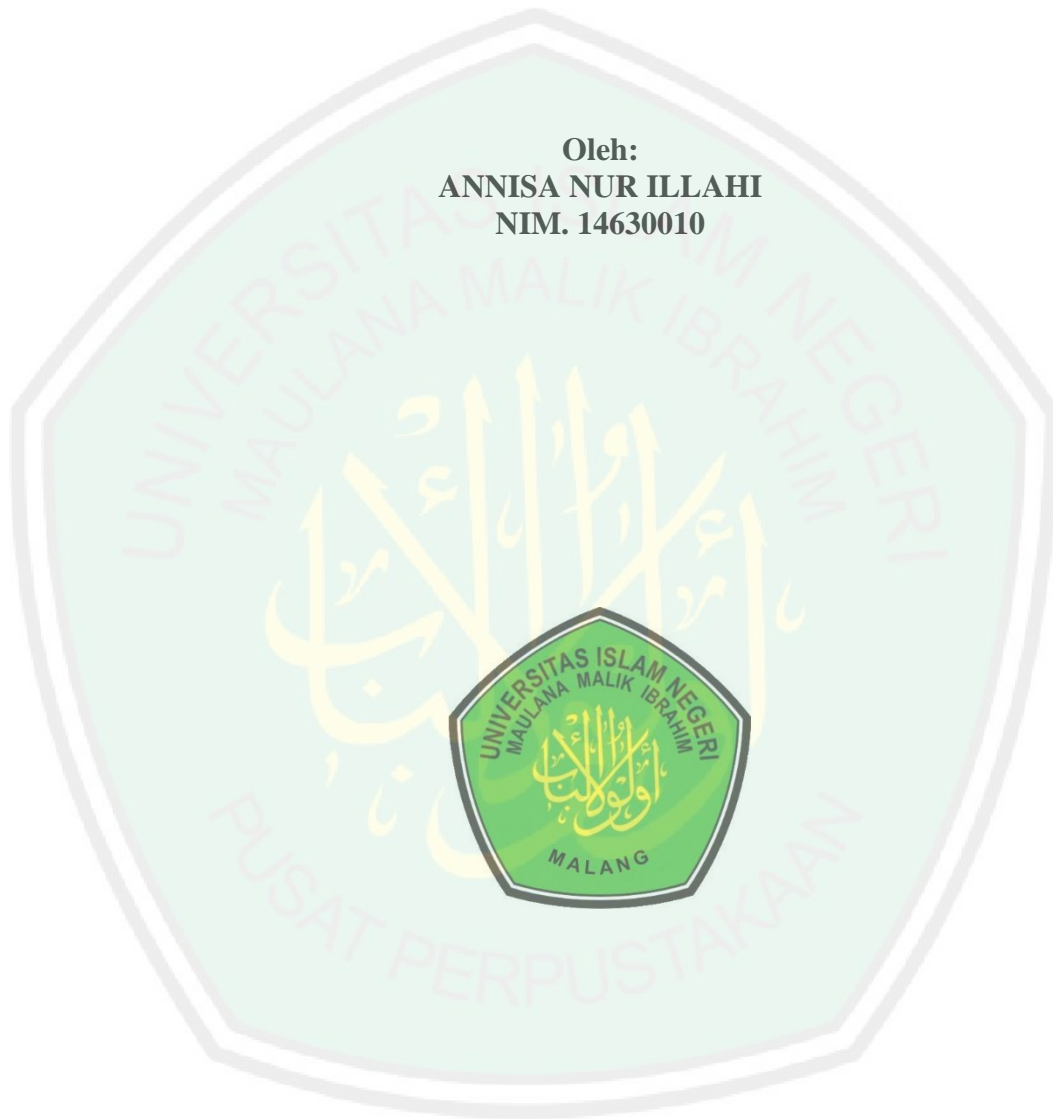


**SINTESIS MATERIAL *HETEROJUNCTION*  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  DENGAN  
METODE SONIKASI**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**ANNISA NUR ILLAHI**  
**NIM. 14630010**



**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2019**

**SINTESIS MATERIAL *HETEROJUNCTION*  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  DENGAN  
METODE SONIKASI**

**SKRIPSI**

Oleh:

**ANNISA NUR ILLAHI**

**NIM. 14630010**

**Diajukan Kepada:**

**Fakultas Sains dan Teknologi**

**Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang**

**Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam**

**Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2019**

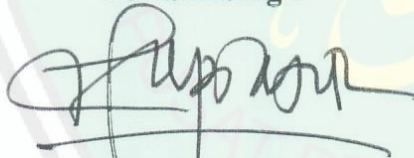
**SINTESIS MATERIAL *HETEROJUNCTION*  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  DENGAN  
METODE SONIKASI**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**ANNISA NUR ILLAHI**  
NIM. 14630010


Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji  
Tanggal: 23 Desember 2019

**Pembimbing I**




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

**Pembimbing II**



**Dr. H. Ahmad Barizi, M.A**  
NIP. 19731212 199803 1 008

**Mengetahui,  
Ketua Jurusan**



**Elok Kamilah Nayati, M.Si**  
NIP. 19790620 200604 2 002

**SINTESIS MATERIAL *HETEROJUNCTION*  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  DENGAN  
METODE SONIKASI**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**ANNISA NUR ILLAHI**  
NIM. 14630010

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi  
Dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Tanggal: 23 Desember 2019

Penguji Utama : Suci Amalia, M.Sc  
NIP. 19821104 200901 2 007

(.....)

Ketua Penguji : Vina Nurul Istighfarini, M.Si  
NIP. LB 63025

(.....)

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

(.....)

Anggota Penguji : Dr. H. Ahmad Barizi, M.A  
NIP. 19731212 199803 1 008

(.....)



Mengesahkan,  
Ketua Jurusan

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

**PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Annisa Nur Illahi

NIM : 14630010

Jurusan : Kimia

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Sintesis Material *Heterojunction*  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  dengan Metode Sonikasi

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan 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 dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Yang membuat pernyataan  
Malang, 27 Desember 2019

  
Annisa Nur Illahi  
14630010

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Allah SWT Tuhan semesta alam yang kekal dan Maha Tinggi, atas kehendak-Nya maka jadilah dan Nabi Muhammad SAW yang telah membawa dan menyebarkan risalah islam.

Alm. Ayah, Mama, Mbah Wi, Mbah Lanang, saudara-saudariku (Riska dan Putra) untuk kasih sayang, lelah, doa, semangat, dan dukungan yan diberikan hingga akhir hayatnya, untuk asuhan, dan teladan-teladan yang telah membentuk pribadiku hingga seperti ini.

Bapak Anton Prasetyo dan Ibu Vina Nurul Istighfarini yang telah mendidik dan membimbing, serta kebaikan, pengerian dan kesabaran yang telah diberikan selama ini.

Untuk teman-teman seperjuangan sepermainan (Bukan Lambe Turah) Mas Bob, Mbak Nay, Mas Aday. Lebih dari sekedar teman beajar, teman main, teman *camping*, kalian adalah sarana pendewasaanku, melihat kalian membuatku selalu mengevaluasi diri, ingin menjadi orang yang sehebat kalian, ingin selalu menyenangkan kalian, ingin menjadi teman yang baik untuk kalian. Tidak tahu da berapa banyak terimakasih atas semua pengaruh baik dan energi positif yang kalian beri. Semoga kita selalu saling mengasihi dan mengingatkan dalam kebaikan.

Untuk teman-teman seperjuangan Kimia 2014. Untuk 4 tahun bersama dalam ketidak jelasan dan untuk semua kisah bersama kalian.

Untuk adik-adik tingkat (Hasal, Usman dan lain-lain ydang tidak dapat saya sebutkan satu persatu). Untuk bersama selama ini, selalu memberi semangat dan kebersamai saya selama mengerjakan skripsi ini.

Untuk teman-teman seperjuangan akhir (Mas Thoif, Mas Ansori Holer, Mas Asrul Ghimbres, Mas Rizqy, Puja, Huda). Untuk selalu memberi semangat saya ketika jatuh dan terpuruk, selalu membantu apapun keluhan saya, dan selalu menghibur saya dengan *Mabar Mobile legend*.

Warga Laboratorium Anorganik, untuk setiap waku yang saya habiskan disana. Terimakasih banyak atas kebaikan-kebaikan selama melakukan penelitian disana

Warga kos *Ma'had 14A* (Mbak Mia, Lala, Mbak Shofie), untuk setiap waktu yang saya habiskan disini, untuk sabar dalam menghadapi emosi dan ketidak jelasan saya. Terimakasih banyak atas kebaikan-kebaikan selama saya tinggal disini.

## MOTTO

“Saat kamu malas-malasan, saat kamu santai-santai, ingatlah bahwa ratusan, ribuan, bahkan jutaan orang di luar sana masih banyak yang jauh lebih malas dan lebih santai daripada kamu!”

**-Nanti Kita Sambat Tentang Hari Ini-**



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, atas segala nikmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan hasil penelitian yang berjudul “**SINTESIS MATERIAL HETEROJUNCTION  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  DENGAN METODE SONIKASI**” dengan sebaik mungkin. Shalawat serta salam selalu penulis haturkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW, sosok teladan dalam membangun peradaban dan budaya pemikiran. Iringan doa dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada:

1. Kedua orang tua penulis serta saudara sekalian yang telah memberikan perhatian, nasihat, doa, dan dukungan moril serta materil sehingga laporan hasil penelitian ini dapat terselesaikan
2. Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang Prof. Dr. Abdul Haris, M. Ag.
3. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Dr. Sri Harini, M. Si.
4. Kepala Jurusan Kimia Elok Kamilah Hayati, M. Si.
5. Dosen pembimbing Dr. Anton Prasetyo, M. Si. Dan Vina Nurul Istigfarini, M.Si. Karena atas bimbingan, pengarahan, kesabaran, dan motivasinya skripsi ini dapat terselesaikan
6. Dosen pembimbing Agama Dr. H. Ahmad Barizi, M.A. atas bimbingan, pengarahan dan kesabaran sehingga skripsi dapat terselesaikan
7. Seluruh dosen Jurusan Kimia Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

8. Teman-teman kimia yang telah saling memotivasi dan membantu penyusunan proposal penelitian ini

Sebagai manusia biasa, penulis menyadari bahwa proposal penelitian yang telah penulis susun ini masih jauh dari kesempurnaan, mengingat terbatasnya kemampuan yang penulis miliki. Oleh karena itu, kritik, saran, serta bimbingan yang sifatnya membangun sangat penulis harapkan.

