

**SINTESIS MATERIAL $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ TERDOPING Nd DENGAN METODE
LELEHAN GARAM NaCl-KCl**

SKRIPSI

**Oleh:
IMROATUL HASANAH
NIM. 17630105**



**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2022**

**SINTESIS MATERIAL $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ TERDOPING Nd DENGAN METODE
LELEHAN GARAM NaCl-KCl**

SKRIPSI

**Oleh:
IMROATUL HASANAH
NIM. 17630105**

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

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2022**

**SINTESIS MATERIAL $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ TERDOPING Nd DENGAN METODE
LELEHAN GARAM NaCl-KCl**

SKRIPSI

Oleh:
IMROATUL HASANAH
NIM. 17630105

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal Juni 2022

Pembimbing I



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

Pembimbing II



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

Mengetahui,
Ketua Program Studi Kimia



Rachmawati Ningsih, M.Si
NIP. 19810811 200801 2 010

**SINTESIS MATERIAL $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ TERDOPING Nd DENGAN METODE
LELEHAN GARAM NaCl-KCl**

SKRIPSI

Oleh:
IMROATUL HASANAH
NIM. 17630105

**Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
Dan Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: Juni 2022**

Ketua Penguji : Himmatul Barroroh, M.Si
NIP. 19750730 200312 2 001



Anggota Penguji I : Fadilah Nor Laili Lutfia, M.Biotech
LB. 63033



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



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



**Mengesahkan,
Ketua Program Studi/Kimia**



Rachmawati Ningsih, M.Si
NIP. 19810811 200801 2 010

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NIM : 17630105

Program Studi : Kimia

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul : Sintesis Material $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ Terdoping Nd dengan Metode
Lelehan Garam NaCl-KCl

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan Skripsi ini hasil juplikan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Yang membuat pernyataan
Malang, 27 Juni 2022



Imroatul Hasanah
NIM. 17630105

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji syukur kepada Allah SWT atas karunia serta kemudahan yang telah berikan sehingga akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan. Salawat dan salam selalu terlimpahkan kehadiran Rasulullah Muhammad SAW.

Dengan rasa syukur yang sangat mendalam, penulis berterima kasih kepada:

Diri saya Sendiri

Rasa teramat sangat hormat, penghargaan, dan terima kasih untuk diri saya sendiri karena selama proses mengerjakan skripsi telah sangat sabar, tekun, dan telaten.

Kedua Orang Tua

Kedua kedua orang tua; Bapak Abu Siri dan Ibu Fatimatus Suhro, yang selalu memberikan dukungan, motivasi, materi, dan senantiasa mendoakan tanpa henti yang menjadi semangat bagi penulis untuk segera menyelesaikan tugas akhir berupa skripsi ini. Tidak lupa untuk kakak dan adik yang telah cukup banyak membantu saya istirahat dari berbagai tekanan dengan canda tawa mereka.

MOTTO

“Belajar ialah abadi meski kadang kalah berkali-kali”

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “**Sintesis Material SrBi₄Ti₄O₁₅ Terdoping Nd dengan Metode Lelehan Garam NaCl-KCl**”. Salawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Agung Muhammad SWT yang telah membuka jalan keselamatan untuk kita semua, serta untuk para keluarga, sahabat, dan ummatnya. Tujuan dari penyusunan skripsi untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) di Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Skripsi ini tersusun dan terselesaikan atas kontribusi, doa, bimbingan, serta motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua beserta saudara yang selalu memberikan do'a, nasihat dan semangat hingga penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan.
2. Bapak Dr. Anton Prasetyo, M.Si selaku dosen pembimbing utama dan Ibu Dr. Hj. Akyunul Jannah, S.Si, M.P selaku dosen pembimbing agama karena telah memberikan bimbingan, memotivasi, mengarahkan serta memberikan masukan selama proses penyelesaian skripsi.
3. Ibu Rachmawati Ningsih, M.Si selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang serta seluruh bapak dan ibu dosen yang telah membantu selama proses penyelesaian skripsi ini.

4. Teman-teman seperjuangan Kimia 2017 terutama Kimia C 2017, dan semua teman yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Teman-teman tim penelitian kimia Anorganik yaitu Sifrotun Najahah, Nabila Nur Agusti, Puspa Sari, Suci Noerfaiqotul Himmah, dan Dwi Nurcahyaningtyas.

Atas segala bimbingan dan bantuan serta kerjasama yang baik yang telah diberikan selama kuliah, maka penulis ucapkan banyak terimakasih dan hanya dapat mendo'akan semoga kebaikan tersebut dibalas oleh Allah SWT dengan pahala yang berlipat ganda, Aamiin. Selain itu, penulis menyadari bahwa di dalam penulisan penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, maka dengan segala kerendahan hati penulis memohon kritik dan saran yang membangun dari semua pihak. Akhir kata penulis berharap agar upaya ini bisa mencapai maksud yang diinginkan dan dapat bermanfaat bagi semua orang.

Malang, 27 Juni 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS PENULISAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
MOTTO	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
مستخلص البحث	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Batasan masalah	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Fotokatalis Semikonduktor	8
2.2 Karakteristik Senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$	10
2.3 Fotokatalis Senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$	11
2.4 Penurunan Energi Celah Pita dengan Pendopingan Logam	12
2.5 Pengaruh Morfologi Partikel pada Aktivitas Fotokatalis	14
2.6 Sintesis Menggunakan Metode Lelehan Garam	17
2.7 Sintesis Senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dengan Metode Lelehan Garam.....	19
2.8 Metode Lelehan Garam Dalam Perspektif Islam.....	22
2.9 Karakterisasi menggunakan XRD SEM dan UV-Vis DRS.....	24
BAB III METODE PENELITIAN	26
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	26
3.2 Alat dan Bahan	26
3.2.1 Alat	26
3.2.2 Bahan.....	26
3.3 Rancangan Penelitian.....	26
3.4 Prosedur Kerja	27
3.4.1 Preparasi Bahan.....	27
3.4.2 Sintesis $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ Terdoping Nd^{3+} dengan Metode Lelehan Garam	27

3.4.3 Karakterisasi SrBi ₄ Ti ₄ O ₁₅ Menggunakan XRD	28
3.4.4 Karakterisasi SrBi ₄ Ti ₄ O ₁₅ Menggunakan SEM-EDS.....	28
3.4.5 Karakterisasi SrBi ₄ Ti ₄ O ₁₅ Menggunakan UV-Vis DRS	28
3.5 Analisis Data.....	29
3.5.1 Analisis Data XRD.....	29
3.5.2 Analisis Data SEM-EDS	29
3.5.3 Analisis Data UV-Vis DRS.....	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 Sintesis SrBi _{4-x} Nd _x Ti ₄ O ₁₅ (x= 0,05; 0,1; 0,15; dan 0,2) dengan Metode Lelehan Garam.....	31
4.2 Karakterisasi SrBi _{4-x} Nd _x Ti ₄ O ₁₅ (x= 0,05; 0,1; 0,15; dan 0,2) Menggunakan XRD.....	32
4.3 Karakterisasi SrBi _{4-x} Nd _x Ti ₄ O ₁₅ (x= 0,05; 0,1; 0,15; dan 0,2) Menggunakan SEM-EDS	34
4.4 Karakterisasi SrBi _{4-x} Nd _x Ti ₄ O ₁₅ (x= 0,05; 0,1; 0,15; dan 0,2) Menggunakan UV-Vis DRS.....	35
4.5 Kelestarian Lingkungan Air dalam Perspektif Islam	37
BAB V PENUTUP.....	40
5.1 Kesimpulan.....	40
5.2 Saran.....	40
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN.....	46

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Alir.....	46
Lampiran 2. Perhitungan.....	48
Lampiran 7. Perhitungan %Massa Unsur Teoritis.....	52
Lampiran 8. Perhitungan %Atom Unsur Teoritis.....	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Mekanisme reaksi fotokatalis.....	9
Gambar 2.2	Struktur kristal $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$	11
Gambar 2.3	Diagram pita energi $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$	11
Gambar 2.4	Arah polarisasi struktur kristal $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$	12
Gambar 2.5	Spektra UV–Vis $\text{Bi}_5\text{Ti}_{3-x}\text{Fe}_{1+x}\text{O}_{15}$ dengan $x=$ (a) 0; (b) 0,2; (c) 0,4; dan (d) 0,6.	13
Gambar 2.6	Morfologi partikel $\text{Bi}_3\text{Fe}_{0,5}\text{Nb}_{1,5}\text{O}_9$ a) BFNO-S, (b) (BFNO-S) yang diperbesar, (c) BFNO-H, dan (d) BFNO-H yang diperbesar	16
Gambar 2.7	Morfologi partikel WO_3 (a) <i>nanoparticles</i> dan (b) <i>nanorods</i>	17
Gambar 2.8	Tahapan metode lelehan garam.....	17
Gambar 2.9	Diagram fasa NaCl-KCl	19
Gambar 2.10	Pola difraksi sinar-X $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$	20
Gambar 2.11	Morfologi partikel $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$	20
Gambar 2.12	Pola difraksi sinar-X $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ menggunakan (a) <i>solid state reaction</i> dan (b) lelehan garam	21
Gambar 2.13	Morfologi partikel $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ menggunakan metode (a) <i>solid state reaction</i> 900 °C dan lelehan garam pada suhu (b) 850 (c) 900, dan (d) 1000 °C	21
Gambar 4.1	Hasil sintesis senyawa $\text{SrBi}_{4-x}\text{Nd}_x\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ $x=$ (a) 0,05; (b) 0,1; (c) 0,15; dan (d) 0,2.....	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Komposisi prekursor senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ terdoping Nd 27
-----------	---

ABSTRAK

Hasanah, Imroatul. 2022. Sintesis Material SrBi₄Ti₄O₁₅ terdoping Nd dengan Metode Lelehan Garam NaCl-KCl. Skripsi. Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing I: Dr. Anton Prasetyo, M.Si; Pembimbing II: Dr. Hj. Akyunul Jannah, S.Si, M.P.

Kata Kunci: *SrBi₄Ti₄O₁₅, fotokatalis, metode lelehan garam, dopan Nd*

Senyawa feroelektrik SrBi₄Ti₄O₁₅ merupakan senyawa golongan Aurivillius lapis empat yang memiliki potensi aktivitas fotokatalis yang baik dengan energi celah pita 3,0 eV. Namun energi celah pita tersebut hanya mampu bekerja pada sinar UV dan salah satu usaha untuk menurunkan energi celah pitanya adalah dengan melakukan pendopingan dengan logam tanah jarang. Dalam penelitian ini dilakukan sintesis SrBi₄Ti₄O₁₅ terdoping Nd³⁺ (SrBi_{4-x}Nd_xTi₄O₁₅ ($x=0,05; 0,1; 0,15; \text{ dan } 0,2$)) dengan menggunakan metode lelehan garam NaCl-KCl pada suhu 720, dan 750 °C. Sampel hasil sintesis dikarakterisasi dan dianalisa menggunakan teknik difraksi sinar-X (XRD) untuk mengetahui struktur kristal yang terbentuk. Instrumen *scanning electron microscopy-energy dispersive spectroscopy* (SEM-EDS) untuk mengetahui morfologi dan komposisi unsur senyawa. Energi celah pita senyawa SrBi₄Ti₄O₁₅ diukur dengan menggunakan spektroskopi UV-Vis DRS. Data difraktogram menunjukkan bahwa senyawa SrBi_{4-x}Nd_xTi₄O₁₅ berhasil disintesis dan ditemukan fasa pengotor Bi₄Ti₄O₁₂, SrTiO₃, dan TiO₂ pada setiap sampel serta Bi₂O₃ pada $x=0,2$. Data SEM-EDS menunjukkan partikel berbentuk *plate-like* dan ditemukan aglomerasi yang berkurang dengan bertambahnya doping dengan unsur penyusun yaitu Sr, Bi, Ti, O dan Nd. Hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan Kubelka-Munk pada spektra reflektan menunjukkan bahwa senyawa SrBi₄Ti₄O₁₅ terdoping Nd³⁺ mempunyai energi celah pita di sekitar 2,6 eV.

ABSTRACT

Hasanah, Imroatul. 2022. Synthesis of SrBi₄Ti₄O₁₅ Doping Nd with NaCl-KCl by Molten Salt Method. Thesis. Chemistry Department, Science and Technology Faculty, Universitas Islam Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisor I: Dr Anton Prasetyo, M.Si; Advisor II: Dr. Hj. Akyunul Jannah, S.Si, M.P.

Keywords: *SrBi₄Ti₄O₁₅, photocatalyst, molten salt method, Nd doped*

The ferroelectric compound SrBi₄Ti₄O₁₅ is a fourth-layer Aurivillius compound which has good photocatalytic activity potential with a band gap energy of 3.0 eV. However, the band gap energy is only able to work on UV light and one of the efforts to reduce the band gap energy is by doping with rare earth metals. In this study, Nd³⁺ doped SrBi₄Ti₄O₁₅ (SrBi_{4-x}Nd_xTi₄O₁₅ ($x= 0.05; 0.1; 0.15; \text{ and } 0.2$)) was synthesized using the molten method of NaCl-KCl salt at a temperature of 720, and 750 °C. The synthesized samples were characterized and analyzed using X-ray diffraction (XRD) techniques to determine the crystal structure formed. Scanning electron microscopy-energy dispersive spectroscopy (SEM-EDS) instrument to determine the morphology and elemental composition of compounds. The band gap energy of the SrBi₄Ti₄O₁₅ compound was measured using DRS UV-Vis spectroscopy. The diffractogram data showed that the compound SrBi_{4-x}Nd_xTi₄O₁₅ was successfully synthesized and the impurity phases were Bi₄Ti₄O₁₂, SrTiO₃ and TiO₂ in each sample and Bi₂O₃ at $x=0.2$. SEM-EDS data showed that the particles were plate-like and found agglomeration which decreased with increasing doping with the constituent elements, namely Sr, Bi, Ti, O and Nd. The results of calculations using the Kubelka-Munk equation on the reflectance spectra show that the Nd³⁺ doped SrBi₄Ti₄O₁₅ compound has a band gap energy of around 2.6 eV.

مستخلص البحث

الحسنة، امرأة. 22. توليف المواد $\text{Nd-doped SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ بواسطة طريقة ذوبان ملح NaCl-KCl . البحث الجامعي. قسم الكيمياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف 1: الدكتور أنتون برستيو المجستير؛ المشرفة 2: الدكتورة الحاجة أعين الجنة الماجستير.

الكلمات المفتاحية: $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ ، محفز ضوئي، طريقة ذوبان ملح، *dopan Nd*

المركبات الغير وكهربي $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ هو المركبات من مجموعة Aurivillius في الطبقة الرابعة التي لديها إمكانات جيدة للنشاط محفز ضوئي مع طاقة فجوة نطاقية تبلغ $3,0 \text{ eV}$. إحدى العوامل المؤثرة للنشاط محفز ضوئي هي معدل تأشيب ثقب الإلكترون وإحدى الجهود لخرج عليها هي عن طريق تعاطي المنشطات مع المعادن الأرضية النادرة. ومن ناحية أخرى، يمكن أن يؤدي تعاطي المنشطات بالمعادن الأرضية نادرة أيضًا إلى تقليل طاقة فجوة النطاق. قام في هذا البحث توليف $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ بمعد $\text{Nd}^{3+}(\text{SrBi}_{4-x}\text{Nd}_x\text{Ti}_4\text{O}_{15})$ ($x= 0,05; 0,1; 0,15; \text{ dan } 0,2$) باستخدام ذوبان ملح NaCl-KCl في دراجة الحرارة 720 و 750°C . تميز وتحلل عينة حصول التوليف باستخدام تقنية حيود الأشعة السينية (XRD) لمعرفة تشكل الهيكل بلوري. كان أدوات المسح الطيفي المشتت لطاقة المجهر الإلكتروني (SEM-EDS) لمعرفة التشكل والتكوين عناصر المركبات. عايرت طاقة فجوة النطاق للمركب $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ باستخدام التحليل الطيفي UV-Vis DRS . ظهرت بيانات الحيود أن تصنيع المركاب $\text{SrBi}_{4-x}\text{Nd}_x\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ بنجاح وتم العثور على مرحلة شوائب $\text{Bi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ و TiO_2 و SrTiO_3 . ودلت البيانات SEM-EDS ذرة في شكل *plate-like* ووجدت التكتل التي نقصت مع زيادة تعاطي المنشطات مع العناصر المكونة يعني O , Ti , Bi , Sr و Nd . ودلت نتائج الحسابات باستخدام معادلة Kubelka-Munk على الإنعكاس الطيفي أن المركبات $\text{Nd-doped SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ طاقة فجوة النطاق حوالي 2.6 فولت.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Senyawa berstruktur Aurivillius mempunyai rumus umum $(\text{Bi}_2\text{O}_2)^{2+} (\text{A}_{m-1}\text{B}_m\text{O}_{3m+1})^{2-}$ di mana kation-A biasanya ditempati oleh logam Bi^{3+} , L^{3+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ dan lain-lain, sedangkan kation-B biasanya ditempati oleh logam W^{6+} , Nb^{5+} , Ti^{4+} dan lain-lain. Material ini dilaporkan mempunyai beberapa sifat menarik yang salah satunya adalah sifat fotokatalis sehingga bisa dimanfaatkan untuk pengolahan limbah (Rajashekhar, dkk., 2020). Proses uji fotokatalis dilakukan dengan mencampurkan larutan zat warna dengan material fotokatalis, kemudian disinari dengan sinar UV lalu dilakukan pengadukan. Beberapa material Aurivillius yang dilaporkan sebagai material fotokatalis di antaranya adalah (a) $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ dengan energi celah pita sebesar 2,9 eV (Agustina, dkk., 2020), (b) $\text{PbBi}_2\text{Nb}_2\text{O}_9$ dengan energi celah pita sebesar 2,88 eV, Bi_2MO_6 ($M = \text{W}$ dan Mo) dengan energi celah pita masing-masing sebesar 2,8 dan 3,0 eV (Zhang, dkk., 2016), (c) $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dengan energi celah pita sebesar 3,0 eV (Tu, dkk., 2019).

