Salt Fluxes. *Integrated Ferroelectrics*, 154(1), 154–158.

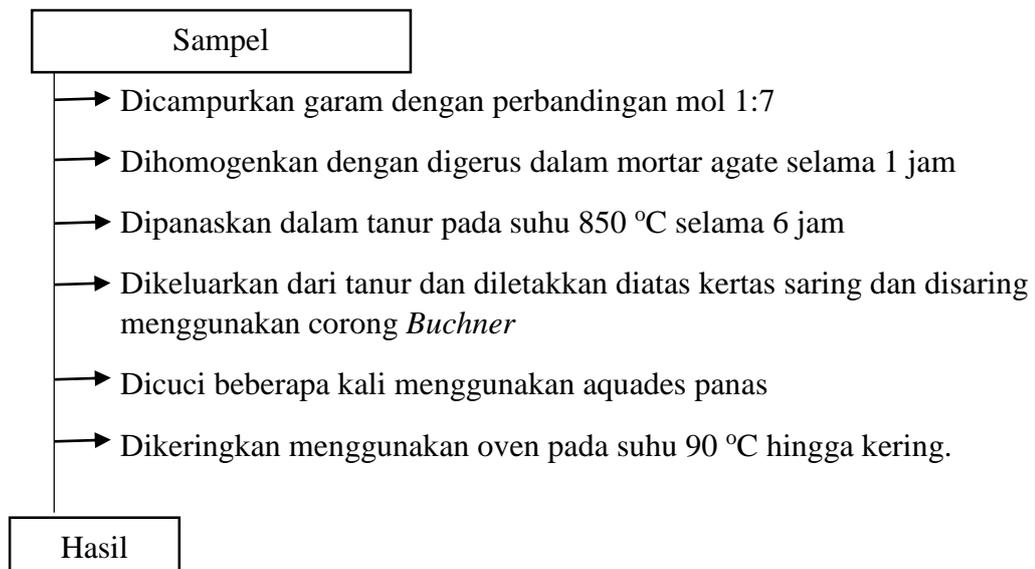
LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Alir

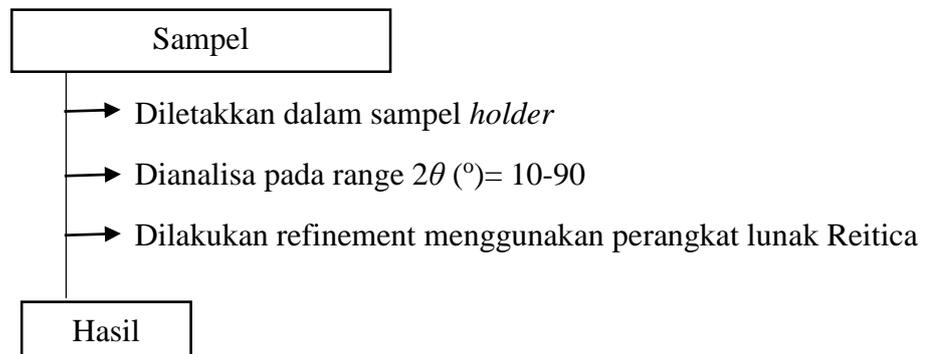
L.1.1. Preparasi Bahan



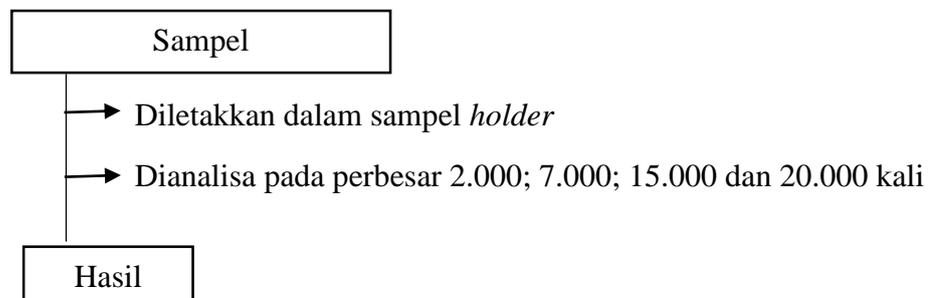
L.1.2. Sintesis $\text{Bi}_4\text{Ti}_2,9\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ dengan Metode Lelehan Garam



