SINTESIS DAN KARAKTERISASI $SrBi_4Ti_4O_{15}$ TERDOPING Fe^{3+} DENGAN METODE LELEHAN GARAM Na_2SO_4-K_2SO_4

SKRIPSI

Oleh:
INDRA NUR CAHYO
NIM. 16630051

JURUSAN KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

SINTESIS DAN KARAKTERISASI $SrBi_4Ti_4O_{15}$ TERDOPING Fe^{3+} DENGAN METODE LELEHAN GARAM Na_2SO_4-K_2SO_4

SKRIPSI

Oleh:
INDRA NUR CAHYO
NIM. 16630051

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)

JURUSAN KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG

2022

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

SINTESIS DAN KARAKTERISASI $SrBi_4Ti_4O_{15}$ TERDOPING Fe^{3+} DENGAN METODE LELEHAN GARAM Na_2SO_4-K_2SO_4

SKRIPSI

Oleh:
INDRA NUR CAHYO
NIM. 16630051

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal: 28 Desember 2020

Pembimbing I	Pembimbing II
Dr. Anton Prasetyo, M.Si	Dr. H. Ahmad Barizi, M.A
NIP. 19770925 200604 1 003	NIP. 19731212 199803 1 008

Mengesahkan,
Ketua Jurusan

Elok Kamilah Hayati, M.Si
NIP. 19790620 200604 2 002

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

SINTESIS DAN KARAKTERISASI $SrBi_4Ti_4O_{15}$ TERDOPING Fe^{3+} DENGAN METODE LELEHAN GARAM Na_2SO_4-K_2SO_4

SKRIPSI

Oleh:
INDRA NUR CAHYO
NIM. 16630051

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
Dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 28 Desember 2020

Penguji Utama	: Eny Yulianti, M.Si NIP. 19760611 200501 2 006	(.....)
Ketua Penguji	: Vina Nurul Istighfarini, M.Si LB. 63025	(.....)
Sekretaris Penguji	: Dr. Anton Prasetyo, M.Si NIP. 19770925 200604 1 003	(.....)
Anggota Penguji	: Dr. H. Ahmad Barizi, M.A NIP. 19731213 199803 1 008	(.....)

Mengesahkan,
Ketua Jurusan

Elok Kamilah Hayati, M.Si
NIP. 19790620 200604 2 002

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

PERNYATAAN ORISINALITAS PENELITIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Indra Nur Cahyo
NIM	: 16630051
Jurusan	: Kimia
Fakultas	: Sains dan Teknologi
Judul Penelitian	: Sintesis dan Karakterisasi $SrBi_4Ti_4O_{15}$ Terdoping Fe^{3+} dengan Metode Lelehan Garam Na_2SO_4-K_2SO_4

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi ini merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya, kecuali dengan mencantumkan sumber kutipan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia memepertanggungjawabkannya sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 30 Desember 2020
Yang membuat pernyataan,



Indra Nur Cahyo
NIM. 16630051

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

HALAMAN PERSEMBAHAN

Untuk Diri Saya Sendiri,

Terimakasih sudah berjuang hingga titik ini. Proses selama bekerja, kuliah dan menghafal Al-Qur'an semoga bisa menjadi bekal untuk menghadapi problematika kehidupan kedepannya. Tetaplah menjadi diri yang ikhlas, sabar dan istiqomah dalam kebaikan.

Untuk Bidikmisi,

Terimakasih sudah memberi kesempatan kepada saya untuk bisa meraih gelar sarjana kimia. Mohon maaf selama menjadi mahasiswa Bidikmisi belum bisa melakukan yang terbaik dan mengharumkan nama baik Bidikmisi. Semoga kedepannya saya bisa lebih baik lagi.

Untuk Orang Tua,

Orang pertama yang selalu percaya bahwa aku bisa, kekuatan terbesar sepanjang perjalanan hidup aku sampai kelak terpanggil dihadapan-Nya. Yang telah mengajarkan aku tentang bagaimana bekerja keras, tangan kanan segala harapan dan pemeluk erat segala kesedihan.

,Untuk Almamater,

Jurusan Kimia UIN Maulana Malik Ibrahim Malang

Dan untuk Allah, terimakasih untuk setiap kesempatan dalam setiap langkah.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

MOTTO

“Lakukanlah yang terbaik dan serahkan semua kepada-Nya”

“Jika Dia meridhoi atas ikhtiar dan doamu, maka berbahagialah. Tapi jika Dia tidak mewujudkan atas ikhtiar dan doamu, maka lebih berbahagialah. Karena yang pertama adalah rencana dan pilihanmu, sedangkan yang kedua adalah rencana dan pilihan-Nya”

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

KATA PENGANTAR

بسم الله الرحمن الرحيم

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini yang berjudul **"Sintesis dan Karakterisasi $SrBi_4Ti_4O_{15}$ Terdoping Fe^{3+} dengan Metode Lelehan Garam Na_2SO_4-K_2SO_4"**. Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Agung Muhammad SAW yang telah menerangi dunia dengan cahaya iman dan Islam. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu proses penelitian ini. Ucapan terima kasih ini, penulis sampaikan kepada:

1. Orang tua tercinta Bapak Isnan dan Ibu Sri Puryanti yang telah banyak memberikan perhatian, kasih sayang, nasihat, doa dan dukungan baik materi maupun moril yang tak mungkin terbalaskan.
2. Dr. Anton Prasetyo, M.Si selaku pembimbing utama yang sabar memberikan bimbingan, pengarahan, motivasi, saran dan nasehat kepada penulis dalam penyelesaian penelitian ini.
3. Dr. H. Ahmad Barizi, M.A selaku dosen pembimbing agama yang dengan sabar memberikan dorongan semangat serta bimbingan dengan penuh keikhlasan.
4. Ibu Vina Nurul Istighfarini, M.Si selaku konsultan yang dengan memberikan masukan, semangat, evaluasi dan saran kepada penulis dalam penulisan naskah ini.
5. Ibu Eny Yulianti, M.Si selaku penguji utama yang dengan sabar melatih argumentasi, teori, pengetahuan dan kemampuan penulis agar dapat menjadi lulusan yang berkemampuan dan bermanfaat.
6. Prof. Dr. Abdul Haris, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
7. Ibu Elok Kamilah Hayati, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang,
8. Secara umum kepada seluruh dosen Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah mengalirkan ilmu,

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

pengetahuan, pengalaman, wacana dan wawasannya, sebagai pedoman dan bekal bagi penyusun.

9. Teman-teman Jurusan Kimia UIN Malang angkatan 2016, dan semua anggota "Abah Anton Squad" yaitu Latif, Usman, Fikri, Silfi, dan Novia serta tim riset di Laboratorium Anorganik 2020 yang telah bersama berjuang dalam penelitian.
10. Teman-teman asrama Darul Qur'an yang telah bersama-sama berjuang dalam menyelesaikan hafalan qur'an dan pendidikan S1.
11. Gus nizar selaku bidang kemahasiswaan UIN Malang dan salah satu pengasuh PPTQ Nurul Furqon pasar besar Malang yang telah memberikan kesempatan kepada saya untuk menempuh sarjana melalui beasiswa BIDIKMISI.

Semoga amal baik semua pihak yang telah membantu penulis mendapatkan imbalan pahala yang berlipat ganda dari Allah SWT. Amin. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan naskah ini masih jauh dari kesempurnaan. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan dari naskah ini, sehingga nantinya penelitian ini bisa memberikan manfaat khususnya bagi penulis.

Malang, 30 Desember 2020

Penulis

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **i**
HALAMAN PERSETUJUAN ..... **ii**
HALAMAN PENGESAHAN ..... **iii**
PERNYATAAN ORISINALITAS PENELITIAN ..... **iv**
HALAMAN PERSEMBAHAN ..... **v**
MOTTO ..... **vi**
KATA PENGANTAR ..... **vii**
DAFTAR ISI ..... **ix**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **xi**
DAFTAR GAMBAR ..... **xii**
DAFTAR TABEL ..... **xiv**
ABSTRAK ..... **xv**
ABSTRACT ..... **xvi**
مستخلص البح ث ..... **xvii**

BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 5
1.3 Tujuan 5
1.4 Batasan Masalah 5
1.5 Manfaat 5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA **6**
2.1 Senyawa Aurivillius Lapis Empat $SrBi_4Ti_4O_{15}$ 6
2.2 Fotokatalis 7
2.3 $SrTiO_3$ sebagai Material Fotokatalis 8
2.4 Metode Lelehan Garam 10
2.5 Sintesis Senyawa Aurivillius dengan Metode Lelehan Garam 11
2.6 Perspektif Ekologi dalam Islam 15

BAB III METODOLOGI PENELITIAN **19**
3.1 Waktu dan Tempat 19
3.2 Alat dan Bahan 19
3.2.1 Alat 19
3.2.2 Bahan 19
3.3 Rancangan Penelitian 19
3.4 Prosedur Kerja 20
3.4.1 Sintesis $SrBi_4Ti_4O_{15}$ Terdoping Fe dengan Metode Lelehan Garam 20
3.4.2 Karakterisasi menggunakan XRD 21
3.4.3 Karakterisasi menggunakan SEM 21
3.4.4 Karakterisasi menggunakan UV-Vis DRS 21
3.5 Analisis Data 21
3.5.1 Analisis Data XRD 21
3.5.2 Analisis Data SEM 21
3.5.3 Analisis Data UV-Vis DRS 22
3.5.4 Hubungan Analisis Data XRD, SEM, dan UV-Vis DRS 22

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 23
4.1 Sintesis $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ dengan Metode Lelehan Garam 23
4.2 Karakterisasi dan Analisis $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ menggunakan XRD 24
4.3 Refinement Data XRD $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ 26
4.4 Karakterisasi dan Analisis $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ menggunakan SEM 27
4.5 Karakterisasi dan Analisis $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ menggunakan UV-Vis DRS . 30
4.6 Sintesis Fotokatalis $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ dalam Perspektif Islam 32

BAB V PENUTUP 35
5.1 Kesimpulan 35
5.2 Saran 35

DAFTAR PUSTAKA 36
LAMPIRAN 40

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Alir.....40
Lampiran 2. Perhitungan Stoikiometri.....42
Lampiran 3. Hasil Karakterisasi menggunakan XRD.....45
Lampiran 4. Contoh Perhitungan *Cyrstallite Size*.....55
Lampiran 5. Hasil Karakterisasi menggunakan SEM.....57
Lampiran 6. Hasil analisis DRS.....58

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Senyawa Aurivillius Lapis Empat $SrBi_4Ti_4O_{15}$ (Noda, dkk., 2012).6
Gambar 2.2 Mekanisme proses degradasi zat warna oleh material semikonduktor (Ajmal, dkk., 2014) 8
Gambar 2.3 Skema efek multivalen ion Fe pada proses fotokatalitik degradasi zat warna (Liu, dkk., 2017) 9
Gambar 2.4 Spektra UV-Vis DRS $Bi_4Fe_xTi_{3-x}O_{12}$ (x= 2, 4, 6%) (Liu, dkk., 2017).....10
Gambar 2.5 Pola XRD $(Bi_{0,985}Pr_{0,015})_4Ti_3O_{12}$ pada suhu 800-950 ^oC selama 4 jam dengan perbesaran pola XRD pada 2θ= 30,2^o (Zhang, dkk., 2018).....12
Gambar 2.6 Mikrograf SEM $(Bi_{0,985}Pr_{0,015})_4Ti_3O_{12}$ pada suhu (a) 800, (b) 850, (c) 900, dan (d) 950 ^oC selama 4 jam (Zhang, dkk., 2018) 12
Gambar 2.7 Pola XRD $Bi_4Ti_3O_{12}$ yang disintesis menggunakan garam NaCl-KCl (Setasuwon dan Kijamnajsak, 2008) 13
Gambar 2.8 Pola XRD $Bi_4Ti_3O_{12}$ yang disintesis menggunakan garam Na_2SO_4-K_2SO_4 (Setasuwon dan Kijamnajsak, 2008).....13
Gambar 2.9 Mikrograf SEM $Bi_4Ti_3O_{12}$ yang disintesis menggunakan garam NaCl-KCl pada suhu (a) 650, (b) 850, dan (c) 1050 ^oC (Setasuwon dan Kijamnajsak, 2008). 14
Gambar 2.10 Mikrograf SEM $Bi_4Ti_3O_{12}$ yang disintesis menggunakan garam Na_2SO_4-K_2SO_4 pada suhu (a) 650, (b) 850, dan (c) 1050 ^oC (Setasuwon dan Kijamnajsak, 2008). 14
Gambar 2.11 Pola XRD dari $Pb_{1-x}Bi_{4-x}Ti_{4-x}Mn_xO_{15}$ (x= 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8, 1) disintesis menggunakan metode lelehan garam: ∇= $Bi_4Ti_3O_{12}$ dan ▼= $Bi_2Mn_4O_{10}$. 15
Gambar 4.1 Perubahan warna sampel (a) sebelum kalsinasi, (b) setelah kalsinasi 24
Gambar 4.2 (a) Difraktogram senyawa $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1;0,15; 0,2), dan (b) pergeseran puncak difraksi pada 2θ= 30,4^o.....25
Gambar 4.3 *Crystallite size* $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2) pada puncak difraksi 2θ= 30,4^o.....25
Gambar 4.4 Parameter kisi dan volume sel $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2).....27
Gambar 4.5 Mikrograf SEM $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ dengan x= (a) 0; (b) 0,05; (c) 0,01; (d) 0,15; dan (e) 0,2. 28
Gambar 4.6 Histogram distribusi ukuran partikel $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2).....29
Gambar 4.7 Spektra DRS hubungan % reflektansi dengan panjang gelombang senyawa $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2).....30
Gambar 4.8 Spektra DRS energi celah pita senyawa $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2). 31
Gambar L.3.1 Difraktogram $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0).....45
Gambar L.3.2 Difraktogram $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0,05).....46
Gambar L.3.3 Difraktogram $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0,1).....47
Gambar L.3.4 Difraktogram $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0,15).....48

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

Gambar L.3.5 Difraktogram $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0,2).....49
Gambar L.6.1 Spektra DRS energi celah pita senyawa $SrBi_4Ti_4O_{15}$. 58
Gambar L.6.2 Spektra DRS energi celah pita senyawa $SrBi_4Ti_{3,95}Fe_{0,05}O_{15}$. 58
Gambar L.6.3 Spektra DRS energi celah pita senyawa $SrBi_4Ti_{3,90}Fe_{0,1}O_{15}$. 59
Gambar L.6.4 Spektra DRS energi celah pita senyawa $SrBi_4Ti_{3,85}Fe_{0,15}O_{15}$. 59
Gambar L.6.5 Spektra DRS energi celah pita senyawa $SrBi_4Ti_{3,8}Fe_{0,2}O_{15}$.....60

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Komposisi prekursor senyawa $SrBi_4Ti_4O_{15}$ terdoping Fe 20
Tabel 4.1 *Crystallite size* $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2). 26
Tabel 4.2 Data Kristalografi $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2). 27
Tabel 4.3 Nilai energi celah pita dan panjang gelombang senyawa $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2). 31
Tabel L.3.1 Puncak-puncak XRD $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0) 45
Tabel L.3.2 Puncak-puncak XRD $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0,05) 46
Tabel L.3.3 Puncak-puncak XRD $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0,1) 47
Tabel L.3.4 Puncak-puncak XRD $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0,15) 48
Tabel L.3.5 Puncak-puncak XRD $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0,2) 49
Tabel L.4.1 Perhitungan ukuran kristal $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2). 56

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

ABSTRAK

Cahyo, I.N. 2020. **Sintesis dan Karakterisasi $SrBi_4Ti_4O_{15}$ Terdoping Fe^{3+} dengan Metode Lelehan Garam Na_2SO_4-K_2SO_4.** Skripsi. Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing I: Dr. Anton Prasetyo, M.Si; Pembimbing II: Dr. Ahmad Barizi, M.A.

Kata kunci: *$SrBi_4Ti_4O_{15}$, dopan Fe, metode lelehan garam, fotokatalis.*

$SrBi_4Ti_4O_{15}$ merupakan senyawa Aurivillius lapis empat yang berpotensi besar dimanfaatkan sebagai material fotokatalis. Hal ini berkaitan dengan sifatnya sebagai material semikonduktor dan memiliki situs aktif fotokatalis yang besar serta stabilitas fotokimia yang tinggi. Akan tetapi, $SrBi_4Ti_4O_{15}$ memiliki kelemahan dengan energi celah besar (*Eg*= 3,0 eV) yang hanya dapat bekerja pada sinar UV. Hal ini kurang efektif karena sinar matahari yang sampai ke bumi terdiri dari sinar tampak (43%) dan sinar UV (3%). Salah satu usaha untuk meningkatkan pemanfaatannya yaitu dengan menurunkan energi celah menggunakan teknik doping. Logam Fe berpotensi digunakan sebagai dopan karena memiliki jari-jari ion yang mirip dengan Ti. Dalam penelitian ini telah disintesis $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2) dengan metode lelehan garam Na_2SO_4-K_2SO_4. Difraktogram senyawa $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2) menunjukkan bahwa sampel berhasil disintesis dan tidak ditemukan fasa pengotor. Mikrograf SEM menunjukkan bahwa sampel memiliki morfologi *plate-like* dan cenderung terbentuk aglomerasi. Sedangkan spektra UV-Vis DRS menunjukkan bahwa dopan Fe terbukti efektif menurunkan energi celah dan dapat menggeser serapan ke daerah sinar tampak (530-705 nm) material $SrBi_4Ti_4O_{15}$.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

ABSTRACT

Cahyo, I.N. 2020. **Synthesis and Characterization of $SrBi_4Ti_4O_{15}$ Doped Fe^{3+} with Na_2SO_4-K_2SO_4 by Molten Salt Method.** Thesis. Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, State Islamic University Maulana Malik Ibrahim of Malang. Advisor I: Dr. Anton Prasetyo, M.Si; Advisor II: Dr. Ahmad Barizi, M.A.

Keywords: *$SrBi_4Ti_4O_{15}$, dopant Fe, molten salt method, photocatalyst.*

$SrBi_4Ti_4O_{15}$ is a four-layer Aurivillius compound which has great potential to be used as a photocatalyst material. This is related to its nature as a semiconductor material and has a large photocatalytic active site and high photochemical stability. However, $SrBi_4Ti_4O_{15}$ has a large band gap energy (*Eg* = 3,0 eV) which can only work on UV light. This is less effective because sunlight reaching the earth consists of visible light (43%) and UV light (3%). One of the efforts to increase its utilization is by reducing the gap energy using doping techniques. Fe metal is used as a dopant because it has an ionic radius similar to that of Ti. In this work, $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2) was synthesized using the molten salt Na_2SO_4-K_2SO_4 method. Diffractogram of $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2) compound showed that the sample was successfully synthesized and no impurity phase was found. Micrographs of SEM showed that the samples have plate-like morphology and tend to form agglomerations. Meanwhile, the DRS UV-Vis spectra showed that the dopant Fe was proven to be effective in reducing the band gap energy and could shift the absorption to the visible light area (530-705 nm) of $SrBi_4Ti_4O_{15}$ material.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

مستخلص البح ث

كاهيو ، آي إن. 2020. توليف وتوصيف Fe^{3+} مخدر $SrBi_4Ti_4O_{15}$ عن طريق ذوبان طريقة Na_2SO_4-K_2SO_4.
بحث جامعي. قسم الكيمياء ، كلية العلوم والتكنولوجيا ، جامعة الدولة الإسلامية مولانا مالك إبراهيم مالانج.
المستشار الأول: د. أنطون براسيتيو ، إم إس آي ؛ المشرف الثاني: د. أحمد بريزي ، ماجستير

الكلمات المفتاحية: $SrBi_4Ti_4O_{15}$ ، الحديد المشوب ، طريقة ذوبان الملح ، المحفز الضوئي

$SrBi_4Ti_4O_{15}$ عبارة عن مركب Aurivillius رباعي الطبقات وله إمكانات كبيرة لاستخدامه كمواد محفز ضوئي. يرتبط هذا بطبيعته كمواد شبه موصلة وله موقع نشط تحفيزي ضوئي كبير واستقرار كيميائي ضوئي عالي. ومع ذلك ، فإن $SrBi_4Ti_4O_{15}$ له عيوب فجوة طاقة كبيرة (Eg = 3.0 eV) والتي يمكن أن تعمل فقط على ضوء الأشعة فوق البنفسجية. هذا أقل فعالية لأن ضوء الشمس الذي يصل إلى الأرض يتكون من ضوء مرئي (43٪) وضوء فوق بنفسجي (3٪). أحد الجهود لزيادة الاستفادة منها هو تقليل فجوة الطاقة باستخدام تقنيات المنشطات معدن الحديد لديه القدرة على استخدامه كمشوب لأنه يحتوي على نصف قطر أيوني مشابه لنصف قطر Ti. في هذا البحث تم تصنيع $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x = 0؛ 0.05؛ 0.1؛ 0.15؛ 0.2) باستخدام طريقة تذويب الملح Na_2SO_4-K_2SO_4. أظهر الحيود المركب $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x = 0؛ 0.05؛ 0.1؛ 0.15؛ 0.2) أنه تم تصنيع العينة بنجاح ولم يتم العثور على مرحلة شوائب. تُظهر الصور المجهرية SEM أن العينات لها شكل يشبه الصفيحة ولا تميل إلى تكوين تكتلات. وفي الوقت نفسه ، أظهرت أطياف DRS UV-Vis أن الحديد المشوب أثبت فعاليته في تقليل فجوة الطاقة وتحويل الامتصاص إلى منطقة الضوء المرئي (530-705 نانومتر) لمادة $SrBi_4Ti_4O_{15}$.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Limbah industri tekstil menjadi salah satu permasalahan lingkungan yang sedang dihadapi hingga saat ini. Bank Dunia memperkirakan 17-20% polutan air industri berasal dari pewarnaan tekstil. Sekitar 30 dari 72 polutan air tersebut merupakan limbah zat warna *non-biodegradable* (Kant, 2012). Beberapa metode pengolahan limbah zat warna telah dikembangkan seperti adsorpsi, oksidasi, koagulasi, dan filtrasi. Kelemahan metode ini yaitu menyebabkan pencemaran berlebih, menghasilkan banyak *sludge* (lumpur), dan biaya operasionalnya relatif mahal (Daneshvar, dkk., 2004 dan Gao, dkk., 2007).