$\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ (SBT) adalah salah satu material Aurivillius lapis empat yang dilaporkan memiliki potensi besar sebagai material fotokatalis karena sifat ferroelektrik yang dimilikinya. Keberadaan polarisasi spontan dari material ferroelektrik SBT dapat mendorong elektron bermuatan negatif dan lubang yang bermuatan positif bergerak ke arah yang berlawanan sehingga laju rekombinasi elektron-hole dapat ditekan secara signifikan, sehingga bisa meningkatkan aktivitas fotokatalitiknya (Tu, dkk., 2019). SBT dilaporkan mempunyai energi celah pita

sebesar 3,0 eV (420 nm). Posisi pita konduksi dan pita valensi SBT telah dihitung masing-masing adalah -1,15 dan 1,85 eV. Hal ini menunjukkan struktur pita energi yang dimiliki SBT paling sesuai untuk reduksi CO₂ dibandingkan dengan material lainnya (Tu, dkk., 2019).

Allah berfirman dalam al-Quran surah an-Nahl ayat 13

﴿ وَمَا ذَرَأْنَا لَكُمْ فِي الْأَرْضِ مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهُ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً لِّقَوْمٍ يَتَذَكَّرُونَ ﴾

Artinya: “*dan (Dia juga mengendalikan) apa yang Dia ciptakan untukmu di bumi ini dengan berbagai jenis dan macam warnanya. Sungguh, pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang mengambil pelajaran*”.

Berdasarkan tafsir al-Misbah ayat ini menjelaskan bahwa Allah mengendalikan segala yang diciptakan dengan berbagai jenis, warna dan manfaatnya seperti tumbuhan, hewan, gunung, batu-batuan dan barang tambang. Sesungguhnya pada nikmat tersebut terdapat tanda kebesaran Allah bagi mereka yang memahami betapa besarnya nikmat yang telah diberikan dan mensyukuri dengan memanfaatkannya sebagaimana mestinya (Shihab, 2002). Seperti halnya dalam penelitian ini memanfaatkan senyawa SBT sebagai material fotokatalis dan juga memanfaatkan cahaya matahari sebagai penggerak reaksi fotokatalis sehingga dapat digunakan untuk pengolahan limbah. Namun energi celah pita yang cukup besar membuat senyawa SBT tidak bisa memanfaatkan cahaya matahari.

Untuk memperluas fungsi kerja material fotokatalis SBT sehingga bisa bekerja ke spektrum cahaya tampak adalah dengan melakukan pendopongan pada senyawa SBT. Penambahan dopan tertentu pada senyawa SBT bertujuan untuk memperkecil energi celah pita dan menurunkan laju rekombinan elektron-*hole* (Ramchiary, 2020). Beberapa logam yang telah digunakan untuk pendopongan

material fotokatalis Aurivillius adalah Fe^{3+} , La^{3+} , Cr^{3+} , Zn^{2+} , dan Nd^{3+} (Liu dkk., 2017). Di antara beberapa dopan, logam tanah jarang adalah salah satu logam yang menarik untuk menghasilkan aktivitas cahaya tampak. Saboor, dkk. (2019) telah mensintesis ZnO yang didoping logam Nd^{3+} menunjukkan adanya pengurangan energi celah pita menjadi 2,65 eV. SrTiO_3 terdoping Nd^{3+} yang disintesis oleh Zheng, dkk. (2013) menunjukkan peningkatan aktivitas fotokatalitik seiring bertambahnya konsentrasi dopan Nd^{3+} . Liu, dkk. (2016) juga melaporkan bahwa doping Nd^{3+} pada TiO_2 dapat menyebabkan penurunan laju rekombinasi elektron-*hole*. Penggunaan jumlah doping pada material fotokatalis dapat mempengaruhi aktivitas fotokatalis karena semakin banyak konsentrasi doping yang digunakan akan cenderung membentuk pusat rekombinasi elektron-*hole* dan dimungkinkan dapat mengubah struktur kristal yang terbentuk. Seperti yang telah dilaporkan oleh Pratiwi, dkk., (2020) sintesis TiO_2 dengan variasi doping ($\text{Fe} = 0,25, 0,125, 0,05$ %) menunjukkan aktivitas fotokatalisnya meningkat hingga konsentrasi 0,125 yaitu mampu mendegradasi 25,605 % rhodamin B selama 180 menit. Akan tetapi aktivitas fotokatalisnya berkurang ketika jumlah doping ditingkatkan.

Faktor lain yang dapat mempengaruhi kinerja aktivitas fotokatalitik adalah morfologi. Struktur permukaan/morfologi fotokatalis memiliki peran pentingnya dalam mengendalikan efisiensi fotokatalisis. Robinson, dkk. (2020) melaporkan $\text{Bi}_3\text{Fe}_{0,5}\text{Nb}_{1,5}\text{O}_9$ yang disintesis menggunakan metode *solid state reaction* (SSR) menunjukkan morfologi skala mikron yang tidak teratur, sedangkan yang disintesis dengan hidrotermal menghasilkan struktur hierarki dan luas permukaan spesifik yang lebih besar dan menunjukkan aktivitas fotokatalitik yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan metode SSR. Metode yang digunakan untuk mensintesis

senyawa fotokatalis diketahui dapat mempengaruhi morfologi partikel sehingga pemilihan metode sintesis juga harus diperhatikan. Metode lelehan garam merupakan metode sederhana dan efektif yang mempunyai kemampuan menghasilkan morfologi partikel yang khas (Agustina, dkk., 2020) dalam sintesis senyawa fotokatalis.

Sintesis senyawa SBT dengan metode lelehan garam telah dilaporkan beberapa pihak. Chang, dkk. (2014) telah mensintesis $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ menggunakan garam KCl dan K_2SO_4 pada suhu $1100\text{ }^\circ\text{C}$ menghasilkan partikel berbentuk *plate-like* dengan ukuran partikelnya masing-masing sekitar $3,8$ dan $4,9\text{ }\mu\text{m}$ dengan panjang rata-rata $0,26\text{ }\mu\text{m}$ dan ketebalan $0,37\text{ }\mu\text{m}$. Selain itu Chang, dkk. (2014) juga mensintesis $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dengan rasio garam KCl dan oksidanya sebesar $0,50:1$; $0,75:1$; $1:1$; dan $1,50:1$. Pelat SBT yang dihasilkan pada rasio $0,50:1$ memiliki sebaran ukuran partikel bimodel dengan partikel besar $16,8\text{ }\mu\text{m}$ dan partikel kecil $2,8\text{ }\mu\text{m}$. Disebabkan jumlah garam cair yang tidak cukup untuk mengontrol setiap kristal SBT yang tumbuh. Ketika rasio ditingkatkan, pelat SBT yang dihasilkan menunjukkan ukuran seragam $5,2$; $3,8$; dan $3,1\text{ }\mu\text{m}$ dengan panjang rata-rata $0,27$ dan $0,26\text{ }\mu\text{m}$ dengan ketebalan rata-rata $0,24\text{ }\mu\text{m}$.

Jumlah garam cair digunakan sebagai pelarut untuk mengontrol karakteristik ukuran dan bentuk produk. Ketika jumlah garam cair meningkat maka kelarutan prekursor juga akan meningkat dan menyebabkan ukuran partikel semakin kecil (Kimura, 2011). Rodhiyah, dkk. (2018) juga mensintesis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ menggunakan perbandingan mol prekursor dengan garam NaCl sebesar $1:4$, $1:6$, $1:8$, dan $1:10$ serta menunjukkan bahwa kristalinitas produk $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ meningkat seiring meningkatnya jumlah garam serta ukuran *plate-like* meningkat dengan

meningkatnya rasio mol garam. Selain itu Januari, dkk. (2020) melaporkan sintesis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ menggunakan perbandingan mol prekursor dengan garam NaCl sebesar 1:7 menghasilkan morfologi *plate-like* dengan luas permukaan yang tinggi. kandungan garam yang tepat harus digunakan untuk mendapatkan butiran seperti serpihan yang dibutuhkan. Jika ada terlalu sedikit garam, garam kehilangan perannya sebagai pelarut sehingga kehilangan peran sebagai media untuk beraksi. Jika ada terlalu banyak garam, dibutuhkan terlalu lama waktu untuk mencuci garam (Tian, dkk., 2015).

Garam campuran NaCl-KCl banyak digunakan dalam mensintesis material semikonduktor karena memiliki titik leleh yang lebih rendah dari suhu aslinya, yaitu 650 °C. Selain itu, penggunaan garam campuran juga dapat menghindari adanya aglomerasi sehingga dapat menggunakan suhu kalsinasi yang lebih rendah. (Li, dkk. 2010) melaporkan bahwa SrTiO_3 yang disintesis dengan dua jenis TiO_2 yang berbeda (TiO_2 submikron dan TiO_2 kristalit) menggunakan lelehan garam NaCl-KCl pada suhu 700 °C selama 10 jam menghasilkan produk SrTiO_3 murni tanpa adanya pengotor dan partikel berukuran 95-184 nm pada TiO_2 submikron serta yang berasal dari nanokristal TiO_2 menghasilkan partikel sekitar 20-61 nm.

Berdasarkan uraian di atas maka dalam penelitian ini dilakukan sintesis senyawa SBT terdoping Nd^{3+} ($\text{SrBi}_{4-x}\text{Nd}_x\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ ($x= 0,05; 0,1; 0,15; \text{ dan } 0,2$)) menggunakan metode lelehan garam NaCl-KCl. Hasil sintesis yang diperoleh akan dikarakterisasi menggunakan teknik difraksi sinar-X (XRD) untuk mengetahui struktur kristal yang terbentuk. Kemudian morfologi partikel dan komposisi unsur sampel yang terbentuk dikarakterisasi dengan *scanning electron microscopy-*

energy dispersive spectroscopy (SEM-EDS) dan UV-Vis DRS untuk menentukan energi celah pita dari senyawa SBT.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana struktur kristal, morfologi partikel, komposisi unsur dan energi celah pita senyawa SBT terdoping Nd^{3+} ($\text{SrBi}_{4-x}\text{Nd}_x\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ ($x= 0,05; 0,1; 0,15; \text{ dan } 0,2$)) yang disintesis dengan menggunakan metode lelehan garam NaCl-KCl (1:1).

1.3 Tujuan Penelitian

Untuk mengetahui struktur kristal, morfologi partikel, komposisi unsur dan energi celah pita senyawa SBT terdoping Nd^{3+} ($\text{SrBi}_{4-x}\text{Nd}_x\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ ($x= 0,05; 0,1; 0,15; \text{ dan } 0,2$)) yang disintesis dengan menggunakan metode lelehan garam NaCl-KCl (1:1).

1.4 Batasan masalah

- a. Perbandingan mol antara prekursor dengan campuran garam yang digunakan adalah 1 : 7
- b. Suhu kalsinasi yang digunakan adalah 720 dan 750 °C.
- c. Jenis garam yang digunakan adalah garam campuran NaCl dan KCl (1:1)

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi tentang struktur kristal, morfologi, komposisi unsur dan celah pita senyawa $\text{SrBi}_{4-x}\text{Nd}_x\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ terdoping Nd^{3+} yang disintesis menggunakan metode lelehan garam

serta membantu pengembangan teknologi material fotokatalis ($\text{SrBi}_{4-x}\text{Nd}_x\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ ($x= 0,05; 0,1; 0,15; \text{ dan } 0,2$)) untuk pengolahan limbah.

BAB II

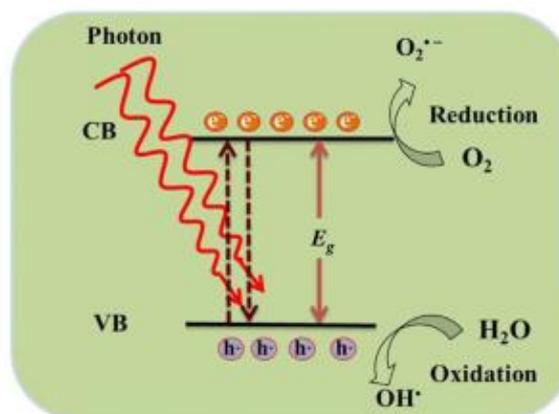
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fotokatalis Semikonduktor

Fotokatalis adalah proses kombinasi fotokimia dan katalitik yang memanfaatkan cahaya matahari untuk mempercepat terjadinya transformasi kimia yang salah satu contoh penggunaannya adalah untuk pengolahan limbah. Transformasi tersebut terjadi pada permukaan katalis yang selanjutnya disebut sebagai material fotokatalis (Rahma, 2018). Mekanisme reaksi terjadi ketika fotokatalis tereksitasi oleh cahaya, pasangan lubang elektron pada pita valensi (VB) dipisahkan, kemudian elektron tereksitasi ke pita konduksi (CB), dan *hole* (h^+) dihasilkan pada VB. Selanjutnya, sebagian dari pasangan elektron *hole* berekombinasi yang disertai dengan pelepasan panas dan sebagian lagi bermigrasi ke situs reaksi. Akibatnya, pasangan elektron-*hole* terlibat dalam reaksi oksidasi dan reduksi untuk memecah rantai molekul polutan organik, yaitu elektron (e^-) dapat mereduksi oksigen (O_2) untuk membentuk anion superoksida ($O_2^{\cdot-}$) dan *hole* (h^+) akan mengoksidasi (OH) menghasilkan radikal hidroksil (OH^{\cdot}) (Ramchiary, 2020). Mekanisme reaksi fotokatalis ditunjukkan pada Gambar 2.1.

Material semikonduktor yang dilaporkan mempunyai peluang sebagai fotokatalisis diantaranya $SrTiO_3$ (Zheng dkk., 2013), $Bi_5Ti_3FeO_{15}$ (Liu, dkk., 2017), $Bi_4Ti_3O_{12}$ (Agustina, dkk., 2020), $La_2Ti_2O_7$ (Wang, dkk., 2013). Teknologi fotokatalisis dapat digunakan dalam berbagai aplikasi seperti mengoksidasi atau mengurangi kontaminan pestisida, pewarna, garam anorganik beracun, air limbah industri, dan logam berat (Long, dkk., 2020). Selain itu fotokatalis juga dapat

dimanfaatkan sebagai reduksi CO₂, produksi hidrogen untuk dijadikan sebagai bahan bakar kimia dengan *water splitting*, detoksifikasi air, dan atmosfer (Ramchiary, 2020).



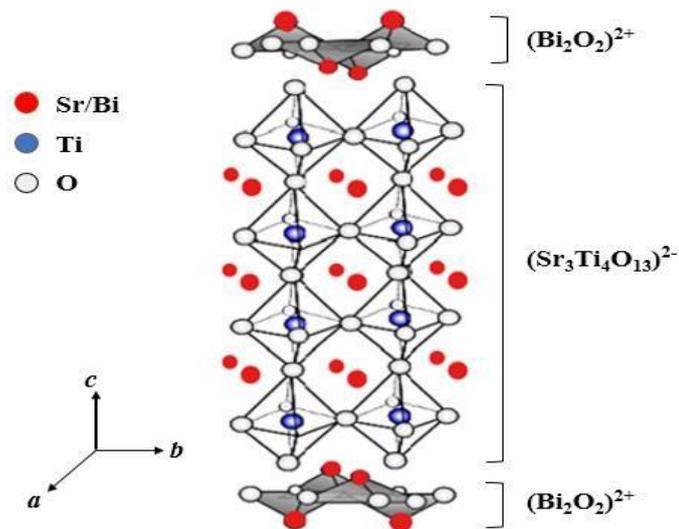
Gambar 2.1 Mekanisme reaksi fotokatalis (Ramchiary, 2020)

Salah satu contoh reaksi fotokatalis yang terjadi saat mendegradasi limbah zat warna yaitu elektron dan *hole* yang dihasilkan dalam proses fotokatalis akan terlibat dalam reaksi redoks. *Hole* akan bereaksi dengan air dan membentuk radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) pada permukaan material. $\bullet\text{OH}$ adalah zat pengoksidasi yang kuat dan menyerang molekul organik secara non-selektif serta memineralisasinya sesuai dengan struktur dan stabilitasnya. Sedangkan elektron pada pita konduksi mereduksi oksigen membentuk radikal anion superoksida ($\bullet\text{O}_2^-$) dan berperan penting dalam proses oksidasi molekul organik. $\bullet\text{O}_2^-$ juga bereaksi dengan proton untuk membentuk radikal hidroperoksil ($\bullet\text{OOH}$) yang bertanggung jawab untuk pembentukan hidrogen peroksida (H₂O₂). H₂O₂ akan terdisosiasi kembali menghasilkan $\bullet\text{OH}$ yang sangat reaktif yang akan bereaksi dengan zat warna dan menghasilkan CO₂ dan H₂O (Das, dkk., 2021).