Malang, 26 Desember 2019

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>MOTTO</b> .....	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiv</b>
مستخلص البحث .....	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan .....	5
1.4 Batasan Masalah .....	5
1.5 Manfaat Penelitian .....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Fotokatalis.....	7
2.2 Senyawa SrTiO <sub>3</sub> .....	10
2.3. Senyawa Bi <sub>4</sub> Ti <sub>3</sub> O <sub>12</sub> .....	12
2.4 Material <i>Heterojunction</i> .....	14
2.5 Metode Sintesis Reaksi Keadaan Padatan .....	15
2.6 Metode Sonikasi .....	16
2.7 Teknik Difraksi Sinar-X (XRD) .....	17
2.8 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) .....	18
2.9 Sintesis dan Manfaat Bi <sub>4</sub> Ti <sub>3</sub> O <sub>12</sub> /SrTiO <sub>3</sub> dalam Perspektif Islam .....	18
<b>BAB III METODOLOGI</b>	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	22
3.2 Alat dan Bahan .....	22
3.2.1 Alat.....	22
3.2.2 Bahan .....	22
3.3. Cara Kerja .....	22
3.3.1 Sintesis Bi <sub>4</sub> Ti <sub>3</sub> O <sub>12</sub> .....	22
3.3.2 Sintesis SrTiO <sub>3</sub> .....	23
3.3.3 Sintesis Komposit SrTiO <sub>3</sub> /Bi <sub>4</sub> Ti <sub>3</sub> O <sub>12</sub> .....	23
3.3.4 Karakterisasi dengan Difraksi Sinar-X .....	23
3.3.5 <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) .....	24
3.3.6 Spektrofotometer DRS .....	24
3.3.7 Uji Aktivitas Fotokatalitik .....	24
3.3.7.1 Pembuatan Larutan Induk Metilen Biru .....	24

3.3.7.2 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Metilen Biru.....	25
3.3.7.3 Pembuatan Kurva Standar Metilen Biru .....	25
3.3.7.4 Pengujian Aktivitas Fotokatalis .....	25
3.4. Analisa Data .....	26
3.4.1 Analisa Data XRD .....	26
3.4.2 Analisa Data SEM .....	26
3.4.3 Analisa Data DRS .....	27
3.4.4 Analisa Aktivitas Fotokatalis.....	27
<b>BAB IV PEMBAHASAN</b>	
4.1 Sintesis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ dan $\text{SrTiO}_3$ dengan Metode Reaksi Keadaan Padatan .....	29
4.2 Karakterisasi Hasil Sintesis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ dan $\text{SrTiO}_3$ Menggunakan Teknik Difraksi Sinar-X (XRD) .....	31
4.3 Sintesis Material <i>Heterojunction</i> $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ dengan metode Sonokimia $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ .....	36
4.4 Karakterisasi Hasil Sintesis Menggunakan Teknik Difraksi Sinar-X (XRD) .....	38
4.5 Karakterisasi Hasil Sintesis Menggunakan <i>Scanning Electron Microscopy</i> SEM .....	39
4.6 Karakterisasi Hasil Sintesis Menggunakan <i>Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (DRS).....	41
4.7 Uji Aktivitas Fotokatalitik $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ Menggunakan Metilen Biru .....	44
4.7.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Metilen Biru.....	44
4.7.2 Pembuatan Kurva Standar Metilen Biru .....	44
4.7.3 Pengujian Aktivitas Fotokatalitik $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ Terhadap Metilen Biru .....	45
<b>BAB V KESIMPULAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	49
5.2 Saran .....	49
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	50
<b>LAMPIRAN</b> .....	54

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Diagram Alir.....	53
Lampiran 2	Perhitungan Prekursor .....	55
Lampiran 3	Hasil Karakterisasi XRD .....	59
Lampiran 4	Penentuan Parameter Kisi dengan Metode Le bail .....	66
Lampiran 5	Contoh Perhitungan Ukuran Kristal Hasil Sintesis .....	68
Lampiran 6	Gambar SEM Material <i>Heterojunction</i> .....	72
Lampiran 7	Analisa Distribusi dengan <i>software Image-J</i> .....	74



## ABSTRAK

Illahi, A.N. 2019. **Sintesis Material *Heterojunction*  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  dengan Metode Sonikasi. Skripsi.** Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing I: Dr. Anton Prasetyo, M.Si.; Pembimbing II: Dr. H. Ahmad Barizi, M.Ag ; Konsultan: Vina Nurul Istighfarini, M.Si.

---

**Kata kunci:**  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ,  $\text{SrTiO}_3$ , *Heterojunction*, Sonikasi, Fotokatalis.

Perkembangan industri tekstil yang pesat dapat memberikan konsekuensi terhadap peningkatan jumlah limbah zat warna. Salah satu metode untuk penanganan limbah zat warna adalah fotokatalitik dengan memanfaatkan sinar matahari untuk mendegradasi cemaran limbah warna menjadi zat-zat yang lebih sederhana.  $\text{SrTiO}_3$  mempunyai peluang digunakan sebagai material fotokatalis, tetapi memiliki kekurangan yakni energi celah pita yang besar dan laju rekombinan yang sangat cepat. Salah satu usaha untuk mengatasi masalah ini adalah dengan membuat komposit material *heterojunction*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fotokatalis material *heterojunction*  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ . Hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan XRD untuk menganalisa fasa yang terbentuk, SEM untuk menganalisa morfologi dan ukuran partikel, dan UV-DRS untuk menentukan energi celah pita hasil sintesis. Uji fotokatalitik untuk mengetahui kemampuan material komposit *heterojunction* sebagai fotokatalis. Hasil penelitian ini diperoleh data difraksi sinar-X menunjukkan bahwa  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  telah terbentuk dan tidak ditemukan pengotor. Gambar SEM menunjukkan bahwa morfologi yang terbentuk pada  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  adalah *plate-like* (lempengan) dan  $\text{SrTiO}_3$  adalah *irregular spherical* (bulatan tidak beraturan). Data dari UV-Vis DRS didapatkan nilai *band gap*  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (1/1), (1/2), (1/4), dan (1/6) berturut-turut sebesar 3,178, 3,170, 3,137, 3,160 eV. Material *heterojunction*  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  mampu meningkatkan aktivitas fotokatalitik, dengan % degradasi terbesar pada material *heterojunction*  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (1/6) yaitu sebesar 20,85%.

## ABSTRAK

Illahi, A.N. 2019. **Synthesis Material of Heterojunction  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  using Sonication Method. Skripsi.** Chemistry Department, Faculty of Science and Technology, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang. Advisor I: Dr. Anton Prasetyo, M.Si; Advisor II: Dr. H. Ahmad Barizi, M.Ag; Consultant: Vina Nurul Istighfarini, M.Si.

---

**Kata kunci:**  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ,  $\text{SrTiO}_3$ , Heterojunction, Sonication, Photocatalyst.

The rapid development of the textile industry can have consequences for increasing the amount of dye waste. One method for handling dyestuffs is photocatalytic by utilizing sunlight to degrade the contamination of color wastes into simpler substances.  $\text{SrTiO}_3$  has the opportunity to be used as a photocatalyst material, but has the disadvantage of a large band gap energy and a very fast recombinant rate. One effort to overcome this problem is to make heterojunction composite materials. This study aims to determine the photocatalyst properties of the heterojunction material  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ . The results of the synthesis were characterized using XRD to analyze the phases formed, SEM to analyze the morphology and particle size, and UV-DRS to determine the band gap energy of the synthesis. Photocatalytic test to determine the ability of heterojunction composite materials as photocatalysts. The results of this study obtained X-ray diffraction data showed that  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  had formed and no impurities were found. The SEM figure shows that the morphology formed in  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  is plate-like and  $\text{SrTiO}_3$  is irregular spherical. Data from UV-Vis DRS obtained band gap values of  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (1/1), (1/2), (1/4), and (1/6) respectively of 3,178, 3,170, 3,137, 3,160 eV. The heterojunction  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  material is able to increase photocatalytic activity, with the greatest % degradation in  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  heterojunction material (1/6) that is equal to 20.85%.

## مستخلص البحث

إلهي النساء نور. 2019. توليف المواد غير المتجانسة  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12} / \text{SrTiO}_3$  مع طريقة صوتنة. رسالة الليسانس. قسم الكيمياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول: د. أنطون براسيتيو، الماجستير المشرف الثاني: د. أحمد باريزي، الماجستير الحبير: فينا نورول استغفري، الماجستير

الكلمات الرئيسية:  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ،  $\text{SrTiO}_3$ ، *Heterojunction*، صوتنة، حفاز ضوئي.

تطور السريع لصناعة النسيج تعاقب زيادة كمية نفايات الأصباغ. إحدى طرق التعامل مع الأصباغ هي التحفيز الضوئي باستخدام أشعة الشمس لتقليل تلوث نفايات اللون إلى مواد أكثر بساطة. تتمتع  $\text{SrTiO}_3$  بفرصة لاستخدامها كمادة حفاز ضوئي، ولكن لديها عيوب طاقة فجوة نطاق كبيرة ومعدل إعادة تركيب سريع للغاية. جهد واحد للتغلب على هذه المشكلة هو جعل المواد المركبة غير المتجانسة. تهدف هذه الدراسة إلى تحديد خصائص محفز ضوئي مادة  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  غير المتجانسة. تميزت نتائج التوليف باستخدام XRD لتحليل المراحل المشكلة، SEM لتحليل التشكل وحجم الجسيمات، و UV-DRS لتحديد طاقة فجوة الفرقة للتوليف. اختبار التحفيز الضوئي لتحديد قدرة المواد المركبة غير المتجانسة كمحفزات ضوئية. أظهرت نتائج هذه الدراسة التي تم الحصول عليها بيانات حيود الأشعة السينية أن  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  قد تشكلت ولم يتم العثور على شوائب. يوضح الشكل SEM أن التشكل المتشكل في  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  يشبه الصفائح وأن  $\text{SrTiO}_3$  غير كروي. حصلت البيانات من UV-Vis DRS على قيم فجوة النطاق في  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12} / \text{SrTiO}_3$  (1/1) و (2/1) و (4/1) و (6/1) على التوالي من 3،178 و 3،170 و 3،137 و 3،160 فولت. مادة  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12} / \text{SrTiO}_3$  غير المتجانسة قادرة على زيادة نشاط التحفيز الضوئي، مع تدهور أكبر. في مادة  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12} / \text{SrTiO}_3$  غير المتجانسة (6/1) التي تساوي 20.85٪.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring dengan bertambahnya jumlah populasi penduduk di dunia, industri tekstil juga semakin berkembang pesat sehingga dampak pencemaran terhadap lingkungan juga semakin meluas. Berbagai upaya telah dilakukan dalam bidang teknik pengolahan limbah untuk meminimalisir dampak negatif yang dihasilkan. Salah satu upaya adalah proses fotokatalitik. Proses fotokatalitik muncul menjadi teknologi yang sangat menjanjikan untuk mendegradasi polutan organik. Dalam proses ini semikonduktor yang diaktivasi oleh sinar ultraviolet digunakan sebagai katalis untuk mendestruksi kontaminan organik (Djarwanti, dkk., 2009).

Limbah zat warna banyak dihasilkan oleh industri tekstil yang merupakan faktor penting dalam industri busana, kertas, percetakan, dan kain. Menurut Carneiro, dkk. (2004), konsumsi zat warna pada industri sekitar 700.000 ton dari 10.000 tipe zat warna yang berbeda diproduksi setiap tahunnya. Selama penggunaannya 185 ton dari zat warna terbuang ke lingkungan setiap tahunnya. Sehingga limbah zat warna ini menyebabkan kerusakan ekosistem akuatik dan pencemaran lingkungan karena tingginya konsentrasi senyawa organik yang terkandung di dalamnya, rendahnya kecepatan penguraian, dan memiliki karakteristik warna keruh, pekat, dan bau menyengat (Chakrabarti, dkk., 2004). Ada beberapa cara untuk mendegradasi limbah yaitu dengan adsorpsi, degradasi dengan bakteri dan degradasi menggunakan fotokatalis. Pada penelitian ini digunakan degradasi menggunakan fotokatalis.