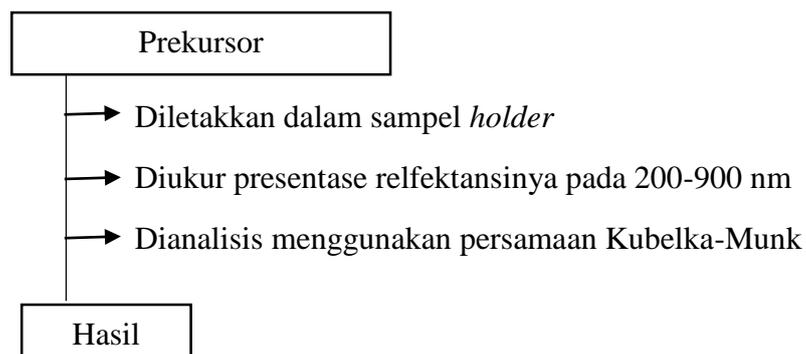
L.1.3. Karakterisasi dan Analisis $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ menggunakan Instrumen XRD



L.1.4. Karakterisasi dan Analisis $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ menggunakan Instrumen SEM-EDS



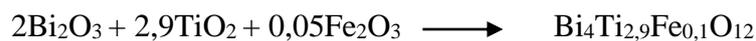
L.1.5. Karakterisasi dan Analisis $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$ menggunakan Instrumen UV-Vis DRS



Lampiran 2. Perhitungan

Diketahui:

- Target massa produk adalah 3 gram
- Perbandingan prekursor $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}$: garam adalah 1:7
- Mr Bi_2O_3 = 465,96 g/mol
- Mr TiO_2 = 79,9 g/mol
- Mr Fe_2O_3 = 160 g/mol
- Mr NaCl = 58,34 g/mol
- Mr KCl = 74,546 g/mol
- Ar Bi = 208,98 g/mol
- Ar Ti = 47,867 g/mol
- Ar Fe = 56 g/mol



1. Massa Prekursor

$$\begin{aligned} \text{Massa Bi}_2\text{O}_3 &= \text{Massa target} \times \frac{1 \text{ mol target}}{1172,3343 \text{ gram target}} \times \frac{\text{koefisiaen mol Bi}_2\text{O}_3}{\text{koefisien mol target}} \times \\ &\quad \frac{465,96 \text{ gram Bi}_2\text{O}_3}{1 \text{ mol Bi}_2\text{O}_3} \\ &= 3 \text{ gram} \times \frac{1 \text{ mol target}}{1172,3343 \text{ gram target}} \times \frac{2 \text{ mol Bi}_2\text{O}_3}{1 \text{ mol target}} \times \\ &\quad \frac{465,96 \text{ gram Bi}_2\text{O}_3}{1 \text{ mol Bi}_2\text{O}_3} \\ &= 2,3848 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa TiO}_2 &= \text{Massa target} \times \frac{1 \text{ mol target}}{1172,3343 \text{ gram target}} \times \frac{\text{koefisiaen mol TiO}_2}{\text{koefisien mol target}} \times \\ &\quad \frac{79,9 \text{ gram TiO}_2}{1 \text{ mol TiO}_2} \\ &= 3 \text{ gram} \times \frac{1 \text{ mol target}}{1172,3343 \text{ gram target}} \times \frac{2,9 \text{ mol TiO}_2}{1 \text{ mol target}} \times \\ &\quad \frac{79,9 \text{ gram TiO}_2}{1 \text{ mol TiO}_2} \\ &= 0,5929 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Fe}_2\text{O}_3 &= \text{Massa target} \times \frac{1 \text{ mol target}}{1172,3343 \text{ gram target}} \times \frac{\text{koefisiaen mol Fe}_2\text{O}_3}{\text{koefisien mol target}} \times \\ &\quad \frac{160 \text{ gram Fe}_2\text{O}_3}{1 \text{ mol Fe}_2\text{O}_3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 3 \text{ gram} \times \frac{1 \text{ mol target}}{1172,3343 \text{ gram target}} \times \frac{0,05 \text{ mol Fe}_2\text{O}_3}{1 \text{ mol target}} \times \\
&\quad \frac{160 \text{ gram Fe}_2\text{O}_3}{1 \text{ mol Fe}_2\text{O}_3} \\
&= 0,0205 \text{ gram}
\end{aligned}$$