Tahapan Proses uji fotokatalis dimulai dengan menguji kestabilan untuk memastikan limbah zat warna tidak terpengaruh oleh faktor lingkungan (sinar UV). Uji kestabilan dilakukan pada dua situasi, tanpa lampu UV dan terpapar sinar UV. Kemudian dilakukan uji kesetimbangan adsorpsi-desorpsi material fotokatalis dengan konsentrasi sedemikian rupa dalam limbah zat warna selama beberapa menit tanpa paparan sinar UV. Jika terjadi penurunan konsentrasi ini mengindikasikan bahwa senyawa memiliki kemampuan menyerap (adsorpsi) limbah zat warna. Setelah uji kesetimbangan, dilakukan uji degradasi limbah zat warna. Uji degradasi limbah zat warna dilakukan dengan mencampurkan larutan zat warna dengan material fotokatalis, kemudian disinari dengan sinar UV pada selang waktu tertentu (Rouf, 2021).

2.2 Karakteristik Senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$

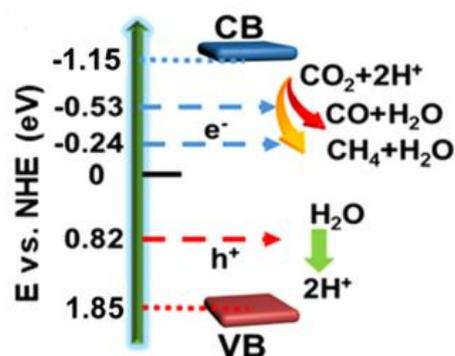
$\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ (SBT) adalah salah satu dari senyawa golongan Aurivillius lapis empat yang tersusun atas lapis $(\text{Bi}_2\text{O}_2)^{2+}$ dan lapis oktahedral TiO_6 berjumlah empat lapis yang tersusun secara bergantian di sepanjang sumbu c . Kation Sr/Bi menempati $A\text{-site}$ dan Ti menempati $B\text{-site}$. Struktur kristal senyawa SBT dilaporkan mempunyai grup ruang A_{21am} , ditampilkan pada Gambar 2.2 (Tu, dkk., 2019). Banyak pihak telah melaporkan peluang pemanfaatan SBT pada berbagai bidang di antaranya sebagai resonator, filter, sensor, aktuator, dan aplikasi *non-volatile ferroelectric random access memory* (FeRAM) (Rajashekhar, dkk., 2020).



Gambar 2.2 Struktur kristal SBT (Cahyo, 2020)

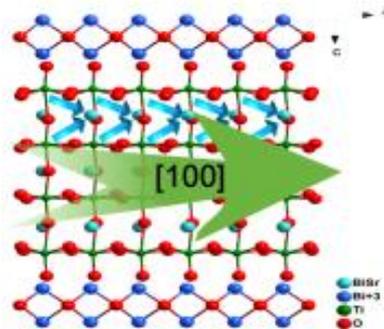
2.3 Fotokatalis Senyawa SrBi₄Ti₄O₁₅

Sifat fotokatalis senyawa SBT telah dilaporkan oleh beberapa peneliti. Tu, dkk., (2019) melaporkan bahwa material fotokatalis SBT dapat dimanfaatkan untuk mereduksi CO₂. Energi celah pita SBT dilaporkan adalah 3,0 eV dengan posisi pita konduksi (CB) dan pita valensi (VB) dihitung menjadi -1,15 dan 1,85 eV. Diagram pita energi SrBi₄Ti₄O₁₅ ditampilkan pada Gambar 2.3. Pita konduksi (CB) senyawa SrBi₄Ti₄O₁₅ ditempati oleh orbital Ti 3*d* sementara orbital O 2*p* dan Bi 6*s* ditempati oleh pita valensi (VB) (Tu, dkk., 2019).



Gambar 2.3 Diagram pita energi SBT (Tu, dkk., 2019)

Material feroelektrik fotokatalis dilaporkan mempunyai aktivitas fotokatalis yang tinggi. Oleh karenanya SBT dengan sifat feroelektriknya berpeluang mempunyai aktivitas fotokatalis yang baik. Hal ini dikarenakan polarisasi spontan yang dimiliki feroelektrik SBT dapat memisahkan pembawa muatan melalui medan listrik lokal yang dibuat oleh dipol di daerah curah homogen (yaitu domain), dan dapat melampaui celah pita dari material semikonduktor. Tu, dkk. (2019) juga melaporkan bahwa polarisasi feroelektrik yang di hasilkan sepanjang arah [100] berperan penting dalam mendorong pemisahan muatan e^-/h^+ pada $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$. Arah polarisasi struktur kristal $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ ditunjukkan pada Gambar 2.4.

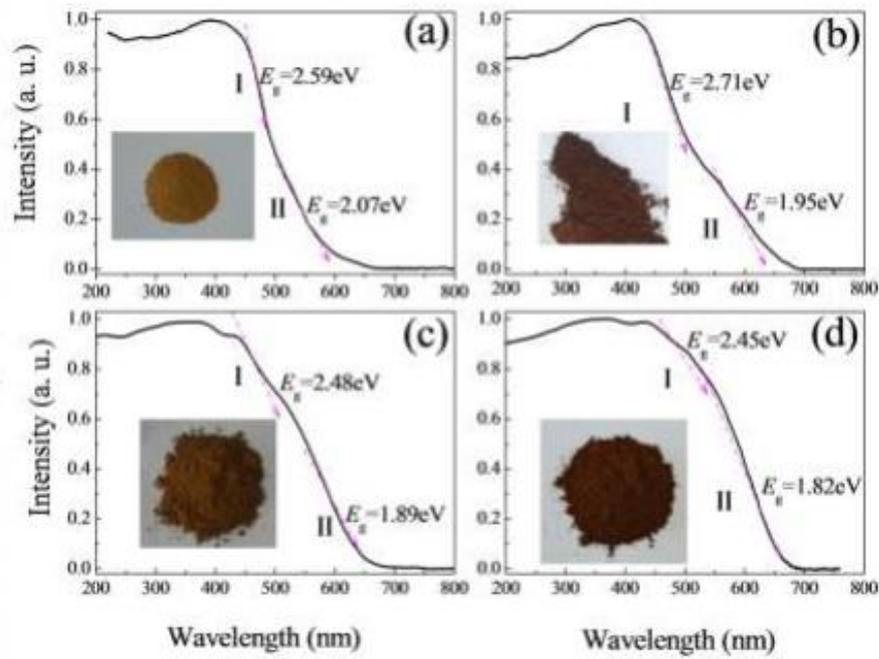


Gambar 2.4 Arah polarisasi struktur kristal SBT (Tu, dkk., 2019)

2.4 Penurunan Energi Celah Pita dengan Pendopongan Logam

Energi celah pita fotokatalis semikonduktor memainkan peran penting dalam meningkatkan aktivitas fotokatalitik dengan mengubah sifat penyerapan cahaya. Penambahan dopan berupa kation logam merupakan salah satu cara untuk dapat memanfaatkan spektrum matahari yang efektif dalam sistem fotokatalitik. Penambahan doping kation logam dalam semikonduktor dapat menciptakan tingkat pengotor di dekat pita konduksi serta dapat mengurangi energi celah pita fotokatalis semikonduktor (Rajbongshi, 2020). Beberapa logam yang dilaporkan telah

digunakan sebagai dopan pada material fotokatalis adalah V^{4+} , Cr^{3+} , Mn^{5+} , Fe^{3+} , Co^{3+} , Ni^{2+} , dan Cu^{2+} (Ramchiary, 2020).



Gambar 2.5 Spektra UV–Vis $Bi_5Ti_{3-x}Fe_{1+x}O_{15}$ dengan $x=$ (a) 0; (b) 0,2; (c) 0,4; dan (d) 0,6 (Liu, dkk., 2017).

Liu, dkk. (2017) telah melakukan pendopingan dengan Fe^{3+} pada material $Bi_5Ti_{3-x}Fe_{1+x}O_{15}$ ($x=$ 0; 0,2; 0,4; 0,6). Hasil karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Sampel $Bi_5FeTi_3O_{15}$ yang didoping dengan Ti^{4+} dan Fe^{3+} menunjukkan pergeseran serapan hingga 700 nm yang secara aktif dapat merespon cahaya tampak. Selain itu, dengan meningkatnya konsentrasi doping, energi celah pita yang dihasilkan mengalami penurunan menjadi 2,45 eV. Aktivitas fotokatalis dalam mendegradasi rhodamin B yaitu 65% selama 3 jam dengan menggunakan $Bi_5Ti_3FeO_{15}$ murni. Sedangkan sampel yang disubstitusi Ti^{4+} dan Fe^{3+} ($x=$ 0; 0,2; 0,4; 0,6) dapat mendegradasi rhodamin B sebanyak 80, 87, dan 95%.

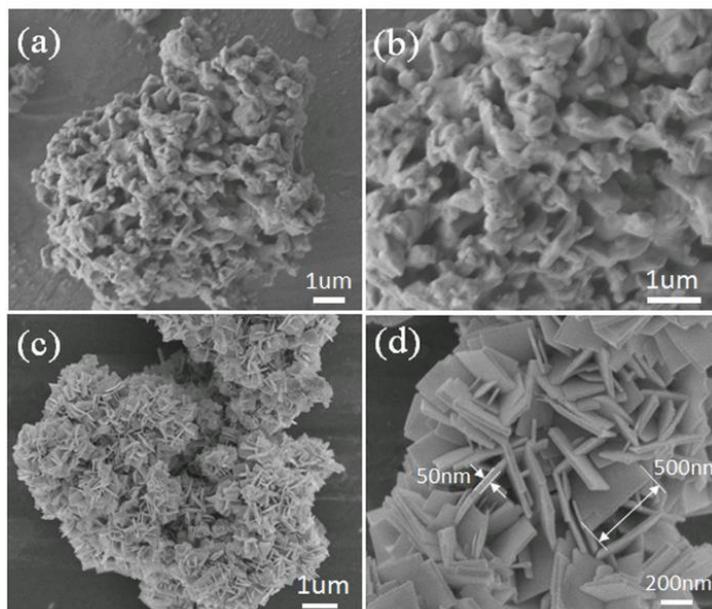
Logam tanah jarang dapat dijadikan sebagai doping pada material $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ karena memiliki kemiripan jari-jari dengan Bi^{3+} . Di antara beberapa logam tanah jarang, Nd^{3+} merupakan logam dengan kelimpahan terbanyak kedua dibandingkan dengan logam tanah jarang lainnya yaitu sekitar 41,5 ppm di kerak bumi (Ngadenin, dkk., 2020). Dalam penelitian Dhiman, dkk. (2019) LaFeO_3 disintesis menggunakan metode sol-gel dengan perbandingan doping logam tanah jarang Eu^{3+} , Gd^{3+} , Dy^{3+} , Nd^{3+} . $\text{LaRE}_x\text{Fe}_{1-x}\text{O}_3$ ($\text{RE} = \text{Eu}^{3+}$, Gd^{3+} , Dy^{3+} , Nd^{3+} dan ($x = 0,02; 0,04; 0,06; 0,08; 0,1$)). Pada hasil Sintesis tersebut LaFeO_3 terdoping Nd^{3+} ($x=0,1$) menunjukkan aktivitas fotokatalis yang tinggi dibandingkan dengan logam lainnya yaitu mampu mendegradasi 97% safranin-O selama 20 menit. Alam, dkk. (2018) juga melakukan sintesis ZnO menggunakan metode sol-gel dengan perbandingan doping logam tanah jarang La^{3+} , Nd^{3+} , Sm^{3+} , dan Dy^{3+} . ZnO yang didoping logam tanah jarang menunjukkan peningkatan aktivitas fotokatalitik terhadap degradasi metilen biru dengan urutan $\text{Nd}^{3+} > \text{Sm}^{3+} > \text{Dy}^{3+} > \text{La}^{3+}$, dan doping Nd menunjukkan aktivitas fotokatalis yang lebih tinggi dibanding doping logam tanah jarang lainnya yaitu mampu mendegradasi 98% metilen biru selama 25 menit.

2.5 Pengaruh Morfologi Partikel pada Aktivitas Fotokatalis

Pengaruh morfologi terhadap aktivitas fotokatalis telah dilaporkan banyak pihak. Struktur nano satu dimensi (1D) seperti *wires*, *belts*, dan *tubes* telah menunjukkan peningkatan aktivitas fotokatalitik yang cukup besar. Struktur nano satu dimensi dapat meningkatkan efisiensi luas permukaan yang efektif dalam sistem fotokatalitik. Selain itu, struktur 1D membatasi elektron dalam satu arah

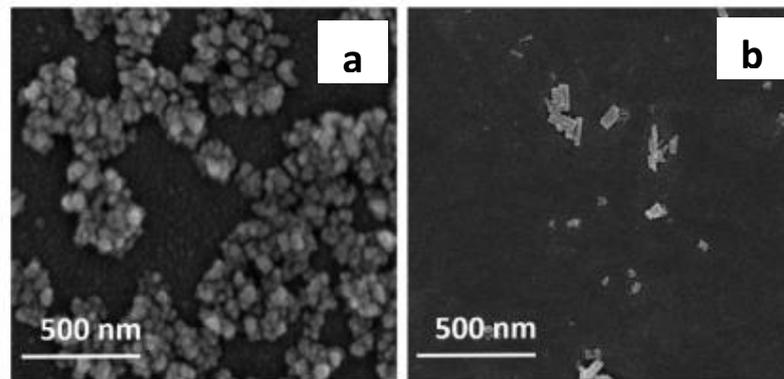
untuk berpindah karena kemungkinan rekombinasinya juga berkurang (Rajbongshi, 2020).

Morfologi partikel berperan penting terhadap aktivitas fotokatalis karena reaksi antara katalis dan reaktan terjadi pada permukaan atau antarmuka sehingga efisiensinya bergantung pada luas permukaan material. Permukaan yang lebih luas akan memberikan situs aktif yang lebih untuk tidak hanya bereaksi dengan air yang diserap dan hidroksil untuk membentuk radikal hidroksil oksidatif, tetapi juga mengikat molekul organik untuk fotodegradasi (Cheng, dkk., 2014). Pengaruh morfologi terhadap aktivitas fotokatalis senyawa $\text{Bi}_3\text{Fe}_{0,5}\text{Nb}_{1,5}\text{O}_9$ (BFNO-H) telah dilaporkan oleh Robinson, dkk. (2020) yang mensintesis senyawa tersebut dengan metode hidrotermal menghasilkan struktur hierarki dengan luas permukaan spesifik yang lebih besar ($16,586 \text{ m}^2/\text{g}$). Hal ini mengakibatkan aktivitas fotodegradasi rhodamin B (RhB) dan asam salisilat (SA) yang lebih kuat dibandingkan $\text{Bi}_3\text{Fe}_{0,5}\text{Nb}_{1,5}\text{O}_9$ (BFNO-S) yang disintesis dengan metode *solid state reaction* karena luas permukaan spesifik yang besar dapat meningkatkan situs reaktif. Morfologi partikel $\text{Bi}_3\text{Fe}_{0,5}\text{Nb}_{1,5}\text{O}_9$ ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Morfologi partikel $\text{Bi}_3\text{Fe}_{0,5}\text{Nb}_{1,5}\text{O}_9$ a) BFNO-S, (b) (BFNO-S) yang diperbesar, (c) BFNO-H, dan (d) BFNO-H yang diperbesar (Robinson, dkk., 2020)

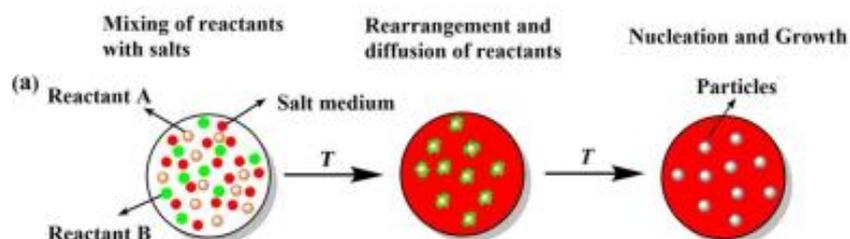
Adhikari, dkk. (2018) mensintesis WO_3 berukuran *nanoparticles* dan *nanorods* yang menunjukkan struktur monoklinik dengan kristalinitas yang tinggi dan masing-masing luas permukaan yang diperoleh adalah 9,9 dan 6,6 m^2/g . Morfologi yang dihasilkan yaitu nanopartikel berbentuk bola serta ditemukan adanya aglomerasi yang tinggi dengan diameter 45 nm dan partikel berbentuk seperti batang dengan panjang rata-rata batang 145 nm dan lebar 40 nm. Meskipun luas permukaan nanopartikel WO_3 lebih tinggi daripada *nanorods*, adsorpsi RhB oleh *nanorods* WO_3 lebih tinggi daripada nanopartikel, yaitu sekitar 95% RhB terdegradasi dalam 3 jam oleh WO_3 *nanorods*. Adsorpsi yang berkurang ini dapat disebabkan oleh aglomerasi di antara nanopartikel yang membentuk partikel sekunder dengan ukuran lebih besar. Morfologi partikel WO_3 ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Morfologi partikel WO_3 (a) *nanoparticles* dan (b) *nanorods* (Adhikari, dkk., 2018)

2.6 Sintesis Menggunakan Metode Lelehan Garam

Metode lelehan garam merupakan metode sintesis sederhana yang dapat digeneralisasikan untuk membuat nanomaterial berkualitas tinggi karena berbagai sifat yang menguntungkan dari garam cair seperti non-toksistas, hemat biaya, tekanan uap rendah, mudah ketersediaaan, kapasitas panas yang tinggi, jangkauan elektrokimia yang besar, dan konduktivitas ionik yang tinggi. Selain itu, produk terbentuk pada suhu yang relatif lebih rendah dan menghasilkan partikel yang seragam. Pemilihan garam cair yang sesuai dalam proses MSS sangat penting dan harus memenuhi tiga hal yaitu: titik leleh rendah, kesesuaian dengan reaktan dan kelarutan air yang tinggi sehingga dapat dengan mudah dihilangkan setelah sintesis hanya dengan mencuci sederhana dengan air (Gupta & Mao, 2021).