Pengolahan limbah zat warna merupakan salah satu perwujudan manusia sebagai *khalifatullah fi al 'ardh* untuk menjaga dan tidak berbuat kerusakan di bumi, sebagaimana firman Allah SWT dalam surat al-A'raf (7): 56.

وَلَا تُفْسِدُوا۟ فِى ٱلْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَٰحِهَا وَٱدْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا ۚ إِنَّ رَحْمَتَ ٱللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ ٱلْمُحْسِنِينَ ﴿٥٦﴾

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."*

Tafsir Ibnu Katsir (2000) menafsirkan lafadz وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ pada ayat tersebut memberikan orientasi tegas bahwa Allah SWT melarang perbuatan yang menimbulkan kerusakan di muka bumi seperti kemaksiatan, kelestarian lingkungan sesudah diperbaiki maupun pencemaran lingkungan, sedangkan lafadz

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

ٱلْمُحْسِنِينَ memiliki makna orang-orang yang diberi rahmat atas perbuatan baik dengan menjaga atau tidak merusak lingkungan seperti upaya pengolahan limbah zat warna sebelum dibuang ke perairan. Salah satu upaya pengolahan limbah zat warna untuk menjaga lingkungan dari kerusakan yaitu dengan mensintesis senyawa berbasis fotokatalis.

Fotokatalis adalah metode alternatif berbasis *green technology* yang memanfaatkan cahaya dan katalis untuk mendegradasi polutan air. Kelebihan metode ini yaitu murah, tidak beracun, stabilitas jangka panjang, mudah direproduksi pada pemisahan, dan juga memiliki aktivitas fotokatalitik yang sangat efektif (Chen, dkk., 2018). Beberapa material semikonduktor yang dilaporkan dapat dimanfaatkan dalam teknologi fotokatalis adalah TiO_2, Fe_2O_3, senyawa berstruktur perovskit, dan senyawa-senyawa Aurivillius (Vasileff, dkk., 2016).

Senyawa Aurivillius adalah senyawa yang tersusun atas lapisan bismut $(Bi_2O_2)^{2+}$ dan lapisan perovskit $(A_{m-1}B_mO_{3m+1})^{2-}$ dengan rumus umum $Bi_2A_{m-1}B_mO_{3m+3}$. Di mana kation *A* adalah kation dengan ukuran besar dan muatan kecil (Na^+, Sr^{2+}, atau Bi^{3+}), sedangkan kation *B* adalah kation dengan ukuran kecil dan muatan besar (Fe^{3+}, Ti^{4+}, atau Ta^{5+}), dan *m* menunjukkan jumlah lapis *pseudo* perovskit. Beberapa penelitian terdahulu telah melaporkan potensi senyawa Aurivillius lapis empat sebagai material fotokatalis seperti $Bi_{5-x}La_xTi_3FeO_{15}$, $Bi_5Ti_3FeO_{15}$, dan $SrBi_4Ti_4O_{15}$. Jang, dkk. (2009) melaporkan bahwa $Bi_5Ti_3FeO_{15}$ mempunyai energi celah 2,38 eV, sedangkan Naresh dan Mandal (2014) melaporkan bahwa $Bi_{5-x}La_xTi_3FeO_{15}$ dengan nilai energi celah 2,0 – 2,7 eV.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

$SrBi_4Ti_4O_{15}$ adalah senyawa Aurivillius lapis empat yang mempunyai energi celah pita besar yaitu 3,0 eV. Hal ini menyebabkan $SrBi_4Ti_4O_{15}$ murni hanya dapat aktif terhadap sinar UV (~420 nm) (Tu, dkk., 2019). Hal ini menyebabkan pemanfaatan material fotokatalis $SrBi_4Ti_4O_{15}$ menjadi kurang maksimal karena sinar matahari yang sampai ke bumi mengandung 43% sinar tampak dan hanya 4% sinar UV (Fan, dkk., 2009). Oleh sebab itu, perlu dilakukan upaya untuk menurunkan energi celah pita $SrBi_4Ti_4O_{15}$.

Salah satu teknik untuk menurunkan energi celah material semikonduktor adalah dengan melakukan pendopingan menggunakan ion logam seperti Fe^{3+}, Er^{3+}, dan Nb^{5+} (Hao, dkk., 2009; Liu, dkk., 2017; Peng, dkk., 2012). Peng, dkk. (2012) melaporkan bahwa $SrBi_4Ti_4O_{15}$ terdoping logam Er^{3+} mampu menggeser panjang gelombang ke daerah sinar tampak *green* (555 nm) dan *red* (670 nm) disertai dengan menurunnya energi celah pita.

Titanium (Ti^{4+}) dan beberapa logam transisi periode keempat seperti V^{5+}, Cr^{3+}, dan Fe^{3+} memiliki kemiripan dalam hal jari-jari ioniknya. Hal ini memungkinkan kation Ti (kation *B*) dari senyawa $SrBi_4Ti_4O_{15}$ dapat diganti sebagian (doping) oleh logam transisi seperti V^{5+} dan Fe^{3+}. Liu, dkk. (2017) telah mendoping $Bi_4Ti_3O_{12}$ (*Eg*= 2,95 eV) menggunakan logam Fe^{3+} (2; 4; 6%) dan nilai energi celah pitanya berubah signifikan menjadi 2,43; 2,36; dan 2,28 eV. Kelebihan logam Fe yaitu stabil pada suhu tinggi, multivalen, efektif menurunkan energi celah pita dan laju rekombinasi elektron holenya (Liu, dkk., 2017).

Aktivitas fotokatalitik terjadi pada permukaan partikel, sehingga aktivitasnya dapat dipengaruhi oleh morfologi dan ukuran dari suatu partikel. Semakin kecil bentuk dan ukuran partikel maka akan memperbesar luas

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

permukaan dan aktivitas permukaan partikel, sehingga dapat meningkatkan aktivitas fotokatalitik suatu material semikonduktor (Amano, dkk., 2013). Metode lelehan garam adalah metode yang memanfaatkan lelehan garam sebagai media preparasi dalam pembuatan serbuk keramik. Kelebihan metode ini yaitu metode sederhana, ramah lingkungan, hemat biaya dan efektif menghasilkan morfologi partikel yang khas dari fasa Aurivillius (Kimura, 2011 dan Xue, dkk., 2018). Faktor-faktor yang mempengaruhi hasil sintesis dengan metode lelehan garam yaitu suhu sintering, laju penurunan suhu, jenis prekursor dan jenis garam (Kan, dkk., 2003 dan Zhao, dkk., 2014).

Beberapa pihak telah melaporkan keberhasilan metode ini untuk mensintesis senyawa Aurivillius terdoping berbagai logam. Liu, dkk. (2017) berhasil mensintesis fasa tunggal $Bi_4Ti_3O_{12}$ terdoping Fe^{3+} menggunakan garam NaCl-KCl, Porob dan Maggard (2006) berhasil mensintesis fasa tunggal $Bi_5Ti_3FeO_{15}$ terdoping La^{3+} menggunakan garam Na_2SO_4-K_2SO_4, sedangkan Zulhadjri, dkk. (2011[a] dan 2011[b]) berhasil mensintesis fasa tunggal $PbBi_4Ti_4O_{15}$ terdoping Mn^{3+} dan $Pb_2Bi_4Ti_5O_{18}$ terdoping Mn^{3+} menggunakan garam Na_2SO_4-K_2SO_4. Kelebihan garam Na_2SO_4-K_2SO_4 yaitu titik leleh, viskositas, korosif, dan energi permukaannya rendah serta efektif menghasilkan senyawa Aurivillius lapis empat tanpa adanya pengotor (Boltersdorf, dkk., 2015; Setasuwon dan Kijamnajsak, 2008; Zulhadjri, dkk., 2011).

Berdasarkan uraian diatas, maka dalam penelitian ini akan dilakukan sintesis dan karakterisasi senyawa $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2) dengan metode lelehan garam Na_2SO_4-K_2SO_4. Pengaruh doping Fe pada senyawa $SrBi_4Ti_4O_{15}$ terhadap struktur, morfologi hasil sintesis dan nilai energi celah pita

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

akan dikaji berdasarkan data yang akan dianalisis menggunakan Difraksi Sinar-X (XRD), SEM, dan UV-Vis DRS.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana struktur, morfologi partikel, dan nilai energi celah pita dari senyawa $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2) yang disintesis dengan metode lelehan garam Na_2SO_4-K_2SO_4?

1.3 Tujuan

Mengetahui struktur, morfologi partikel, dan nilai energi celah pita dari senyawa $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2) yang disintesis dengan metode lelehan garam Na_2SO_4-K_2SO_4.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini yaitu:

a. Jenis garam yang digunakan adalah garam Na_2SO_4-K_2SO_4 dengan perbandingan mol 1:1.
b. Perbandingan rasio mol $SrBi_4Ti_4O_{15}$/ Na_2SO_4-K_2SO_4 adalah 1:7.
c. Suhu dan waktu sintesis yang diperlukan adalah 850 ^oC dan 6 jam.
d. Variasi konsentrasi dopan Fe yaitu 0; 5; 10; 15; dan 20%.

1.5 Manfaat

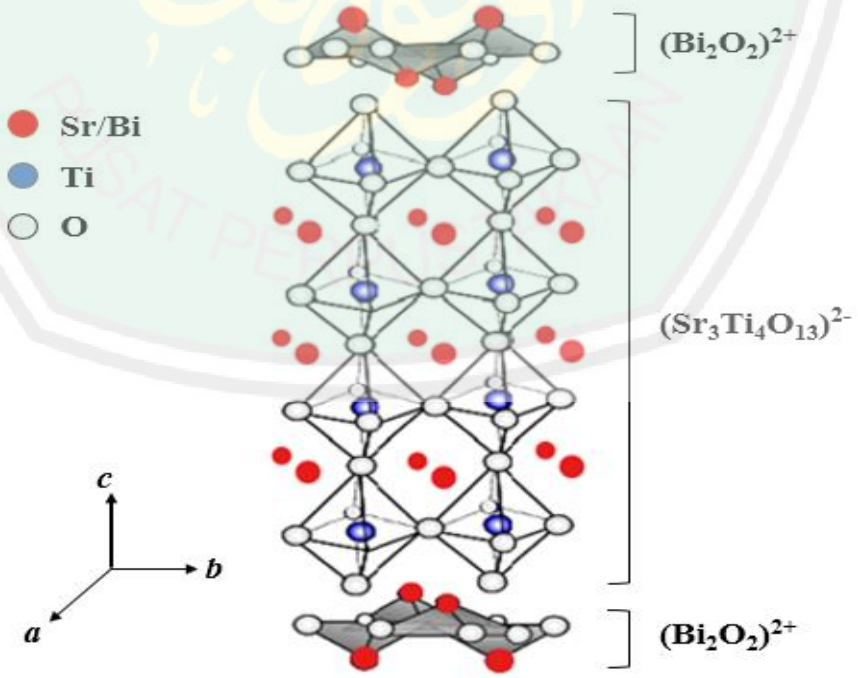
Mengetahui pengaruh doping Fe pada senyawa $SrBi_4Ti_4O_{15}$ dengan metode lelehan garam Na_2SO_4-K_2SO_4 terhadap struktur, morfologi partikel, dan nilai energi celah pita dari senyawa $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Senyawa Aurivillius Lapis Empat $SrBi_4Ti_4O_{15}$

Aurivillius merupakan material oksida logam yang tersusun atas lapisan bismut $(Bi_2O_2)^{2+}$ dan lapisan perovskit $(A_{m-1}B_mO_{3m+1})^{2-}$ dengan rumus umum $Bi_2A_{m-1}B_mO_{3m+3}$ (m= 1, 2, 3, 4…). Di mana kation *A* adalah kation ukuran besar dan muatan kecil dengan koordinasi dodekahedral (Na^+, Sr^{2+}, atau Bi^{3+}), sedangkan kation *B* adalah kation ukuran kecil dan muatan besar dengan koordinasi oktahedral (Fe^{3+}, Ti^{4+}, atau Nb^{5+}), dan *m* adalah bilangan bulat yang menunjukkan jumlah blok lapisan perovskit BO_6 oktahedral (Jiang, dkk., 2015 dan Zulhadjri, dkk., 2011). Senyawa Aurivillius yang berhasil disintesis diantaranya adalah Bi_2WO_6 (m= 1), $SrBi_2Ta_2O_9$ (m= 2), $Bi_4Ti_3O_{12}$ (m= 3), dan $SrBi_4Ti_4O_{15}$ (m= 4) (Noguchi dan Miyayama, 2012).



Gambar 2.1 Senyawa Aurivillius lapis empat $SrBi_4Ti_4O_{15}$ (Noda, dkk., 2012).

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

$SrBi_4Ti_4O_{15}$ merupakan senyawa Aurivillius lapis empat yang tersusun atas lapis bismut $(Bi_2O_2)^{2+}$ dan empat lapis $(Sr_3Ti_4O_{13})^{2-}$ yang tersusun secara bergantian di sepanjang sumbu *c*. $SrBi_4Ti_4O_{15}$ memiliki struktur kristal ortorombik dan grup ruang $A2_1am$ dengan parameter kisi *a*= 5,4280 Å, *b*= 5,4380 Å, dan *c*= 40,9400 Å (Cao, dkk., 2015 dan Hao, dkk., 2009). Struktur senyawa Aurivillius lapis empat $SrBi_4Ti_4O_{15}$ ditampilkan pada Gambar 2.1. $SrBi_4Ti_4O_{15}$ memilki sifat piezoelektrik, thermoelektrik, dielektrik, ferroelektrik dan fotokatalis (Cao, dkk., 2015; Parida dan Bera, 2014; Tu, dkk., 2019).

2.2 Fotokatalis

Fotokatalis adalah reaksi yang memanfaatkan cahaya dan katalis untuk mengaktifkan suatu zat. Fotokatalis berbasis semikonduktor telah dianggap sebagai *green* teknologi karena efisiensi tinggi, non-selektif, biaya relatif murah dan efektif mendegradasi polutan organik pada air limbah (Chen, dkk., 2018). Fotokatalis material semikonduktor (SC) terjadi ketika meperoleh energi foton (*hv*) sama dengan atau melebihi energi celah pita. Energi tersebut kemudian dapat menggeser elektron dari pita valensi (VB) ke pita konduksi (CB) yang menyebabkan reaksi redoks dan digunakan untuk mendegradasi zat warna seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.2 (Ajmal, dkk., 2014).

Berdasarkan Gambar 2.2 maka reaksi yang terjadi dijelaskan pada persamaan berikut (Gaya dan Abdullah, 2008):

Fotoeksitasi: $SC + hv \longrightarrow e^- + h^+$

Ionosorption oksigen: $O_2 + e^- \longrightarrow O_2^{\bullet-}$

Ionisasi pada air: $H_2O \longrightarrow OH^- + H^+$

Protonasi pada superoksida: $O_2^{\bullet-} + H^+ \longrightarrow HOO^{\bullet}$

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

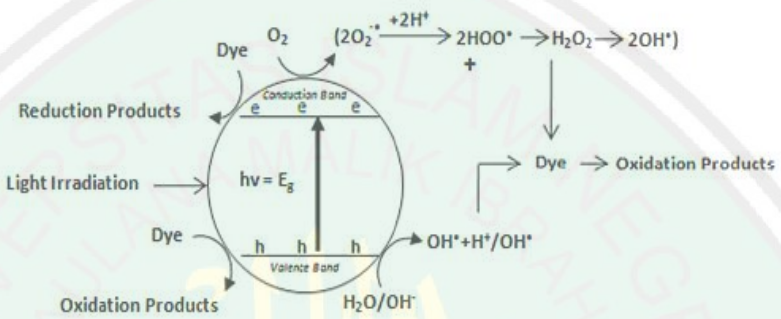
$HOO^{\bullet} + e^{-} \longrightarrow HO_2^{-}$

$HOO^{-} + H^{+} \longrightarrow H_2O_2$

$H_2O_2 + e^{-} \longrightarrow OH^{-} + OH^{\bullet}$

$H_2O + h^{+} \longrightarrow H^{+} + OH^{\bullet}$

$Dye + OH^{\bullet} \longrightarrow CO_2 + H_2O$



Gambar 2.2 Mekanisme proses degradasi zat warna oleh material semikonduktor (Ajmal, dkk., 2014).

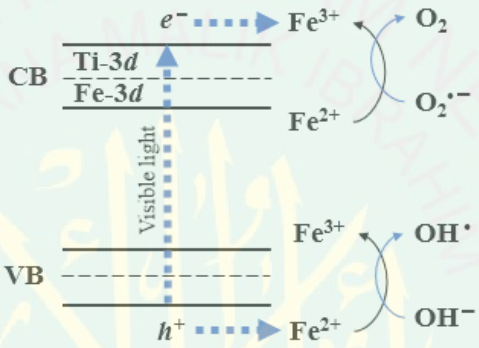
2.3 $SrTiO_3$ sebagai Material Fotokatalis

Material fotokatalis $SrTiO_3$ telah diketahui memiliki aktivitas fotokatalitik yang sangat baik. Akan tetapi, $SrTiO_3$ murni memiliki energi celah pita besar yaitu 3,2 eV. Hal ini menyebabkan pemanfaatan material fotokatalis $SrTiO_3$ kurang maksimal karena hanya dapat aktif terhadap sinar UV dan tidak dapat digunakan secara efektif di bawah iradiasi sinar tampak (Sulaeman, dkk., 2011).

Teknik doping menggunakan ion logam (V, Cr, atau Fe) terbukti efektif dapat meningkatkan respon sinar tampak dan menurunkan energi celah material semikonduktor. Logam dopan harus memiliki ukuran jari-jari ion yang hampir serupa dengan ukuran jari-jari ion yang akan disubtitusikan. Jari-jari logam Fe^{3+} (0,064 nm) hampir mirip dengan jari-jari logam Ti^{4+} (0,068 nm), sehingga logam Fe^{3+} dapat dengan mudah mensubtitusi logam Ti^{4+} ke dalam kisi kristal material

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

semikonduktor (Guo, dkk., 2017). Beberapa pihak telah melaporkan keberhasilan teknik ini, misalnya Li, dkk. (2014) melaporkan bahwa $SrTiO_3$ tanpa doping memiliki energi celah 3,2 eV, sedangkan $SrTiO_3$ setelah di doping Fe^{3+} memiliki energi celah hingga ~2,6 eV. Selain itu, aktivitas fotokatalitik $SrTiO_3$ tanpa doping tidak menunjukkan aktivitas degradasi polutan tetrasiklin, sedangkan $SrTiO_3$ terdoping Fe^{3+} mampu mendegradasi polutan tetrasiklin hingga 71,6% dibawah iradiasi sinar tampak.

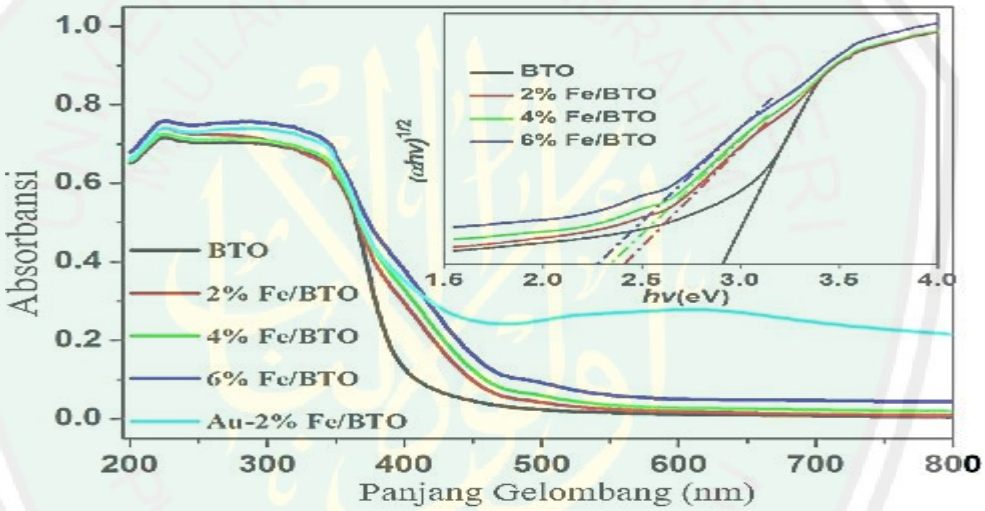


Gambar 2.3 Skema efek multivalen ion Fe pada proses fotokatalitik degradasi zat warna (Liu, dkk., 2017).