Pengolahan limbah zat warna dilakukan untuk memperbaiki lingkungan

dengan menggunakan berbagai macam metode salah satunya yaitu fotokatalisis. Kelebihan dari metode ini yaitu mampu mengubah limbah zat warna yang berbahaya menjadi senyawa yang tidak berbahaya. Oleh karena itu, dalam penelitian ini perlu dilakukan pengabungan dua material fotokatalis agar manusia dapat menjalankan tugas dari Allah SWT untuk tetap memperbaiki lingkungan bukan merusaknya. Mengenai hal ini Allah berfirman dalam QS. al-A'raf 7:56 :

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ ٥٦

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

Abdullah (1994) menjelaskan bahwa dalam ayat ini Allah SWT sangat melarang kita untuk berbuat berbagai macam jenis pengrusakan dan hal-hal yang membahayakan. Kemudian Allah berfirman *“إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ”*, sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik. Pada ayat ini Allah menggunakan kata *قَرِيبٌ* bukan *قَرِيبَةٌ*, karena rahmat Allah itu mengandung makna tsawah (pahala), atau karena rahmat itu disandarkan kepada Allah SWT. Oleh karena itu, Allah berfirman *قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ* (amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik)

Proses fotokatalis mempunyai beberapa keunggulan dibanding dengan proses biologi atau oksidasi kimia lainnya. Pertama reaksi fotokatalitik tidak spesifik, sehingga mampu digunakan untuk mendestruksi senyawa-senyawa organik dalam lingkup yang luas seperti alkana, alkena, alkohol, fenol, dan lain-lain. Kedua, daya oksidasi proses ini sangat kuat sehingga seringkali mampu mendegradasi senyawa organik hingga tingkat mineralisasi. Ketiga proses ini

mampu mendegradasi senyawa-senyawa toksik yang tidak dapat didegradasi dengan proses biologi. Keempat, proses ini bisa digunakan untuk fase cair, misalnya untuk pengolahan air limbah atau untuk pemurnian air maupun fase gas, misalnya untuk emisi *volatile organic compound* (VOC) kelima proses ini dapat memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber sinar ultraviolet sehingga dapat mengurangi biaya operasional (Chang, 2000, Hoffman, 1995).

Aktivitas fotokatalis bergantung pada kemampuan katalis untuk menghasilkan sepasang *electron-hole* pada pita valensi dan konduksinya. *Hole* ini kemudian yang akan berfungsi sebagai tempat terjadinya oksidasi, sedangkan elektron sebagai tempat terjadinya reduksi (Fujishima, dkk., 1972). Jika material semikonduktor dikenai cahaya dengan energi tertentu maka elektron ( $e^-$ ) pada pita valensi akan tereksitasi ke pita konduksi dan menimbulkan *hole* ( $h^+$ ) pada pita valensi. Potensial oksidasi yang dimiliki  $h^+$  pada pita valensi cukup tinggi untuk mengoksidasi air menjadi radikal hidroksil. Radikal hidroksil ini adalah pengoksidasi kuat yang dapat mengoksidasi zat organik menjadi air, asam mineral, dan karbon dioksida (Slamet, 2009).

Beberapa material fotokatalis yang dapat digunakan antara lain  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CdS}$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{GaP}$ ,  $\text{SiC}$ ,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{SrTiO}_3$  (Andayani, dkk., 2001). Strontium titanat ( $\text{SrTiO}_3$ ), adalah material semikonduktor dengan struktur kristal perovskit, dan mempunyai energi celah 3,2 eV. Beberapa keuntungan dari  $\text{SrTiO}_3$  adalah memiliki sifat kimia dan kestabilan fisik yang baik, serta sifat optik yang unggul (Goncalves dkk., 2016). Berdasarkan sifat tersebut  $\text{SrTiO}_3$  diterapkan dalam banyak aplikasi. Kekurangan dari  $\text{SrTiO}_3$  sebagai material fotokatalis adalah (a) nilai *band gap* yang tinggi sehingga bekerja pada daerah UV, dan (b) laju

rekombinasi *electron hole* yang sangat cepat sehingga akan menghambat aktivitas fotokatalitik.

$\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  adalah senyawa Aurivillius lapis tiga dan dilaporkan mempunyai sifat feroelektrik yang baik sehingga berpeluang digunakan sebagai *memory device*, kapasitor, *optical devices*, dan sensor. Beberapa tahun terakhir banyak dilakukan kajian tentang peluang pemanfaatan  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  sebagai bahan fotokatalis, akan tetapi senyawa ini mempunyai kekurangan yaitu besarnya energi celah yaitu 2,95 eV sehingga bekerja pada daerah UV dan laju rekombinasi *electron-hole* yang tinggi. Beberapa usaha yang telah dilakukan untuk memperbaiki kekurangan ini yaitu dengan doping logam lain seperti vanadium dan samarium, dan membuat komposit dengan material lain (Liu, dkk., 2016, Yao, dkk., 2003 ). Salah satu usaha untuk menghambat laju rekombinan pada senyawa fotokatalis adalah dengan membuat komposit material *heterojunction*. Beberapa material *heterojunction* berbasis  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  yang dilaporkan adalah  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ , dan  $\text{CdTe}/\text{CdS}$  (Zhao, dkk. 2015).

Zhao, dkk. (2015) melaporkan bahwa struktur komposit  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  yang telah disintesis menggunakan metode reaksi hidrotermal yang menunjukkan bahwa aktivitas fotokatalitiknya lebih tinggi dibandingkan dengan  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  murni. Selain itu, lapisan struktur *perovskite* dapat menghambat laju rekombinan mereka sehingga mempengaruhi sifat fotokatalitiknya.

Sebagai bahan fotokatalis maka ukuran partikel akan mempengaruhi kinerja fotokatalisnya. Semakin kecil ukuran partikel dan semakin memadainya morfologi, maka luas permukaan yang aktif untuk bereaksi akan lebih besar, sehingga kinerja fotokatalisnya semakin baik. Salah satu metode sintesis yang

dapat digunakan untuk menghasilkan senyawa dengan ukuran partikel yang kecil adalah sonikasi. Prinsip dari metode sonikasi adalah memanfaatkan energi gelombang ultrasonik dengan frekuensi sangat tinggi yang diiradiasi dengan gelombang ultrasonik, maka dalam larutan tersebut terjadi tumbukan antarpartikel penyusun larutan yang bertekanan tinggi. Sonikasi mengandalkan energi gelombang yang menyebabkan proses kavitasi, yaitu proses pembentukan gelembung-gelembung kecil akibat adanya transmisi gelombang ultrasonik untuk membantu difusi pelarut ke dalam dinding sel tanaman (Ashley, dkk., 2001). Selain metodenya lebih mudah dan laju reaksinya lebih cepat, metode sonokimia juga memiliki kelebihan dapat memecah agregat kristal berukuran besar menjadi agregat kristal berukuran kecil hingga berskala nano. Dari beberapa kelebihan metode sonokimia tersebut, maka penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan hasil sintesis material *heterojunction*  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  dengan menggunakan metode sonikasi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana struktur kristal, morfologi partikel, nilai *band-gap* material *heterojunction*  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  yang disintesis menggunakan metode sonikasi dengan rasio molar (1/1, 1/2, 1/4, dan 1/6), dan bagaimana aktivitas fotokatalitiknya.

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui struktur kristal, morfologi partikel, nilai *band-gap* material *heterojunction*  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ , dan aktivitas fotokatalitiknya.

#### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Sintesis  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  dan  $\text{SrTiO}_3$  menggunakan metode reaksi keadaan padatan.
2. Sintesis  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  dengan variasi molar (1:1, 1:2, 1:4, dan 1:6) dengan menggunakan metode sonikasi.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kelebihan material *heterojunction*  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  yang disintesis dengan metode reaksi keadaan padatan, dan memberikan informasi mengenai struktur, morfologi permukaan, dan nilai *band gap* material *heterojunction*  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ .

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

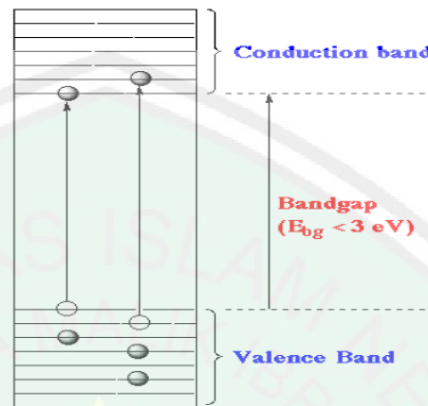
#### 2.1 Fotokatalis

Fotokatalitik merupakan kombinasi proses fotokimia dan katalitik. Dalam hal ini diperlukan cahaya dan katalis untuk mempercepat transformasi kimia (Linsebigler dkk., 1995). Katalis pada proses ini lebih khas disebut sebagai fotokatalis dan memiliki kemampuan menyerap foton. Dengan demikian fotokatalitik dapat pula didefinisikan sebagai suatu proses yang terjadi berdasarkan pada kemampuan ganda dari suatu fotokatalis untuk menyerap foton secara bersamaan (Djarwanti, dkk., 2009).

Proses fotokatalitik diawali dengan absorpsi energi foton oleh semikonduktor, yang menyebabkan terjadinya pemisahan muatan atau fotoeksitasi dalam semikonduktor. Elektron ( $e^-$ ) akan tereksitasi ke pita konduksi dengan meninggalkan lubang positif ( $h^+$ ) pada pita valensi. Proses redoks kemudian terjadi ketika ada senyawa yang teradsorpsi pada permukaan semikonduktor. Elektron pada pita konduksi akan bereaksi dengan akseptor elektron dan lubang positif pada pita valensi akan bereaksi dengan donor elektron. Senyawa-senyawa polutan organik umumnya adalah donor elektron dan jika berada dalam air dapat teroksidasi dengan dua cara yaitu bereaksi langsung dengan lubang positif atau bereaksi dengan radikal  $\cdot\text{OH}$  yang terbentuk dari oksidasi  $\text{H}_2\text{O}$ . Beberapa semikonduktor seperti  $\text{ZnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{GaP}$ ,  $\text{CdS}$ ,  $\text{SiC}$ , dan lain-lain dapat digunakan dalam reaksi fotokatalitik (Andayani, dkk., 2001).