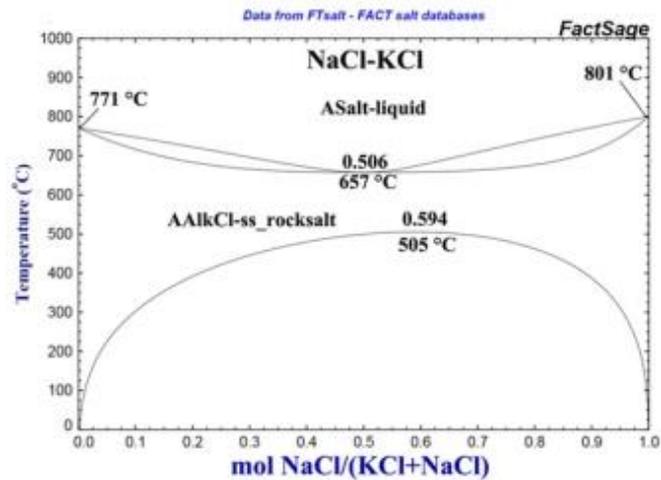
Gambar 2.8 Tahapan metode lelehan garam (Fu, dkk., 2020)

Sintesis menggunakan lelehan garam terdiri dari tiga tahap seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. Tahap pertama oksida reaktan atau prekursor lainnya yang sesuai dengan senyawa yang diinginkan dicampur dengan garam yang diinginkan. Pada tahap II, campuran dipanaskan pada suhu di atas titik leleh medium garam untuk membentuk fluks cair. Pada suhu ini, molekul prekursor menyebar, berdisosiasi, menyusun ulang, dan kemudian berdifusi dengan cepat ke seluruh garam. Pada tahap III, partikel produk mulai berinti dan tumbuh melalui proses pengendapan larutan. Produk yang dihasilkan dicuci menggunakan air untuk menghilangkan garam (Xue, dkk., 2018). Untuk memastikan bahwa tidak ada garam cair yang tersisa, filtrat perlu dideteksi secara kimiawi menggunakan metode yang efektif, yaitu metode presipitasi. Misalnya, untuk garam cair NaCl, pereaksi AgNO_3 dapat digunakan untuk mendeteksi apakah terdapat endapan AgCl berwarna putih pada filtrat (Fu, dkk., 2020).

Garam yang biasa digunakan dalam sintesis lelehan garam adalah NaCl, KCl, Na_2SO_4 , dan K_2SO_4 ataupun garam campuran NaCl-KCl dan Na_2SO_4 , K_2SO_4 (Kimura, 2011). Penggunaan garam campuran dapat menurunkan titik leleh dari garam asalnya sehingga dalam sintesis menggunakan lelehan garam suhu kalsinasi yang digunakan dapat lebih rendah. Titik leleh NaCl dan KCl adalah 801 dan 771 °C dan ketika kedua garam tersebut dicampurkan maka titik lelehnya menjadi lebih rendah yaitu sesuai dengan diagram fasa yang pada Gambar 2.9 yang menunjukkan 0,5 NaCl–0,5 KCl menghasilkan suhu campuran sebesar 657 °C (Fu, dkk., 2020).

Yin, dkk., (2020) mensintesis $\text{Bi}_3\text{TiNbO}_9$ menggunakan lelehan garam NaCl-KCl pada suhu 750 °C menghasilkan morfologi dengan ukuran 400-900 nm serta mampu mendegradasi 97% RhB dan 86% MO selama 15 menit. Selain itu

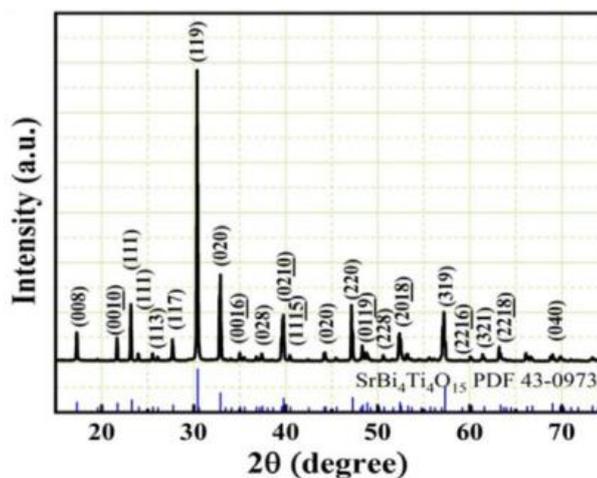
Zhang, dkk., (2012) melaporkan bahwa BaTiO_3 yang disintesis menggunakan lelehan garam NaCl-KCl dengan perbandingan suhu 600, 700, 800 °C selama 3 jam. Nanopartikel BaTiO_3 murni berhasil disintesis pada suhu 800 °C dengan bentuk heksagonal dan rata-rata ukuran partikel sekitar 50 nm.



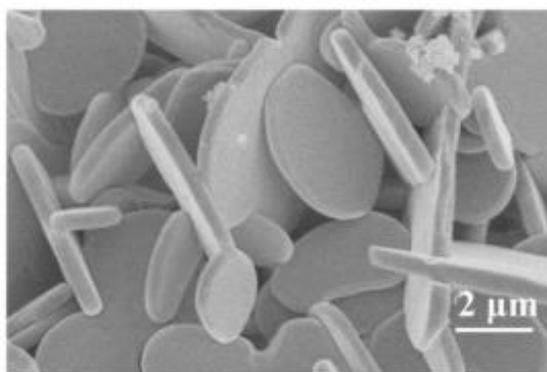
Gambar 2.9 Diagram fasa NaCl-KCl (Fu, dkk., 2020)

2.7 Sintesis Senyawa $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dengan Metode Lelehan Garam

Sintesis senyawa SBT dengan metode lelehan garam telah dilaporkan beberapa pihak. Lin, dkk., (2020) mensintesis $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ menggunakan lelehan garam KCl pada suhu 1000 °C selama 3 jam. Pola difraksi sinar-X ditunjukkan pada Gambar 2.10 menunjukkan bahwa kristal yang terbentuk murni dan tidak ada pengotor yang terdeteksi. Hasil karakterisasi menggunakan SEM-nya ditampilkan pada Gambar 2.11 yang terlihat bahwa partikel yang terbentuk adalah *nanosheet* dua dimensi (2D) dengan ukuran yang seragam dan ketebalan 250 nm.



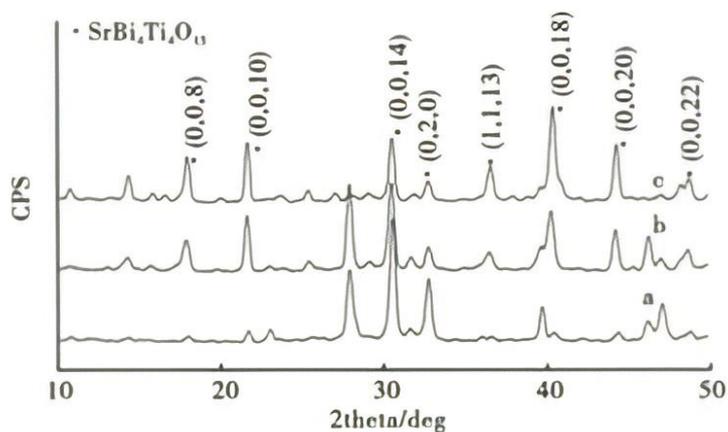
Gambar 2.10 Pola difraksi sinar-X SBT (Lin, dkk., 2020)



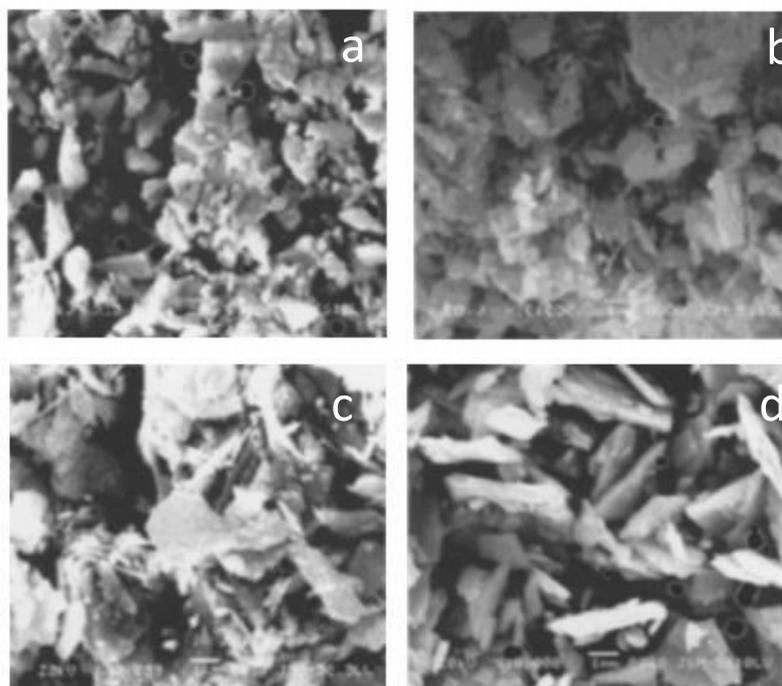
Gambar 2.11 Morfologi partikel SBT (Lin, dkk., 2020)

Laporan lain di sampaikan oleh Hua, dkk. (2005) yang mensintesis SBT dengan menggunakan lelehan garam dan SSR pada suhu 800-1000 °C selama 2 jam. Berdasarkan pola difraksi sinar-X pada Gambar 2.12 menunjukkan kristal $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ yang terbentuk murni tanpa adanya pengotor dengan metode lelehan garam, sedangkan pada metode *solid state reaction* terdapat puncak yang tidak tajam yang menunjukkan aglomerasi pada produk yang dihasilkan. Hasil karakterisasi menggunakan SEM menunjukkan morfologi SBT berbentuk *plate-like* pada suhu 850 °C. Bentuk *plate-like* menjadi semakin jelas seiring meningkatnya suhu. Dibandingkan dengan metode *solid state reaction*, butiran

yang dihasilkan dengan metode lelehan garam lebih seperti serpihan. Diketahui bahwa metode lelehan garam memiliki kemampuan untuk mengontrol bentuk butir sehingga kemampuan ini dapat diterapkan untuk meningkatkan sifat-sifat yang dimiliki SBT. Morfologi partikel SBT ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.12 Pola difraksi sinar-X SBT menggunakan (a) *solid state reaction* dan (b) lelehan garam (Hua, dkk., 2005)



Gambar 2.13 Morfologi partikel SBT menggunakan metode (a) *solid state reaction* 900 °C dan lelehan garam pada suhu (b) 850 (c) 900, dan (d) 1000 °C (Hua, dkk., 2005)

2.8 Metode Lelehan Garam Dalam Perspektif Islam

Garam merupakan salah satu senyawa kimia yang dihasilkan dari penguapan air laut yang diciptakan oleh Allah tidak hanya untuk dikonsumsi oleh manusia sebagai bumbu dapur. Garam menyimpan rahasia, hikmah, manfaat yang semuanya telah disinggung dalam al-Quran. Salah satu fenomena yang menarik untuk dikaji ialah fenomena laut. Firman Allah dalam al-Quran surat al-Furqan (25): 53

وَهُوَ الَّذِي مَرَجَ الْبَحْرَيْنِ هَذَا عَذْبٌ فُرَاتٌ وَهَذَا مِلْحٌ أُجَاجٌ وَجَعَلَ بَيْنَهُمَا بَرْزَخًا وَحِجْرًا مَّحْجُورًا



Artinya: “Dialah yang membiarkan dua laut mengalir (berdampingan); yang ini tawar serta segar dan yang lain sangat asin lagi pahit; dan Dia jadikan antara keduanya dinding dan batas yang tidak tembus”

Dalam Tafsir Mafatihul Ghaib kata *bahraîn* dikatakan berdampingan, maka dapat memahami dengan pengertian “ruang” dan bukannya pengertian “bidang”. Dari ayat ini maksud *barzakh* atau dinding artinya kedua laut tersebut tetap mempunyai dan mempertahankan karakter atau sifat-sifat fisika (suhu, tekanan, dll) dan kimianya (senyawa, salinitas, dan lain-lain) sendiri-sendiri sehingga antara kedua macam lautan tersebut akan mempunyai jenis ikan dan tumbuhan yang berlainan (Al-Razi, 1990). Kata *hijran mahjura* dalam tafsir al-Misbah mengandung isyarat bahwa ada suatu yang terdapat di kedua laut itu yang menjadi penghalang sehingga keduanya tidak saling bertemu. Hal ini dikarenakan lautan memiliki dua sifat yang berbeda yaitu *tawar serta segar* dan *asin lagi pahit* yang merupakan sifat dari sebuah garam. Kandungan garam dari air laut berbeda-beda ketika dua lautan yang

berbeda salintas (kadar garam air laut) saling bertemu, kedua lautan itu tidak akan bercampur (Shihab, 2002).

Selain itu garam juga dapat dijadikan sebagai media sintesis material fotokatalis karena sifatnya yang ramah lingkungan, efektif dan mempunyai kemampuan menghasilkan morfologi partikel yang khas. Hal ini berkaitan dengan firman Allah surat Ali-Imran ayat 191 yang menunjukkan bahwa Allah menciptakan segala sesuatu di bumi dengan memberikan manfaat di dalamnya.

الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَامًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمٰوٰتِ وَالْاَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هٰذَا بَاطِلًا سُبْحٰنَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ ﴿١٩١﴾

Artinya: “(yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri, duduk atau dalam keadaan berbaring, dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata), “Ya Tuhan kami, tidaklah Engkau menciptakan semua ini sia-sia; Mahasuci Engkau, lindungilah kami dari azab neraka”

Berdasarkan tafsir al-Misbah ayat ini mengundang manusia untuk berpikir bahwa dalam penciptaan langit dan bumi dan aturan yang dibuat-Nya hingga melahirkan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda kemahakuasaan Allah bagi *ulūl-albāb*, yakni orang-orang yang memiliki akal yang murni. Ayat ini juga menjelaskan bahwa bagi mereka yang menyadari tidak satu hal pun yang diciptakan Tuhan secara sia-sia, maka berarti segala hal pada dasarnya terdapat manfaat dan hikmahnya sendiri-sendiri. Dan tugas manusia untuk dapat menggunakan akal dan pikirannya karena begitu banyak kebaikan yang dapat diambil jika dapat mengembangkan manfaat dari cipataan-Nya (Shihab, 2002).

Berdasarkan ayat tersebut, penelitian ini memanfaatkan garam NaCl-KCl sebagai media sintesis material fotokatalis ($\text{SrBi}_{4-x}\text{Nd}_x\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ ($x= 0,05; 0,1; 0,15;$

dan 0,2)) yang nantinya material tersebut dapat digunakan untuk mendegradasi limbah organik yang dapat merugikan lingkungan.

2.9 Karakterisasi menggunakan XRD SEM dan UV-Vis DRS

Difraksi sinar- X merupakan salah satu teknik karakterisasi yang sering digunakan di berbagai penelitian bidang material. Teknik difraksi memanfaatkan radiasi yang terpantul dari berbagai sumber seperti atom dan kelompok atom dalam kristal. Difraktometer sinar- X ini akan menghasilkan data berupa pola difraksi yang memberikan informasi data pengukuran sudut 2θ dan puncak-puncak dengan intensitas pada sudut-sudut tertentu (Ramadani, 2015). Penentuan kesesuaian struktur kristal yang terbentuk dilakukan dengan mencocokkan setiap puncak yang muncul pada difraktogram dengan data dari *Joint Committee Powder Diffraction Standar* (JCPDS) sehingga diperoleh informasi orientasi bidang kristal yang terbentuk. Jika semua orientasi bidang kristal teridentifikasi dipastikan struktur kristal terdapat kesesuaian (Masruroh dkk., 2013).

Difraksi sinar- X dapat digunakan untuk menentukan ukuran kristal (*crystallite size*) dengan fase tertentu. Penentuannya merujuk pada puncak-puncak utama pola difraktogram melalui pendekatan persamaan Debye-Scherrer yang dirumuskan (Masruroh dkk., 2013). Ukuran kristalin ditentukan berdasarkan pelebaran puncak difraksi sinar- X yang muncul. Semakin kecil ukuran kristalit maka makin lebar puncak difraksi yang dihasilkan karena kristalit yang kecil memiliki bidang pantul sinar- X yang terbatas (Ramadani, 2015).