Gambar 2.3 menunjukkan bahwa kation multivalen seperti $Fe^{3+/2+}$ dan $Ti^{3+/4+}$ mampu meningkatkan aktivitas katalitik karena dapat bertindak sebagai mediator dalam reaksi redoks dan mengurangi energi katalitik dari material semikonduktor. Fe^{3+} mendorong tingkat energi lokal di atas VB yang dapat meningkatkan penyerapan cahaya tampak. Hal ini menyebabkan akan lebih banyak elektron yang tereksitasi di daerah sinar tampak yang berguna untuk aktivitas fotokatalitik. Selain itu, Fe^{3+} juga dapat menjebak elektron hole, sehingga dapat menurunkan laju rekombinasi elektron holenya yang sangat berguna untuk mendegradasi limbah zat warna (Liu, dkk., 2017).

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

Liu, dkk. (2017) telah mensintesis senyawa Aurivillius lapis tiga $Bi_4Ti_3O_{12}$ (BTO) terdoping Fe^{3+} menggunakan metode lelehan garam. Hasil karakterisasi $Bi_4Fe_xTi_{3-x}O_{12}$ (x= 2, 4, 6%) menggunakan UV-Vis DRS ditampilkan pada Gambar 2.4. Penambahan dopan Fe^{3+} terbukti dapat menggeser serapan ke daerah sinar tampak (450-600 nm) dan semakin tinggi konsentrasi dopan Fe maka semakin kecil energi celah yang dihasilkan. Nilai energi celah masing-masing dari BTO, 2% Fe/BTO, 4% Fe/BTO dan 6% Fe/BTO yaitu 2,92; 2,43; 2,36; dan 2,28 eV.



Gambar 2.4 Spektra UV-Vis DRS $Bi_4Fe_xTi_{3-x}O_{12}$ (x= 2, 4, 6%) (Liu, dkk., 2017).

2.4 Metode Lelehan Garam

Metode lelehan garam adalah metode modifikasi metalurgi untuk mensintesis serbuk keramik menggunakan lelehan garam sebagai media sintesis (Kimura, 2011). Metode ini merupakan metode sederhana dan ramah lingkungan yang memiliki kristalinitas dan kemurnian tinggi dengan komposisi dan morfologi material yang dapat dikontrol (Xue, dkk., 2018). Selain itu, efektif mensintesis partikel anisometrik dan mereduksi partikel agregat hasil sintesis. Lelehan garam

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

berbeda dengan larutan garam. Lelehan garam merupakan padatan garam yang dipanaskan hingga meleleh, sehingga adanya perubahan fase dari padatan menjadi cairan (lelehan). Sedangkan larutan garam merupakan padatan yang dilarutkan dalam pelarut tertentu dan berfase cairan. Berdasarkan hal tersebut, lelehan merupakan perubahan fase tanpa menggunakan pelarut, sedangkan larutan merupan fase cairan hasil dari padatan yang dilarutkan (Zhao, dkk., 2014).

Metode lelehan garam terbukti efektif menghasilkan morfologi Aurivillius yang khas berbentuk *plate-like*. Mekanisme pembentukan morfologi *plate-like* menggunakan metode lelehan garam sebagai berikut: (1) reaksi padatan dan nukleasi, (2) proses pembentukan morfologi *plate-like*, (3) proses difusi dan nukleasi tepi, dan (4) proses difusi dan pertumbuhan kristal. Jenis dan rasio mol garam juga menjadi salah satu faktor penting yang mempengaruhi ukuran dan ketebalan partikel *plate-like* (Zhao, dkk., 2014).

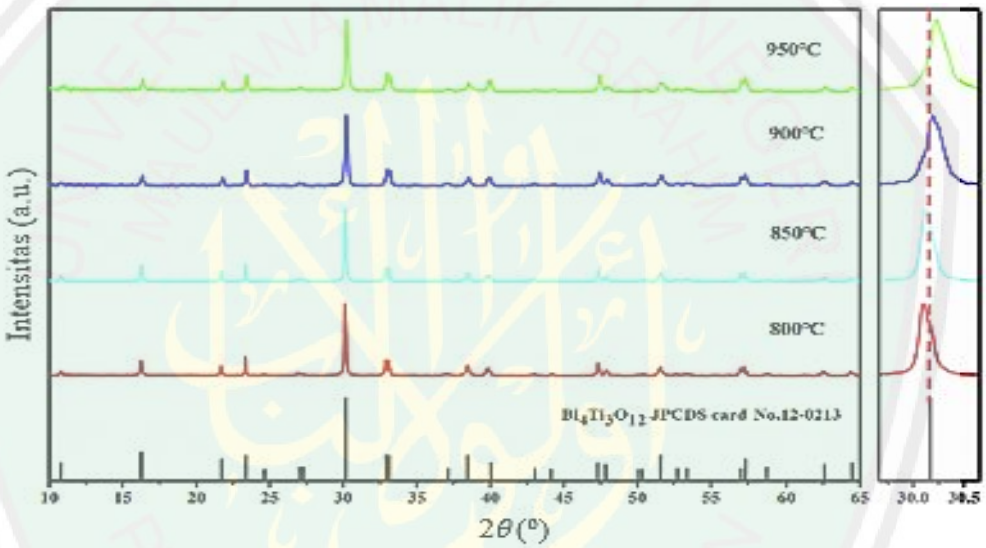
2.5 Sintesis Senyawa Aurivillius dengan Metode Lelehan Garam

Sintesis senyawa Aurivillius menggunakan metode lelehan garam telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti. Garam klorida dan sulfat merupakan karakteristik garam yang digunakan untuk sintesis menggunakan metode lelehan garam. Beberapa garam tunggal yang sering digunakan pada metode lelehan garam seperti NaCl, KCl, Na_2SO_4, dan K_2SO_4, sedangkan campuran garam seperti NaCl-KCl dan Na_2SO_4-K_2SO_4 (Kimura, 2011 dan Xue, dkk., 2018).

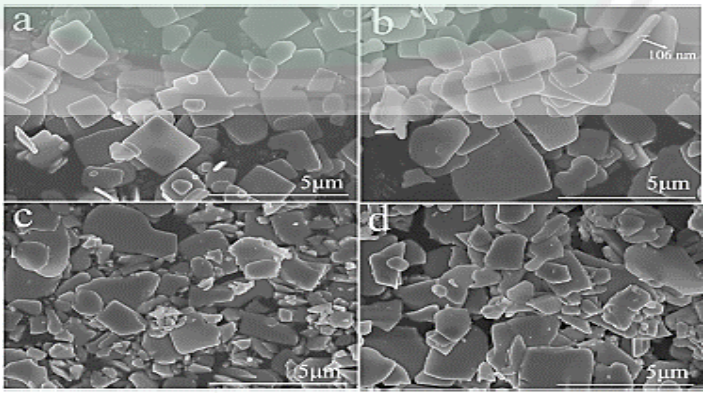
Zhang, dkk. (2018) telah mensintesis $Bi_4Ti_3O_{12}$ terdoping Pr^{3+} menggunakan metode lelehan garam NaCl-KCl pada suhu 800-950 ^oC selama 4 jam. Pola difraksi sinar-*X* ditampilkan pada Gambar 2.5. Hasil sintesis menunjukkan bahwa $(Bi_{0,985}Pr_{0,015})_4Ti_3O_{12}$ memiliki grup ruang *Fmmm* dengan

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

parameter kisi *a*= 5,41 Å, *b*= 5,448 Å, *c*= 32,84 Å, dan tidak terdapat fasa pengotor. Pergeseran merah pada 2θ= 30,2° menunjukkan bahwa Pr^{3+} tersubtitusi ke dalam kisi kristal $Bi_4Ti_3O_{12}$. Hasil karakterisasi SEM ditampilkan pada Gambar 2.6 yang menunjukkan bahwa $(Bi_{0,985}Pr_{0,015})_4Ti_3O_{12}$ pada suhu 800 dan 850 °C menghasilkan morfologi *plate-like* yang seragam dan halus (0,5–2 µm) dengan ketebalan *sheet* 106 nm, sedangkan pada suhu sintering 900 dan 950 °C menghasilkan morfologi *plate-like* tidak teratur dan *sheet* menjadi lebih tebal.

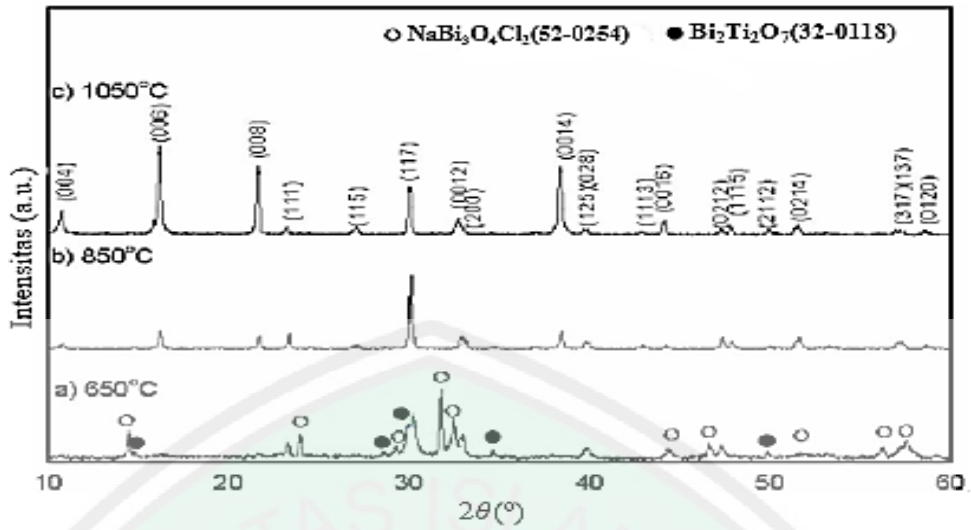


Gambar 2.5 Pola XRD $(Bi_{0,985}Pr_{0,015})_4Ti_3O_{12}$ pada suhu 800-950 °C selama 4 jam dengan perbesaran pola XRD pada 2θ= 30,2° (Zhang, dkk., 2018).

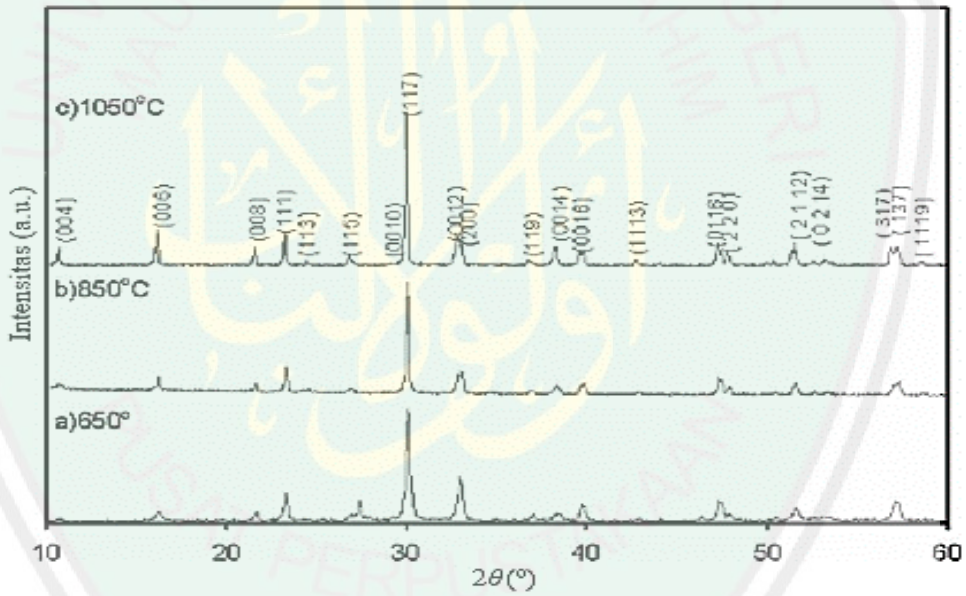


Gambar 2.6 Mikrograf SEM $(Bi_{0,985}Pr_{0,015})_4Ti_3O_{12}$ pada suhu (a) 800, (b) 850, (c) 900, dan (d) 950 °C selama 4 jam (Zhang, dkk., 2018).

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG



Gambar 2.7 Pola XRD $Bi_4Ti_3O_{12}$ yang disintesis menggunakan garam NaCl-KCl (Setasuwon dan Kijamnajsak, 2008).



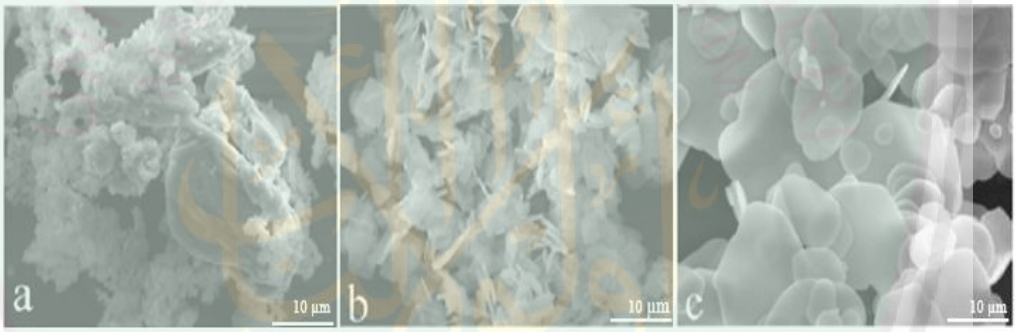
Gambar 2.8 Pola XRD $Bi_4Ti_3O_{12}$ yang disintesis menggunakan garam Na_2SO_4-K_2SO_4 (Setasuwon dan Kijamnajsak, 2008).

Setasuwon dan Kijamnajsak (2008) telah mensintesis $Bi_4Ti_3O_{12}$ menggunakan metode lelehan garam dengan membandingkan garam NaCl-KCl dan Na_2SO_4-K_2SO_4 pada suhu 650, 850, dan 1050 ^oC selama 2 jam. Pola difraksi sinar-*X* ditampilkan pada Gambar 2.7 dan 2.8. Sintesis $Bi_4Ti_3O_{12}$ menggunakan garam NaCl-KCl menunjukkan tidak terdapat fasa pengotor kecuali pada suhu

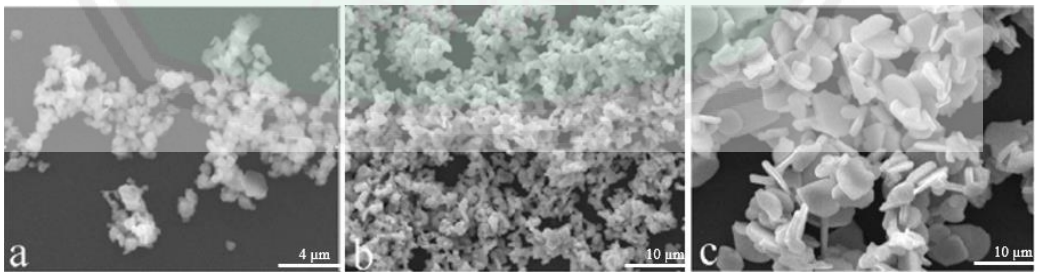
CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

650 ^{o}C yang terbentuk fasa pengotor $NaBi_3O_4Cl_2$ dan $Bi_2Ti_2O_7$ yang berasal dari garam NaCl, sedangkan sintesis $Bi_4Ti_3O_{12}$ menggunakan garam Na_2SO_4-K_2SO_4 menunjukkan tidak terdapat fasa pengotor.

Hasil karakterisasi SEM ditampilkan pada Gambar 2.9 dan 2.10. Morfologi partikel yang dihasilkan masing-masing berbentuk *plate-like* dengan ukuran partikel beberapa mikron pada 850 ^{o}C dan lebih besar dari 10 μm pada suhu 1050 ^{o}C. Sintesis $Bi_4Ti_3O_{12}$ menggunakan garam Na_2SO_4-K_2SO_4 menunjukkan tidak terbentuk fasa pengotor dengan ukuran partikel lebih kecil tetapi lebih tebal daripada partikel-partikel dari NaCl-KCl.



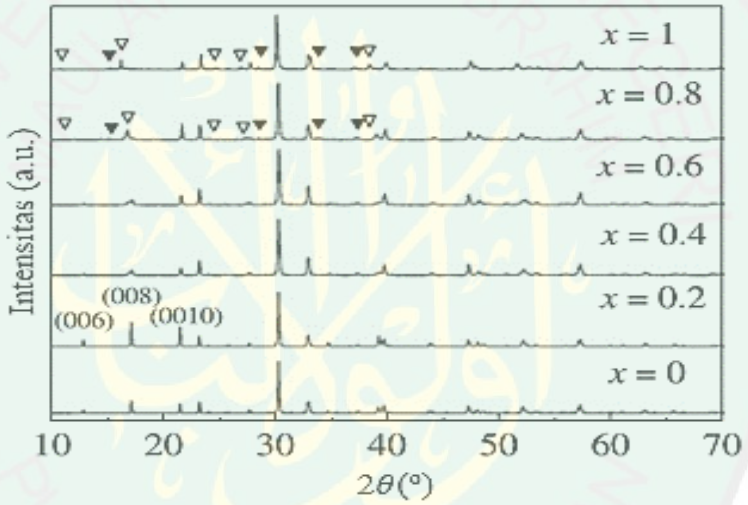
Gambar 2.9 Mikrograf SEM $Bi_4Ti_3O_{12}$ yang disintesis menggunakan garam NaCl-KCl pada suhu (a) 650, (b) 850, dan (c) 1050 ^{o}C (Setasuwon dan Kijamnajsak, 2008).



Gambar 2.10 Mikrograf SEM $Bi_4Ti_3O_{12}$ yang disintesis menggunakan garam Na_2SO_4-K_2SO_4 pada suhu (a) 650, (b) 850, dan (c) 1050 ^{o}C (Setasuwon dan Kijamnajsak, 2008).

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

Zulhadjri, dkk. (2011) telah mensintesis Aurivillius lapis empat $PbBi_4Ti_4O_{15}$ terdoping Mn^{3+} pada suhu 850-950 ^oC selama 15 jam menggunakan metode lelehan garam Na_2SO_4-K_2SO_4 (1:1). Pola difraksi sinar-*X* ditampilkan pada Gambar 2.9 yang menunjukkan $PbBi_4Ti_4O_{15}$ terdoping Mn^{3+} dihasilkan kristal tunggal dan fasa pengotor dengan grup ruang $A2_1am$. Kristal tunggal didapatkan pada x= 0; 0,2; 0,4; 0,6 dengan x= 0,2 menunjukkan orientasi (001), Sedangkan fasa pengotor $Bi_4Ti_3O_{12}$ dan $Bi_2Mn_4O_{10}$ ditemukan pada x= 0,8 dan 0,6.



Gambar 2.11 Pola XRD dari $Pb_{1-x}Bi_{4-x}Ti_{4-x}Mn_xO_{15}$ (x= 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8, 1) disintesis menggunakan metode lelehan garam: ∇= $Bi_4Ti_3O_{12}$ dan ▼= $Bi_2Mn_4O_{10}$.

2.6 Perspektif Ekologi dalam Islam

Ekologi merupakan ilmu yang mengkaji interaksi manusia dengan lingkungannya. Ekologi dalam Islam dikenal dengan konsep yang berkaitan dengan penciptaan manusia dan alam semesta yakni konsep *khalifatullah fi al-ardh*. Konsep ini menginterpretasikan manusia wajib untuk dapat mempresentasikan dirinya sesuai dengan sifat-sifat Allah seperti sebagai

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

pemelihara atau penjaga alam. Oleh karena itu kita diharuskan untuk tetap menjaga ekosistem dan lingkungan demi mewujudukan pemeliharaan dan peningkatan kelestarian lingkungan. Allah melarang manusia untuk berbuat kerusakan seperti yang telah disebutkan dalam firman Allah Q.S surat al-A'raf (7) ayat 56.

وَلَا تُفْسِدُوا۟ فِى ٱلْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَٰحِهَا وَٱدْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا ۚ إِنَّ رَحْمَتَ ٱللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ ٱلْمُحْسِنِينَ ﴿٥٦﴾

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."*

Berdasarkan ayat di atas Allah melarang manusia berbuat kerusakan di muka bumi yang telah dibuat baik sedemikian rupa. Larangan tersebut berkaitan dengan perbuatan maksiat, kedzaliman, membahayakan kelestarian lingkungan, menghancurkan atau mengeksploitasi sumber-sumber kehidupan. Manusia diperintahkan untuk menyembah Allah dan meminta pertolongan hanya kepada-Nya dengan kerendahan diri dan memohon belas kasihan-Nya. Allah menciptakan segala kelengkapan di muka bumi bertujuan agar manusia dapat mengelola, mengembangkan maupun memanfaatkan potensi alam secara konsekuen demi kemaslahatan manusia dan makhluk hidup lainnya (Shihab, 2002).

Pencemaran air yang disebabkan oleh pembuangan limbah zat warna ke perairan secara langsung tanpa disertai pengolahan terlebih dahulu. dapat menurunkan kualitas air. Kualitas air yang menurun dapat diketahui secara fisik dengan air menjadi berwarna dan secara kimia dengan tingginya kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD). Kadar COD dan BOD yang tinggi mengindikasikan kadar oksigen dalam air rendah yang dapat

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

menyebabkan kematian dalam waktu singkat organisme akuatik, bahkan jika organisme atau air yang terkontaminan limbah zat warna terkomsumsi oleh manusia dapat menimbulkan penyakit kanker hingga kematian. Oleh sebab itu, air menjadi salah satu parameter penting kehidupan sebagaimana firman-Nya dalam surat an-Nahl (16): 10.