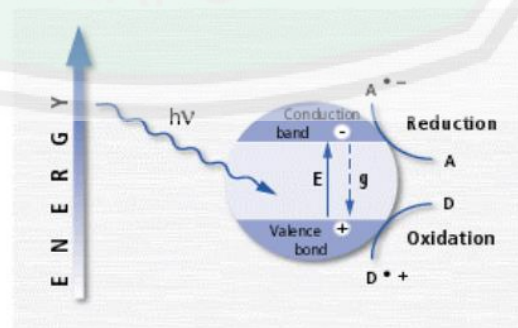
Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi reaksi fotokatalis pada semikonduktor yang menyangkut struktur pita yang dimilikinya, yaitu: (a) celah

pita energi (*band gap energy*), (b) posisi terbawah dari pita konduksi, (c) posisi teratas dari pita valensi (Licciulli, 2002). Struktur pita dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Daerah energi celah pita pada semikonduktor (Licciulli, 2002)

Semikonduktor merupakan material yang mempunyai daya hambat antara isolator dengan konduktor dan memiliki energi celah antara pita valensi (*valence band*) dengan pita konduksi (*conduction band*). Pada semikonduktor pita valensi disebut pita *bonding* terluar sedangkan pita konduksi disebut pita *antibonding* terluar. Dalam kondisi 0 K dapat dianggap bahwa pita valensi elektron terisi penuh sedangkan pita konduksi tidak terisi elektron (Effendy, 2010).



Gambar 2.2 Proses mekanisme reaksi fotokatalis (Licciulli, 2002)

Proses fotokatalitik heterogen pada material semikonduktor diawali dengan fotoeksitasi sebagai akibat cahaya yang mengenai bahan semikonduktor. Cahaya yang mengenai bahan semikonduktor ini memiliki energi yang lebih besar daripada energi celah pita semikonduktor, sehingga dapat mentransfer elektron dari pita valensi ke pita konduksi dan menghasilkan *hole* ( $h^+$ ) pada pita valensi. Reaksi yang terjadi pada proses ini adalah :



Beberapa kemungkinan yang dapat terjadi pada pasangan *electron-hole*, yaitu :

1. Sebagian pasangan berekombinasi dalam partikel
2. Pasangan *electron-hole* berekombinasi di permukaan atau pada bulk partikel hanya dalam waktu beberapa *nanosecond* (energi hilang sebagai panas), reaksi rekombinasi pasangan *electron-hole* dapat dituliskan sebagai berikut :
 
$$\text{Semikonduktor} (e_{CB}^- + h_{VB}^+) \rightarrow \text{Semikonduktor} + \text{panas} \quad (2.2)$$
3. Pasangan electron masing-masing dapat bereaksi dengan spesies donor dan akseptor yang terserap di permukaan partikel (Hermann, 1999).

Wen (2017) melaporkan bahwa baru-baru ini metilen jingga digunakan sebagai target polutan dan terdegradasi untuk melihat aktivitas fotokatalitik dari material *heterojunction*. Pada degradasi metilen jingga yang didegradasi dengan SrTiO<sub>3</sub> tidak memiliki kapasitas katalitik untuk metilen jingga karena celah pita lebar. Ketika dikompositkan dengan BiOI, metilen jingga menjadi terdegradasi. Kandungan SrTiO<sub>3</sub> memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap kinerja fotokatalitik komposit SrTiO<sub>3</sub>/BiOI. Diantara komposit yang disintesis, komposit dengan kadar SrTiO<sub>3</sub>/BiOI 22,12% menunjuk kan aktivitas yang optimal,

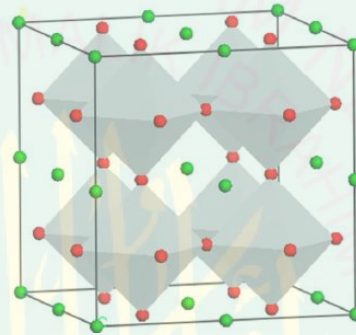
efisiensi degradasi metilen jingga mencapai 94,96% dalam waktu 40 menit. Sementara BiOI murni hanya sekitar 56,93%. Dibandingkan dengan BiOI murni, komposit SrTiO<sub>3</sub>/BiOI menunjukkan fotodegradasi yang meningkat terhadap metilen jingga. Selain itu dapat dibuktikan bahwa aktivitas fotokatalitik dari campuran jauh lebih rendah dibandingkan dengan komposit, menunjukkan bahwa *heterojunction* terbentuk antara SrTiO<sub>3</sub> dan BiOI.

## 2.2 Senyawa SrTiO<sub>3</sub>

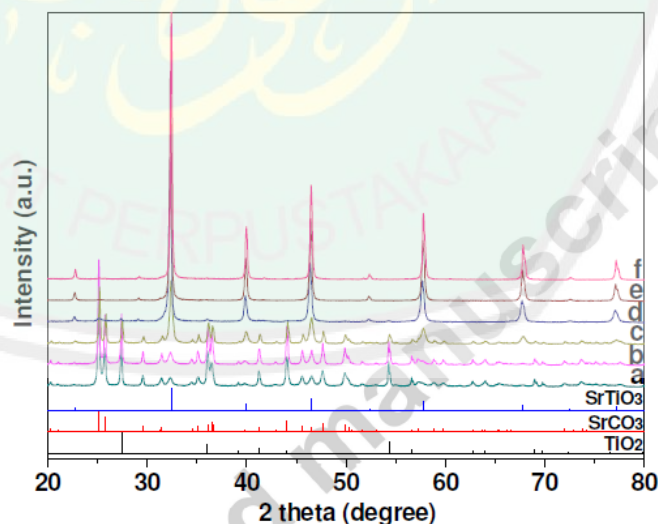
SrTiO<sub>3</sub> merupakan salah satu bahan yang paling banyak digunakan karena memiliki keunggulan diantaranya adalah struktur yang stabil, mempunyai sifat hantaran listrik yang baik, dan mempunyai aktivitas fotokatalitik yang tinggi. Oksida jenis perovskite adalah beberapa bahan yang paling menarik dalam penelitian saat ini, *strontium titanate* (SrTiO<sub>3</sub>) dapat disebut anggota *prototype* dari keluarga struktur ini, tidak hanya karena dapat menunjukkan beragam sifat diatas. Selain itu, SrTiO<sub>3</sub> adalah semikonduktor tipe-*n* dengan energi celah pita sekitar 3,2 eV (Cardona, 1965), dan telah dipelajari secara luas tidak hanya karena berbagai sifat fisiknya yang luar biasa tetapi juga untuk aplikasinya seperti konstanta dielektrik statiknya yang tinggi dan insulasi yang baik, sensor gas oksigen resistif, sel surya, dan kandidat yang menjanjikan untuk fotokatalis yang efisien (Domen, 2002).

Struktur SrTiO<sub>3</sub> ditampilkan pada Gambar 2.3 adalah senyawa oksida tipe *perovskite* dengan rumus umum ABO<sub>3</sub>, ukuran kation A biasanya lebih besar daripada kation B. Kisi Kristal dari *perovskite* adalah kubus primitive, dengan grup ruang dari kisi *perovskite* adalah *Pm3m*. SrTiO<sub>3</sub> memiliki panjang  $r_{\text{Sr}^{2+}} = 1,52 \text{ \AA}$  dan  $r_{\text{Ti}^{4+}} = 0,745 \text{ \AA}$  (Ismunandar, 2006). Posisi atom Ti berada pada pojok

kubus (0,0,0), Sr berada pada pusat badan ( $1/2, 1/2, 1/2$ ) dan O pada pusat tepi ( $1/2, 0,0; 0,1/2,0; 0,0,1/2$ ) (West, 1999). Panjang sisi sel satuan dari kisi  $\text{SrTiO}_3$  adalah  $a = 390,51 \text{ pm}$  (Effendy, 2008).  $\text{SrTiO}_3$  biasanya disintesis menggunakan metode reaksi fasa padat, dengan mengkalsinasi campuran  $\text{SrCO}_3$  dan  $\text{TiO}_2$  dengan suhu diatas  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  selama 10 jam (Liu, dkk., 2008). Dalam beberapa referensi disebutkan energi celah pita  $\text{SrTiO}_3$  sebesar  $3,2 \text{ eV}$  (Chang dan Shen, 2006).



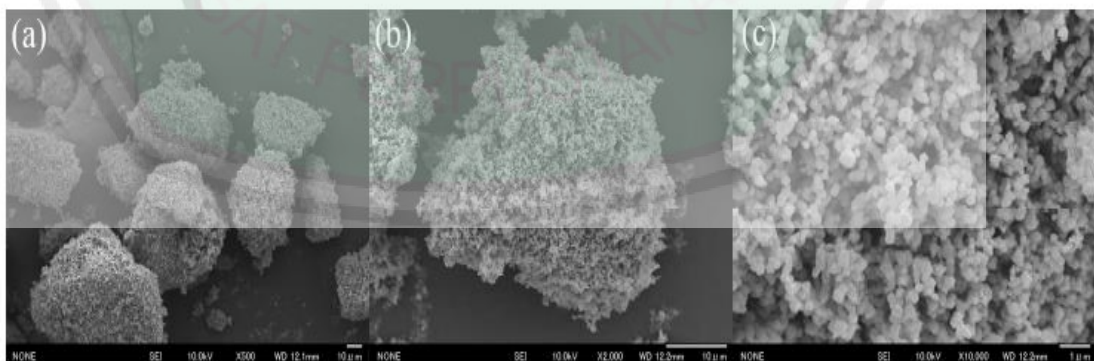
Gambar 2.3 Struktur kristal  $\text{SrTiO}_3$  (Bhalla, 2000)



Gambar 2.4 Hasil analisa XRD pada variasi suhu : (a) 600, (b) 700, (c) 800, (d) 850, (e) 900, (f) 950  $^\circ\text{C}$  (Zhang, 2015)

Pola XRD yang ditampilkan pada Gambar 2.4, Zhang (2015) melaporkan hasil XRD sintesis  $\text{SrTiO}_3$  menggunakan metode rekasi keadaan padatan yang diperoleh dengan variasi suhu yang berbeda selama 2 jam. Pada suhu  $600^\circ\text{C}$  menunjukkan hanya sedikit  $\text{SrTiO}_3$  yang diperoleh. Semakin meningkatnya suhu reaksi, jumlah  $\text{SrTiO}_3$  juga semakin banyak, dan pada suhu  $900^\circ\text{C}$  terbentuk fase tunggal  $\text{SrTiO}_3$ .