Scanning electron microscopy merupakan instrumen yang digunakan dalam analisis morfologi bahan organik dan anorganik pada skala mikrometer hingga

nanometer. SEM memungkinkan untuk menganalisis sampel dengan diameter hingga 200 mm dan tinggi 80 mm. Perbesaran perangkat berkisar dari 5x hingga 300.000x. Karakterisasi menggunakan SEM menghasilkan gambar morfologi dari sebuah sampel yang diuji (Mohammed & Abdullah, 2018). Teknik ini memanfaatkan berkas elektron yang ditembakkan pada permukaan sampel, sedangkan citranya diperoleh berdasarkan hasil deteksi elektron yang dihamburkan atau berdasarkan elektron sekunder. Elektron sekunder berasal dari permukaan sampel dan memiliki energi yang rendah sekitar 5-50 eV. Sedangkan elektron yang dihamburkan berasal dari bagian sampel yang lebih dalam dan memberikan informasi tentang komposisi sampel karena elektron yang lebih berat menghamburkan secara lebih kuat dan tampak lebih terang pada citra yang dihasilkan (Setiabudi, 2012).

Energi celah pita semikonduktor menggambarkan energi yang dibutuhkan untuk mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Penentuan energi celah pita yang akurat sangat penting dalam memprediksi sifat fotofisika dan fotokimia semikonduktor. UV-Vis DRS merupakan instrumen yang dapat memperkirakan energi celah pita semikonduktor. Teknik ini didasarkan pengukuran intensitas UV-Vis yang direfleksikan oleh sampel. Hasil dari karakterisasi dihasilkan panjang gelombang dan %reflektan dan energi celah pita ditentukan berdasarkan spektrum yang diperoleh dengan menggunakan persamaan Kubelka-Munk (Makula, dkk., 2018).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2021-Januari 2022 yang bertempat di Laboratorium Kimia-Fisika Edukasi Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan antara lain seperangkat alat gelas, *mortar agate*, neraca analitik, *hotplate*, tanur, seperangkat instrumen XRD, seperangkat instrumen SEM-EDS, seperangkat instrumen UV-Vis DRS.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan antara lain TiO_2 (Aldrich, 99,9% serbuk), Bi_2O_3 (Aldrich, 99,9% serbuk), Nd_2O_3 (Aldrich, 99,9% serbuk), KCl (Aldrich, 99,9% serbuk), NaCl (Aldrich, 99,9% serbuk), SrCO_3 (Aldrich, 99,9% serbuk), aseton, AgNO_3 , dan akuades.

3.3 Rancangan Penelitian

a. Tahap Sintesis $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ terdoping Nd^{3+} dengan metode lelehan garam

$\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ terdoping Nd^{3+} disintesis menggunakan metode lelehan garam NaCl-KCl dengan rasio 1:1 sedangkan rasio oksida dan garam 1:7. Campuran garam dan oksida dicampurkan sesuai perhitungan stoikiometri dan dikalsinasi

menggunakan suhu 720 dan 750°C masing-masing selama 6 jam, kemudian dilanjutkan dengan pendinginan pada suhu ruang dan penghilangan garam dengan air panas.

b. Tahap Karakterisasi

Tahap ini mencakup karakterisasi menggunakan (a) XRD untuk mengetahui struktur kristal yang terbentuk, (b) morfologi dan komposisi unsur senyawa yang terbentuk dikarakterisasi dengan SEM-EDS, dan (c) UV-Vis DRS untuk menentukan energi celah pita.

Tabel 3.1 Komposisi prekursor senyawa SBT terdoping Nd

Target Senyawa	Massa target (gram)	Massa Perekasi (gram)					
		SrCO ₃	Bi ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	TiO ₂	NaCl	KCl
SrBi _{3,95} Nd _{0,05} Ti ₄ O ₁₅	3	0,3276	2,0422	0,0187	0,7092	0,9079	1,1581
SrBi _{3,9} Nd _{0,1} Ti ₄ O ₁₅	3	0,3284	2,0212	0,0374	0,7109	0,9101	1,1608
SrBi _{3,85} Nd _{0,15} Ti ₄ O ₁₅	3	0,3292	2,0000	0,0563	0,7126	0,9122	1,1636
SrBi _{3,8} Nd _{0,2} Ti ₄ O ₁₅	3	0,3299	1,9789	0,0752	0,7143	0,9144	1,1664

3.4 Prosedur Kerja

3.4.1 Preparasi Bahan

Sintesis senyawa SrBi₄Ti₄O₁₅ dimulai dengan mencampur prekursor TiO₂, Bi₂O₃, SrCO₃, Nd₂O₃ dan garam secara stoikiometri yang dirangkum pada Tabel 3.1. Bahan yang digunakan ditimbang secara stoikiometri dengan massa senyawa target (SrBi_{4-x}Nd_xTi₄O₁₅ x= 0,05; 0,1; 0,15; dan 0,2) 3 gram.

3.4.2 Sintesis SrBi₄Ti₄O₁₅ Terdoping Nd³⁺ dengan Metode Lelehan Garam

Prekursor ditambahkan dengan garam, dengan perbandingan 1:7 kemudian digerus menggunakan *mortar agate* selama 1 jam dan ditambahkan dengan aseton untuk menghomogenkan sampel. Selanjutnya sampel dikalsinasi pada suhu 720,

dan 750 °C masing-masing selama 6 jam. Produk yang dihasilkan dikeluarkan dalam tanur, dan diletakkan pada kertas saring di atas corong. Produk dicuci menggunakan aquades panas berulang kali untuk menghilangkan garam. Adanya garam dapat diuji dengan meneteskan larutan AgNO₃ ke dalam filtrat. Terbentuknya endapan putih mengindikasikan masih adanya garam. Produk yang diperoleh dipanaskan pada suhu 80 °C selama 2 jam (Haikal & Prasetyo, 2021; Agustina, dkk., 2020).

3.4.3 Karakterisasi SrBi₄Ti₄O₁₅ Menggunakan XRD

Karakterisasi menggunakan teknik difraksi sinar-X (XRD) digunakan untuk mengetahui struktur kristal yang terbentuk. Dilakukan pada suhu kamar dengan radiasi Cu-K α 40 kV 300 mA pada rentang 2θ (°)= 10-70.

3.4.4 Karakterisasi SrBi₄Ti₄O₁₅ Menggunakan SEM-EDS

Karakterisasi menggunakan SEM-EDS bertujuan untuk mengetahui morfologi dan komposisi unsur senyawa yang terbentuk. Produk hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan instrumen SEM-EDS.

3.4.5 Karakterisasi SrBi₄Ti₄O₁₅ Menggunakan UV-Vis DRS

Karakterisasi menggunakan UV-Vis DRS digunakan untuk menentukan energi celah pita. Energi celah dihitung dari data spektrum adsorpsi yang diukur pada rentang panjang gelombang 200-800 nm.

3.5 Analisis Data

3.5.1 Analisis Data XRD

Hasil yang diperoleh dari karakterisasi XRD kemudian dibandingkan dengan data standar SBT yang terdapat pada *Inorganic Crystal Structure Database* (ICSD). Selanjutnya dilakukan *refinement* struktur terhadap data difraksi sinar-X dari sampel dengan teknik *Le-Bail* menggunakan program *Rietica*.

3.5.2 Analisis Data SEM-EDS

Pengukuran SEM dilakukan pada perbesaran 2000 s.d 20.000x. Gambar hasil karakterisasi diolah menggunakan *Software Image-J*. Selanjutnya semua data yang diperoleh dibandingkan morfologi partikel yang terbentuk untuk mengetahui pengaruh dopan Nd terhadap morfologi dan ukuran partikel.

3.5.3 Analisis Data UV-Vis DRS

Hasil karakterisasi UV-Vis DRS dianalisis menggunakan persamaan Kubelka-Munk ditunjukkan pada Persamaan 3.1.

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

dengan $F(R)$ adalah faktor Kubelka-Munk, K adalah koefisien absorpsi, S adalah koefisien *scattering*, dan R adalah nilai reflektan yang diukur. $F(R)$ memiliki hubungan dengan plot Tauc yang ditunjukkan pada Persamaan 3.2.

$$(F(R)hv)^{1/2} = A (hv - E_g) \dots\dots\dots(3.2)$$

dengan A adalah konstanta proporsional, E_g adalah energi celah pita dan m adalah 1 (untuk ransisi langsung yang diperbolehkan). Energi celah pita dapat dihasilkan dengan cara melakukan ekstrapolasi dari grafik hubungan (hv) sebagai sumbu x dan

$(F(R)hv)^{1/2}$ sebagai sumbu y hingga memotong sumbu energi sehingga diperoleh nilai celah pita optik.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

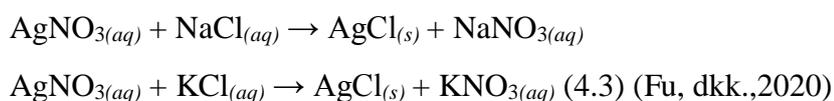
Dalam penelitian ini dilakukan sintesis $\text{SrBi}_{4-x}\text{Nd}_x\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ ($x = 0,05; 0,1; 0,15; \text{ dan } 0,2$) menggunakan metode lelehan garam campuran NaCl-KCl dengan perbandingan mol 1:7 pada suhu 720 dan 750 °C. Sampel yang diperoleh kemudian dikarakterisasi menggunakan (a) teknik difraksi sinar-X untuk mengetahui struktur kristal yang terbentuk, (b) SEM-EDS untuk mengetahui morfologi, ukuran partikel dan kandungan unsur senyawa, dan (c) UV-Vis DRS untuk mengetahui energi celah pita senyawa $\text{SrBi}_{4-x}\text{Nd}_x\text{Ti}_4\text{O}_{15}$.

4.1 Sintesis $\text{SrBi}_{4-x}\text{Nd}_x\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ ($x = 0,05; 0,1; 0,15; \text{ dan } 0,2$) dengan Metode Lelehan Garam

Senyawa ($\text{SrBi}_{4-x}\text{Nd}_x\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ $x = 0,05; 0,1; 0,15; \text{ dan } 0,2$) disintesis selama 60 menit menggunakan garam NaCl-KCl dan dihomogenkan dengan menambahkan aseton. Garam NaCl-KCl dapat meleleh pada suhu 650 °C (Kimura, 2011). Pada suhu tersebut garam akan meleleh terlebih dahulu dan membentuk fluks cair sehingga pada suhu kalsinasi akhir sampel dapat berdifusi ke dalam lelehan garam dan membentuk partikel melalui pengendapan larutan. Reaksi yang terjadi pada sintesis ($\text{SrBi}_{4-x}\text{Nd}_x\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ $x = 0,05; 0,1; 0,15; \text{ dan } 0,2$) ditunjukkan pada persamaan 4.1 dan 4.2.



Hasil sintesis senyawa $\text{SrBi}_{4-x}\text{Nd}_x\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ kemudian dicuci dengan aquades panas untuk menghilangkan garam dan garam yang terlarut dalam filtrat diidentifikasi menggunakan AgNO_3 . Reaksi yang terjadi antara garam dan AgNO_3 ditunjukkan pada Persamaan 4.3. Pada Gambar 4.1 senyawa $\text{SrBi}_{4-x}\text{Nd}_x\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ yang telah dikalsinasi tidak menunjukkan perubahan warna yang signifikan, begitu juga dengan seiring bertambahnya doping, warna pada produk yang dihasilkan sama yaitu berwarna kuning pucat. Hal ini menunjukkan bahwa doping Nd tidak mempengaruhi warna dari produk yang didapatkan.



4.2 Karakterisasi $\text{SrBi}_{4-x}\text{Nd}_x\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ ($x= 0,05; 0,1; 0,15; \text{ dan } 0,2$) Menggunakan XRD

Pola difraksi sinar-X senyawa ($\text{SrBi}_{4-x}\text{Nd}_x\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ $x= 0,05; 0,1; 0,15; \text{ dan } 0,2$) ditunjukkan pada Gambar 4.2. Pola difraksi sinar-X yang diperoleh diidentifikasi dengan mencocokkan dengan standar ICSD nomor 51863. Pola difraksi menunjukkan kesesuaian dengan data standar yang dibuktikan oleh munculnya puncak-puncak yang memiliki kemiripan dengan difraktogram standar dan munculnya puncak khas SBT pada $2\theta= 30^\circ$. Akan tetapi ditemukan puncak pengotor pada setiap sampel yang ditandai dengan munculnya puncak tambahan pada $2\theta= 16,2^\circ$ yang mengindikasikan adanya $\text{Bi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{12}$, puncak $2\theta= 32,5^\circ$ dan $46,5^\circ$ mengindikasikan adanya SrTiO_3 , pada puncak $2\theta= 38,6^\circ$ mengindikasikan adanya TiO_2 serta ditemukan puncak tambahan puncak pengotor Bi_2O_3 di $x=0,2$ pada $2\theta= 52^\circ$. Munculnya puncak pengotor menunjukkan bahwa reaksi yang terjadi belum selesai. Zhang, dkk., (2012) melaporkan bahwa penggunaan suhu 750°C

selama 3 jam pada sintesis BaTiO₃ menggunakan lelehan garam NaCl-KCl masih ditemukan pengotor berupa prekursor dan ketika suhu dinaikkan hingga 800 °C pengotor tidak lagi ditemukan. Ini mengindikasikan untuk membentuk senyawa murni dibutuhkan suhu yang lebih tinggi untuk menghasilkan senyawa murni. Namun, dalam penelitian Li, dkk. (2010) penggunaan suhu 700 °C (lebih rendah dari eksperimen) pada sintesis SrTiO₃ menggunakan lelehan garam NaCl-KCl selama 10 jam dihasilkan senyawa murni. Ini menunjukkan bahwa penggunaan suhu dan lama waktu reaksi perlu mendapat perhatian lebih untuk menghasilkan senyawa murni. Pada suhu rendah, reaksi akan optimal jika lama waktu reaksi yang digunakan memiliki rentang yang panjang sedangkan pada suhu tinggi tidak diperlukan rentang waktu reaksi yang panjang.

Pergeseran puncak difraksi sinar-X ditampilkan pada Gambar 4.2. Pergeseran posisi puncak dapat diartikan bahwa doping Nd³⁺ berhasil disubstitusikan pada Bi³⁺ di *A-site*. Menurut Hume-Rothery, dapat dipastikan bahwa Nd³⁺ ($r = 1,109 \text{ \AA}$) dapat disubstitusi pada Bi³⁺ ($r = 1,17 \text{ \AA}$) karena memiliki rasio jari-jari ionik (5,21%) yang jauh lebih rendah dari 15%. Pada gambar tersebut menunjukkan puncak bergeser menuju pada 2θ yang lebih kecil untuk $x = 0,05; 0,1; 0,15$. Pada sampel $x = 0,2$ puncak bergeser menuju 2θ yang lebih besar, hal ini menunjukkan bahwa Nd berhasil disubstitusikan pada Bi. Hal ini juga dibuktikan dalam penelitian Xu, dkk., (2021) ketika terjadi penggantian kation oleh kation lain yang lebih kecil akan menyebabkan penurunan ukuran kisi kristal, dengan demikian kondisi ini dapat menyebabkan peningkatan nilai θ . Sedangkan pergeseran puncak menuju pada 2θ yang lebih kecil disebabkan oleh kemungkinan dopan Nd tersubstitusi pada Ti ($0,605 \text{ \AA}$) di *B-site*. Seperti yang telah dilaporkan oleh Hao, dkk., (2010) yang

menunjukkan bahwa doping Sm pada senyawa $Ba_{1-x}Sm_xTiO_3$ dapat tersubstitusi pada *B-site* ketika konsentrasi Sm ditingkatkan hingga 0,04 dan menyebabkan ukuran kisi meningkat.

4.3 Karakterisasi $SrBi_{4-x}Nd_xTi_4O_{15}$ ($x= 0,05; 0,1; 0,15; \text{ dan } 0,2$) Menggunakan SEM-EDS

Morfologi permukaan hasil sintesis $SrBi_4Ti_4O_{15}$ terdoping Nd^{3+} ditunjukkan pada Gambar 4.3. Morfologi menunjukkan sebagian besar partikel mengalami aglomerasi dan berbentuk *plate-like*, yang merupakan morfologi khas dari Aurivillius. Ukuran dan luas permukaan partikel tidak dapat diamati dengan jelas pada masing-masing sampel. Morfologi *plate-like* ditemukan bertumpuk karena adanya aglomerasi. Keberadaan senyawa pengotor diduga berpengaruh terhadap morfologi karena dapat membentuk aglomerasi partikel. Senyawa TiO_2 memiliki kelarutan yang rendah pada garam alkali klorida. Dengan pemakaian suhu yang terlalu rendah mobilitas akan menurun dan pertumbuhan kristal menjadi lebih lambat maka laju nukleasi meningkat dan distribusi ukuran kristal bergerak ke nilai yang lebih kecil (Guaderrama, dkk., 2005). Seperti yang dilaporkan oleh Jiang, dkk., (2020) pada suhu 750 °C, morfologi yang dihasilkan berbentuk aglomerasi dan ketika suhu dinaikkan, morfologi *plate-like* terlihat jelas serta tidak terbentuk aglomerasi.