وَجَعَلْنَا مِنَ ٱلْمَآءِ كُلَّ شَىْءٍ حَىٍّ ۖ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ ﴿٣٠﴾

Artinya: *"Dan dari air Kami jadikan segala sesuatu yang hidup. Maka mengapakah mereka tiada juga beriman?."*

Tafsir Kemenag RI (2017) menjelaskan bahwa air merupakan suatu unsur yang sangat vital bagi kejadian dan kehidupan makhluk. Pada kenyataannya, memang sebagian besar bagian tubuh makhluk hidup terdiri dari air. Tubuh manusia memang 75% terdiri atas air, otak 74,5% air, darah 82% air dan tulang yang keras pun mengandung 22% air. Hal ini mengindikasikan bahwa air sebagai sumber kehidupan, dimana makhluk ciptaan-Nya mengandung molekul-molekul air yang berfungsi penting dalam kehidupan. Kulaitas air yang baik yaitu tidak berwarna, tidak berbau dan tidak mengandung senyawa kimia bersifat toksik.

Pencemaran air dapat ditanggulangi dengan pengolahan limbah zat warna sebelum di buang ke perairan. Salah satu metode pengolahan limbah zat warna dapat menggunakan metode fotokatalis dengan memanfaatkan ciptaan-Nya seperti matahari dan material $SrBi_4Ti_4O_{15}$ terdoping besi (Fe). Allah swt telah menyerukan kepada manusia untuk senantiasa mengambil hikmah dan memanfaatkan segala potensi atas apa yang telah Allah ciptakan baik yang ada di bumi maupun di langit sebagaimana firman-Nya dalam surat al-Jatsiyah (45): 13.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

وَسَخَّرَ لَكُم مَّا فِي ٱلسَّمَٰوَٰتِ وَمَا فِي ٱلۡأَرۡضِ جَمِيعٗا مِّنۡهُۚ إِنَّ فِي ذَٰلِكَ لَأٓيَٰتٖ لِّقَوۡمٖ يَتَفَكَّرُونَ ١٣

Artinya: *"Dan Dia telah menundukkan untukmu apa yang di langit dan apa yang di bumi semuanya, (sebagai rahmat) daripada-Nya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang berfikir."*

Tafsir Kemenag RI (2017) menjelaskan bahwa Allah yang telah menundukkan semua makhluk ciptaan-Nya yang ada di langit (seperti matahari, bulan, bintang-bintang, awan, angin, air hujan, dan lain-lain) dan di bumi (seperti tumbuh-tumbuhan, binatang, batu-batuan, gunung, lautan, dan lain-lain) agar manusia dapat menggunakan dan memanfaatkannya untuk kepentingan mereka dalam melaksanakan tugas sebagai khalifah Allah di bumi. Kombinasi penggunaan dan pemanfaatan ciptaan-Nya yang berada di langit seperti matahari (sumber energi foton) dan di bumi seperti material $SrBi_4Ti_4O_{15}$ dan logam besi (Fe) mampu mengoptimalkan pengolahan limbah zat warna dan mencegah pencemaran air merupakan salah satu representatif dari surat al-Jatsiyah ayat 13 tersebut.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini akan dilakukan pada bulan Juli-Agustus 2020 di Laboratorium Kimia Anorganik Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan antara lain seperangkat alat gelas, alumunium foil, krus alumina, tanur, neraca analitik, *hotplate*, mortar agate, seperangkat alat XRD, seperangkat alat SEM, dan seperangkat alat UV-Vis DRS.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan antara lain Bi_2O_3 (Himedia, 99,9% serbuk), TiO_2 (Aldrich, 99,9% serbuk), $SrCO_3$ (Merck, 99,9% serbuk), Fe_2O_3 (Himedia, 99,9% serbuk), Na_2SO_4 (Merck, 99,5% serbuk), K_2SO_4 (Merck, 99,5% serbuk), aseton, dan akuades.

3.3 Rancangan Penelitian

Rancangan dalam penelitian ini sebagai berikut:

a. Tahapan sintesis $SrBi_4Ti_4O_{15}$ terdoping Fe^{3+} dengan metode lelehan garam

   $SrBi_4Ti_4O_{15}$ terdoping Fe^{3+} disintesis menggunakan metode lelehan garam dengan rasio garam Na_2SO_4-K_2SO_4 = 1:1, sedangkan rasio senyawa oksida dan garam adalah 1:7. Sintesis ini dilakukan dengan mencampurkan prekursor dan garam secara stoikiometrik. Campuran tersebut kemudian dikalsinasi pada

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

suhu 750 dan 850 ^{o}C maisng-masing selama 6 jam, dilanjutkan dengan pendinginan sampai suhu ruang, dan penghilangan garam dengan air panas.

b. Tahapan proses karakterisasi

Proses ini mencakup karakterisasi hasil sintesis $SrBi_4Ti_4O_{15}$ terdoping Fe^{3+} menggunakan instrumen: (a) XRD, (b) SEM, dan (c) UV-Vis DRS.

3.4 Prosedur Kerja

3.4.1 Sintesis $SrBi_4Ti_4O_{15}$ Terdoping Fe^{3+} dengan Metode Lelehan Garam

Sintesis $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2) dilakukan dengan mencampurkan prekursor dan garam secara stoikiometri ditampilkan pada Tabel 3.1 dengan massa senyawa target sebanyak 3 gram. Campuran tersebut digerus menggunakan mortar agate selama 2 jam dengan ditambahkan aseton selama penggerusan dan dikalsinasi pada suhu 750 ^{o}C selama 6 jam. Kemudian digerus kembali selama 30 menit dengan ditambahkan aseton selama penggerusan dan dikalsinasi pada 850 ^{o}C selama 6 jam. Hasil produk dikeluarkan dari tanur dan diletakkan di atas kertas saring dan disaring menggunakan erlenmeyer. Sampel dicuci beberapa kali menggunakan air suling panas sampai garam hilang dan dianalisis menggunakan larutan $AgNO_3$ ke dalam filtratnya. Setelah kadar garam hilang, produk dikeringkan menggunakan oven pada suhu 90 ^{o}C selama 3 jam.

Tabel 3. 1 Komposisi prekursor senyawa $SrBi_4Ti_4O_{15}$ terdoping Fe

Target Senyawa	Massa Target (gram)	Massa pereaksi (gram)					
		$SrCO_3$	Bi_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	Na_2SO_4	K_2SO_4
$SrBi_4Ti_4O_{15}$	3	0,3268175	2,0630799	0,7075289	-	2,2011321	2,700416
$SrBi_4Ti_{3,95}Fe_{0,05}O_{15}$	3	0,3267217	2,0624754	0,6984801	0,0088353	2,2004872	2,6996248
$SrBi_4Ti_{3,9}Fe_{0,1}O_{15}$	3	0,326626	2,0618713	0,6894366	0,0176654	2,1998427	2,6988341
$SrBi_4Ti_{3,85}Fe_{0,15}O_{15}$	3	0,3265304	2,0612676	0,6803984	0,0264903	2,1991986	2,6980438
$SrBi_4Ti_{3,8}Fe_{0,2}O_{15}$	3	0,3264348	2,0606642	0,6713654	0,0353100	2,1985548	2,6972540

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

3.4.2 Karakterisasi menggunakan XRD

Karakterisasi menggunakan XRD dilakukan pada suhu kamar dengan radiasi Cu-*Kα* pada 40 kV dan 30 mA pada rentang 2*θ*= 10-70^{o}.

3.4.3 Karakterisasi menggunakan SEM

Karakterisasi menggunakan SEM dilakukan dengan sampel diletakkan pada sampel *holder* kemudian diukur dengan perbesaran 3000-20.000 kali.

3.4.4 Karakterisasi menggunakan UV-Vis DRS

Karakterisasi menggunakan UV-Vis DRS dilakukan dengan sampel yang berbentuk serbuk halus ditempatkan pada sampel *holder*. Sampel diukur menggunakan UV-Vis DRS pada panjang gelombang 200-800 nm.

3.5 Analisis Data

3.5.1 Analisis Data XRD

Hasil karakterisasi XRD dibandingkan dengan data standar yang ada pada *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS). Kemudian data XRD di *refinement* menggunakan program Rietica dan metode Le-Bail. Perhitungan *crystallite size* sampel menggunakan persamaan Debye-Scherrer (Persamaan 3.1).

$$D = \frac{\mathrm{K}\,\lambda}{\beta\,\mathrm{Cos}\,\theta} \quad \text{.....(3.1)}$$

dengan *D* adalah ukuran kristal (nm), λ adalah panjang gelombang radiasi, *K* adalah konstanta (0,9), *β* adalah integrasi luas pucak refleksi (FWHM, radian).

3.5.2 Analisis Data SEM

Hasil karakterisasi SEM berupa morfologi sampel. Selanjutnya gambar yang diperoleh dianalisis menggunakan *software image-J* untuk mengetahui morfologi dan ukuran partikelnya.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

3.5.3 Analisis Data UV-Vis DRS

Hasil karakterisasi dengan UV-Vis DRS dianalisis menggunakan persamaan Kubelka-Munk yang ditunjukkan pada Persamaan 3.2.

$$F(R) = \left(\frac{(1-R)^2}{2R} = \frac{K}{s}\right) \quad \text{.....(3.2)}$$

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

3.5.4 Hubungan Analisis Data XRD, SEM, dan UV-Vis DRS

Hasil analisis data yang diharapkan yaitu memiliki struktur kristal ortorombik dan grup ruang $A2_1am$ dengan kristalinitas yang tinggi, sedangkan morfologinya berbentuk *plate-like* dengan ukuran partikel dan nilai energi celah pitanya rendah serta berada di daerah sinar tampak. Hasil analisis XRD dapat menunjukkan bahwa sampel tersebut memiliki kristalinitas yang tinggi atau rendah. Kristalinitas yang tinggi dapat dibuktikan dengan hasil SEM yang menunjukkan bahwa ukuran partikelnya rendah dan homgenitasnya tinggi. Hal tersebut juga dapat diketahui dari hasil data UV-Vis DRS yang menunjukkan nilai energi celah pitanya yang rendah karena memiliki ukuran partikel yang rendah.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini dilakukan sintesis senyawa $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2) dengan metode lelehan garam Na_2SO_4-K_2SO_4 yang dikalsinasi pada suhu 750 dan 850 ^oC masing-masing selama 6 jam. Hasil sintesis dikarakterisasi menggunkan: (a) XRD untuk mengetahui struktur kristal, (b) SEM untuk mengetahui morfologi partikel, dan (c) UV-Vis DRS untuk mengetahui energi celah pita dari senyawa yang dihasilkan.

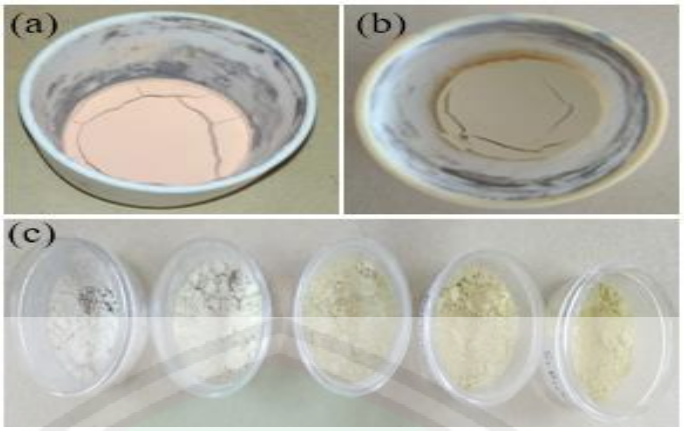
4.1 Sintesis $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ dengan Metode Lelehan Garam

Sintesis $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ dilakukan dengan mereaksikan prekursor $SrCO_3$, Bi_2O_3, TiO_2, Fe_2O_3, dan garam Na_2SO_4-K_2SO_4 dengan ditambahkan aseton selama penggerusan untuk meningkatkan homogenitas prekursor dan garam. Kemudian dilakukan pemanasan awal pada suhu 750 ^oC untuk mencegah penguapan Bi_2O_3 pada suhu tinggi (Zhao, dkk., 2014). Setelah dikalsinasi sampel digerus kembali dan dikalsinasi pada suhu 850 ^oC untuk memaksimalkan proses pertumbuhan kristal dan reaksi kontak antar prekursor dengan lelehan garam dimana garam Na_2SO_4-K_2SO_4 memiliki suhu eutetik 823 ^oC. Perubahan warna sampel sebelum dan setelah kalsinasi 850 ^oC ditampilkan pada Gambar 4.1. Perubahan warna tersebut dari merah bata pucat menjadi kuning pucat menunjukkan terjadinya reaksi selama proses kalsinasi dan terbentuk senyawa baru. Produk kemudian dicuci dengan air panas untuk menghilangkan garamnya dan diidentifikasi dengan $AgNO_3$. Reaksi yang terjadi sebagai berikut:

$$2\ AgNO_{3(aq)} + Na_2SO_{4(aq)} \rightarrow Ag_2SO_{4(s)}\downarrow + 2\ NaNO_{3(aq)}$$

$$2\ AgNO_{3(aq)} + K_2SO4_{(aq)} \rightarrow Ag_2SO_{4(s)}\downarrow + 2\ KNO_{3(aq)}$$

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG



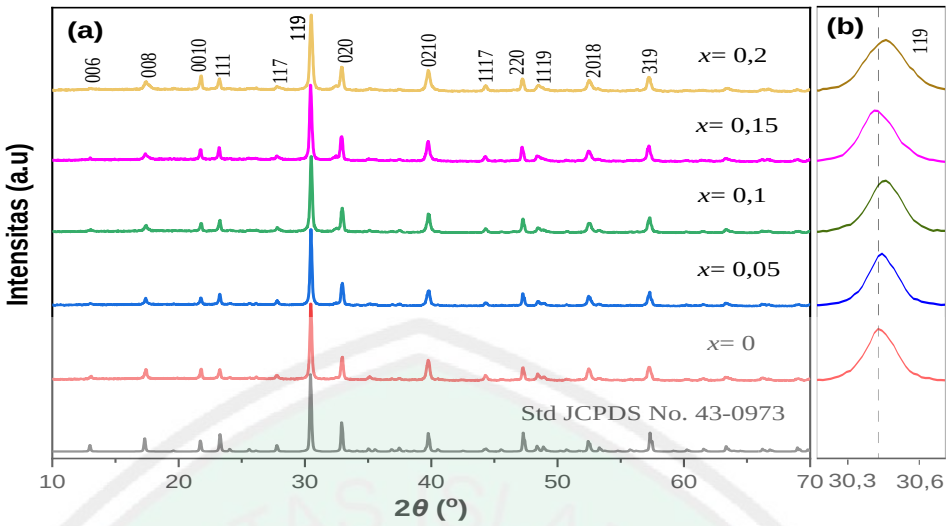
Gambar 4.1 Perubahan warna sampel (a) sebelum kalsinasi, (b) setelah kalsinasi suhu 850 °C, dan (c) setelah penyaringan sampel $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2).

4.2 Karakterisasi dan Analisis $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ menggunakan XRD

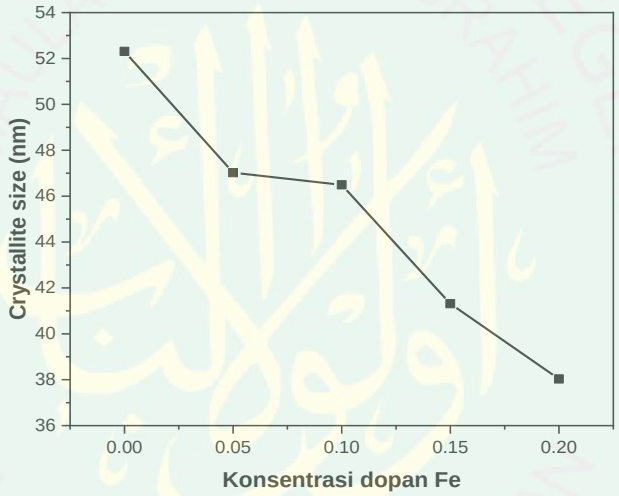
Difraktogram senyawa $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2) ditampilkan pada Gambar 4.2 (a) yang menunjukkan bahwa puncak difraksi yang dihasilkan bersesuaian dengan data standar $SrBi_4Ti_4O_{15}$ (JCPDS No. 43–0973). Posisi puncak difraksi khas $SrTiO_3$ teridentifikasi pada 2θ= 23; 33; 40; 46,5; dan 58°. Tidak ditemukan puncak lain pada difraktogram yang menunjukkan tidak adanya fasa pengotor pada sampel.

Pergeseran puncak difraksi pada 2θ= 30,4° ditampilkan pada Gambar 4.2 (b). Pergeseran puncak difraksi 2θ= 30,4° ke arah 2θ yang lebih besar menunjukkan adanya perubahan kisi sel kristal yang semakin kecil sebagai akibat dopan Fe. Hal ini karena Fe dalam $SrBi_4Ti_4O_{15}$ memiliki muatan ion Fe^{3+} (0,064 nm) dengan ukuran jari-jari lebih kecil dibandingkan Ti^{4+} (0,068 nm). Sedangkan pergeseran ke ke arah 2θ yang lebih kecil pada x= 0,15 dapat disebabkan karena perubahan muatan ion dari Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} (0,076 nm) pada suhu tinggi dimana ukuran jari-jarinya lebih besar dibandingkan Ti^{4+} (0,068 nm) (Guo, dkk., 2017).

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG



Gambar 4. 2 (a) Difraktogram senyawa $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2), dan (b) pergeseran puncak difraksi pada 2θ= 30,4°.



Gambar 4. 3 *Crystallite size* $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2) pada puncak difraksi 2θ= 30,4°.

Crystallite size dihitung menggunakan persamaan Debye Scherrer dengan menggunakan data puncak difraksi 2θ= 30,4° (Perhitungan ditampilkan pada Lampiran 4). Hasil perhitungan dirangkum pada Tabel 4.1 dan tren perubahan *crystallite size* ditampilkan pada Gambar 4.4. Tren menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi dopan Fe maka semakin kecil ukuran kristalnya. Hal ini disebabkan karena Fe dalam $SrBi_4Ti_4O_{15}$ memiliki muatan ion Fe^{3+} (0,064 nm) dengan ukuran jari-jari lebih kecil dibandingkan Ti^{4+} (0,068 nm), sehingga

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

peningkatan konsentrasi dopan Fe mampu memperlebar puncak difraksi akibat kompensasi muatan logam Ti yang tersubtitusi oleh logam Fe.

Tabel 4. 1 *Crystallite size* $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2).

Material	***Crystallite size* (nm)**
$SrBi_4Ti_4O_{15}$	52,31
$SrBi_4Ti_{3,95}Fe_{0,05}O_{15}$	47,02
$SrBi_4Ti_{3,9}Fe_{0,1}O_{15}$	46,50
$SrBi_4Ti_{3,85}Fe_{0,15}O_{15}$	44,67
$SrBi_4Ti_{3,8}Fe_{0,2}O_{15}$	38,03

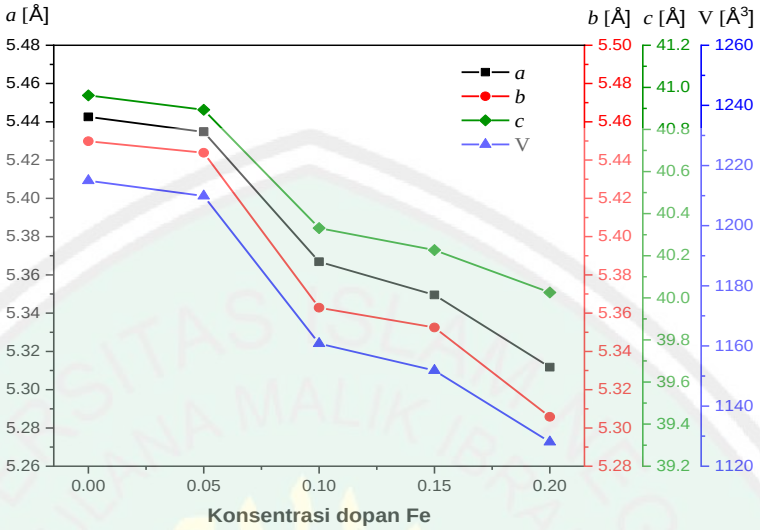
4.3 Refinement Data XRD $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$

Data kristalografi $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2) diperoleh dari *refinement* difraktogram sampel dengan menggunakan perangkat lunak Rietica dan metode Le Bail. Proses *refinement* menggunakan data standar $SrBi_4Ti_4O_{15}$ (JCPDS No. 43–0973) dengan sistem kristal orthorombik dengan data kristalografi: grup ruang $A2_1am$, Z= 4, parameter kisi a= 5,4280; b= 5,4380; c= 40,9400 dan α=β=γ=90°. Hasil *refinement* dirangkum pada Tabel 4.2 dan plot *refinement* $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2) ditampilkan pada Lampiran.

Nilai residu profil (R_p) dan residu profil berbobot (R_{wp}) yang diperoleh sudah di bawah 10, sedangkan *Good of Fitness* (*GoF*) yang diperoleh berada pada nilai 1. Hal ini mengindikasikan bahwa $SrBi_4Ti_4O_{15}$ terdoping Fe memiliki kecocokan yang baik dengan data standar $SrBi_4Ti_4O_{15}$ (Andrieux, dkk., 2018). Tren parameter kisi dan volume ditampilkan pada Gambar 4.4 dan menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi dopan Fe maka semakin rendah nilai parameter kisi *a, b, c* dan volume selnya. Hal ini mengindikasikan adanya penyusutan

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

ukuran BO_6 oktahedral akibat pemendekan dari panjang ikatan *B*-O yang disebabkan tersubtitusinya Ti^{4+} (0,068 nm, CN=6) oleh Fe^{3+} (0,064 nm, CN=6).