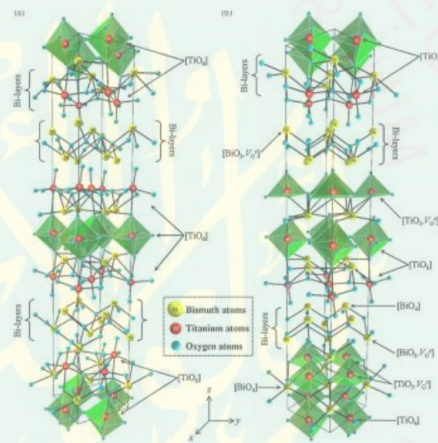
Morfologi produk sintesis dilihat menggunakan FESEM. Pada Gambar 2.5(a) menunjukkan pembesaran yang lebih kecil dari produk yang diperoleh pada suhu  $900^\circ\text{C}$  di udara tanpa NaCl menunjukkan bahwa produk tersebut terdiri dari mikropartikel  $\text{SrTiO}_3$  dengan diameter  $40\text{-}90\ \mu\text{m}$ . Gambar 2.5(b) menunjukkan bahwa mikropartikel dibentuk oleh nanopartikel kecil, dan gambar dari FESEM perbesaran paling tinggi ada pada Gambar 2.5c yang menunjukkan bahwa diameter rata-rata nanopartikel kecil adalah  $300\ \text{nm}$ . Untuk menghasilkan mikropartikel  $\text{SrTiO}_3$  yang baik maka variasi suhu memiliki perananan penting untuk morfologi dan struktur produk. Morfologi FESEM ditunjukkan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Morfologi FESEM sintesis  $\text{SrTiO}_3$  pada suhu  $900^\circ\text{C}$  (Zhang, 2015)

### 2.3 Senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$

Senyawa *Bismuth Titanate* ( $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ) pertama kali ditemukan oleh Aurivillius pada tahun 1949. Senyawa ini tergolong Aurivillius lapis tiga, yang terdiri dari tiga unit lapisan senyawa *pseudo-perovskite* dan dua unit senyawa bismuth oksida yang terletak pada bagian atas dan bawah lapisan *pseudo-perovskite*. Secara keseluruhan, senyawa ini memiliki formula molekul  $(\text{Bi}_2\text{O}_2)(\text{A}_{n-1}\text{B}_n\text{O}_{3n+1})$  (Ismunandar, 2006). Struktur senyawa  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  ditunjukkan pada Gambar 2.6



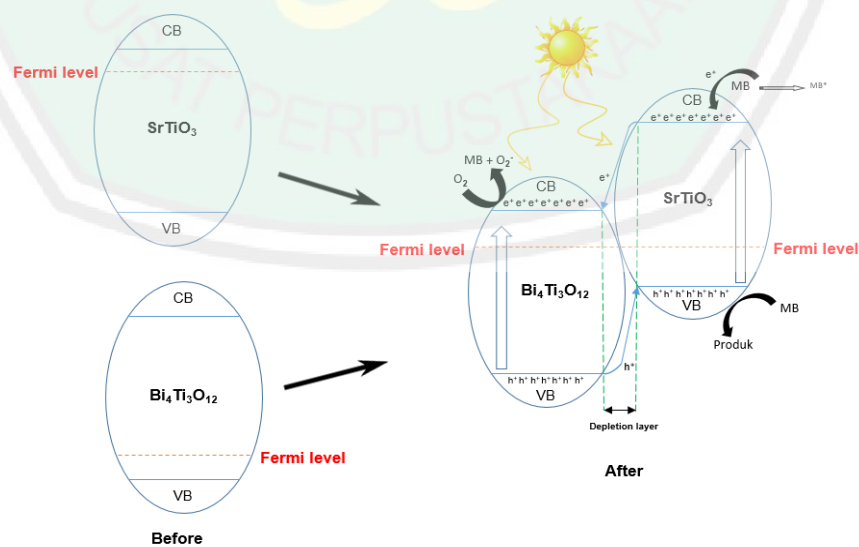
Gambar 2.6 Struktur senyawa  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  (Oliviera, 2009)

$\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  adalah senyawa Aurivillius lapis tiga dan diketahui mempunyai sifat feroelektrik yang baik sehingga berpeluang untuk digunakan sebagai *memory device*, kapasitor, *optical devices* dan sensor. Telah banyak dilakukan penelitian tentang peluang pemanfaatan  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  sebagai bahan fotokatalis, namun senyawa ini mempunyai kekurangan, yaitu besarnya energi celah ( $E_g = 2,99$  eV) dan laju rekombinasi *electron-hole* yang tinggi. Beberapa usaha telah dilakukan untuk memperbaiki kekurangan ini, yaitu dengan doping

dengan logam lain dan membuat komposit dengan material lain (Liu, dkk., 2016, Ramana, dkk., 2016). Sebagai bahan fotokatalis maka ukuran partikel akan mempengaruhi kinerja uji fotokatalisnya, dimana jika ukuran partikel semakin kecil maka kemampuan mendegradsinya semakin baik.

#### 2.4 Material *Heterojunction*

Heterojunction adalah *interface* yang diantara dua lapisan atau wilayah dari semikonduktor kristal yang berbeda. Bahan semikonduktor ini memiliki *band-gap* yang tidak sama. Seringkali digunakan untuk merekayasa *band-gap* energi elektronik dalam banyak aplikasi seperti reaksi keadaan padatan, laser semikonduktor, sel surya, dan transistor. Beberapa kombinasi *heterojunction* disebut heterostuktur, walaupun kedua istilah ini biasa digunakan secara bergantian. Persyaratan untuk bahan yang akan menjadi semikonduktor adalah dengan celah pita yang tidak sama agak longgar, terutama pada skala kecil, dimana sifat elektronik bergantung pada sifat spasial. Mekanisme *heterojunction* ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Mekanisme material *heterojunction*  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (Zhao, 2015)

Sambungan hetero atau yang disebut *heterojunction* merupakan *interface* antara dua lapisan semikonduktor yang mempunyai kristal yang berbeda. Bahan-bahan semikonduktor yang memiliki *band-gap* yang tidak sama sebagai gabungan *homojunction* untuk membentuk *heterojunction*. Sifat dari *heterojunction* yaitu membawa efek *window* yang menghubungkan *band-gap* semikonduktor yang jauh dari permukaan dengan permukaan rekombinasi dari pembawa muatan minoritas. *Heterojunction* mempunyai konduktivitas yang cukup untuk menghilangkan resistansi (Bashar, 2010).

$\text{SrTiO}_3$  memiliki struktur yang mirip dengan  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ , dan pasangan yang sesuai karena pertumbuhan eksternal mudah diketahui. Komposit  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ , memanfaatkan sifat fotokatalitik dari struktur lapisan matriks itu sendiri dan substrat berukuran mikro. Selain itu, pengenalan celah pita tambahan  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  dapat memperbaiki sifat fotokatalitik (Kuang Q, 2013).

$\text{SrTiO}_3$  memiliki struktur kristal perovskite karena struktur kubusnya yang tidak terdistorsi dan bersifat paraelektrik dan paramagnetisme.  $\text{SrTiO}_3$  adalah salah satu substrat yang paling sering digunakan untuk pertumbuhan epitaxial film perovskite lainnya sebagai feroelektrik, oksida magnetik (misalnya manganites, kobaltit, Ferrites), atau superkonduktor. Di sisi lain,  $\text{SrTiO}_3$  memiliki kelebihan yaitu sebagai kemungkinan oksida gerbang dalam efek medan Transistor, karena menunjukkan daya tahan resistif lokal *switching* dan dalam aplikasi yang berhubungan dengan fotokatalis, sensor oksigen, dan sebagai anoda dalam bahan bakar oksida padat sel (Warusawithana, dkk., 2009, Szot, dkk., 2006, Marshall, dkk., 2011).

## 2.5 Metode Sintesis Reaksi Keadaan Padatan

Sintesis  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  telah dilakukan oleh berbagai pihak yaitu dengan metode reaksi keadaan padatan dan lelehan garam. Reaksi keadaan padatan merupakan salah satu teknik yang secara luas telah digunakan dalam penyediaan padatan polikristalin, dimana padatan kristalin disintesis secara langsung dari pereaksi-pereaksinya yang berwujud padat. Teknik ini biasanya menggunakan suhu tinggi bahkan mencapai 1000–1500 °C. Suhu ini dipilih karena dalam keadaan kenyataannya padatan-padatan tidak akan bereaksi pada suhu kamar, sementara pada suhu tinggi, laju reaksi padatan-padatan itu akan cukup tinggi (Ismunandar, 2006).

Faktor-faktor yang mempengaruhi laju reaksi yaitu, luas kontak padatan pereaksi, laju difusi, dan laju nukleasi fasa produk. Teknik sintesis padatan erat kaitannya dengan bentuk produk yang diinginkan. Beberapa bentuk yang dapat diadopsi oleh padatan dan kegunaan bentuk itu dijelaskan sebagai berikut : (a) kristal tunggal, bentuk ini biasanya dipilih untuk keperluan karakterisasi struktur dan sifat, (b) serbuk polikristalin, serbuk polikristalin sering digunakan untuk karakterisasi struktur dan sifat bila kristal tunggal tidak mungkin didapatkan, (c) amorf tidak memiliki keteraturan translasi berorde panjang dan umumnya digunakan untuk aplikasi yang memerlukan keunggulan sifat optis dan konduktor ionik, (d) film tipis, digunakan secara luas dalam mikroelektronik dan telekomunikasi (Ismunandar, 2006).

## 2.6 Metode Sonikasi

Prinsip metode sonokimia adalah memanfaatkan gelombang ultrasonik dengan frekuensi sangat tinggi yang diradiasikan kedalam larutan. Ketika suatu

larutan diradiasi dengan gelombang ultrasonik, maka dengan larutan tersebut terjadi tumbukan antarpartikel penyusun larutan yang bertekanan tinggi. Ketika antar partikel penyusun kecil ini saling bertumbukan, maka suhu lokal bisa mencapai 5000 K dengan laju pendingin 1011 K/s (Suslick,1999). Selain metodenya lebih mudah dan laju reaksinya lebih cepat, metode sonokimia juga memiliki kelebihan dapat memecah agrerat kristal berukuran besar menjadi agrerat kristal berukuran kecil hingga dapat berskala nano.

Penggunaan gelombang ultrasonik (sonikasi) dalam pembentukan materi berukuran nano sangatlah efektif. Gelombang ultrasonik banyak diterapkan pada berbagai bidang antara lain dalam instrumentasi, kesehatan, dan sebagainya. Salah satu yang terpenting dari aplikasi gelombang ultrasonik adalah pemanfaatannya dalam menimbulkan efek kavitasi akustik (Nakahira, 2007).

## 2.7 Teknik Difraksi Sinar-X (XRD)

XRD merupakan alat yang digunakan untuk mengkarakterisasi struktur kristal dari suatu bahan padat. Semua bahan yang mengandung kristal tertentu ketika dianalisa menggunakan XRD akan memunculkan puncak-puncak yang spesifik. Metode difraksi umumnya digunakan untuk mengidentifikasi senyawa yang belum diketahui yang terkandung dalam suatu padatan dengan cara membandingkan dengan data difraksi dengan database yang dikeluarkan oleh *International Centre for Diffraction Data* berupa *Powder Diffraction File* (PDF)

Pengukuran difraksi sinar-X merupakan teknik yang digunakan untuk menganalisis struktur kristal padatan. Sinar-X yang merupakan radiasi gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang sekitar 1 Å, berada di antara panjang gelombang sinar gamma ( $\gamma$ ) dan sinar ultraviolet. Sinar-X dihasilkan jika electron

berkecepatan tinggi menumbuk suatu logam target sehingga elektron pada logam mengalami eksitasi yang menyebabkan terjadinya kekosongan elektron. Kekosongan elektron selanjutnya diisi oleh elektron dari tingkat energi yang lebih tinggi yang menyebabkan terjadinya pancaran energi dalam bentuk sinar-X.