2. Massa Garam

Perbandingan prekursor : garam = 1:7

Perbandingan untuk garam campuran NaCl : KCl = 1:1 sehingga untuk perbandingan mol prekursor : garam campuran digunakan perbandingan 1:7:7 dan 1:3,5:3,5.

a) Untuk Perbandingan Mol Garam 1:7:7

$$\begin{aligned}
\text{Massa NaCl} &= \text{Massa target} \times \frac{1 \text{ mol target}}{1172,3343 \text{ gram target}} \times \frac{\text{koefisien mol NaCl}}{\text{koefisien mol target}} \times \\
&\quad \frac{58,34 \text{ gram NaCl}}{1 \text{ mol NaCl}} \\
&= 3 \text{ gram} \times \frac{1 \text{ mol target}}{1172,3343 \text{ gram target}} \times \frac{7 \text{ mol NaCl}}{1 \text{ mol target}} \times \\
&\quad \frac{58,34 \text{ gram NaCl}}{1 \text{ mol NaCl}} \\
&= 1,0450 \text{ gram}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Massa KCl} &= \text{Massa target} \times \frac{1 \text{ mol target}}{1172,3343 \text{ gram target}} \times \frac{\text{koefisien mol KCl}}{\text{koefisien mol target}} \times \\
&\quad \frac{74,546 \text{ gram KCl}}{1 \text{ mol KCl}} \\
&= 3 \text{ gram} \times \frac{1 \text{ mol target}}{1172,3343 \text{ gram target}} \times \frac{7 \text{ mol KCl}}{1 \text{ mol target}} \times \\
&\quad \frac{74,546 \text{ gram KCl}}{1 \text{ mol KCl}} \\
&= 1,3353 \text{ gram}
\end{aligned}$$

b) Untuk Perbandingan Mol Garam 1:3,5:3,5

$$\begin{aligned}
\text{Massa NaCl} &= \frac{\text{massa target}}{Mr \text{ Bi}_4\text{Ti}_2,9\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}} \times \frac{\text{mol NaCl}}{\text{mol prekursor}} \times Mr \text{ NaCl} \\
&= \frac{3 \text{ gram}}{1172,3343 \text{ g/mol}} \times \frac{3,5 \text{ mol}}{1 \text{ mol}} \times 58,34 \text{ g/mol} \\
&= 0,002559 \text{ mol} \times 3,5 \times 58,34 \text{ g/mol} \\
&= 0,5225 \text{ gram}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa KCl} &= \frac{\text{massa target}}{Mr \text{ Bi}_4\text{Ti}_2,9\text{Fe}_{0,1}\text{O}_{12}} \times \frac{\text{mol KCl}}{\text{mol prekursor}} \times Mr \text{ KCl} \\ &= \frac{3 \text{ gram}}{1172,3343 \text{ g/mol}} \times \frac{3,5 \text{ mol}}{1 \text{ mol}} \times 74,546 \text{ g/mol} \\ &= 0,002559 \text{ mol} \times 3,5 \times 74,546 \text{ g/mol} \\ &= 0,6677 \text{ gram}\end{aligned}$$