Gambar 4. 4 Parameter kisi dan volume sel $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2).

Tabel 4. 2 Data Kristalografi $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2).

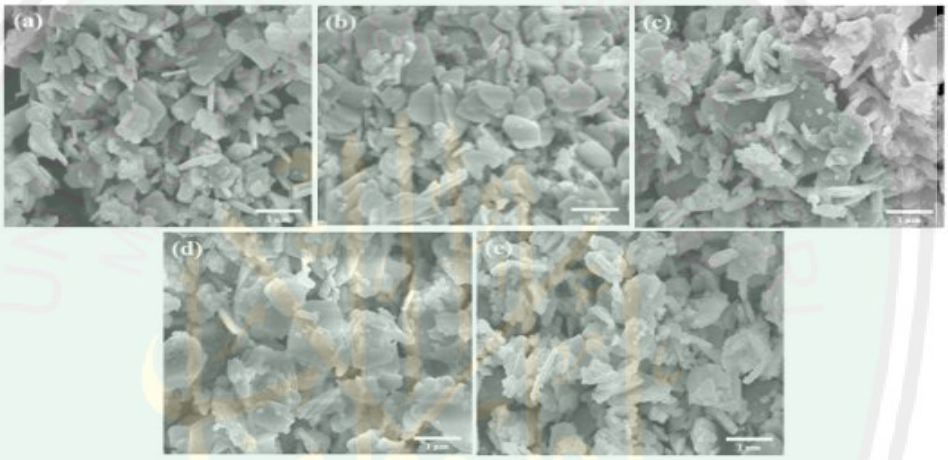
Parameter	$SrBi_4Ti_4O_{15}$	$SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$			
		x= 0,05	x= 0,1	x= 0,15	x= 0,2
Sistem Kristal	Orthorombik	Orthorombik	Orthorombik	Orthorombik	Orthorombik
Grup Ruang	$A2_1am$	$A2_1am$	$A2_1am$	$A2_1am$	$A2_1am$
Unit Azimetrik (Z)	4	4	4	4	4
Panjang ***a***	5,442572	5,434705	5,366870	5,349523	5,311743
Panjang ***b***	5,449878	5,443792	5,362809	5,352504	5,305813
Panjang ***c***	40,961819	40,893303	40,331299	40,226860	40,025707
Volume Sel (V)	1214,982910	1209,844727	1160,795288	1151,829590	1128,049072
R_p (%)	8,39	8,25	9,22	9,57	9,34
R_{wp} (%)	6,64	6,55	7,24	8,18	8,56
GoF (X^2)	1,003	1,001	1,081	1,400	1,564

4.4 Karakterisasi dan Analisis $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ menggunakan SEM

Metode lelehan garam efektif menghasilkan morfologi khas Aurivillius berbentuk *plate-like*. Mekanisme pembentukan morfologi *plate-like* menggunakan metode lelehan garam yaitu: (1) reaksi padatan disertai pembentukan nukleasi (2)

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

proses pembentukan morfologi *plate-like*, (3) proses difusi dan nukleasi tepi, dan (4) proses difusi dan pertumbuhan kristal (Zhao, dkk., 2014). Mikrograf SEM $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2) ditampilkan pada Gambar 4.5 dan diketahui $SrBi_4Ti_4O_{15}$ terdoping Fe memiliki morfologi khas Aurivillius berbentuk *plate-like* dan cenderung terbentuk aglomerasi setelah terdoping Fe. Aglomerasi terjadi akibat terdestruksinya partikel oleh dopan Fe yang teradsobsi secara berlebih pada permukaan material fotokatalis (Chen, dkk., 2016).

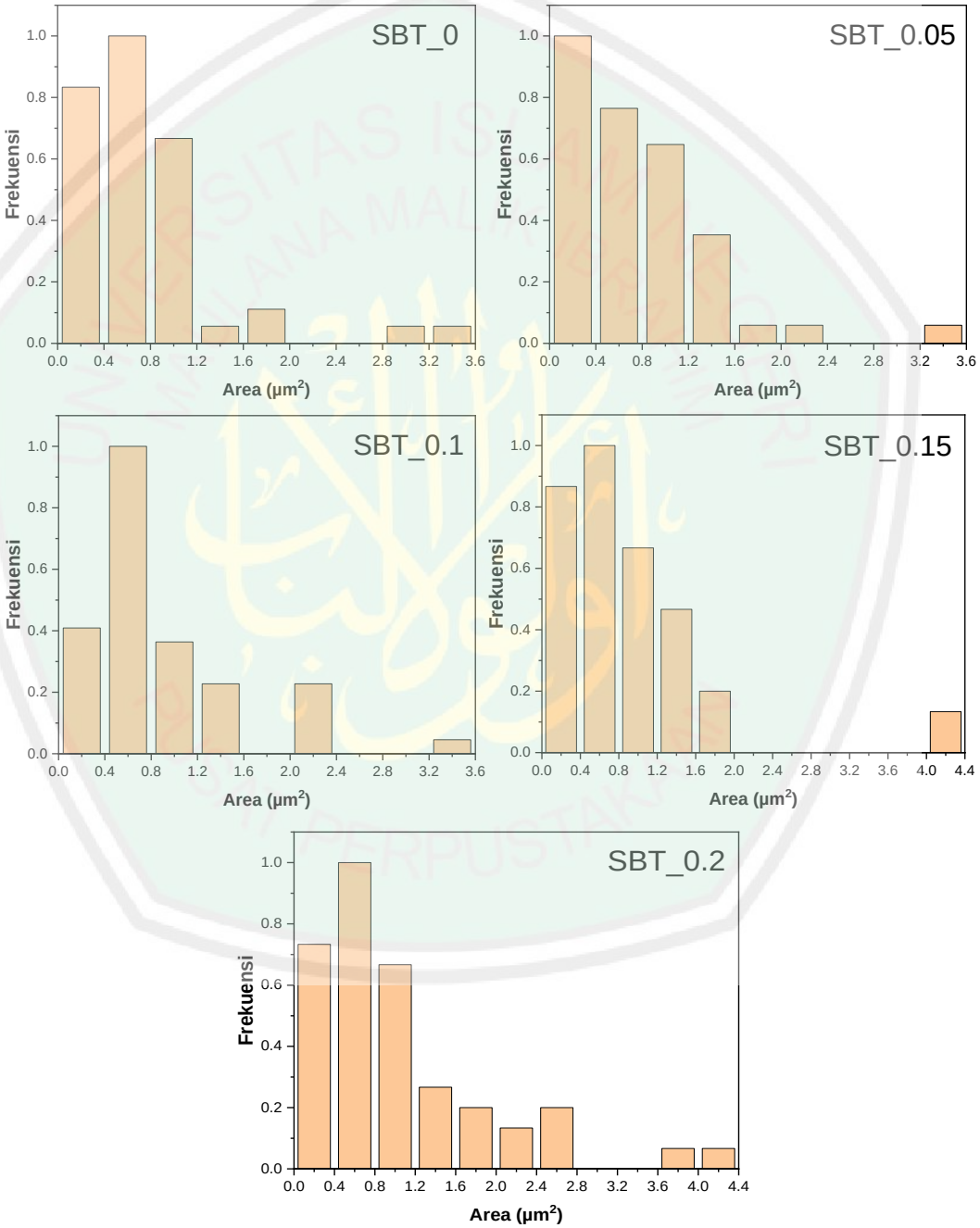


Gambar 4. 5 Mikrograf SEM $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ dengan x= (a) 0; (b) 0,05; (c) 0,01; (d) 0,15; dan (e) 0,2.

Distribusi ukuran partikel ditampilkan pada Gambar 4.6 dan diketahui bahwa $SrBi_4Ti_4O_{15}$ dengan x= 0; 0,1; 0,15; dan 0,2 di dominasi ukuran partikel pada kisaran 0,2; 0,6; dan 1,0 μm^2 dengan 0,6 μm^2 yang paling dominan, sedangkan x= 0,05 pada kisaran 0,2; 0,6; dan 1,0 μm^2 dengan 0,2 μm^2 yang paling dominan. Penurunan ini mengindikasikan adanya peningkatan *oxygen vacancy* yang terbentuk akibat kompensasi muatan Ti^{4+} oleh dopan Fe^{3+} yang menyebabkan migrasi ion terhambat, sehingga dapat menurunkan laju pertumbuhan butir dan menghasilkan ukuran partikel yang lebih kecil (Sato, dkk., 2019). Peningkatan konsentrasi dopan juga cenderung menghasilkan ukuran

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

partikel lebih besar pada kisaran lebih dari 1,2 μm^2 seiring dengan penurunan konsentrasi Ti. Hal ini mengindikasikan penurunan konsentrasi Ti menyebabkan mobilitas ionik tinggi dan merangsang pertumbuhan butir lebih besar (Wendari, dkk., 2020).

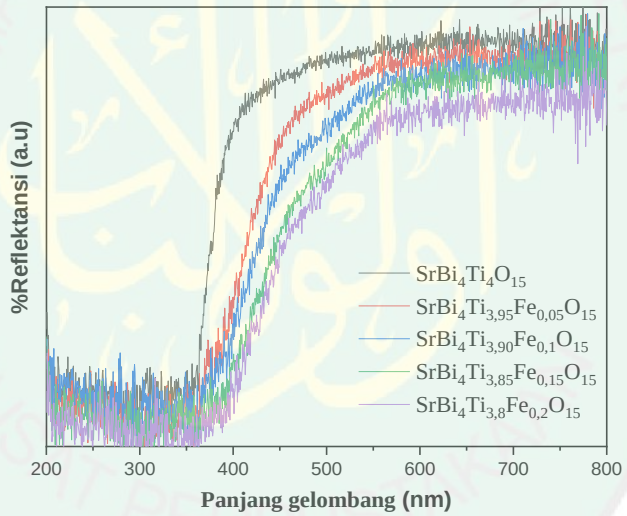


Gambar 4. 6 Histogram distribusi ukuran partikel $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2)**.**

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

4.5 Karakterisasi dan Analisis $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ menggunakan UV-Vis DRS

Hasil karakterisasi UV-Vis DRS ditampilkan pada Gambar 4.7 yang menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi dopan Fe maka semakin rendah intensitas % reflektansinya dan serapannya bergeser ke panjang gelombang yang lebih besar. Hal ini mengindikasikan bahwa dopan Fe mampu meningkatkan serapan ke daerah sinar tampak material $SrBi_4Ti_4O_{15}$. Kemudian data reflektansinya dianalisis menggunakan persamaan Kubelka-Munk untuk menentukan nilai energi celah pita $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2) seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.8 dan nilai energi celah pitanya dirangkum pada Tabel 4.4.

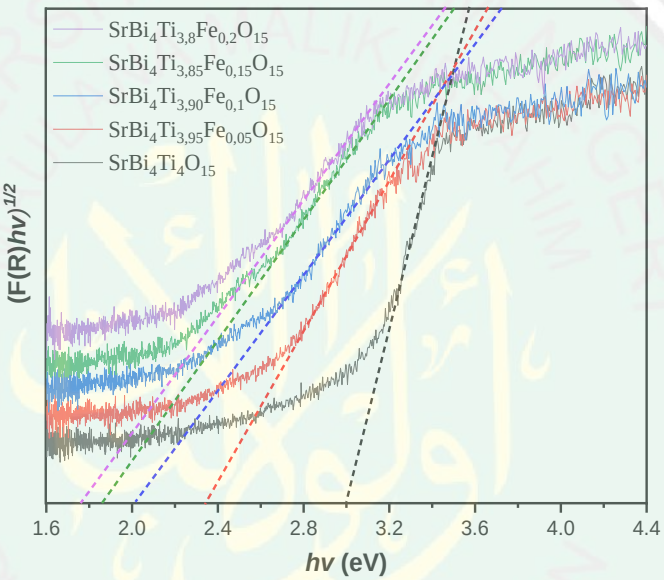


Gambar 4. 7 Spektra DRS hubungan % reflektansi dengan panjang gelombang senyawa $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2).

Berdasarkan pada Tabel 4.4 menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi dopan Fe maka semakin kecil energi celah pita yang dihasilkan dan penambahan dopan Fe terbukti dapat menggeser serapan ke daerah sinar tampak (530-705 nm). Hal ini memberikan keuntungan $SrBi_4Ti_4O_{15}$ sebagai material fotokatalis karena lebih banyak elektron yang tereksitasi di daerah sinar tampak.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

Dengan menggunakan analog pada material $Bi_4Ti_3O_{12}$ terdoping Fe yang juga mengalami penurunan energi celah maka penurunan energi celah ini disebabkan karena terbentuknya pita konduksi baru dari logam Fe-3*d* yang mensubtitusi logam Ti-3*d* (Liu, dkk., 2017). Hal ini dapat dimungkinkan terjadinya perubahan transisi elektroniknya dari orbital Bi-6*s* + O-2*p* (VB) ke Ti-3*d* (CB) berubah menjadi orbital Bi-6*s* + O-2*p* (VB) ke Fe-3*d* (CB) dengan energi celah yang lebih rendah seperti yang terjadi pada $Bi_4Ti_3O_{12}$ terdoping V (Gu, dkk., 2017).



Gambar 4. 8 Spektra DRS energi celah pita senyawa $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2).

Tabel 4. 3 Nilai energi celah pita dan panjang gelombang senyawa $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2).

Material	Energi Celah pita (eV)	Panjang Gelombang (nm)
$SrBi_4Ti_4O_{15}$ (Tu, dkk., 2019)	3,00	~420
$SrBi_4Ti_4O_{15}$	3,00	414
$SrBi_4Ti_{3,95}Fe_{0,05}O_{15}$	2,34	530
$SrBi_4Ti_{3,9}Fe_{0,1}O_{15}$	2,01	617
$SrBi_4Ti_{3,85}Fe_{0,15}O_{15}$	1,87	664
$SrBi_4Ti_{3,8}Fe_{0,2}O_{15}$	1,76	705

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

Transisi elektronik dari suatu atom, molekul cair, gas atau padatan memiliki perbedaan yang signifikan ketika dikenakan suatu *hv*. Pada suatu atom, transisi elektronik yang terjadi yaitu dari keadaan dasar ke keadaan tereksitasi (n= 0→ n= 1, 2, dan seterusnya), dimana elektron yang tereksitasi merupakan elektron valensi dari atom tersebut. Pada molekul cair atau gas maka pendekatan teori transisi elektroniknya yaitu dari σ→ σ*, n→ σ*, n→ π*, atau π→ π*, dimana elektron yang tereksitasi merupakan elektron dari orbital molekul ikatan pada energi tertinggi (HOMO). Sedangkan pada molekul padatan, pendekatan teori transisi elektroniknya yaitu elektron dari pita valensi akan tereksitasi ke pita konduksi ketika meperoleh energi foton (*hv*) sama dengan atau melebihi energi celah pita material padatan tersebut. Berdasarkan hal tersebut, perbedaan antara elektron valensi dengan pita valensi yaitu elektron valensi digunakan untuk menjelaskan suatu atom dapat tereksitasi dengan transisi elektroniknya n= 0→ n= 1, 2, dan seterusnya. Sedangkan pada pita valensi digunakan untuk menjelaskan molekul padatan yang dapat mengeksitasikan elektronnya dari pita valensi ke pita konduksi (Gu, dkk., 2017).

4.6 Sintesis Fotokatalis $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ dalam Perspektif Islam

Sintesis material fotokatalis $SrBi_4Ti_4O_{15}$ terdoping Fe merupakan suatu upaya untuk memperbaiki keberlangsungan lingkungan terutama pada biota perairan karena fungsi $SrBi_4Ti_4O_{15}$ terdoping Fe yang dapat dimanfaatkan untuk mendegradasi limbah zat warna *non-biodegradable* yang bersifat sangat toksik bagi ekosistem perairan. Modifikasi dengan adanya dopan Fe (besi) mampu meningkatkan aktivitas fotokatalis didaerah sinar tampak sehingga usaha untuk

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

meminimalisir limbah zat warna semakin besar. Hal tersebut dapat dikaitkan dengan firman Allah dalam al-Qur'an surat ar-Ra'd ayat 11:

لَهُۥ مُعَقِّبَٰتٌ مِّنۢ بَيْنِ يَدَيْهِ وَمِنْ خَلْفِهِۦ يَحْفَظُونَهُۥ مِنْ أَمْرِ ٱللَّهِ ۗ إِنَّ ٱللَّهَ لَا يُغَيِّرُ مَا بِقَوْمٍ حَتَّىٰ يُغَيِّرُوا۟ مَا بِأَنفُسِهِمْ ۗ وَإِذَآ أَرَادَ ٱللَّهُ بِقَوْمٍ سُوٓءًا فَلَا مَرَدَّ لَهُۥ ۚ وَمَا لَهُم مِّن دُونِهِۦ مِن وَالٍ ﴿١١﴾

Artinya: *"Bagi manusia ada malaikat-malaikat yang selalu mengikutinya bergiliran, di muka dan di belakangnya, mereka menjaganya atas perintah Allah. Sesungguhnya Allah tidak merubah keadaan sesuatu kaum sehingga mereka merubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri. Dan apabila Allah menghendaki keburukan terhadap sesuatu kaum, maka tak ada yang dapat menolaknya; dan sekali-kali tak ada pelindung bagi mereka selain Dia."*

Shihab (2002) dalam *Tafsir Al-Misbah* menjelaskan bahwa setiap manusia memiliki sejumlah malaikat yang bertugas menjaga dan memeliharanya atas perintah Allah. Demikian pula, Allah tidak akan mengubah nasib suatu bangsa dari keadaan terpuruk menjadi keadaan terbaik ataupun dari kesusahan menjadi kebahagiaan, sebelum adanya usaha dan tawakkal dari mereka sendiri untuk mengubah keadaan problematis yang mereka alami. Kata "qouma" bermakna bahwa suatu perubahan tidak dapat dilakukan secara individual, melainkan keharmonisan terbentuk secara gotong royong . Oleh sebab itu, penelitian ini dapat memberikan informasi untuk mengatasi permasalah lingkungan seperti pencemaran air dengan penggunaan material fotokatalis $SrBi_4Ti_4O_{15}$ terdoping Fe.

Manusia yang dianugerahi akal pikiran diperintahkan untuk memikirkan segala penciptaan Allah SWT baik di langit dan di bumi maupun di antara

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

keduanya karena ciptaan-Nya penuh hikmah dan tidak ada satupun yang sia-sia sebagaimana firman Allah dalam surat Shaad (38): 27.

وَمَا خَلَقْنَا ٱلسَّمَآءَ وَٱلْأَرْضَ وَمَا بَيْنَهُمَا بَٰطِلًا ۚ ذَٰلِكَ ظَنُّ ٱلَّذِينَ كَفَرُوا۟ ۚ فَوَيْلٌ لِّلَّذِينَ كَفَرُوا۟ مِنَ ٱلنَّارِ ﴿٢٧﴾

Artinya: *"Dan Kami tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada antara keduanya tanpa hikmah. Yang demikian itu adalah anggapan orang-orang kafir, maka celakalah orang-orang kafir itu karena mereka akan masuk neraka."*

Jalaluddin al-Mahalli dan Jalaluddin as-Suyuthi (1990) dalam *Tafsir al-Jalalain* menjelaskan bahwa Allah tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada diantara keduanya dengan sia-sia dan agar dapat dimanfaatkan. Pemanfaatan ciptaan-Nya yang berada di langit seperti matahari dan di bumi seperti material pembentuk senyawa $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ memiliki banyak manfaat. Sinar matahari dapat dimanfaakan sebagai sumber energi alami dari matahari yang mengandung banyak foton yang dapat difungsikan untuk mengaktifkan suatu katalis pendegradasi limbah zat warna yang berbahaya, sedangkan material semikonduktor $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ dapat dimanfaatkan sebagai material katalis tersebut. Oleh karena itu, matahari dan material pembentuk $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ merupakan rahmat Allah yang diciptakan tanpa sia-sia dan tak bernilai harganya bagi orang-orang yang berfikir dan mengambil hikmah di dalamnya.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa material $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2) berhasil disintesis dan tidak ditemukan fasa pengotor. $SrBi_4Ti_4O_{15}$ terdoping Fe memiliki struktur kristal orthorombik dan grup ruang $A2_1am$. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan morfologi *plate-like* dan cenderung terbentuk aglomerasi. Sedangkan data UV-Vis DRS menunjukkan bahwa energi celah pita $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ dengan x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; dan 0,2 masing-masing yaitu 3,00 eV (420 nm); 2,34 eV (530 nm); 2,01 eV (617 nm); 1,87 eV (664 nm); dan 1,76 eV (705 nm). Hal ini menunjukkan bahwa dopan Fe terbukti efektif menurunkan energi celah pita dan dapat menggeser serapan ke daerah sinar tampak (530-705 nm) material $SrBi_4Ti_4O_{15}$.

5.2 Saran

Perlu dilakukan uji fotokatalitik untuk mengetahui kemampuan material $SrBi_4Ti_4O_{15}$ terdoping Fe dalam mendegradasi polutan zat warna. Selain itu, perlu juga dilakukan pengukuran spektroskopi fotoluminesensi untuk mengetahui laju rekombinasi dari material tersebut.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

DAFTAR PUSTAKA

Ajmal, A., Imran Majeed, Riffat Naseem Malik, Hicham Idriss, Muhammad Amtiaz Nadeem. 2014. Principles and Mechanisms of Photocatalytic Dye Degradation on TiO_2 Based Photocatalysts: A Comparative Overview. *RSC Advances*: 1-23.