## 2.8 Scanning Electron Microscopy (SEM)

*Scanning Electron Microscopy* (SEM) dapat digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan bahan. Karakterisasi bahan menggunakan SEM dimanfaatkan untuk melihat struktur morfologi permukaan, ukuran butiran, cacat struktural dan komposisi pencemaran suatu bahan. SEM memiliki teknik dan kemampuan yang unik untuk menganalisa permukaan suatu bahan dengan perbesaran yang sangat tinggi. Dengan SEM maka tekstur, topografi, dan pola permukaan dari serbuk atau padatan dengan ukuran  $\sim 2000 \text{ \AA}$  dapat diamati. Alat ini seperti sebuah analog dengan sinar yang dipantulkan mikroskop, dengan sumber radiasi yang berbeda, namun sama-sama memberikan suatu pencitraan. Jika sinar pantul dari mikroskop membentuk citra dari sinar yang dipantulkan permukaan sampel, SEM menggunakan elektron untuk membentuk citra (Kurniawan 2009).

Pada dasarnya, prinsip kerja dari SEM sebanding dengan mikroskop. Keduanya sebagai alat pembesar benda yang ukurannya terlalu kecil untuk dapat dilihat dengan mata telanjang. SEM dapat memberikan hasil yang baik untuk material konduktif dan semikonduktif. Material yang tidak dapat menghantarkan listrik dapat dipotret oleh SEM dengan teknik penyiapan tertentu. Teknik penyiapan sampel yang umum adalah dengan melapisi sampel dengan lapisan

tipis material konduktif. Kadangkala, proses ini dapat mengganggu kondisi sampel sehingga agak mengganggu pengukuran (Kurniawan, 2009).

## 2.9 Sintesis dan Manfaat $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ dalam Perspektif Islam

Pengolahan limbah zat warna dapat dilakukan untuk memperbaiki lingkungan dengan menggunakan berbagai macam metode salah satunya yaitu fotokatalisis. Kelebihan dari metode ini yaitu mampu mengubah limbah zat warna yang berbahaya menjadi senyawa yang tidak berbahaya. Oleh karena itu, dalam penelitian ini perlu dilakukan pengabungan dua material fotokatalis agar manusia dapat menjalankan tugas dari Allah SWT untuk tetap memperbaiki lingkungan bukan merusaknya. Mengenai hal ini Allah berfirman dalam QS. al-A'raf / 7:56 :

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ حَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ ٥٦

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

Abdullah (1994) menjelaskan bahwa dalam ayat ini Allah SWT sangat melarang kita untuk berbuat berbagai macam jenis pengrusakan dan hal-hal yang membahayakan. Kemudian Allah berfirman *“إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ”*, sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik. Pada ayat ini Allah menggunakan kata *قَرِيبٌ* bukan *قَرِيبَةٌ*, karena rahmat Allah itu mengandung makna tsawah (pahala), atau karena rahmat itu disandarkan kepada Allah SWT. Oleh karena itu, Allah berfirman *قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ* (amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik).

Allah berfirman *وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا* yang menjelaskan bahwa Allah sangat melarang manusia untuk membuat kerusakan di muka bumi setelah Allah memperbaikinya, sebagaimana yang terjadi di Indonesia saat ini sudah terlalu banyak pabrik dan industri yang dengan mudahnya membuang limbah cair di lingkungan sekitar sehingga dapat menyebabkan kerusakan lingkungan dan dapat merugikan masyarakat sekitar. Pada kalimat *وَأَدْعُوهُ حَوْفًا وَطَمَعًا* menjelaskan bahwa manusia seharusnya takut akan ibadahnya dan segala sesuatu yang dilakukan tidak diterima oleh Allah, dan seharusnya berdoa dengan penuh harap dan ketaqwaan salah satu cara untuk taqwa kepada Allah adalah dengan menjaga bumi dan melestarikannya dengan usaha seperti membuat katalis  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  yang dapat membantu manusia untuk mengurai limbah yang telah dibuatnya, sehingga limbah yang dihasilkan oleh pabrik dan industry tidak lagi mencemari lingkungan di sekitarnya. Pada kalimat *مَنْ الْمُحْسِنِينَ* menjelaskan bahwa Allah akan memberi rahmat kepada manusia yang berbuat baik, penelitian ini adalah salah satu usaha untuk peneliti melakukan hal baik kepada manusia dan alam, dimana dengan mensintesis material  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  akan sangat membantu manusia dalam mengurangi limbah yang ada di Indonesia bahkan di bumi ini.

Penelitian ini dilakukan sintesis material  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  yang dapat dijadikan sebagai salah satu proses dari pelestarian dan upaya untuk menjaga lingkungan. Material  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  dapat berpotensi sebagai salah satu material fotokatalis yang efektif dan efisien untuk mendegradasi polutan organik. Dalam hal ini dapat dikatakan bahwa segala sesuatu yang Allah SWT ciptakan di bumi ini tidak ada yang sia-sia, melainkan banyak manfaat yang didapatkan oleh manusia.

Salah satunya yaitu material  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  dan  $\text{SrTiO}_3$ . Kedua material ini dapat digunakan sebagai material fotokatalis. Mengenai hal ini Allah berfirman dalam QS. Ali Imran ayat 190-191:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاحْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ ۝ ١٩٠ الَّذِينَ يَذْكُرُونَ  
 اللَّهَ قِيَامًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَاطِلًا  
 سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ ١٩١

190. “*Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang yang berakal*”

191. “*(yaitu) orang-orang yang mengingat Allah ambil berdiri atau duduk atau dalam keadaan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): “Ya Tuhan Kami, Tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha suci engkau, Maka peliharalah Kami dari siksa neraka”* (QS. Ali Imran / 3:190-191).

Shihab (2002) dalam tafsir al-Misbah menjelaskan bahwa orang-orang yang berakal ialah orang-orang yang mendalami pemahamannya, berfikir serta mampu mengambil manfaat dari segala sesuatu yang diciptakan oleh Allah SWT dan selalu mengingat Allah dalam keadaan apapun. Oleh karena itu, tidak ada ciptaan Allah yang sia-sia. Dalam tafsir ini dikatakan bahwa lafadz “*في خلق*” yang berarti tentang penciptaan langit dan bumi. Pada lafadz “*السموات والارض*” yang berarti tentang penciptaan langit dan bumi. Pada lafadz “*ربنا ما خلقت هذا باطلا*” yang berarti Allah tidak pernah menciptakan sesuatu dengan sia-sia. Oleh karena itu, logam merupakan salah satu ciptaan Allah SWT yang memiliki banyak manfaat salah satu logam tersebut ialah  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  dan  $\text{TiO}_2$ . Logam tersebut dapat dijadikan sebuah katalis.

## BAB III

### METODOLOGI

#### 3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei–Nopember 2018 di Laboratorium Kimia Anorganik Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, dan Institut Teknologi Bandung.

#### 3.2 Alat dan Bahan

##### 3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat gelas, mortar agate, tanur, neraca analitik, krus alumina, pipet tetes, oven, ultrasonik cleaning bath (Branson *Ultrasonics* model b3510-MT), reaktor fotokatalis dengan lampu *Blacklight Blue* dan daya sebesar 40 watt, XRD (Phillips Xpert MPD), SEM (JSM-6510), dan UV-Vis DRS.

##### 3.2.2 Bahan

Bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  (Sigma Aldrich),  $\text{TiO}_2$  (Sigma Aldrich),  $\text{SrCO}_3$  (Sigma Aldrich), *aseton p.a.*, *etanol p.a.*, metilen biru, dan aquademin.

#### 3.3 Cara Kerja

##### 3.3.1 Sintesis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$

Sintesis  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  dilakukan dengan metode reaksi fasa padat dengan target senyawa hasil sebanyak 4 g. Sintesis dilakukan dengan cara mencampurkan secara stoikiometrik  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  sebanyak 3,16856 g dan  $\text{TiO}_2$  sebanyak 0,81462 g.

Campuran digerus selama 2 jam kemudian dikalsinasi pada suhu 500 °C selama 8 jam. Perlakuan ini diulang secara berkelanjutan pada suhu 600, 700, 800, 900, dan 950 °C.

### 3.3.2 Sintesis SrTiO<sub>3</sub>

Sintesis SrTiO<sub>3</sub> dilakukan dengan metode reaksi fasa padat dengan target banyak senyawa hasil sebanyak 4 g. Sintesis dilakukan dengan cara mencampurkan secara stoikiometrik SrCO<sub>3</sub> sebanyak 3,2182 g dan TiO<sub>2</sub> sebanyak 1,7410 g. Campuran digerus selama 2 jam kemudian dikalsinasi pada suhu 500 °C selama 8 jam. Perlakuan ini diulang secara berkelanjutan pada suhu 600, 700, 800, 900, dan 950 °C.

### 3.3.3 Sintesis Komposit Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub>/SrTiO<sub>3</sub>

Campuran komposit disintesis dengan perbandingan mol Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub>/SrTiO<sub>3</sub> 1/1, 1/2, 1/4, 1/6. Pembentukan komposit dilakukan dengan mencampurkan SrTiO<sub>3</sub> dan Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub> sesuai dengan perbandingan mol. Selanjutnya ditambah 20 mL aquades dan 40 mL etanol kemudian dilakukan sonikasi selama 2 jam. Sampel kemudian disaring dan diuapkan dalam oven pada temperatur 105 °C sampai pelarut menguap dan dikalsinasi pada suhu 800 °C.

### 3.3.4 Karakterisasi dengan Difraksi Sinar-X

Difraksi sinar-x digunakan untuk mengidentifikasi fasa dan menentukan kristalinitas sampel. Pengukuran dilakukan dengan tensi generator 30 kV dan arus 30 mA menggunakan radiasi Cu K $\alpha$  dengan *step size* 0,02. Dengan rentang pengukuran rentang 2 $\theta$  (°) = 10-90. Mula-mula sampel dihaluskan hingga menjadi serbuk yang sangat halus, kemudian ditempatkan pada sampel *holder* dan disinari dengan sinar-X.

### 3.3.5 Karakterisasi dengan SEM

Karakterisasi dengan SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan material hasil sintesis serta untuk mengetahui ukuran partikel. Karakterisasi dengan SEM dilakukan dengan menempatkan 50 mg sampel dalam bentuk serbuk halus pada sampel *holder* menggunakan perekat, kemudian dilapisi dengan Au. Kemudian sampel diamati dengan berbagai perbesaran, mulai 7.000 – 20.000 kali.

### 3.3.6 Karakterisasi dengan Spektrofotometer DRS

Karakterisasi Spektroskopi Uv-Vis *Diffuse Reflectance* dilakukan untuk mengetahui lebar celah pita material hasil sintesis. Sampel yang akan dikarakterisasi dalam bentuk serbuk halus ditempatkan pada sampel holder kemudian diukur persentase reflektansinya pada rentang panjang gelombang 200-800 nm.