Aglomerasi yang terbentuk berkurang seiring meningkatnya doping namun pada doping dengan $x= 0,1$ bentuk *plate-like* tampak dengan jelas. Selain itu, semakin meningkatnya doping, ukuran partikel yang dihasilkan semakin besar hingga konsentrasi $x= 0,1$. Terjadi penurunan ukuran partikel pada konsentrasi $x= 0,15$ dan $0,2$. Perubahan morfologi tersebut diduga karena doping Nd pada material

SBT memperlambat mekanisme difusi selama proses pemanasan dan menahan pertumbuhan partikel (Zeng, dkk., 2017). Semakin kecil ukuran partikel, luas permukaan menjadi lebih besar sehingga dapat meningkatkan aktivitas fotokatalis. Luas permukaan yang lebih besar dapat meningkatkan kontak antarmuka antara reaktan dan fotokatalis, serta menyediakan situs yang lebih aktif selama proses fotokatalitik (Zhang, dkk., 2019)

Analisis EDS juga dilakukan untuk menentukan komposisi unsur penyusun senyawa SBT. Berdasarkan data EDS unsur penyusun dalam sampel adalah strontium, bismut, titanium, oksigen dan neodimium. Tabel 4.1 menunjukkan bahwa terjadi penurunan jumlah bismut seiring meningkatnya jumlah neodimium, hal ini menunjukkan bahwa doping neodimium berhasil disubstitusikan pada senyawa SBT. Akan tetapi juga terjadi penurunan jumlah titanium sehingga dimungkinkan doping neodimium juga tersubstitusi pada titanium.

4.4 Karakterisasi $\text{SrBi}_{4-x}\text{Nd}_x\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ ($x = 0,05; 0,1; 0,15; \text{ dan } 0,2$) Menggunakan UV-Vis DRS

Spektra reflektan $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ terdoping Nd^{3+} ditampilkan pada Gambar 4.4 dan dapat diketahui bahwa grafik reflektansi saling berhimpit dan menunjukkan penurunan intensitas. Akan tetapi, tidak diperoleh tren penurunan seiring bertambahnya doping yang menunjukkan bahwa doping Nd^{3+} mampu memperluas pemanfaatan cahaya tampak dan meningkatkan aktivitas fotokatalitik dari $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$. Energi celah pita dari masing-masing sampel diperoleh dengan menghitung menggunakan persamaan Kubelka-Munk dan memplotkan grafik hubungan antara $(F(R)h\nu)^{1/2}$ dengan energi celah pita (eV).

Grafik nilai energi celah pita ditunjukkan pada Gambar 4.5 dan dirangkum pada Tabel 4.2. Tu, dkk., (2019) melaporkan bahwa energi celah pita yang dimiliki SBT murni yaitu 3,0 eV lebih besar dibandingkan dengan pemberian doping. Hal ini menunjukkan substitusi Nd pada senyawa SBT dapat menurunkan energi celah pita. Berkurangnya energi celah pita disebabkan terbentuknya keadaan baru (sub pita baru) tepat dibawah pita konduksi sehingga memungkinkan transisi elektronik baru terjadi dari orbital Bi 6s + O 2p menuju tingkat orbital Nd 4f (Li, dkk., 2005). Celah pita pada material semikonduktor memainkan peran penting terhadap aktivitas fotokatalis. Celah pita yang lebih sempit dapat meningkatkan sifat penyerapan cahaya dan membantu eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi.

Semakin tingginya doping Nd, perbedaan energi celah pita yang dihasilkan menunjukkan perbedaan yang sangat kecil dan cenderung sama. Hal ini dikarenakan fungsi dopan Nd lebih mengarah pada penurunan laju rekombinasi *electron-hole* selama reaksi fotokatalis berlangsung, sehingga dapat meningkatkan *lifetime* dari pembawa muatan (Sin, dkk., 2020). Seperti yang dilaporkan oleh (Saqib, dkk., 2016) logam tanah jarang (Nd^{3+}) yang didoping pada TiO_2 memiliki kecenderungan lebih untuk menarik elektron dari permukaan padat dibandingkan dengan logam titanium karena ion lantanida dapat bertindak sebagai *electron scavenger* yang efektif untuk menjebak elektron pada pita konduksi, yang menghasilkan penurunan tingkat rekombinasi pasangan e^- dan h^+ .

Untuk mengetahui laju rekombinasi, maka diperlukan uji *photoluminescence*. Dilaporkan oleh Zhang, dkk., (2019) Bi_2WO_6 terdoping Nd menunjukkan intensitas PL lebih rendah yang berarti laju rekombinasi berkurang.

Intensitas tersebut memperlihatkan doping ion tanah jarang menekan rekombinasi elektron dan *hole*. Itu lantaran ion yang didoping mendistorsi kisi kristal dan mengakibatkan lebih banyak cacat kristal pada struktur Bi_2WO_6 , yang secara efektif menjebak elektron.

4.5 Kelestarian Lingkungan Air dalam Perspektif Islam

Berdasarkan hasil penelitian, sintesis $\text{SrBi}_{4-x}\text{Nd}_x\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ ($x = 0,05; 0,1; 0,15; \text{ dan } 0,2$) menunjukkan senyawa SBT yang diperoleh masih terdapat pengotor. Hasil karakterisasi menggunakan SEM menunjukkan penurunan partikel seiring bertambahnya doping dan hasil karakterisasi UV-Vis DRS menunjukkan penurunan energi celah pita sehingga reaksi fotokatalis dapat bekerja di bawah sinar tampak. Hasil dari penelitian ini menunjukkan senyawa SBT terdoping Nd berpotensi untuk meningkatkan aktivitas fotokatalis dalam pengolahan limbah organik yang mencemari lingkungan perairan. Pencemaran limbah organik disebabkan oleh perkembangan sains dan teknologi yang mendukung pesatnya pertumbuhan industri untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia sehingga mengakibatkan dampak kerusakan lingkungan yang cukup cepat. Dalam al-Quran surah ar-Ruum (30) ayat 41 telah disebutkan bahwa kerusakan lingkungan terjadi karena ulah manusia.

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ ﴿٤١﴾

Artinya: “Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan perbuatan tangan manusia. (Melalui hal itu) Allah membuat mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka agar mereka kembali (ke jalan yang benar)”

Dalam Tafsir Kemenag (2019) ayat ini menerangkan bahwa telah terjadi *al-fasad* di daratan dan lautan. *al-Fasad* adalah bentuk pelanggaran atas sistem atau hukum yang dibuat Allah, yang diterjemahkan dengan “perusakan”. Perusakan itu terjadi akibat perilaku manusia, misalnya berupa pencemaran alam sehingga tidak layak lagi didiami, atau bahkan penghancuran alam sehingga tidak bisa lagi dimaafkan. Salah satu pencemaran yang sering dijumpai yaitu pencemaran yang disebabkan oleh limbah cair industri tekstil seperti rodhamin B, metilen biru dan metilen jingga yang dibuang secara langsung ke perairan. Hal itu menyebabkan ketidakseimbangan ekosistem yang mengancam keberlangsungan hidup manusia dan makhluk lainnya. Perilaku tersebut tidak mungkin dilakukan orang yang beriman dengan keimanan yang sesungguhnya karena ia tahu bahwa semua perbuatannya akan dipertanggungjawabkan nanti di depan Allah.

Pengolahan limbah zat warna yang berbahaya bagi lingkungan perairan harus segera dilakukan mengingat pentingnya air bagi sumber kehidupan bagi manusia. Seperti yang dijelaskan dalam surah al-Anbiya (21) ayat 30.

أَوَلَمْ يَرِ الَّذِينَ كَفَرُوا أَنَّ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ كَانَتَا رَتْقًا فَفَتَقْنَاهُمَا وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ ﴿٣٠﴾

Artinya: “Apakah orang-orang kafir tidak mengetahui bahwa langit dan bumi, keduanya, dahulu menyatu, kemudian Kami memisahkan keduanya dan Kami menjadikan segala sesuatu yang hidup berasal dari air? Maka, tidakkah mereka beriman?”

Dalam Tafsir al-Misbah kata *ratqan* dalam ayat ini bermakna terpadu. Sedangkan kata *fafataqnahuma* diambil dalam kata *fataqo* bermakna terbelah/terpisah. Hal ini dapat diartikan bahwa langit dan bumi tadinya merupakan satu gumpalan yang terpadu sehingga tak ada sedikitpun air hujan yang turun

darinya. Begitu juga bumi yang dijadikan tandus dan tak ada sedikitpun benih yang tumbuh. Tak ada tanda kehidupan hingga Allah membelah langit dan bumi dengan jalan menurunkan hujan dari langit dan menumbuhkan tumbuh-tumbuhan di bumi (Shihab, 2002). Dari uraian tersebut sangat jelas bahwa air merupakan suatu unsur yang sangat vital bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Dalam Tafsir Kemenag (2019) juga menjelaskan bahwa apabila manusia sudah meyakini pentingnya air bagi kehidupannya, dan meyakini pula bahwa air adalah salah satu dari nikmat Allah maka tidak ada alasan bagi manusia untuk tidak beriman kepada Allah serta mengingkari nikmat-Nya yang tidak ternilai harganya.

Oleh karena kita tau betapa pentingnya mengelola lingkungan air seperti yang telah dipaparkan di atas, pengolahan limbah cair menjadi senyawa yang lebih sederhana seperti menjadi penting. Meskipun dalam penelitian ini tidak dilakukan uji aktivitas terhadap material fotokatalis, penelitian ini secara tidak langsung berusaha membantu upaya penanggulangan pencemaran air melalui sintesis material $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ terdoping Nd. Maka diharapkan penelitian ini dapat dijadikan rujukan agar penelitian selanjutnya membuahkan hasil yang lebih baik.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, senyawa $\text{SrBi}_{4-x}\text{Nd}_x\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ ($x= 0,05; 0,1; 0,15; \text{ dan } 0,2$) menggunakan lelehan garam NaCl-KCl berhasil disintesis. Hasil analisis menggunakan XRD menunjukkan pola difraksi yang dihasilkan memiliki kesesuaian dengan data standar ICSD nomor 51863, namun masih ditemukan fasa pengotor $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, SrTiO_3 , dan TiO_2 pada setiap sampel serta Bi_2O_3 pada $x=0,2$. Berdasarkan analisis SEM-EDS dihasilkan morfologi khas Aurivillius berbentuk *plate-like* dan cenderung terbentuk aglomerasi, sedangkan data analisis EDS unsur penyusun dalam sampel adalah strontium, bismut, titanium, oksigen dan neodimium. Hasil analisis UV-Vis DRS menunjukkan penurunan energi celah pita yaitu sekitar 2,6 eV.

5.2 Saran

- a. Perlu dilakukan kalsinasi pada suhu yang lebih tinggi atau waktu yang lebih lama agar dihasilkan senyawa $\text{SrBi}_{4-x}\text{Nd}_x\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ dengan fasa tunggal serta untuk mengurangi aglomerasi partikel.
- b. Perlu dilakukan uji *photoluminescence* untuk mengetahui pengaruh doping Nd terhadap laju rekombinasi.
- c. Perlu dilakukan uji fotokatalis pada rentang UV maupun *visible* untuk mengetahui pengaruh doping Nd terhadap aktivitas fotokatalis

DAFTAR PUSTAKA

- Adhikari, S., Sarath Chandra, K., Kim, D. H., Madras, G., & Sarkar, D. 2018. Understanding the morphological effects of WO_3 photocatalysts for the degradation of organic pollutants. *Advanced Powder Technology*, 29(7),
- Agustina Riv'ah, K., Suheriyanto, D., & Prasetyo, A. 2020. Sintesis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ Terdoping Vanadium dengan Metode Lelehan Garam Tunggal NaCl . *J. Kartika Kimia*, 3(1): 19–24.
- Alam, U., Azam, K., Ali, D., Bahnemann, D., & M., M. 2018. Comparative Photocatalytic Activity of Sol–Gel Derived Rare Earth Metal (La, Nd, Sm and Dy)-Doped ZnO Photocatalysts for Degradation of Dyes. *RSC Advances*, 8: 17582–17594.
- Cahyo, I. N. 2020. Sintesis Dan Karakterisasi $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ Terdoping Fe^{3+} Dengan Metode Lelehan Garam $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-K}_2\text{SO}_4$. *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Chang, Y., Wu, J., Yang, B., Zhang, S., Lv, T., & Cao, W. 2014. Synthesis and Properties of High Aspect Ratio $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ Microplatelets. *Materials Letters*, 129: 126–129.
- Cheng, H., Wang, J., Zhao, Y., & Han, X. 2014. Effect of Phase Composition, Morphology, and Specific Surface Area on the Photocatalytic Activity of TiO_2 Nanomaterials. *RSC Advances*, 4: 47031–47038.
- Das, A., Mahata, D., & Kanti Adak, M. 2021. Perovskite Based Photocatalyst for Wastewater Treatment: Green Approach of Environmental Sustainability. *American Journal of Biological and Environmental Statistics*, 7(1): 1.
- Dhiman, M., & Singhal, S. 2019. Effect of Doping of Different Rare Earth (europium, gadolinium, dysprosium and neodymium) Metal Ions on Structural, Optical and Photocatalytic Properties of LaFeO_3 Perovskites *. *Journal of Rare Earths*, 37(12): 1279–1287.
- Fakhr al-Din al-Razi. 1990. *Tafsîr Mafatihul Ghaib, Juz 24*. Beirut: Dar Al-Fikr.
- Fu, J., Hou, Y., Liu, X., Zheng, M., & Zhu, M. 2020. A Construction Strategy of Ferroelectrics by the Molten Salt Method and its Application in the Energy Field. *Journal of Materials Chemistry C*, 8(26): 8704–8731.
- Guaderrama, G., Fuentes, L., Chihuahua, C. I., & Fuentes, L. 2005. Integrated Ferroelectrics : An Molten Salt Synthesis. *Integrated Ferroelectrics*, October 2012: 233–239.

- Gupta, S. K., & Mao, Y. 2021. A review on Molten Salt Synthesis of Metal Oxide Nanomaterials: Status, Opportunity, and Challenge. *Progress in Materials Science*, 117: 100734.
- Haikal, F., & Prasetyo, A. 2021. Uji Aktivitas Fotokatalis Senyawa Aurivillius Lapis Empat $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ Dalam Mendegradasi Rhodamine-B. *Al-Kimiya*, 8(1): 37–41.
- Hao, Y., Li, Y., Yao, X., & Wang, X. 2010. Studies of Ferroelectric and Dielectric Properties of Samarium Doped Barium Titanate Sintered in Pure Nitrogen. *Ferroelectrics*, 407 1: 146–153.
- Hua, H., Hanxing, L., & Shixi, O. 2005. Synthesis and Microstructure of Partly-oriented Bismuth Layer Structure 1 Introduction. *Journal of Wuhan University of Technolog*, 20(3): 15–17.
- Januari, T., Aini, N., Barroroh, H., & Prasetyo, A. 2020. The effect of Synthesis Time to Particle Size of $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ which Synthesized Using molten Single Salt NaCl method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 456(1).
- Jiang, D., Zhou, Z., Liang, R., & Dong, X. 2020. Highly Orientated $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ Piezoceramics Prepared by Pressureless Sintering. *Journal of the European Ceramic Society*, 41(2): 1244–1250.
- Kementerian Agama. 2019. *Tafsir Kemenag RI*. Jakarta: Adhi Aksara Abadi Indonesia
- Kimura, T. 2011. *Molten Salt Synthesis of Ceramic Powders*. InTech.
- Li, F. B., Li, X. Z., & Cheah, K. W. 2005. Photocatalytic Activity of Neodymium ion Doped TiO_2 for 2-Mercaptobenzothiazole Degradation Under Visible Light Irradiation. *Environmental Chemistry*, 2(2): 130–137.
- Li, H. L., Du, Z. N., Wang, G. L., & Zhang, Y. C. 2010. Low Temperature Molten Salt Synthesis of SrTiO_3 Submicron Crystallites and Nanocrystals in the Eutectic NaCl-KCl. *Materials Letters*, 64(3): 431–434.
- Lin, Y., Zhang, Y., Sun, C., Zhan, S., Yuan, Q., & Yang, H. 2020. Energy Storage Performance in Polymer Dielectrics by Introducing 2D $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ Nanosheets. *Ceramics International*, 46(10): 15270–15275.
- Liu, X., Sun, Y., Wang, Y., Zhang, L., & Lu, J. 2016. Synthesis and Photocatalytic Activities of Nd-doped TiO_2 Mesoporous Microspheres. *Functional Materials Letters*, 9(1): 2–5.
- Liu, X., Xu, L., Huang, Y., Qin, C., Qin, L., & Seo, H. J. 2017. Improved Photochemical Properties of Aurivillius $\text{Bi}_5\text{Ti}_3\text{FeO}_{15}$ with Partial Substitution

- of Ti^{4+} with Fe^{3+} . *Ceramics International*, 43(15): 12372–12380.
- Liu, Y., Zhu, G., Gao, J., Hojamberdiev, M., Zhu, R., Wei, X., Guo, Q., & Liu, P. 2017. Enhanced photocatalytic activity of $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ Nanosheets by Fe^{3+} Doping and the Addition of Au Nanoparticles: Photodegradation of Phenol and Bisphenol A. *Applied Catalysis B: Environmental*, 200: 72–82.
- Long, Z., Li, Q., Wei, T., Zhang, G., & Ren, Z. 2020. Historical Development and Prospects of Photocatalysts for Pollutant Removal in Water. *Journal of Hazardous Materials*, 395: 122599.
- Makula, P., Pacia, M., & Macyk, W. 2018. How to Correctly Determine the Band Gap Energy of Modified Semiconductor Photocatalysts Based on UV-Vis Spectra. *Journal of Physical Chemistry Letters*, 9(23): 6814–6817.
- Masruroh, Manggara, A., Papilaka, T., & T, R. T. 2013. Penentuan Ukuran Kristal (crystallite size) Lapisan Tipis PZT dengan Metode XRD Melalui Pendekatan Persamaan Debye-Scherrer. *Jurusan Fisika Dan Kimia FMIPA Universitas Brawijaya*, 1(2): 24–29.
- Mohammed, A., & Abdullah, A. 2018. Scanning Electron Microscopy (SEM): A Review. *International Conference on Hydraulics and Pneumatics*, 7: 1–9.
- Ngadenin, Karunianto, A. J., & Indrastomo, F. D. 2020. Penentuan Daerah Prospek Logam Tanah Jarang di Pulau Singkep (Light Rare Earth Elements) dan LTI berat (Heavy Rare Earth Elements). *Eksplorium*, 41(1): 15–24.
- Nomura, S., Yamashita, K., Noda, M., Uchida, H., & Funakubo, H. 2012. A New $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}/\text{CaBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ Thin Film Capacitor for Excellent Electric Stability. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control*, 59: 1888–1893.
- Pratiwi, E., Harlia, H., & Aritonang, A. B. 2020. Sintesis TiO_2 Terdoping Fe^{3+} untuk Degradasi Rhodamin B Secara Fotokatalisis dengan Bantuan Sinar Tampak. *Positron*, 10 1: 57.
- Rahma, C. 2018. Efek Doping Terhadap Aktivitas Fotokatalis $\text{Na}_2\text{Ti}_6\text{O}_{13}$ dalam Mendegradasi Limbah Cair. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Pada Masyarakat*, 2: 3–7.
- Rajashekhar, G., Sreekanth, T., Ravikiran, U., & Sarah, P. 2020. Dielectric Properties of Na and Pr Doped $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ Ceramics. *Materials Today: Proceedings*, 33: 5467–5470.
- Rajbongshi, B. M. 2020. Photocatalyst: Mechanism, Challenges, and Strategy for Organic Contaminant Degradation. In *Handbook of Smart Photocatalytic Materials*. INC.