Al Imam Abdul Fida' Ismail Ibnu Katsir Ad-Dimasyqi. 2000. *Terjemahan Tafsir Ibnu Katsir*. Bandung: Sinar Baru Algasindo.

Al-Mahally, Imam Jalaluddin dan Imam Jalaluddin As-suyutti.1990. *Tafsir Jalalain Berikut Asbabun Nuzulnya*. Bandung: Sinar Baru.

Amano, F., Ishinaga, E., Yamakata, A. 2013. Effect of Particle Size on the Photocatalytic Activity of WO_3 Particles for Water Oxidation. *The Journal of Physical Chemistry C*, 117: 22584-22590.

Andrieux, J., Gardiola, B., Dezellus, O. 2018. Synthesis of Ti Matrix Composites Reinforced with TiC Particles: Insitu Synchrotron X-Ray Diffraction and Modeling. *Journal of Materials Science*, 53: 9533–9544.

Boltersdorf, J., King, N., Maggard, P.A. 2015. Flux-Mediated Crystal Growth of Metal Oxides: Synthetic Tunability of Particle Morphologies, Sizes, and Surface Features for Photocatalysis Research. *CrystEngComm*: 17, 2225-2241.

Cao, Z.-P., Wang, C.-M., Zhao, T.-L., Yu, S.-L., Wu, H.-Z., Wang, Y.-M., Wang, Q., Liang, Y., Wei, Y.-N., Zhang, Y., Liu, Y., Tang, X.-S. 2015. Piezoelectric Properties and Thermal Stabilities of Strontium Bismuth Titanate ($SrBi_4Ti_4O_{15}$). *Ceramics International*, 41: 13974-13982.

Chen, H., Chen, N., Gao, Y., Feng, C. 2018. Photocatalytic Degradation of Methylene Blue by Magnetically Recoverable $Fe_3O_4/Ag_6Si_2O_7$ under Simulated Visible Light. *Powder Technology*, 326: 247-254.

Chen, Z., Jiang, X., Zhu, C., Shi, C. 2016. Chromium-Modified $Bi_4Ti_3O_{12}$ Photocatalyst: Application for Hydrogen Evolution and Pollutant degradation. *Applied Catalysis B: Environmental*, 199: 241–251.

Daneshvar, N., Ashassi Sorkhabi, H., Kasiri, M.B. 2004. Decolorization of Dye Solution Containing Acid Red 14 by Electrocoagulation with a Comparative Investigation of Different Electrode Connections. *Journal of Hazardous Materials*, 112: 55-62.

Fan, Y., Li, D., Deng, M., Luo, Y., Meng, Q. 2009. An Overview on Water Splitting Photocatalysts. *Frontiers of Chemistry in China*, 4: 343-351.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

Gao, B.-Y., Wang, Y., Yue, Q.-Y., Wei, J.-C., Li, Q. 2007. Color Removal from Simulated Dye Water and Actual Textile Wastewater Using a Composite Coagulant Prepared by Ployferric Chloride and Polydimethyldiallylammonium Chloride. *Separation and Purification Technology*, 54: 157-163.

Gaya, U.I dan Abdullah, A.H. 2008. Heterogeneous Photocatalytic Degradation of Organic Contaminants Over Titanium Dioxide: A Review of Fundamentals, Progress and Problems. *Journal of Photochemistry and Photobiology C*, 9: 1-12.

Gu, D., Qin, Y., Wen, Y., Li, T., Qin, L., Seo, H.J. 2017. Electronic Structure and Optical Properties of V-doped $Bi_4Ti_3O_{12}$ 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 Li-Ion Battery Anodes. *Materials Transactions*, 58: 383–389.

Hao, H., Liu, H., Ouyang, S. 2009. Structure and Ferroelectric Property of Nb-Doped $SrBi_4Ti_4O_{15}$ Ceramics. *Journal of Electroceramics*, 22: 357-362.

Jang, J.S., Yoon, S.S., Borse, P.H., Lim, K.T., Hong, T.E., Jeong, E.D., Jung, O.-S., Shim, Y.B., Kim, H.G. 2009. Synthesis and Characterization of Aurivillius Phase $Bi_5Ti_3FeO_{15}$ Layered Perovskite for Visible Light Photocatalysis. *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 117: 1268-1272.

Jiang, X.-P., Fu, X.-L., Chen, C., Tu, N., Xu, M.-Z., Li, X.-H., Shao, H., Chen, Y.-J. 2015. High Performance Aurivillius Type $Na_{0,5}Bi_{4,5}Ti_4O_{15}$ Piezoelectric Ceramics with Neodymium and Cerium Modification. *Journal of Advanced Ceramics*, 4: 54-60.

Kan, Y., Jin, X., Wang, P., Li, Y., Cheng, Y.-B., Yan, D. 2003. Anisotropic Grain Growth of $Bi_4Ti_3O_{12}$ in Molten Salt Fluxes. *Materials Research Bulletin*, 38: 567–576.

Kant, R. 2012. Textile Dyeing Industry an Environmental Hazard. *Natural Science*, 04: 22-26.

Kementerian Agama. 2017. *Tafsir Kemenag RI*. Jakarta: Adhi Aksara Abadi Indonesia

Kimura, T. 2011. M*olten Salt Synthesis of Ceramic Powders*. *Advances in Ceramics-Synthesis and Characterization, Processing and Specific Applications*. Rijeka: InTech.

Li, P., Liu, C., Wu, G., Heng, Y., Lin, S., Ren, A., Lv, K., Xiao, L., Shi, W. 2014. Solvothermal Synthesis and Visible Light-Driven Photocatalytic

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

Degradation for Tetracycline of Fe-Doped $SrTiO_3$. *RSC Advance*, 4: 47615-47624.

Liu, X., Xu, L., Huang, Y., Qin, C., Qin, L., Seo, H.J. 2017. Improved Photochemical Properties of Aurivillius $Bi_5Ti_3FeO_{15}$ with Partial Substitution of Ti^{4+} with Fe^{3+}. *Ceramics International*, 43:12372-12380.

Liu, Y., Zhu, G., Gao, J., Hojamberdiev, M., Zhu, R., Wei, X., Guo, Q., Liu, P. 2017. Enhanced Photocatalytic Activity of $Bi_4Ti_3O_{12}$ Nanosheets by Fe^{3+}-Doping and the Addition of Au Nanoparticles: Photodegradation of Phenol and Bisphenol A. *Applied Catalysis B: Environmental*, 200: 72-82.

Lu, L., Lv, M., Wang, D., Liu, G., Xu, X. 2017. Efficient Photocatalytic Hydrogen Production Over Solid Solutions $Sr_{1-x}Bi_xTi_{1-x}Fe_xO_3$ ($0 \leq x \leq 0.5$). *Applied Catalysis B: Environmental*, 200: 412-419.

Naresh, G dan Mandal, T.K. 2014. Excellent Sun-Light-Driven Photocatalytic Activity by Aurivillius Layered Perovskites, $Bi_{5-x}La_xTi_3FeO_{15}$ (x: 1, 2). *ACS Applied Materials and Interfaces*, 6: 21000-21010.

Noda, M., Nomura, S., Uchida, H., Yamashita, K., Funakubo, H., 2012. A New $SrBi_4Ti_4O_{15}/CaBi_4Ti_4O_{15}$ Thin-Film Capacitor for Excellent Electric Stability. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control*, 59: 1888–1893.

Noguchi, Y dan Miyayama, M. 2012. Defect Control and Properties in Bismuth Layer Structured Ferroelectric Single Crystals, Lead-Free Piezoelectrics. *Springer New York*: 405-459.

Peng, D., Zou, H., Xu, C., Wang, X., Yao, X., Lin, J., Sun, T. 2012. Upconversion Luminescence, Ferroelectrics and Piezoelectrics of Er Doped $SrBi_4Ti_4O_{15}$. *AIP Advances*, 2: 042187.

Porob, D.G dan Maggard, P.A. 2006. Synthesis of Textured $Bi_5Ti_3FeO_{15}$ and $LaBi_4Ti_3FeO_{15}$ Ferroelectric Layered Aurivillius Phases by Molten-Salt Flux Methods. *Materials Research Bulletin*, 41: 1513-519.

Sato, N., Haruta, M., Sasagawa, K., Ohta, J., Jongprateep, O., 2019. Fe and Co-doped (Ba, Ca)TiO_3 Perovskite as Potential Electrocatalysts for Glutamate Sensing. *Engineering Journal*, 23: 265–278.

Setasuwon, P dan Kijamnajsak, S. 2008. Effects of Starting Materials on Molten Salt Synthesis of $Bi_4Ti_3O_{12}$. *Advanced Materials Research*, 55–57: 165-168.

Shihab, M. Quraish. 2002. *Tafsir Al-Misbah Pesan, Kesan dan Keserasian Al-Qur'an Volume 7*. Jakarta: Lentera Hati.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

Sulaeman, U., Yin, S., Sato, T. 2011. Solvothermal Synthesis and Photocatalytic Properties of Chromium-Doped $SrTiO_3$ Nanoparticles. *Applied Catalysis B: Environmenta*l, 105: 206-210.

Tu, S., Zhang, Y., Reshak, A.H., Auluck, S., Ye, L., Han, X., Ma, T., Huang, H. 2019. Ferroelectric Polarization Promoted Bulk Charge Separation for Highly Efficient CO_2 Photoreduction of $SrBi_4Ti_4O_{15}$. *Nano Energy*, 56: 840-850.

Vasileff, A., Chen, S., Qiao, S.Z. 2016. Review on Nanoscale Bi-Based Photocatalysts. *Nanoscale Horizons*, 1: 41-44.

Wendari, T.P., Arief, S., Mufti, N., Baas, J., Blake, G.R., Zulhadjri. 2020. Ratio Effect of Salt Fluxes on Structure, Dielectric and Magnetic Properties of La, Mn-Doped $PbBi_2Nb_2O_9$ Aurivillius Phase. *Ceramics International*, 46: 14822–14827.

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: 914-930.

Zhang, H., Liang, Y., Zhu, Y., Liu, S., Li, K., Yang, J., Lei, W. 2018. Tuning Photoluminescence in Layered Pr Doped $Bi_4Ti_3O_{12}$ Nanosheets via Molten Salt Process. *Journal of Alloys and Compounds*, 767: 1030-1040.

Zhao, Z., Li, X., Ji, H., Deng, M. 2014. Formation Mechanism of Plate-like $Bi_4Ti_3O_{12}$ Particles in Molten Salt Fluxes. *Integrated Ferroelectrics*, 154: 154-158.

Zhu, J., Chen, X.-B., He, J., Shen, J.-C. 2007. Investigations on Raman and X-ray Photoemission Scattering Patterns of Vanadium-Doped $SrBi_4Ti_4O_{15}$ Ferroelectric Ceramics. *Physics Letters A*, 362: 471-475.

Zulhadjri, Prijamboedi, B., Nugroho, A.A., Mufti, N., Fajar, A., Palstra, T.T.M., Ismunandar. 2011[a]. Aurivillius Phases of $PbBi_4Ti_4O_{15}$ Doped with Mn^{3+} Synthesized by Molten Salt Technique: Structure, Dielectric, and Magnetic Properties. *Journal of Solid State Chemistry*, 184: 1318-1323.

Zulhadjri, Z., Prijamboedi, B., A. Nugroho, A., Mufti, N., Ismunandar, I. 2011[b]. Five Layers Aurivillius Phases $Pb_{2-x}Bi_{4+x}Ti_{5-x}Mn_xO_{18}$: Synthesis, Structure, Relaxor Ferroelectric and Magnetic Properties. *ITB Journal of Sciences*, 43: 139-150.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Alir

1. Sintesis dengan Metode Lelehan Garam

$SrCO_3$, Bi_2O_3, TiO_2, Fe_2O_3, Na_2SO_4, dan K_2SO_4

- Dihomogenkan dalam *mortar agate* selama 1 jam sesuai dengan stoikiometri reaksi dan ditambahkan aseton selama penggerusan
- Dikalsinasi pada suhu 750 dan 850 ^oC selama 6 jam
- Dikeluarkan sampel dari tanur
- Diletakkan diatas kertas saring dalam erlenmeyer
- Dicuci dengan air suling panas berulang kali
- Dikeringkan menggunakan oven pada suhu 90 ^oC selama 3 jam

Hasil

2. Karakterisasi dan Analisis dengan XRD

Sampel

- Diletakkan dalam sampel *holder*
- Dianalisa pada rentang 2θ= 10-70^o menggunakan radiasi Cu-Kα (40 kV dan 300 mA)
- Dilakukan *refinement* menggunakan perangkat lunak Rietica
- Dibandingkan dengan standar yang terdapat pada database *Inorganic Crystal Structure Database* (ICSD)
- Dilakukan *refinement* dengan metode Le-Bail

Hasil

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

3. Karakterisasi dan Analisis dengan SEM

Sampel

- Diletakkan dalam sampel *holder*
- Dianalisis dengan rentang perbesaran 3.000-20.000x
- Digunakan *software image-J* untuk mengolah data gambar

Hasil

4. Karakterisasi dan Analisis dengan UV-Vis DRS

Sampel

- Diletakkan dalam sampel *holder*
- Diukur pada panjang gelombang 200-800 nm
- Dianalisis menggunakan persamaan Kubelka-Munk

Hasil

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

Lampiran 2. Perhitungan Stoikiometri

Reaksi yang terjadi pada sintesis $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ adalah:

$$SrCO_3 + Bi_2O_3 + TiO_2 + Fe_2O_3 \longrightarrow SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15} + CO_2$$

Diketahui:

- Target massa produk adalah 3 gram
- Perbandingan mol sampel $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$: K_2SO_4-Na_2SO_4 adalah 1:7
- Perbandingan mol garam K_2SO_4-Na_2SO_4 adalah 1:1
- $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2)

1. Konsentrasi Fe (x= 0)

$$SrCO_3 + 2Bi_2O_3 + 4TiO_2 \longrightarrow SrBi_4Ti_4O_{15} + CO_2$$

$$n\ SrBi_4Ti_4O_{15} = \frac{massa}{Mr}$$

$$= \frac{3\ g}{1355{,}139\ g/mol} = 0{,}002213795\ mol$$

Massa $SrCO_3$ = Mr x n $SrCO_3$

= 147,6277 g/mol x 0,002213795 mol = 0,32681747 g

Massa Bi_2O_3 = Mr x n Bi_2O_3

= 465,96 g/mol x 0,00442759 mol = 2,063079876 g

Massa TiO_2 = Mr x n TiO_2

= 79,912 g/mol x 0,00885518 mol = 0,707528896 g

Massa Na_2SO_4 = 7 x n $SrBi_4Ti_4O_{15}$ x Mr Na_2SO_4

= 7 x 0,002213795 mol x 142,04 g/mol = 2,201132135 g

Massa K_2SO_4 = 7 x n $SrBi_4Ti_4O_{15}$ x Mr K_2SO_4

= 7 x 0,002213795 mol x 174,259 g/mol = 2,700415972 g

2. Konsentrasi Fe (x= 0,05)

$$SrCO_3 + 2Bi_2O_3 + 3{,}95TiO_2 + 0{,}025Fe_2O_3 \longrightarrow SrBi_4Ti_{3,95}Fe_{0,05}O_{15} + CO_2$$

$$n\ SrBi_4Ti_{3,95}Fe_{0,05}O_{15} = \frac{massa}{Mr}$$

$$= \frac{3\ g}{1355{,}536\ g/mol} = 0{,}002213146\ mol$$

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

Massa $SrCO_3$ = Mr x n $SrCO_3$

= 147,6277 g/mol x 0,002213146 mol = 0,326721718 g

Massa Bi_2O_3 = Mr x n Bi_2O_3

= 465,96 g/mol x 0,004426293 mol = 2,062475427 g

Massa TiO_2 = Mr x n TiO_2

= 79,912 g/mol x 0,008741928 mol = 0,698480081 g

Massa Fe_2O_3 = Mr x n Fe_2O_3

= 159,687 g/mol x 5,53287E-05 mol = 0,008835268 g

Massa Na_2SO_4 = 7 x n $SrBi_4Ti_4O_{15}$ x Mr Na_2SO_4

= 7 x 0,002213146 mol x 142,04 g/mol = 2,200487239 g

Massa K_2SO_4 = 7 x n $SrBi_4Ti_4O_{15}$ x Mr K_2SO_4

= 7 x 0,002213146 mol x 174,259 g/mol = 2,699624794 g

3. Konsentrasi Fe (*x*= 0,1)

$$SrCO_3 + 2Bi_2O_3 + 3{,}9TiO_2 + 0{,}05Fe_2O_3 \longrightarrow SrBi_4Ti_{3,9}Fe_{0,1}O_{15} + CO_2$$

n $SrBi_4Ti_{3,9}Fe_{0,1}O_{15}$ $= \frac{\text{massa}}{\text{Mr}}$

$= \frac{3\ \text{g}}{1358{,}316\ \text{g/mol}} = 0{,}002212498$ mol

Massa $SrCO_3$ = Mr x n $SrCO_3$

= 147,6277 g/mol x 0,002212498 mol = 0,326626022 g

Massa Bi_2O_3 = Mr x n Bi_2O_3

= 465,96 g/mol x 0,004424996 mol = 2,061871332 g

Massa TiO_2 = Mr x n TiO_2

= 79,912 g/mol x 0,008628743 mol = 0,689436567 g

Massa Fe_2O_3 = Mr x n Fe_2O_3

= 159,687 g/mol x 0,000110625 mol = 0,01766536 g

Massa Na_2SO_4 = 7 x n $SrBi_4Ti_4O_{15}$ x Mr Na_2SO_4

= 7 x 0,002212498 mol x 142,04 g/mol = 2,199842721 g

Massa K_2SO_4 = 7 x n $SrBi_4Ti_4O_{15}$ x Mr K_2SO_4

= 7 x 0,002212498 mol x 174,259 g/mol = 2,69883408 g

4. Konsentrasi Fe (*x*= 0,15)

$$SrCO_3 + 2Bi_2O_3 + 3{,}85TiO_2 + 0{,}075Fe_2O_3 \longrightarrow SrBi_4Ti_{3,85}Fe_{0,15}O_{15} + CO_2$$

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

n $SrBi_4Ti_{3,85}Fe_{0,15}O_{15}$ $= \frac{\text{massa}}{\text{Mr}}$

$= \frac{3\ g}{1359{,}905\ g/mol} = 0{,}00221185$ mol

Massa $SrCO_3$ = Mr x n $SrCO_3$

= 147,6277 g/mol x 0,00221185 mol = 0,326530382 g

Massa Bi_2O_3 = Mr x n Bi_2O_3

= 465,96 g/mol x 0,004423701 mol = 2,061267592 g

Massa TiO_2 = Mr x n TiO_2

= 79,912 g/mol x 0,008515624 mol = 0,68039835 g

Massa Fe_2O_3 = Mr x n Fe_2O_3

= 159,687 g/mol x 0,000165889 mol = 0,026490281 g

Massa Na_2SO_4 = 7 x n $SrBi_4Ti_4O_{15}$ x Mr Na_2SO_4

= 7 x 0,00221185 mol x 142,04 g/mol = 2,19919858 g

Massa K_2SO_4 = 7 x n $SrBi_4Ti_4O_{15}$ x Mr K_2SO_4

= 7 x 0,00221185 mol x 174,259 g/mol = 2,698043828 g

5. Konsentrasi Fe (*x*= 0,2)

$SrCO_3 + 2Bi_2O_3 + 3{,}8TiO_2 + 0{,}1Fe_2O_3 \longrightarrow SrBi_4Ti_{3,8}Fe_{0,2}O_{15} + CO_2$

n $SrBi_4Ti_{3,8}Fe_{0,2}O_{15}$ $= \frac{\text{massa}}{\text{Mr}}$

$= \frac{3\ g}{1361{,}493\ g/mol} = 0{,}002211203$ mol

Massa $SrCO_3$ = Mr x n $SrCO_3$

= 147,6277 g/mol x 0,002211203 mol = 0,326434798 g

Massa Bi_2O_3 = Mr x n Bi_2O_3

= 465,96 g/mol x 0,004422406 mol = 2,060664204 g

Massa TiO_2 = Mr x n TiO_2

= 79,912 g/mol x 0,008402571 mol = 0,671365424 g

Massa Fe_2O_3 = Mr x n Fe_2O_3

= 159,687 g/mol x 0,00022112 mol = 0,035310036 g

Massa Na_2SO_4 = 7 x n $SrBi_4Ti_4O_{15}$ x Mr Na_2SO_4

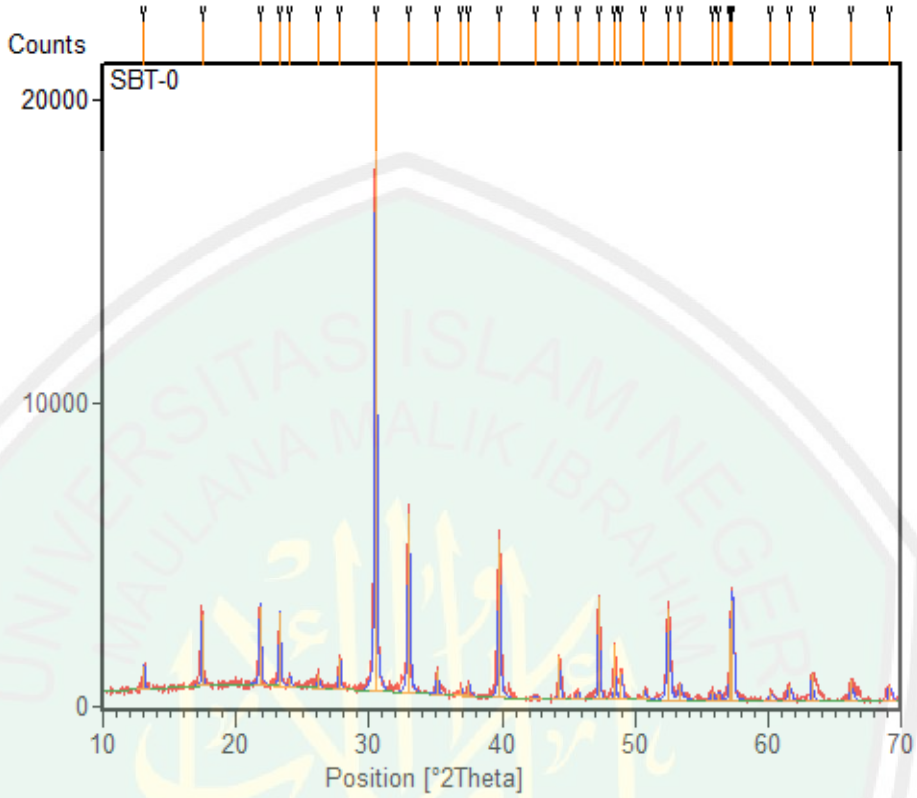
= 7 x 0,002211203 mol x 142,04 g/mol = 2,198554817 g