### 3.3.7 Uji Aktivitas Fotokatalitik

#### 3.3.7.1 Pembuatan Larutan Induk Metilen Biru

Sebanyak 0,01 g metilen biru dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL, ditambahkan akuades sampai tepat pada tanda batas. Kemudian dikocok dan dihomogenkan. Selanjutnya diperoleh larutan induk metilen biru 100 ppm. Untuk mengurangi biodegradasi larutan induk metilen biru, larutan disimpan di dalam tempat gelap.

#### 3.3.7.2 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Metilen Biru

Penentuan panjang gelombang maksimum pada larutan metilen biru 10 ppm dilakukan pada rentang panjang gelombang UV-Vis mulai 400 sampai

dengan 800 nm. Panjang gelombang maksimum ditentukan dengan melihat absorbansi terbesar atau panjang gelombang yang paling banyak diserap oleh metilen biru. Data panjang gelombang maksimum kemudian digunakan untuk membentuk kurva standar.

### 3.3.7.3 Pembuatan Kurva Standar Metilen Biru

Larutan metilen biru digunakan pada variasi 1-10 ppm dengan rentang 1 ppm (dari pengenceran larutan induk 100 ppm metilen biru dengan akuades) sebanyak 10 mL. Kemudian larutan yang telah dibuat tersebut diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimumnya. Hasil pembuatan kurva standar yang sudah dilakukan diperoleh hubungan antara absorbansi ( $A$ ) dengan konsentrasi ( $c$ ). Hasil pengukuran kurva standar akan diperoleh persamaan regresi liniernya sehingga bisa ditentukan  $A_0$  yang merupakan konsentrasi terukur dari larutan induk.

### 3.3.7.4 Pengujian Aktivitas Fotokatalis

Larutan metilen biru 10 ppm sebanyak 100 mL dimasukkan ke dalam *beaker glass* 250 mL. Selanjutnya ditambahkan katalis  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  sebanyak 0,1 gram. Selanjutnya campuran tersebut dimasukkan ke dalam reaktor fotokatalis dan dilakukan *stirring* selama 60 menit kemudian dilanjutkan penyinaran dan *stirring* selama 30 menit. Setelah dilakukan penyinaran, *disentrifuge* selama 3 menit dengan kecepatan 3000 rpm untuk memisahkan larutan dengan katalis. Kemudian dilakukan pengukuran serapan larutan hasil degradasi metilen biru menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum untuk mengetahui banyaknya senyawa metilen biru yang terdegradasi. Dilakukan pengulangan pembacaan sebanyak 3 kali. Aktivitas

photodegradation of methylene blue is performed by comparing the initial absorbance and the absorbance after the waste is degraded using a UV-Vis spectrophotometer at the maximum wavelength. The test is carried out on the whole sample of  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  with a molar ratio of 1/1, 1/2, 1/4, and 1/6. The results of the degradation measurement will show the relationship between the composition of the catalyst and the % degradation.

### 3.4 Analisa Data

#### 3.4.1 Analisa Data XRD

Data obtained from characterization with XRD is a diffractogram that will be compared with the standard  $\text{SrTiO}_3$  and  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  using a *database* available in ICSD. Based on the diffractogram obtained from the X-ray diffraction results, the crystal size can be determined using equation 3.1.

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

Where  $D$  is the particle size (nm),  $K$  is a constant with a value of 0.9,  $\lambda$  is the wavelength of the radiation, and  $\beta$  is the half-width of the diffractogram peak (FWHM, in radians).

#### 3.4.2 Analisa Data SEM

The SEM characterization results are morphology and particle size. All data obtained will be compared to know the effect of the sample composition on morphology and particle distribution. In this data analysis, the Image-J software will be used.

### 3.4.3 Analisa Data DRS

Data yang diperoleh dari hasil karakterisasi dengan UV-Vis DRS akan dianalisa dengan menggunakan persamaan Kubelka-Munk yang ditunjukkan pada persamaan 3.2.

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

Dengan  $F(R)$  = faktor Kubelka-Munk,  $K$  adalah koefisien absorpsi molar,  $S$  adalah koefisien *scattering*,  $R$  adalah nilai reflektan yang diukur terhadap standar. Hubungan faktor kubelka-Munk dengan energi celah pita ditunjukkan melalui persamaan 3.3.

$$F(R) = (h\nu - E_g)^{m/2} \dots\dots\dots(3.3)$$

Dengan  $E_g$  adalah energi celah pita,  $m$  adalah 1 (untuk transisi langsung yang diperbolehkan) energi celah pita ditentukan dengan cara menarik garis linear yang melewati daerah tersebut, kemudian menentukan persamaan linearnya. Persamaan linear selanjutnya nilai  $x$  ( $h\nu =$  energi celah pita) ketika  $y=0$ . Nilai  $x$  tersebut menyatakan besar dari energi celah pita.

### 3.4.4 Analisa Aktivitas Fotokatalis

Persen degradasi metilen biru ditentukan dengan memasukkan nilai absorbansi ke dalam persamaan regresi linear dari larutan metilen biru. Selanjutnya presentase degradasi diperoleh dengan memasukkan konsentrasi dari metilen biru yang ditunjukkan melalui persamaan 3.4.

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \% \dots\dots\dots(3.4)$$

Dengan  $C_o$  adalah konsentrasi awal metilen biru dan  $C_t$  adalah konsentrasi akhir degradasi metilen biru.



## **BAB IV**

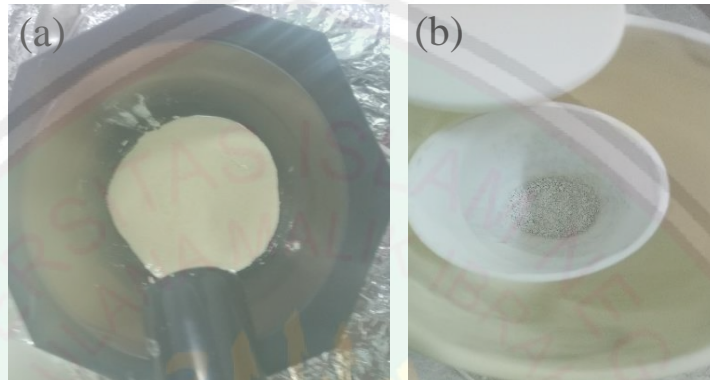
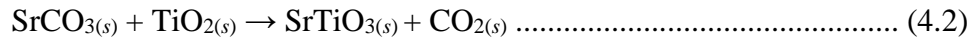
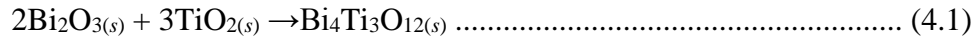
### **PEMBAHASAN**

Dalam penelitian ini dilakukan: (a) sintesis bismuth titanat ( $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ) dengan menggunakan metode reaksi keadaan padatan, (b) sintesis stronsium titanat ( $\text{SrTiO}_3$ ) dengan menggunakan metode reaksi keadaan padatan, (c) sampel hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan XRD untuk mengidentifikasi struktur fasa, (d) sintesis material *heterojunction*  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  menggunakan metode sonikasi dengan variasi molar 1/1, 1/2, 1/4, dan 1/6, (e) sampel hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan XRD untuk mengidentifikasi fasa, SEM untuk mengetahui morfologi permukaan partikel dari senyawa tersebut, UV-Vis DRS untuk mengetahui energi celah pita dan serapan sinar, dan (e) uji aktivitas fotokatalitik dilakukan menggunakan reaktor buatan mandiri untuk mengetahui seberapa besar fotokatalis tersebut dapat mengurai limbah zat warna.

#### **4.1 Sintesis Bismuth Titanat ( $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ) dan Stronsium Titanat ( $\text{SrTiO}_3$ ) dengan Metode Reaksi Keadaan Padatan**

Material  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  dan  $\text{SrTiO}_3$  disintesis dengan metode reaksi keadaan padatan. Prekursor yang digunakan dalam sintesis  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  adalah  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  dan pelarut aseton, sedangkan prekursor yang digunakan dalam sintesis  $\text{SrTiO}_3$  adalah  $\text{SrCO}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  dan pelarut aseton. Sintesis  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  dan  $\text{SrTiO}_3$  dilakukan untuk menghasilkan material dengan kristalinitas yang tinggi, dan murni. Sintesis kedua material ini dikalsinasi pada suhu 500, kemudian diulang secara berkelanjutan pada suhu 600, 700, 800, 900 dan 950 °C. Tahap pertama sintesis dilakukan dengan cara menggerus material prekursor selama 2 jam dengan penambahan aseton secara berkala dan dikalsinasi selama 8 jam pada suhu

500 °C. Persamaan reaksi sintesis  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  ditunjukkan pada persamaan 4.1 dan persamaan reaksi sintesis  $\text{SrTiO}_3$  ditunjukkan pada persamaan 4.2.

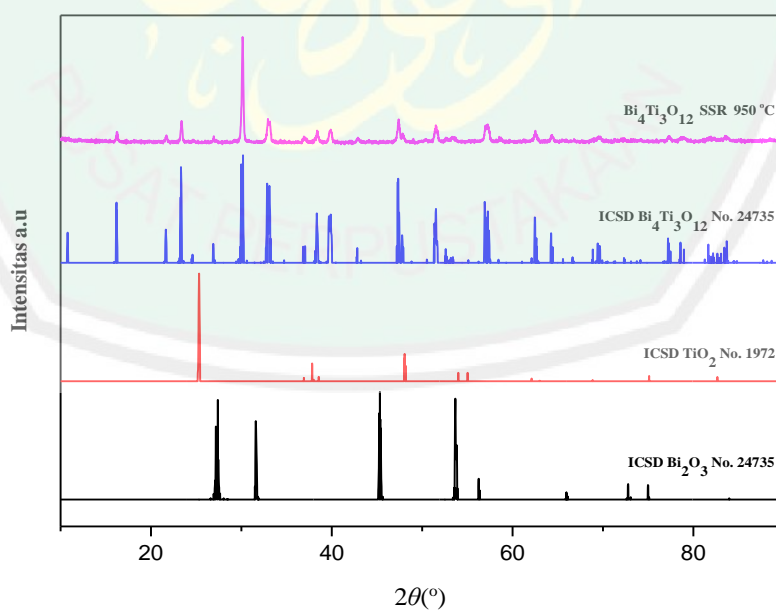


Gambar 4.1 Sintesis senyawa  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  saat: (a) penggerusan, (b) hasil sesudah kalsinasi

Kegiatan sintesis  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  dan  $\text{SrTiO}_3$  yang ditampilkan pada Gambar 4.1. Hasil yang diperoleh kemudian digerus kembali selama 2 jam dengan penambahan aseton secara berkala kemudian dikalsinasi selama 8 jam pada suhu 600 °C. Cara yang sama digunakan hingga pemanasan selanjutnya pada suhu 700, 800, 900, dan 950 °C. Serbuk  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  dan  $\text{SrTiO}_3$  yang dihasilkan berwarna putih. Pengamatan secara fisik dari hasil sintesis telah terjadi perubahan warna sampel dari warna kuning menjadi warna putih. Hal ini menunjukkan terjadinya reaksi kimia yang ditandai dengan adanya perubahan fasa.