- Ramadani, I. W. S. 2015. Karakterisasi Koreksi Pelebaran Puncak dan 2θ pada Analisis Difraksi Sinar-X. *Thesis*. Surabaya: Institute Teknologi Sepuluh November.
- Ramchiary, A. 2020. Metal-oxide Semiconductor Photocatalysts for the Degradation of Organic Contaminants. In *Handbook of Smart Photocatalytic Materials*. INC.
- Robinson, J., Xi, K., Kumar, R. V., Ferrari, A. C., Au, H., Titirici, M.-M., Parra Puerto, A., Kucernak, A., Fitch, S. D. S., & Garcia-Araez, N. 2020. Morphology Effect on Photocatalytic Activity in $\text{Bi}_3\text{Fe}_{0.5}\text{Nb}_{1.5}\text{O}_9$. *J. Physical Energy*, 2: 0–31.
- Rodhiyah, N., Hardian, A., Tassya, J., & Prasetyo, A. 2018. The Effect of Molar Ratio $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{NaCl}$ to Molten Salt Synthesis Method of $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$. *The 9th International Conference on Green Technology, October*, 51–53.
- Rouf, U. A. 2021. Sintesis Senyawa $\text{ABi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ (A= Ca, Sr, Ba) dengan Metode Lelehan GaramTunggal NaCl. *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Saboor, A., Shah, S. M., & Hussain, H. 2019. Band Gap Tuning and Applications of ZnO Nanorods in Hybrid Solar Cell: Ag-doped Verses Nd-doped ZnO nanorods. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 93: 215–225.
- Saqib, N. us, Adnan, R., & Shah, I. 2016. A Mini-Review on Rare Earth Metal-Doped TiO_2 for Photocatalytic Remediation of Wastewater. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(16): 15941–15951.
- Setiabudi, A. R. H. A. M. 2012. *Karakterisasi Material: Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia*. Bandung: UPI Press.
- Sin, J. C., Lim, C. A., Lam, S. M., Zeng, H., Lin, H., Li, H., & Mohamed, A. R. 2020. Fabrication of Novel Visible Light-Driven Nd-doped BiOBr Nanosheets with Enhanced Photocatalytic Performance for Palm Oil Mill Effluent Degradation and Escherichia Coli Inactivation. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 140: 109382.
- Shihab, M.Q. 2002. Tafsir Al-Misbah: Pesan, Kesan, dan Keserasian al-Quran. Jakarta: Lentera Hati
- Tian, X., Gao, F., Qu, S., Ma, H., & Wang, B. 2015. Effects of Molten Salt Content and Reaction Temperature on Molten Salt Preparation of $\text{CaNaBi}_2\text{Nb}_3\text{O}_{12}$ Powder. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 26 8: 6189–6193.
- 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

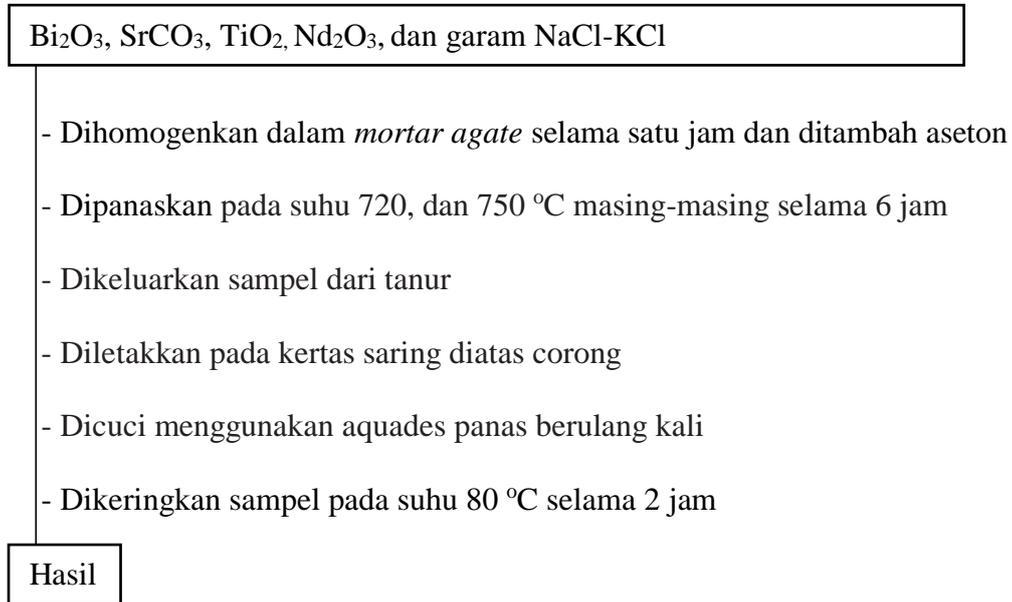
Efficient CO₂ Photoreduction of SrBi₄Ti₄O₁₅. *Nano Energy*, 56: 840–850.

- Wang, Q., Hisatomi, T., Moriya, Y., Maeda, K., & Domen, K. 2013. Physicochemical Properties and Photocatalytic H₂ Evolution Activity of Rh-doped La₂Ti₂O₇ Prepared by Molten Salt Synthesis. *Catalysis Science and Technology*, 3(8): 2098–2103.
- Xu, Y., Hu, K., Shi, M., Zuo, R., Qiu, G., Si, Z., & Men, E. 2021. Effect of Concentration of Nd³⁺ on the Photoluminescence and Ferroelectric Properties of Bi_{4-x}Nd_xTi₃O₁₂ Films. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*.
- Xue, P., Wu, H., Lu, Y., & Zhu, X. 2018. Recent Progress in Molten Salt Synthesis of Low-Dimensional Perovskite Oxide Nanostructures, Structural Characterization, Properties, and Functional Applications: A review. *Journal of Materials Science and Technology*, 34(6): 914–930.
- Yin, X., Sun, Y., Wu, X., Li, X., Liu, H., Gu, W., Zou, W., Zhu, L., Fu, Z., & Lu, Y. 2020. Super Adsorption Capability and Excellent Photocatalytic Activity Derived from the Ferroelectric External screening Effect in Bi₃TiNbO₉ Single-Crystal Nanosheets Xiaofeng. *Catalysis Science & Technology*.
- Zeng, X., Cao, F., Peng, Z., & Xing, X. 2017. Crystal Structure and Electrical Properties of (Li, Ce, Nd)-Multidoped CaBi₂Nb₂O₉ High Temperature Ceramics. *Ceramics International*, 44(3): 3069–3076.
- Zhang, G., Liu, G., Wang, L., & Irvine, J. T. S. 2016. Inorganic Perovskite Photocatalysts for Solar Energy Utilization. *Chemical Society Reviews*, 45(21): 5951–5984.
- Zhang, X., Wang, M., Jia, X., Cao, K., & Zhang, M. (2019). Synthesis and Enhanced Photocatalytic Activity of Rare Earth Ion (Ce³⁺, Nd³⁺, Pr³⁺ or Sm³⁺) Doped Bi₂WO₆ Microspheres for Rhodamine B Degradation. *ChemistrySelect*, 4(43): 12785–12793.
- Zhang, Y., Wang, L., & Xue, D. 2012. Molten Salt Route of Well Dispersive Barium Titanate Nanoparticles. *Powder Technology*, 217: 629–633.
- Zheng, J. Q., Zhu, Y. J., Xu, J. S., Lu, B. Q., Qi, C., Chen, F., & Wu, J. 2013. Microwave-Assisted Rapid Synthesis and Photocatalytic Activity of Mesoporous Nd-Doped SrTiO₃ Nanospheres and Nanoplates. *Materials Letters*, 100: 62–65.

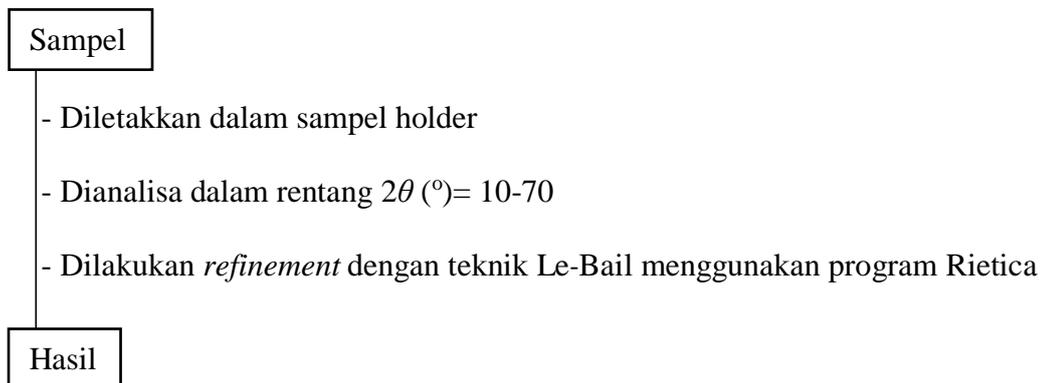
LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Alir

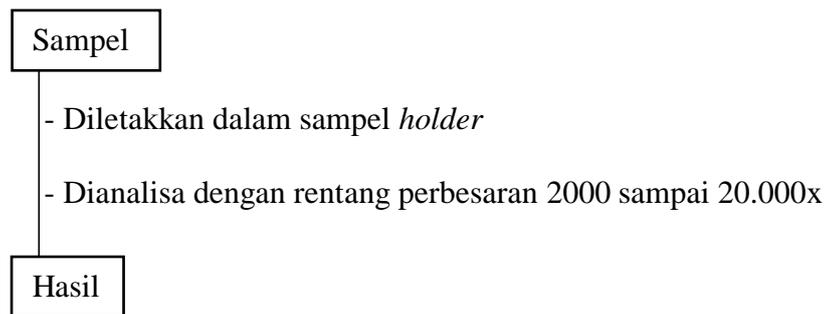
1. Sintesis dengan Metode Lelehan Garam



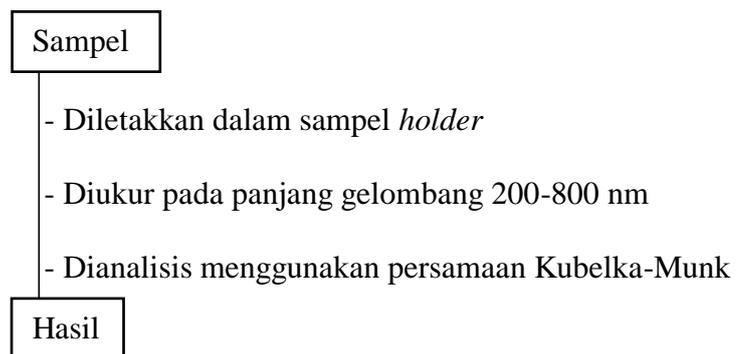
3. Karakterisasi dan Analisis XRD



4. Karakterisasi dan Analisis SEM-EDS



5. Karakterisasi dan Analisis UV-Vis DRS



Lampiran 2. Perhitungan

Diketahui:

- Target Massa produk adalah 3 gram
- Perbandingan mol prekursor $\text{SrBi}_{4-x}\text{Nd}_x\text{Ti}_4\text{O}_{15}$: NaCl-KCl adalah 1:7
- Perbandingan mol garam NaCl-KCl adalah 1:1
- $\text{SrBi}_{4-x}\text{Nd}_x\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ ($x= 0,05; 0,1; 0,15; \text{ dan } 0,2$)

$$\text{Mr SrCO}_3 = 147,63 \text{ g/mol}$$

$$\text{Mr Bi}_2\text{O}_3 = 466 \text{ g/mol}$$

$$\text{Mr TiO}_2 = 79,90 \text{ g/mol}$$

$$\text{Nd}_2\text{O}_3 = 336,54 \text{ g/mol}$$

$$\text{KCl} = 74,557 \text{ g/mol}$$

$$\text{NaCl} = 58,448 \text{ g/mol}$$

1. Konsentrasi Nd ($x=0,05$)



$$\begin{aligned} n \text{ SrBi}_{3,95}\text{Nd}_{0,05}\text{Ti}_4\text{O}_{15} &= \frac{\text{massa}}{\text{Mr}} \\ &= \frac{3 \text{ gram}}{1351,99 \text{ g/mol}} = 0,0022189513 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa SrCO}_3 &= \text{Mr} \times n \text{ SrCO}_3 \\ &= 147,63 \text{ g/mol} \times 0,0022189513 \text{ mol} \\ &= 0,3276 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa TiO}_2 &= \text{Mr} \times n \text{ TiO}_2 \\ &= 79,90 \text{ g/mol} \times 0,0088758052 \text{ mol} \\ &= 0,7092 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\text{Massa Bi}_2\text{O}_3 = \text{Mr} \times n \text{ Bi}_2\text{O}_3$$

$$= 466 \text{ g/mol} \times 0,0043824288 \text{ mol}$$

$$= 2,0422 \text{ gram}$$

$$\text{Massa Nd}_2\text{O}_3 = \text{Mr} \times n \text{ Nd}_2\text{O}_3$$

$$= 336,54 \text{ g/mol} \times 5,54737825 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

$$= 0,0187 \text{ gram}$$

$$\text{Massa NaCl} = 7 \times n \text{ SrBi}_{3,95}\text{Nd}_{0,05}\text{Ti}_4\text{O}_{15} \times \text{Mr NaCl}$$

$$= 7 \times 0,0022189513 \text{ mol} \times 58,448 \text{ g/mol}$$

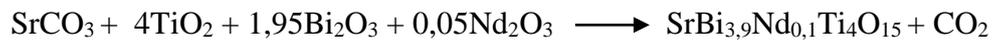
$$= 0,9079 \text{ gram}$$

$$\text{Massa KCl} = 7 \times n \text{ SrBi}_{3,95}\text{Nd}_{0,05}\text{Ti}_4\text{O}_{15} \times \text{Mr KCl}$$

$$= 7 \times 0,0022189513 \text{ mol} \times 74,557 \text{ g/mol}$$

$$= 1,1581 \text{ gram}$$

2. Konsentrasi Nd ($x=0,1$)



$$n \text{ SrBi}_{3,9}\text{Nd}_{0,1}\text{Ti}_4\text{O}_{15} = \frac{\text{massa}}{\text{Mr}}$$

$$= \frac{3 \text{ gram}}{1348,757 \text{ g/mol}} = 0,0022242702 \text{ mol}$$

$$\text{Massa SrCO}_3 = \text{Mr} \times n \text{ SrCO}_3$$

$$= 147,63 \text{ g/mol} \times 0,0022242702 \text{ mol}$$

$$= 0,3284 \text{ gram}$$

$$\text{Massa TiO}_2 = \text{Mr} \times n \text{ TiO}_2$$

$$= 79,90 \text{ g/mol} \times 0,0088970808 \text{ mol}$$

$$= 0,7109 \text{ gram}$$

$$\text{Massa Bi}_2\text{O}_3 = \text{Mr} \times n \text{ Bi}_2\text{O}_3$$

$$= 466 \text{ g/mol} \times 0,0043373269 \text{ mol}$$

$$= 2,0212 \text{ gram}$$

$$\text{Massa Nd}_2\text{O}_3 = \text{Mr} \times n \text{ Nd}_2\text{O}_3$$

$$= 336,54 \text{ g/mol} \times 0,0001112135 \text{ mol}$$

$$= 0,0374 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa NaCl} &= 7 \times n \text{ SrBi}_{3,9}\text{Nd}_{0,1}\text{Ti}_4\text{O}_{15} \times \text{Mr NaCl} \\
 &= 7 \times 0,0022242702 \text{ mol} \times 58,448 \text{ g/mol} \\
 &= 0,9101 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa KCl} &= 7 \times n \text{ SrBi}_{3,9}\text{Nd}_{0,1}\text{Ti}_4\text{O}_{15} \times \text{Mr KCl} \\
 &= 7 \times 0,0022242702 \text{ mol} \times 74,557 \text{ g/mol} \\
 &= 1,1608 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