Massa K_2SO_4 = 7 x n $SrBi_4Ti_4O_{15}$ x Mr K_2SO_4

= 7 x 0,002211203 mol x 174,259 g/mol = 2,69725404 g

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

Lampiran 3. Hasil Karakterisasi menggunakan XRD
L.3.1 Data XRD $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0)



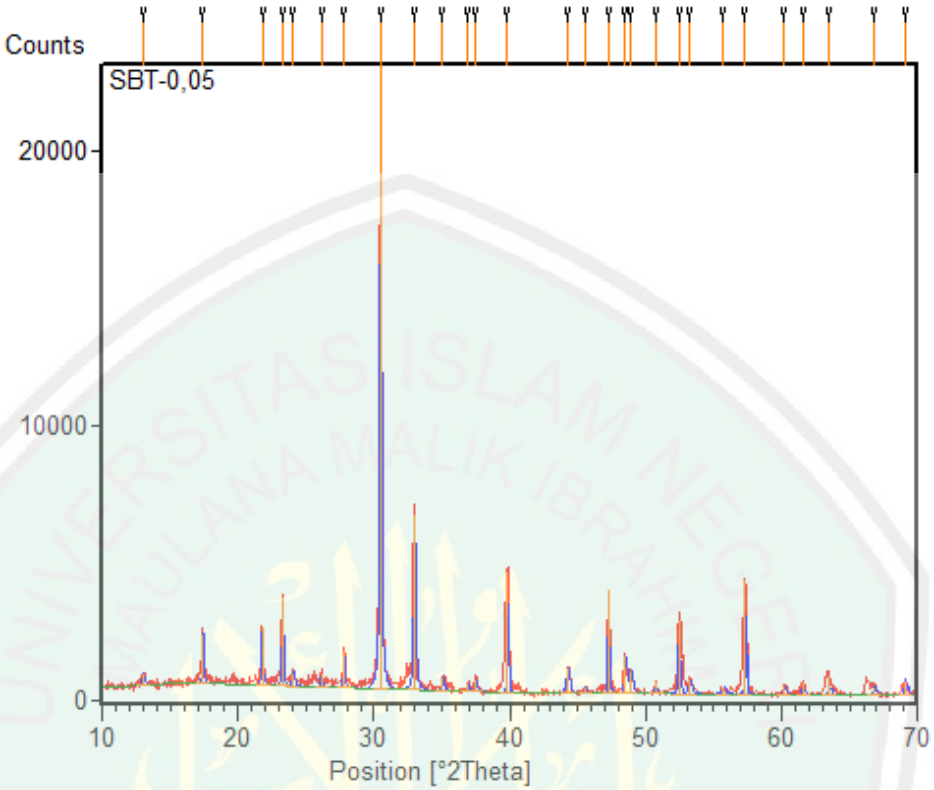
Gambar L.3. 1 Difraktogram $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0).

Tabel L.3. 1 Puncak-puncak XRD $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0).

Pos. [°2Th.]	d-spacing [Å]	FWHM Left [°2Th.]	Height [cts]
17.4379	5.08575	0.0984	2361.73
21.8012	4.07675	0.1574	2653.19
23.2632	3.82374	0.1378	2364.25
30.4624	2.9345	0.1574	20623.65
32.9603	2.7176	0.1968	5796.08
39.7487	2.26774	0.1574	5170.18
44.2844	2.04543	0.0984	1429.95
45.6667	1.98668	0.2362	191.31
47.2415	1.92407	0.1181	3306.54
48.4215	1.8799	0.0787	1691.73
48.9182	1.86197	0.1968	791.06
50.7332	1.79954	0.2362	266.89
57.3144	1.60756	0.1378	3223.16
63.2599	1.47004	0.1181	843.46
69.0483	1.35914	0.48	228.82

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

L.3.2 Data XRD $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0,05)



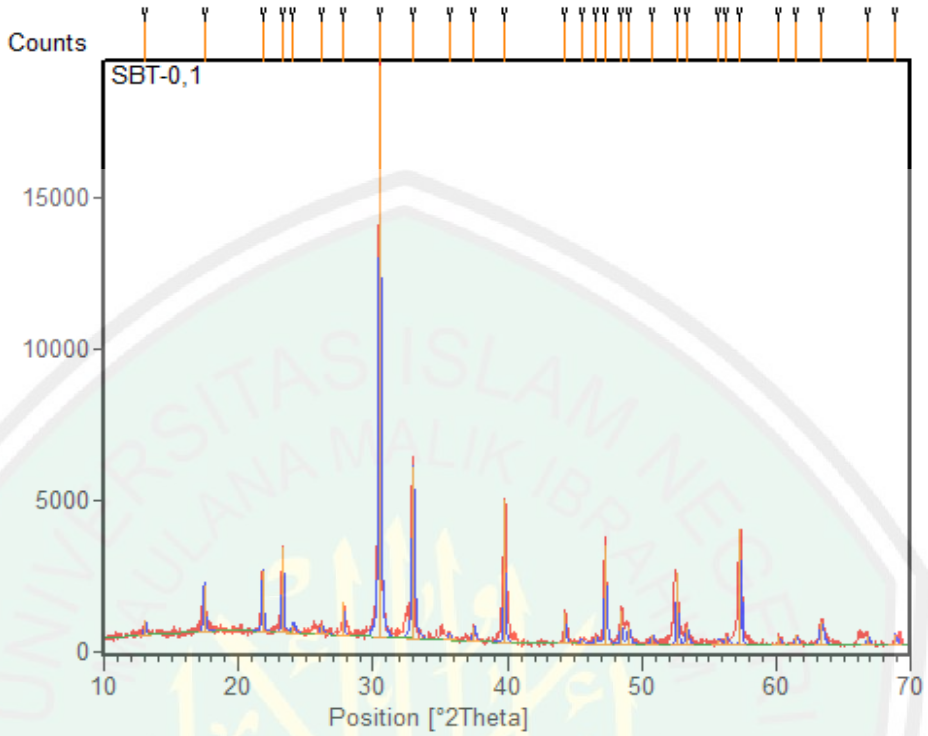
Gambar L.3. 2 Difraktogram $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0,05).

Tabel L.3. 2 Puncak-puncak XRD $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0,05).

Pos. [°2Th.]	d-spacing [Å]	FWHM Left [°2Th.]	Height [cts]
21.7746	4.08167	0.1181	1931.78
23.27	3.82265	0.1181	3067.25
25.511	3.4917	0.7872	184.9
30.4819	2.93267	0.1751	28530.53
32.9826	2.71582	0.1771	6131.1
35.0498	2.56023	0.1968	405.55
37.493	2.39882	0.1574	455.53
39.8265	2.26349	0.0787	4309.76
44.2647	2.0463	0.2755	895.68
45.5436	1.99177	0.4723	120.7
48.9349	1.86138	0.1968	734.37
50.7609	1.79862	0.2362	274.59
52.4349	1.74507	0.1181	2569.78
57.3005	1.60792	0.0787	4098.89
69.0483	1.35914	0.48	228.82

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

L.3.3 Data XRD $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0,1)



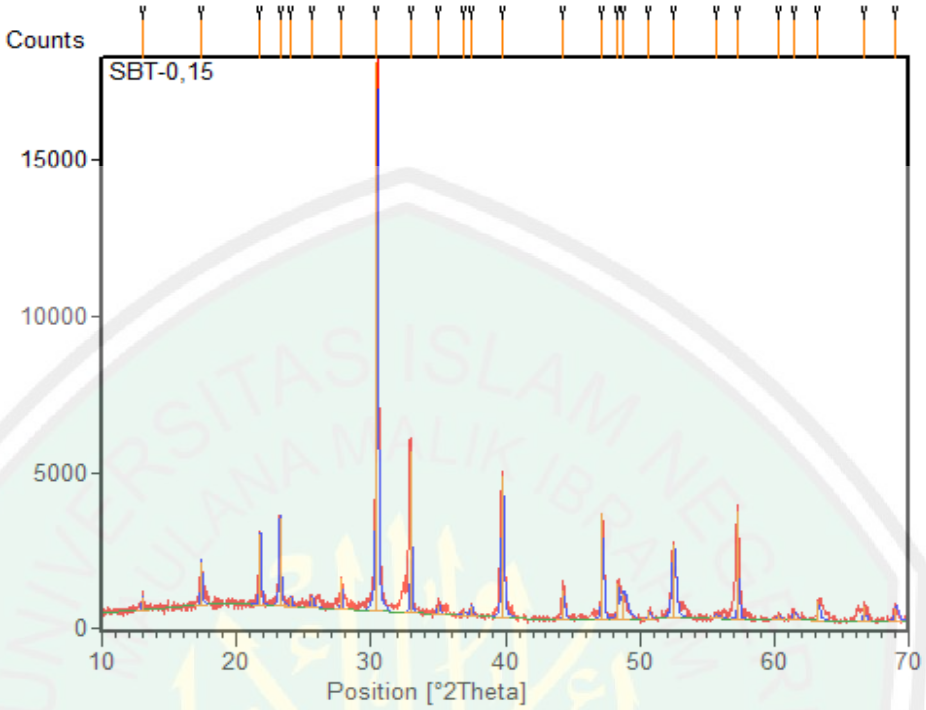
Gambar L.3. 3 Difraktogram $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0,1).

Tabel L.3. 3 Puncak-puncak XRD $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0,1).

Pos. [°2Th.]	d-spacing [Å]	FWHM Left [°2Th.]	Height [cts]
23.2773	3.82146	0.1378	2754.83
24.0786	3.69607	0.3149	234.47
27.8356	3.20516	0.3149	841.93
30.4834	2.93253	0.1771	18709.47
32.4936	2.75555	0.2362	686.3
39.7591	2.26717	0.0984	4661.75
44.2955	2.04495	0.2362	948.75
47.2722	1.92289	0.1378	3200.67
48.4355	1.87939	0.2362	1117.6
50.7381	1.79938	0.2362	231.71
52.4416	1.74487	0.3149	2172.14
53.345	1.71743	0.2362	504.18
57.3095	1.60769	0.0787	3716.49
61.4935	1.50796	0.3149	285.88
63.3262	1.46866	0.3149	712.08
66.1567	1.41253	0.1968	397.32
66.78	1.40085	0.2362	294.25
68.9788	1.36034	0.576	142.26

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

L.3.4 Data XRD $SrTi_{x-1}Fe_xO_3$ (x= 0,15)



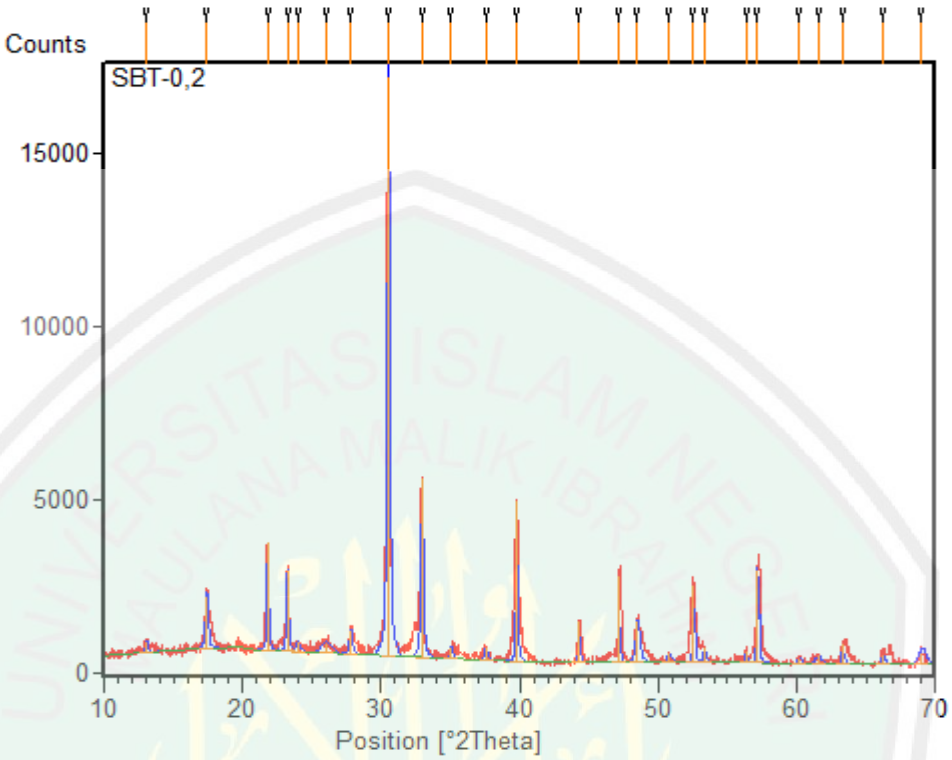
Gambar L.3. 4 Difraktogram $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0,15).

Tabel L.3. 4 Puncak-puncak XRD $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0,15).

Pos. [°2Th.]	d-spacing [Å]	FWHM Left [°2Th.]	Height [cts]
17.3655	5.10679	0.1574	1351.94
21.7592	4.08453	0.1378	2262.01
23.2146	3.83165	0.1574	2758.93
29.34	3.04416	0.09	1
30.4556	2.93515	0.1993	23032.28
32.846	2.72453	0.096	5097.9
32.9561	2.71794	0.0787	5106.24
35.2105	2.54891	0.6298	243.12
37.4489	2.40154	0.1968	338.58
39.7624	2.26699	0.1968	4500.42
44.3044	2.04456	0.1181	931.95
47.1906	1.92602	0.1378	3330
48.3645	1.88199	0.1968	1097.53
50.7168	1.80008	0.2362	209.06
52.4818	1.74362	0.3149	2261.05
57.2594	1.60898	0.0787	3403.75
60.1693	1.53794	0.4723	156.01
61.4345	1.50927	0.3149	244.88
63.3189	1.46882	0.3936	610.16
66.527	1.40556	0.9446	324.35
68.9919	1.36012	0.48	238.18

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

L.3.5 Data XRD $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0,2)



Gambar L.3. 5 Difraktogram $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0,2).

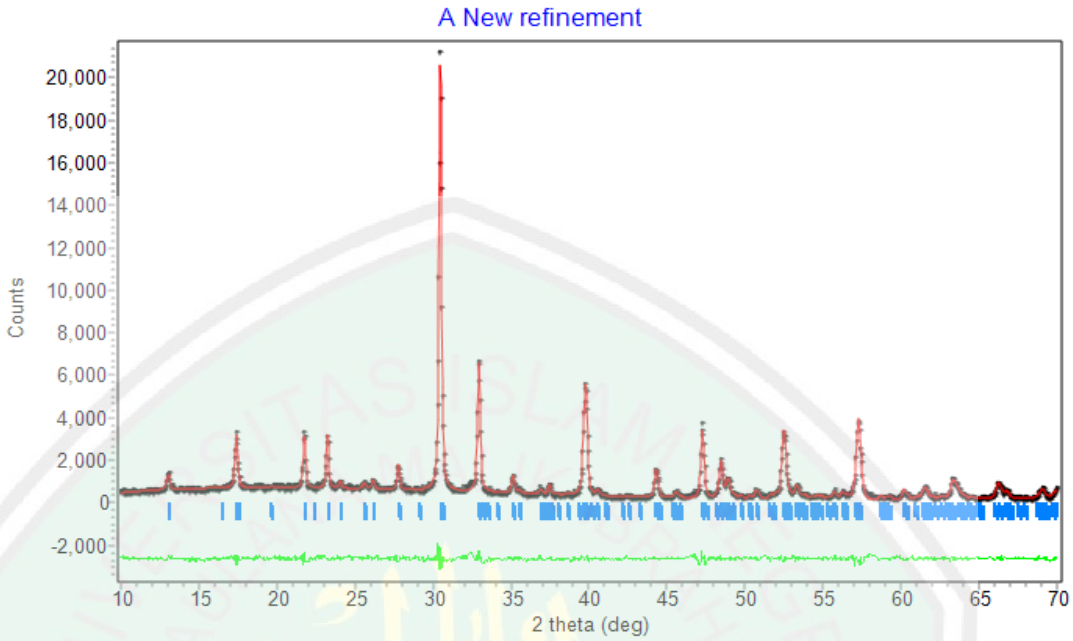
Tabel L.3. 5 Puncak-puncak XRD $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0,2).

Pos. [°2Th.]	d-spacing [Å]	FWHM Left [°2Th.]	Height [cts]
13.1256	6.74532	0.6298	179.93
17.4022	5.09611	0.2362	1458.43
21.7974	4.07745	0.1378	3036.07
23.2208	3.83064	0.1574	2250.63
25.9842	3.42918	0.7872	176.54
27.7923	3.21006	0.2362	561.53
30.503	2.93069	0.2165	16437.78
32.9384	2.71936	0.1968	4969.14
35.2159	2.54853	0.4723	217.6
37.5496	2.39533	0.2362	339.18
39.7618	2.26702	0.1181	4545.13
44.2764	2.04578	0.2362	1075.63
47.2226	1.92479	0.2362	2526.25
48.4881	1.87747	0.3149	1126.73
52.4863	1.74349	0.2755	2219.71
57.3066	1.60776	0.0984	2715.34
61.5103	1.50759	0.3936	197.31
63.3925	1.46729	0.4723	584.12
66.7321	1.40174	0.3149	387.75
69.0213	1.35961	0.576	170.32

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

L.3.6 Hasil *Refinement*

L.3.6.1 $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0)



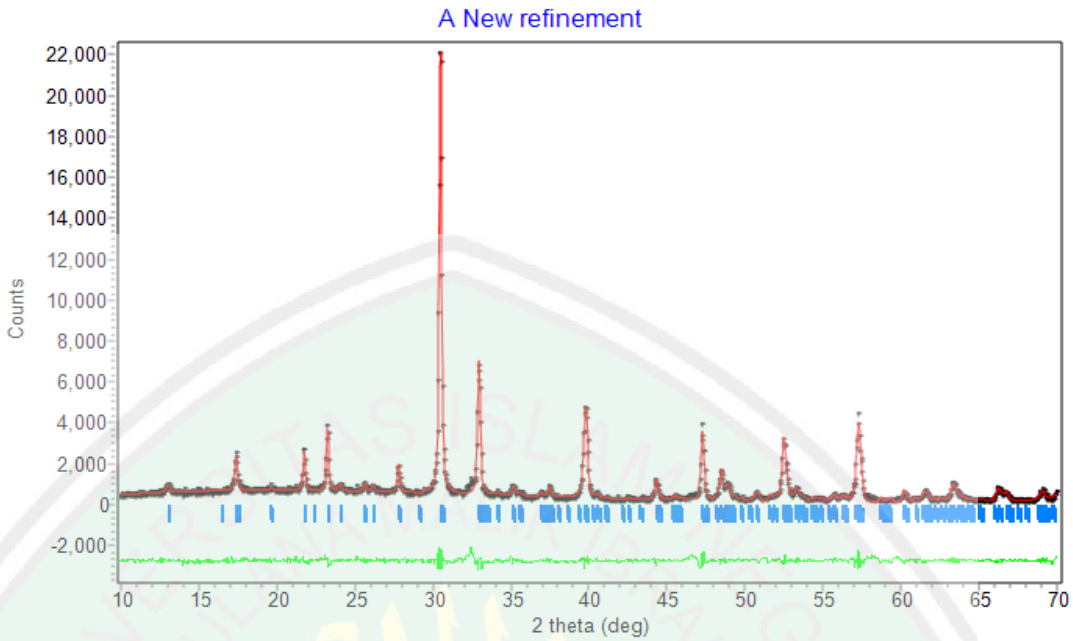
CELL PARAMETERS = 5.442572 0.000009 0.000600
5.449878 -0.000005 0.000645
40.961819 -0.000134 0.003042
90.000008 0.000000 0.000000
90.000008 0.000000 0.000000
90.000008 0.000000 0.000000

CELL VOLUME = 1214.982910

Rp	Rwp	GOF
8.39	6.64	0.1003E+02

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

L.3.6.2 $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0,05)



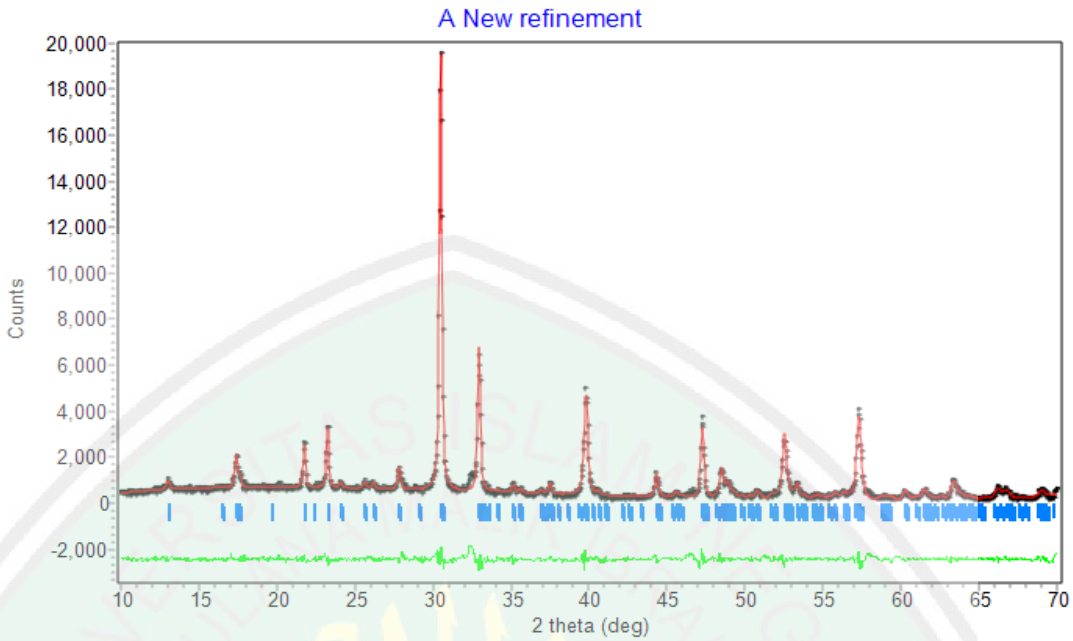
CELL PARAMETERS = 5.434705 0.000002 0.000487
5.443792 -0.000004 0.000574
40.893303 -0.000011 0.001688
90.000008 0.000000 0.000000
90.000008 0.000000 0.000000
90.000008 0.000000 0.000000

CELL VOLUME = 1209.844727

Rp	Rwp	GOF
8.25	6.55	0.1010E+02

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

L.3.6.3 $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0,1)



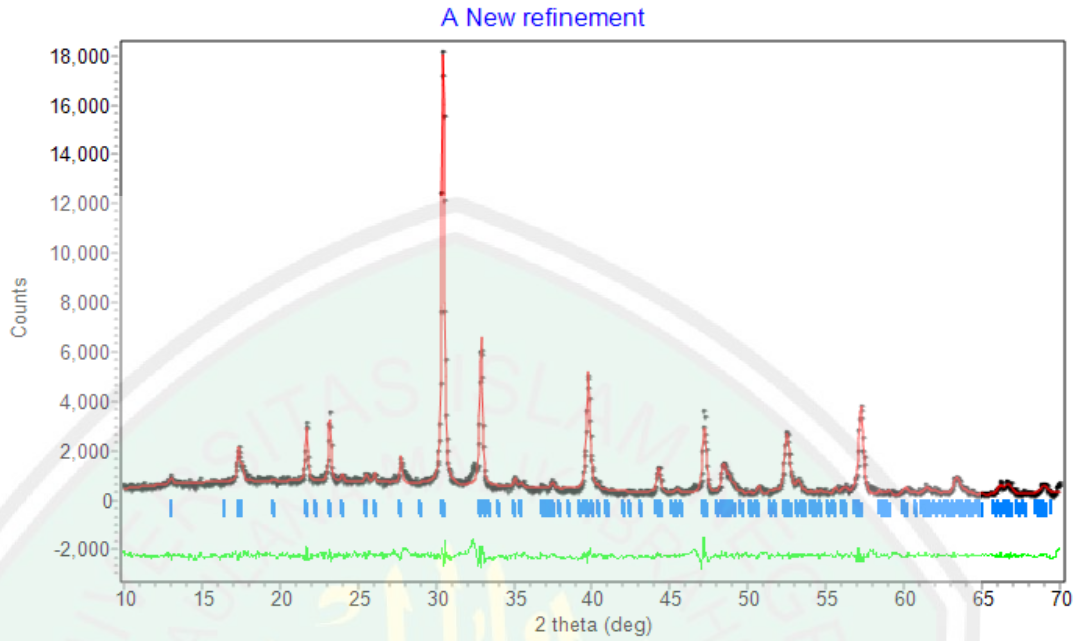
CELL PARAMETERS = 5.366870 0.000024 0.000737
5.362809 -0.000010 0.000816
40.331299 -0.000042 0.003331
90.000008 0.000000 0.000000
90.000008 0.000000 0.000000
90.000008 0.000000 0.000000

CELL VOLUME = 1160.795288

Rp	Rwp	GOF
9.22	7.24	0.1081E+02

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

L.3.6.4 $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0,15)



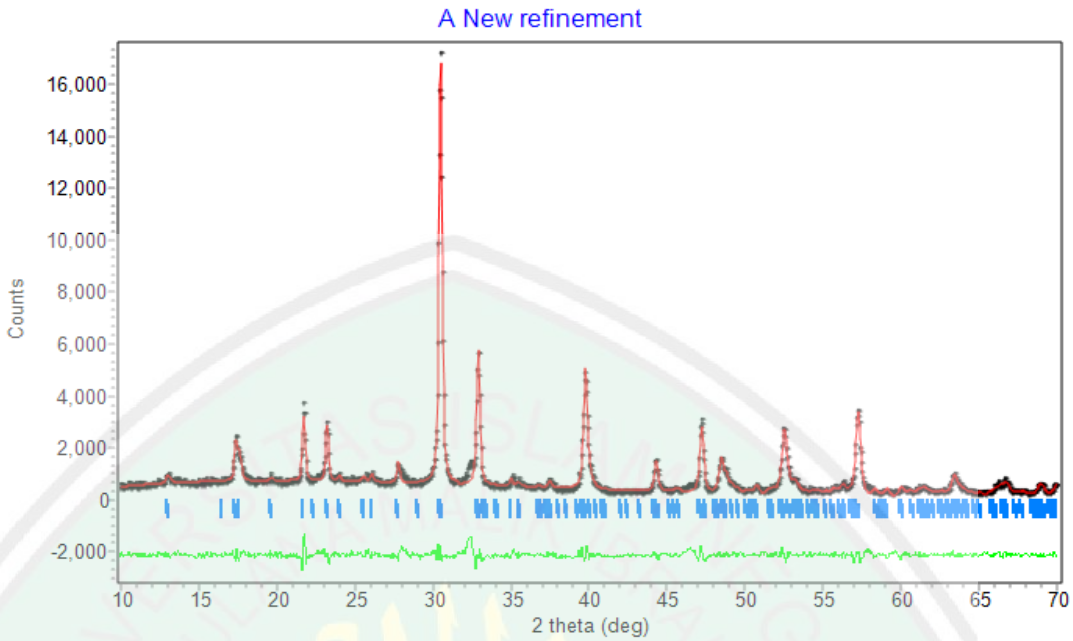
CELL PARAMETERS = 5.349542 -0.000002 0.000000
5.352531 -0.000004 0.000000
40.226845 0.000065 0.000000
90.000008 0.000000 0.000000
90.000008 0.000000 0.000000
90.000008 0.000000 0.000000

CELL VOLUME = 1151.838989

Rp	Rwp	GOF
9.57	8.18	0.1400E+02

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

L.3.6.5 $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0,2)



CELL PARAMETERS = 5.311743 -0.000136 0.000000
5.305813 -0.000132 0.000000
40.025707 -0.001259 0.000000
90.000008 0.000000 0.000000
90.000008 0.000000 0.000000
90.000008 0.000000 0.000000

CELL VOLUME = 1128.049072

Rp	Rwp	GOF
9.34	8.56	0.1564E+02

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

L.3.6.6 Indeks Miller $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2)

NO.	H	K	L	POSN	ICALC
1.	0	0	6	13.011	2040.
2.	0	0	8	17.333	8508.
3.	0	0	10	21.714	11548.
4.	1	1	1	23.209	17779.
5.	1	1	7	27.746	7115.
6.	1	1	9	30.423	131073.
7.	0	2	0	32.877	5811.
8.	2	0	10	39.794	10523.
9.	1	1	17	44.496	46.
10.	2	2	0	47.223	4474.
11.	1	1	19	48.423	11767.
12.	2	0	18	52.594	1507.
13.	3	1	9	57.254	7754.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

Lampiran 4. Contoh Perhitungan *Cyrstallite Size*

Perhitungan *crystallite size* $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2) menggunakan persamaan 3.1. Data-data untuk perhitungan *crystallite size* $SrBi_4Ti_4O_{15}$ tanpa dopan sebagai berikut:

K = 0,9

λ (Kα)= 1,54060

β (FWHM)= 0,1574

$2\theta = 32{,}2304 \rightarrow \theta = \frac{30.4624}{2} = 15{,}2312$

Sehingga *crystallite size* yang diperoleh adalah:

$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} = \frac{0{,}9 \times 1{,}54060}{0{,}1574 \times Cos\ 15{,}2312} = 52.31$ nm

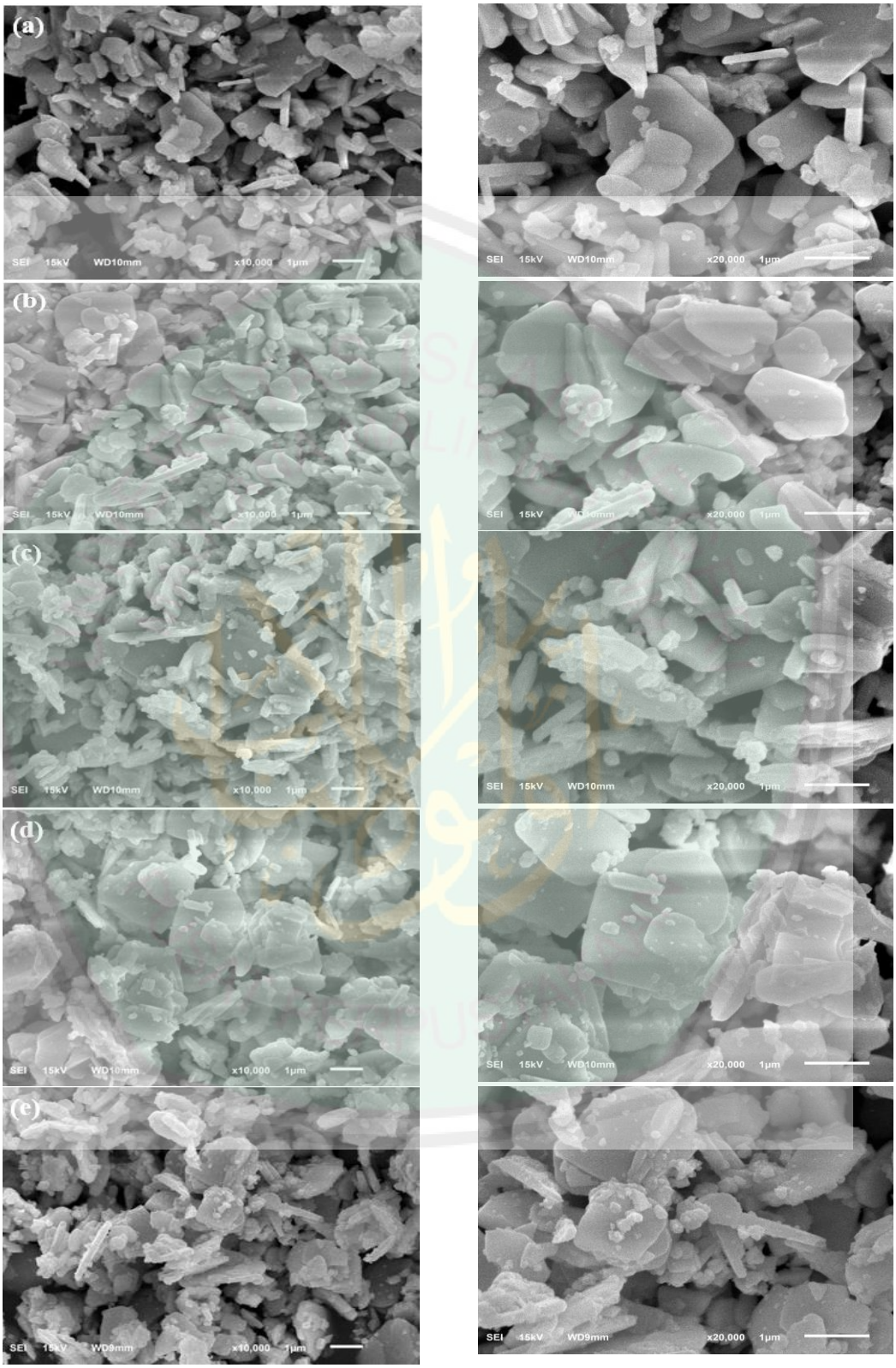
Perhitungan *crystallite size* senyawa $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2) dengan cara yang sama. Hasil pengukuran *crystallite size* dirangkum pada Tabel L.4.1.

Tabel L.4. 1 Perhitungan *crystallite size* $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2).

Material	2θ	FWHM (radians)	*Crystallite size* (nm)
$SrBi_4Ti_4O_{15}$	30.4624	0.1574	52.31
$SrBi_4Ti_{3,95}Fe_{0,05}O_{15}$	30.4819	0.1751	47.02
$SrBi_4Ti_{3,9}Fe_{0,1}O_{15}$	30.4834	0.1771	46.50
$SrBi_4Ti_{3,85}Fe_{0,15}O_{15}$	30.4556	0.1843	44.67
$SrBi_4Ti_{3,8}Fe_{0,2}O_{15}$	30.5030	0.2165	38.03

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

Lampiran 5. Hasil Karakterisasi menggunakan SEM

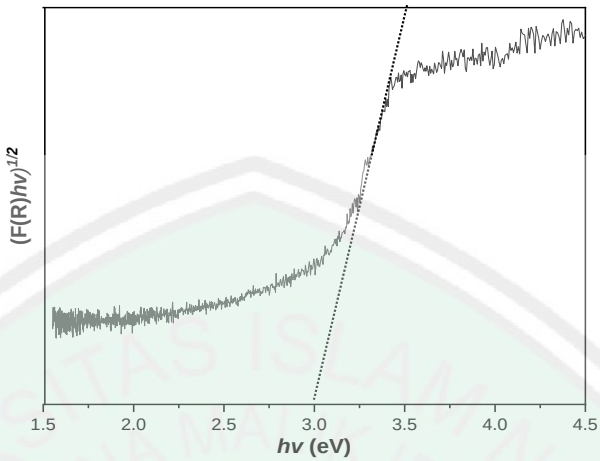


Gambar L.5 Mikrograf SEM perbesaran 10.000x dan 20.000x material $SrBi_4Ti_{4-x}Fe_xO_{15}$ dengan *x*= (a) 0; (b) 0,05; (c) 0,01; (d) 0,15; dan (e) 0,2.

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

Lampiran 6. Hasil analisis DRS

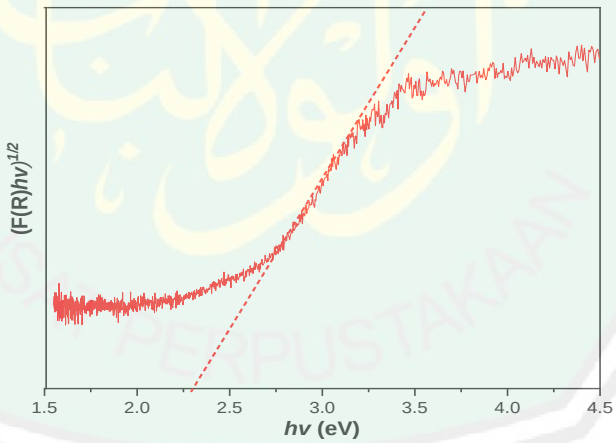
L.6.1 Energi celah pita dan panjang gelombang $SrBi_4Ti_4O_{15}$



Gambar L.6. 1 Spektra DRS energi celah pita senyawa $SrBi_4Ti_4O_{15}$.

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{4{,}13608\ x\ 10^{-15}\ \text{eV}.s\ .3x10^{8}\ m/s}{3{,}00\ eV} = 414\ \text{nm}$$

L.6.2 Energi celah pita dan panjang gelombang $SrBi_4Ti_{3,95}Fe_{0,05}O_{15}$

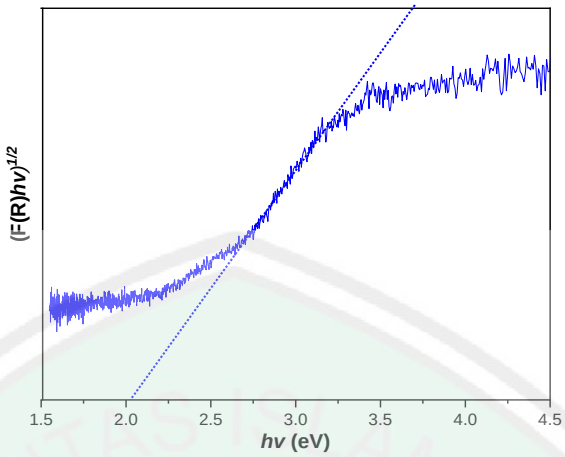


Gambar L.6. 2 Spektra DRS energi celah pita senyawa $SrBi_4Ti_{3,95}Fe_{0,05}O_{15}$.

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{4{,}13608\ x\ 10^{-15}\ \text{eV}.s\ .3x10^{8}\ m/s}{2{,}34\ eV} = 530\ \text{nm}$$

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

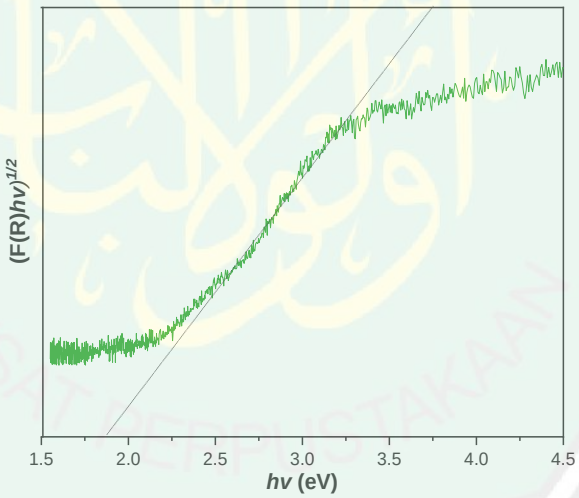
L.6.3 Energi celah pita dan panjang gelombang $SrBi_4Ti_{3,90}Fe_{0,1}O_{15}$



Gambar L.6. 3 Spektra DRS energi celah pita senyawa $SrBi_4Ti_{3,90}Fe_{0,1}O_{15}$.

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{4{,}13608\ x\ 10^{-15}\ \text{eV}.s\ .3x10^{8}\ m/s}{2{,}01\ \ eV} = 617\ \text{nm}$$

L.6.4 Energi celah pita dan panjang gelombang $SrBi_4Ti_{3,85}Fe_{0,15}O_{15}$

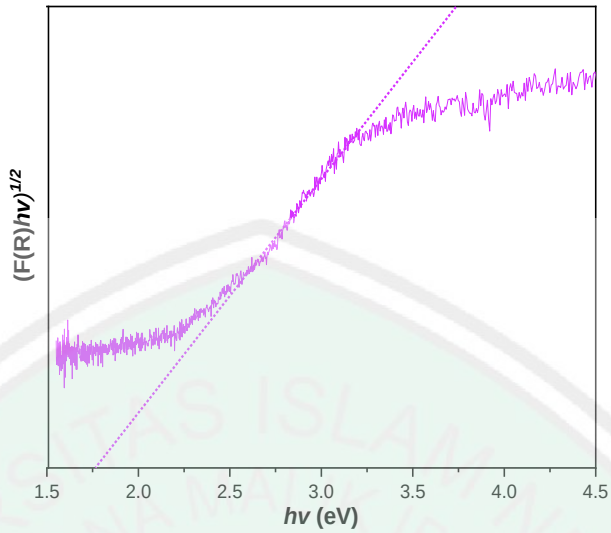


Gambar L.6. 4 Spektra DRS energi celah pita senyawa $SrBi_4Ti_{3,85}Fe_{0,15}O_{15}$.

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{4{,}13608\ x\ 10^{-15}\ \text{eV}.s\ .3x10^{8}\ m/s}{1.87\ \ eV} = 664\ \text{nm}$$

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG

L.6.5 Energi celah pita dan panjang gelombang $SrBi_4Ti_{3,8}Fe_{0,2}O_{15}$



Gambar L.6. 5 Spektra DRS energi celah pita senyawa $SrBi_4Ti_{3,8}Fe_{0,2}O_{15}$.

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{4{,}13608\ x\ 10^{-15}\ \text{eV}.s\ .3x10^{8}\ m/s}{1.76\ eV} = 705\ \text{nm}$$

CENTRAL LIBRARY OF MAULANA MALIK IBRAHIM STATE ISLAMIC UNIVERSITY OF MALANG