3. Konsentrasi Nd ($x=0,15$)



$$\begin{aligned}
 n \text{ SrBi}_{3,85}\text{Nd}_{0,15}\text{Ti}_4\text{O}_{15} &= \frac{\text{massa}}{\text{Mr}} \\
 &= \frac{3 \text{ gram}}{1345,5205 \text{ g/mol}} = 0,0022296204 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa SrCO}_3 &= \text{Mr} \times n \text{ SrCO}_3 \\
 &= 147,63 \text{ g/mol} \times 0,0022296204 \text{ mol} \\
 &= 0,3292 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa TiO}_2 &= \text{Mr} \times n \text{ TiO}_2 \\
 &= 79,90 \text{ g/mol} \times 0,0089184816 \text{ mol} \\
 &= 0,7126 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa Bi}_2\text{O}_3 &= \text{Mr} \times n \text{ Bi}_2\text{O}_3 \\
 &= 466 \text{ g/mol} \times 0,0042920193 \text{ mol} \\
 &= 2,0000 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa Nd}_2\text{O}_3 &= \text{Mr} \times n \text{ Nd}_2\text{O}_3 \\
 &= 336,54 \text{ g/mol} \times 0,0001672215 \text{ mol} \\
 &= 0,0563 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa NaCl} &= 7 \times n \text{ SrBi}_{3,85}\text{Nd}_{0,15}\text{Ti}_4\text{O}_{15} \times \text{Mr NaCl} \\
 &= 7 \times 0,0022296204 \text{ mol} \times 58,448 \text{ g/mol} \\
 &= 0,9122 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa KCl} &= 7 \times n \text{ SrBi}_{3,85}\text{Nd}_{0,15}\text{Ti}_4\text{O}_{15} \times \text{Mr KCl} \\
 &= 7 \times 0,0022296204 \text{ mol} \times 74,557 \text{ g/mol}
 \end{aligned}$$

$$= 1,1636 \text{ gram}$$

4. Konsentrasi Nd ($x=0,2$)



$$\begin{aligned} n \text{ SrBi}_{3,8}\text{Nd}_{0,2}\text{Ti}_4\text{O}_{15} &= \frac{\text{massa}}{Mr} \\ &= \frac{3 \text{ gram}}{1342,284 \text{ g/mol}} = 0,0022349965 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa SrCO}_3 &= Mr \times n \text{ SrCO}_3 \\ &= 147,63 \text{ g/mol} \times 0,0022349965 \text{ mol} \\ &= 0,3299 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa TiO}_2 &= Mr \times n \text{ TiO}_2 \\ &= 79,90 \text{ g/mol} \times 0,00893999 \text{ mol} \\ &= 0,7143 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Bi}_2\text{O}_3 &= Mr \times n \text{ Bi}_2\text{O}_3 \\ &= 466 \text{ g/mol} \times 0,0042464934 \text{ mol} \\ &= 1,9789 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Nd}_2\text{O}_3 &= Mr \times n \text{ Nd}_2\text{O}_3 \\ &= 336,54 \text{ g/mol} \times 0,0002234996 \text{ mol} \\ &= 0,0752 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa NaCl} &= 7 \times n \text{ SrBi}_{3,8}\text{Nd}_{0,2}\text{Ti}_4\text{O}_{15} \times Mr \text{ NaCl} \\ &= 7 \times 0,0022349965 \text{ mol} \times 58,448 \text{ g/mol} \\ &= 0,9144 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa KCl} &= 7 \times n \text{ SrBi}_{3,8}\text{Nd}_{0,2}\text{Ti}_4\text{O}_{15} \times Mr \text{ KCl} \\ &= 7 \times 0,0022349965 \text{ mol} \times 74,557 \text{ g/mol} \\ &= 1,1664 \text{ gram} \end{aligned}$$

Lampiran 3. Perhitungan %Massa Unsur Teoritis

Diketahui:

Ar Sr	= 87,63 gr/mol
Ar Bi	= 209,00 gr/mol
Ar Ti	= 47,90 gr/mol
Ar Nd	= 144,27 gr/mol
Ar O	= 16 gr/mol
Mr SrBi _{3,95} Nd _{0,05} Ti ₄ O ₁₅	= 1351,99 gr/mol
Mr SrBi _{3,9} Nd _{0,1} Ti ₄ O ₁₅	= 1348,757 gr/mol
Mr SrBi _{3,85} Nd _{0,15} Ti ₄ O ₁₅	= 1345,5205 gr/mol
Mr SrBi _{3,8} Nd _{0,2} Ti ₄ O ₁₅	= 1342,284 gr/mol

$$\% \text{Massa} = \frac{\text{Ar Unsur}}{\text{Mr Senyawa}} \times 100\%$$

1. Konsentrasi Nd (x=0,05)

$$\begin{aligned} \% \text{Massa Sr} &= \frac{87,63 \text{ gr/mol}}{1351,99 \text{ gr/mol}} \times 100\% \\ &= 6,48\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{Massa Bi} &= \frac{3,95 \times 209 \text{ gr/mol}}{1351,99 \text{ gr/mol}} \times 100\% \\ &= 61,06\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{Massa Ti} &= \frac{4 \times 47,90 \text{ gr/mol}}{1351,99 \text{ gr/mol}} \times 100\% \\ &= 14,17\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{Massa Nd} &= \frac{0,05 \times 144,27 \text{ gr/mol}}{1351,99 \text{ gr/mol}} \times 100\% \\ &= 0,53\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{Massa O} &= \frac{15 \times 16 \text{ gr/mol}}{1351,99 \text{ gr/mol}} \times 100\% \\ &= 17,75\% \end{aligned}$$

2. Konsentrasi Nd (x=0,1)

$$\begin{aligned} \% \text{Massa Sr} &= \frac{87,63 \text{ gr/mol}}{1348,757 \text{ gr/mol}} \times 100\% \\ &= 6,5\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{Massa Bi} &= \frac{3,9 \times 209 \text{ gr/mol}}{1348,757 \text{ gr/mol}} \times 100\% \\ &= 60,43\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{Massa Ti} &= \frac{4 \times 47,90 \text{ gr/mol}}{1348,757 \text{ gr/mol}} \times 100\% \\ &= 14,21\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{Massa Nd} &= \frac{0,1 \times 144,27 \text{ gr/mol}}{1348,757 \text{ gr/mol}} \times 100\% \\ &= 1,06\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{Massa O} &= \frac{16 \times 15 \text{ gr/mol}}{1348,757 \text{ gr/mol}} \times 100\% \\ &= 17,79\% \end{aligned}$$

3. Konsentrasi Nd ($x=0,15$)

$$\begin{aligned} \% \text{Massa Sr} &= \frac{87,63 \text{ gr/mol}}{1345,5205 \text{ gr/mol}} \times 100\% \\ &= 6,51\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{Massa Bi} &= \frac{3,85 \times 209 \text{ gr/mol}}{1345,5205 \text{ gr/mol}} \times 100\% \\ &= 59,80\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{Massa Ti} &= \frac{4 \times 47,90 \text{ gr/mol}}{1345,5205 \text{ gr/mol}} \times 100\% \\ &= 14,24\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{Massa Nd} &= \frac{0,15 \times 144,27 \text{ gr/mol}}{1345,5205 \text{ gr/mol}} \times 100\% \\ &= 1,61\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{Massa O} &= \frac{15 \times 16 \text{ gr/mol}}{1345,5205 \text{ gr/mol}} \times 100\% \\ &= 17,83\% \end{aligned}$$

4. Konsentrasi Nd ($x=0,2$)

$$\begin{aligned} \% \text{Massa Sr} &= \frac{87,63 \text{ gr/mol}}{1342,284 \text{ gr/mol}} \times 100\% \\ &= 6,53\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{Massa Bi} &= \frac{3,8 \times 209 \text{ gr/mol}}{1342,284 \text{ gr/mol}} \times 100\% \\ &= 59,18\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{Massa Ti} &= \frac{4 \times 47,90 \text{ gr/mol}}{1342,284 \text{ gr/mol}} \times 100\% \\ &= 14,27\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{Massa Nd} &= \frac{0,2 \times 144,27 \text{ gr/mol}}{1342,284 \text{ gr/mol}} \times 100\% \\ &= 2,15\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{Massa O} &= \frac{15 \times 16 \text{ gr/mol}}{1342,284 \text{ gr/mol}} \times 100\% \\ &= 17,88\% \end{aligned}$$

Lampiran 4. Perhitungan %Atom Unsur Teoritis

1. Konsentrasi Nd ($x=0,05$)

$$\text{Atom} = \frac{\text{massa}}{\text{Ar Unsur}} \times 6,02 \times 10^{23}$$

$$\begin{aligned} \text{Atom Sr} &= \frac{6,48}{87,63} \times 6,02 \times 10^{23} \\ &= 0,0739 \times 6,02 \times 10^{23} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Atom Nd} &= \frac{0,53}{144,27} \times 6,02 \times 10^{23} \\ &= 0,0037 \times 6,02 \times 10^{23} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Atom Bi} &= \frac{61,06}{209} \times 6,02 \times 10^{23} \\ &= 0,2921 \times 6,02 \times 10^{23} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Atom O} &= \frac{17,75}{16} \times 6,02 \times 10^{23} \\ &= 1,1094 \times 6,02 \times 10^{23} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Atom Ti} &= \frac{14,17}{47,9} \times 6,02 \times 10^{23} \\ &= 0,2958 \times 6,02 \times 10^{23} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total atom} &= (0,0739 + 0,2921 + 0,2958 + 0,0037 + 1,1094) \times 6,02 \times 10^{23} \\ &= 1,7749 \times 6,02 \times 10^{23} \end{aligned}$$

$$\% \text{atom} = \frac{\text{atom unsur}}{\text{jumlah atom unsur}}$$

$$\begin{aligned} \% \text{atom Sr} &= \frac{0,0739 \times 6,02 \times 10^{23}}{1,7749 \times 6,02 \times 10^{23}} \times 100\% \\ &= 4,16\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{atom Nd} &= \frac{0,0037 \times 6,02 \times 10^{23}}{1,7749 \times 6,02 \times 10^{23}} \times 100\% \\ &= 0,21 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{atom Bi} &= \frac{0,2921 \times 6,02 \times 10^{23}}{1,7749 \times 6,02 \times 10^{23}} \times 100\% \\ &= 16,45\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{atom O} &= \frac{1,1094 \times 6,02 \times 10^{23}}{1,7749 \times 6,02 \times 10^{23}} \times 100\% \\ &= 62,50\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{atom Ti} &= \frac{0,2958 \times 6,02 \times 10^{23}}{1,7749 \times 6,02 \times 10^{23}} \times 100\% \\ &= 16,67\% \end{aligned}$$

2. Konsentrasi Nd ($x=0,1$)

$$\text{Atom} = \frac{\text{massa}}{\text{Ar Unsur}} \times 6,02 \times 10^{23}$$

$$\begin{aligned} \text{Atom Sr} &= \frac{6,50}{87,63} \times 6,02 \times 10^{23} \\ &= 0,0742 \times 6,02 \times 10^{23} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Atom Nd} &= \frac{1,07}{144,27} \times 6,02 \times 10^{23} \\ &= 0,0074 \times 6,02 \times 10^{23} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Atom Bi} &= \frac{60,43}{209} \times 6,02 \times 10^{23} \\ &= 0,2891 \times 6,02 \times 10^{23} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Atom O} &= \frac{17,79}{16} \times 6,02 \times 10^{23} \\ &= 1,1119 \times 6,02 \times 10^{23} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Atom Ti} &= \frac{14,21}{47,9} \times 6,02 \times 10^{23} \\ &= 0,2967 \times 6,02 \times 10^{23}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total atom} &= (0,0742 + 0,2891 + 0,2967 + 0,0074 + 1,1119) 6,02 \times 10^{23} \\ &= 1,7793 \times 6,02 \times 10^{23}\end{aligned}$$

$$\% \text{atom} = \frac{\text{atom unsur}}{\text{jumlah atom unsur}}$$

$$\begin{aligned}\% \text{atom Sr} &= \frac{0,0742 \times 6,02 \times 10^{23}}{1,7793 \times 6,02 \times 10^{23}} \times 100\% & \% \text{atom Nd} &= \frac{0,0074 \times 6,02 \times 10^{23}}{1,7793 \times 6,02 \times 10^{23}} \times 100\% \\ &= 4,17\% & &= 0,42\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{atom Bi} &= \frac{0,2891 \times 6,02 \times 10^{23}}{1,7793 \times 6,02 \times 10^{23}} \times 100\% & \% \text{atom O} &= \frac{1,1119 \times 6,02 \times 10^{23}}{1,7793 \times 6,02 \times 10^{23}} \times 100\% \\ &= 16,25\% & &= 62,49\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{atom Ti} &= \frac{0,2967 \times 6,02 \times 10^{23}}{1,7793 \times 6,02 \times 10^{23}} \times 100\% \\ &= 16,68\%\end{aligned}$$

3. Konsentrasi Nd ($x=0,15$)

$$\text{mol} = \frac{\text{massa}}{\text{Ar Unsur}} \times 6,02 \times 10^{23}$$

$$\begin{aligned}\text{Atom Sr} &= \frac{6,51}{87,63} \times 6,02 \times 10^{23} & \text{Atom Nd} &= \frac{1,61}{144,27} \times 6,02 \times 10^{23} \\ &= 0,0743 \times 6,02 \times 10^{23} & &= 0,0112 \times 6,02 \times 10^{23}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Atom Bi} &= \frac{59,80}{209} \times 6,02 \times 10^{23} & \text{Atom O} &= \frac{17,84}{16} \times 6,02 \times 10^{23} \\ &= 0,2861 \times 6,02 \times 10^{23} & &= 1,115 \times 6,02 \times 10^{23}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Atom Ti} &= \frac{14,24}{47,9} \times 6,02 \times 10^{23} \\ &= 0,2973 \times 6,02 \times 10^{23}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total atom} &= (0,0743 + 0,2861 + 0,2973 + 0,0112 + 1,115) 6,02 \times 10^{23} \\ &= 1,7839 \times 6,02 \times 10^{23}\end{aligned}$$

$$\% \text{atom} = \frac{\text{atom unsur}}{\text{jumlah atom unsur}}$$

$$\begin{aligned}\% \text{atom Sr} &= \frac{0,0743 \times 6,02 \times 10^{23}}{1,7839 \times 6,02 \times 10^{23}} \times 100\% & \% \text{atom Nd} &= \frac{0,0112 \times 6,02 \times 10^{23}}{1,7839 \times 6,02 \times 10^{23}} \times 100\% \\ &= 4,17\% & &= 0,63\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{atom Bi} &= \frac{0,2861 \times 6,02 \times 10^{23}}{1,7839 \times 6,02 \times 10^{23}} \times 100\% & \% \text{atom O} &= \frac{1,115 \times 6,02 \times 10^{23}}{1,7839 \times 6,02 \times 10^{23}} \times 100\% \\ &= 16,04\% & &= 62,50\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{atom Ti} &= \frac{0,2973 \times 6,02 \times 10^{23}}{1,7839 \times 6,02 \times 10^{23}} \times 100\% \\ &= 16,67\% \end{aligned}$$

4. Konsentrasi Nd ($x=0,2$)

$$\text{Atom} = \frac{\text{massa}}{\text{Ar Unsur}} \times 6,02 \times 10^{23}$$

$$\begin{aligned} \text{Atom Sr} &= \frac{6,53}{87,63} \times 6,02 \times 10^{23} \\ &= 0,0745 \times 6,02 \times 10^{23} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Atom Nd} &= \frac{2,15}{144,27} \times 6,02 \times 10^{23} \\ &= 0,0149 \times 6,02 \times 10^{23} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Atom Bi} &= \frac{59,18}{209} \times 6,02 \times 10^{23} \\ &= 0,2832 \times 6,02 \times 10^{23} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Atom O} &= \frac{17,88}{16} \times 6,02 \times 10^{23} \\ &= 1,1175 \times 6,02 \times 10^{23} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Atom Ti} &= \frac{14,27}{47,9} \times 6,02 \times 10^{23} \\ &= 0,2979 \times 6,02 \times 10^{23} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total atom} &= (0,0745 + 0,2832 + 0,2979 + 0,0149 + 1,1175) \times 6,02 \times 10^{23} \\ &= 1,788 \times 6,02 \times 10^{23} \end{aligned}$$

$$\% \text{atom} = \frac{\text{atom unsur}}{\text{jumlah atom unsur}}$$

$$\begin{aligned} \% \text{atom Sr} &= \frac{0,0743 \times 6,02 \times 10^{23}}{1,788 \times 6,02 \times 10^{23}} \\ &= 4,16 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{atom Nd} &= \frac{0,0112 \times 6,02 \times 10^{23}}{1,788 \times 6,02 \times 10^{23}} \\ &= 0,63\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{atom Bi} &= \frac{0,2861 \times 6,02 \times 10^{23}}{1,788 \times 6,02 \times 10^{23}} \\ &= 16,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{atom O} &= \frac{1,115 \times 6,02 \times 10^{23}}{1,788 \times 6,02 \times 10^{23}} \\ &= 62,36\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{atom Ti} &= \frac{0,2973 \times 6,02 \times 10^{23}}{1,788 \times 6,02 \times 10^{23}} \\ &= 16,63\% \end{aligned}$$