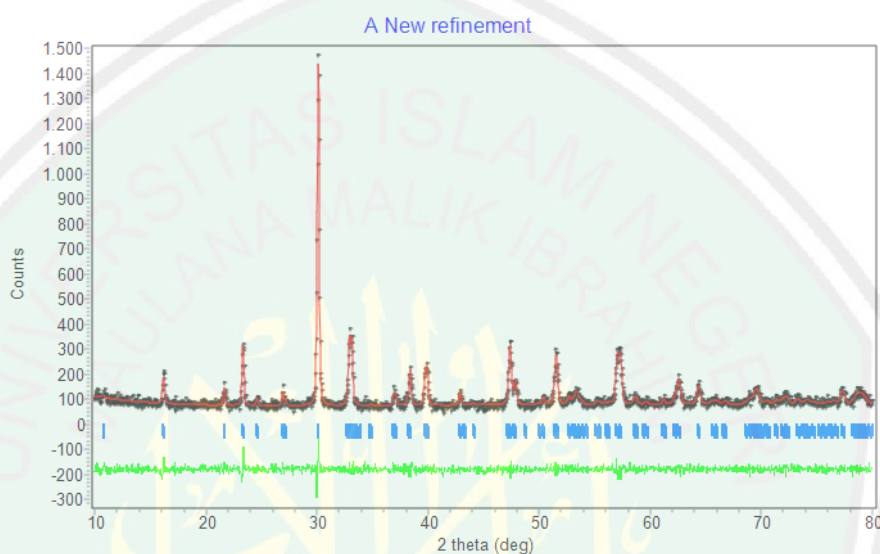
#### 4.2 Karakterisasi Hasil Sintesis Bismuth Titanat ( $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ) dan Stronsium Titanat ( $\text{SrTiO}_3$ ) menggunakan Teknik Difraksi Sinar-X (XRD)

Material  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  dan  $\text{SrTiO}_3$  hasil dari sintesis dikarakterisasi menggunakan XRD untuk mengetahui fasa dan struktur kristal yang terbentuk dalam sampel. Pola difraksi sinar-X  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  ditunjukkan pada Gambar 4.2. Data yang diperoleh kemudian dicocokkan dengan standar  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  yang terdapat dalam *International Crystallography Standar Data* (ICSD) No.24735. Berdasarkan hasil karakterisasi yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 dapat diketahui bahwa senyawa  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  telah terbentuk dan memiliki kesesuaian dengan standar  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  pada ICSD No. 24735 serta kemurnian yang tinggi karena tidak ditemukan adanya pengotor yang ditandai dengan tidak adanya puncak-puncak baru. Sisa-sisa prekursor juga tidak ditemukan yang ditandai dengan tidak adanya puncak-puncak difraksi dari  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  dan  $\text{TiO}_2$ .



Gambar 4.2 Pola difraksi sinar-X dari  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  menggunakan metode reaksi keadaan padatan

Data difraksi sinar-X  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  dianalisis dengan melakukan *refinement* dengan menggunakan program *Rietica* dan metode Le Bail. *Refinement* dilakukan dengan menggunakan data standar ICSD  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  No. 24735 dengan nilai  $a$  (Å) = 5,41 Å,  $b$  (Å) = 5,448 Å,  $c$  (Å) = 32,84 Å,  $Z = 4$ , volume sel = 967,92 Å<sup>3</sup> dan grup ruang *Fmmm*. Plot hasil *refinement* ditampilkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Plot hasil *refinement* material  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  menggunakan metode reaksi keadaan padatan

Pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa terdapat garis hitam, merah, hijau, dan biru pada hasil *refinement* tersebut. Garis titik hitam merupakan koordinat yang dapat membentuk puncak dalam difraktogram, garis merah tersebut merupakan puncak hasil dari perhitungan Rietica. Garis hitam dan merah saling tumpang tindih yang menunjukkan kesesuaian difraktogram hasil karakterisasi dengan perhitungan perangkat lunak. Kesesuaian yang dibentuk oleh kedua garis tersebut akan menghasilkan garis hijau yang cenderung rata. Sementara untuk garis hijau yang tidak teratur menandakan bahwa di sekitar  $2\theta$  tersebut terdapat kesesuaian yang rendah antara hasil karakterisasi dengan perhitungan perangkat

lunak, dan garis biru menunjukkan adanya puncak yang seharusnya ada di sekitar  $2\theta$  (Ladd dan Palmer, 2003).

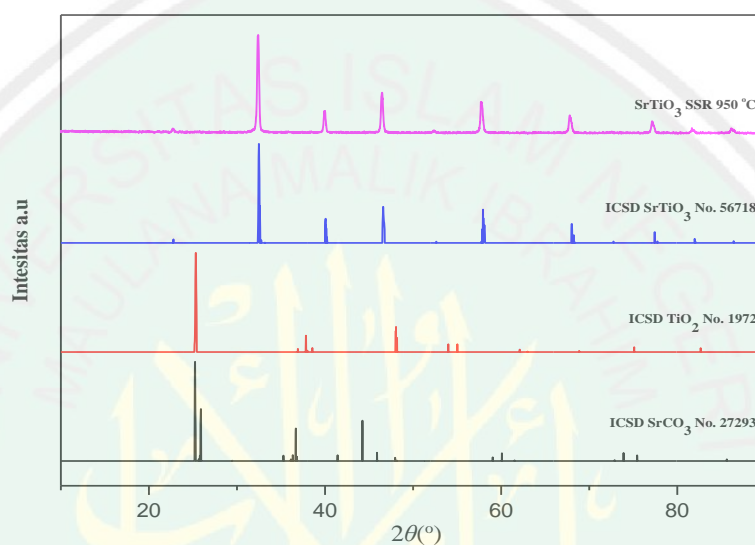
Data kristalografi hasil *refinement* dirangkum pada Tabel 4.1.  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  memiliki kecocokan yang sesuai dengan data standar  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  ICSD No. 24735, hal ini dapat dilihat dari nilai profil ( $R_p$  : 8,39%) dan nilai residu profil terbobot ( $R_{wp}$  : 10,80%). Raharjo (2011) melaporkan bahwa nilai kesesuaian parameter didapat jika  $R_p$  di bawah 10 dan nilai  $R_{wp}$  memiliki nilai kurang dari 20%.

Tabel 4.1 Data kristalografi  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  dari proses *refinement* dengan metode Le Bail

Parameter	$\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$
Sistem Kristal	Ortorombik
Grup Ruang	$F m m m$
Satuan Asimetrik (Z)	4
Panjang $a$ (Å)	5,4100
Panjang $b$ (Å)	5,4479
Panjang $c$ (Å)	32,8400
Volume Sel (Å <sup>3</sup> )	967,9155
$R_p$ (%)	8,39
$R_{wp}$ (%)	10,80
$GoF$ ( $\chi^2$ )	0,2153

Tabel 4.1 menjelaskan bahwa  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  yang disintesis menggunakan metode reaksi keadaan padatan yang dikalsinasi dengan suhu bertingkat pada penelitian ini memiliki grup ruang  $Fm\bar{m}m$  dengan kisi kristal ortorombik dan satuan asimetrik (Z) 4. Hal ini menunjukkan bahwa sintesis menggunakan metode reaksi keadaan padatan yang dikalsinasi dengan suhu bertingkat tidak berpengaruh terhadap struktur kristal dan grup ruang  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ . Nilai parameter kisi  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  juga tidak mengalami perubahan yang berarti. Hal ini mengindikasikan kecocokan  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  hasil sintesis dengan standar ICSD  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  No. 24735.

Data pola difraksi sinar-X juga dapat ditentukan *crystallite size* hasil sintesis. *Crystallite size* dapat ditentukan dari hasil lebar puncak pola difraksi sinar-X menggunakan persamaan Debye-Scherrer. Hasil *crystallite size*  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  adalah 76 nm. Perhitungan *crystallite size* menggunakan Debye-Scherrer ditampilkan pada lampiran 1.5.

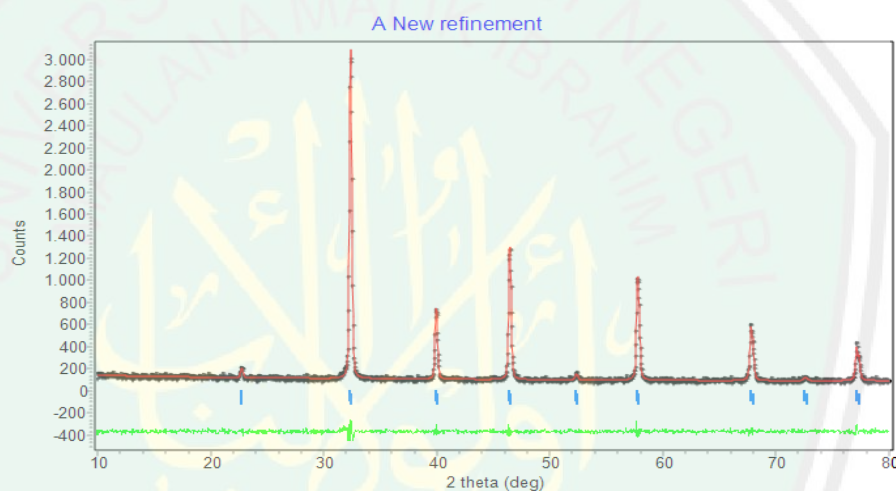


Gambar 4.4 Pola difraksi sinar-X dari  $\text{SrTiO}_3$  menggunakan metode reaksi keadaan padatan

Pola difraksi sinar-X  $\text{SrTiO}_3$  ditunjukkan pada Gambar 4.4. Data yang diperoleh kemudian dicocokkan dengan standar  $\text{SrTiO}_3$  yang terdapat dalam *International Crystallography Standar Data* (ICSD) No.56718. Berdasarkan hasil karakterisasi yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 dapat diketahui bahwa senyawa  $\text{SrTiO}_3$  telah terbentuk dan memiliki kesesuaian dengan standar  $\text{SrTiO}_3$  pada ICSD No. 56718 dan memiliki kemurnian yang tinggi karena tidak ditemukan adanya pengotor yang ditandai dengan tidak munculnya puncak-puncak baru. Zhao, dkk., (2015) melaporkan bahwa pada pemanasan dengan suhu 500-750 °C  $\text{SrCO}_3$  dan  $\text{TiO}_2$  telah terdekomposisi dan membentuk fasa tunggal  $\text{SrTiO}_3$ . Pada

penelitian ini dilakukan pemanasan hingga 950 °C agar fasa tunggal SrTiO<sub>3</sub> yang terbentuk semakin baik. Sisa-sisa prekursor juga tidak ditemukan yang ditandai dengan tidak adanya puncak-puncak difraksi dari SrCO<sub>3</sub> dan TiO<sub>2</sub>.

Data difraksi sinar-X SrTiO<sub>3</sub> dianalisis dengan melakukan *refinement* menggunakan program *Rietica* dan metode Le Bail. *Refinement* dilakukan dengan menggunakan data standar ICSD SrTiO<sub>3</sub> No. 56718 dengan nilai  $a$  (Å) = 5,507 Å,  $b$  (Å) = 5,507 Å,  $c$  (Å) = 7,7949 Å,  $Z = 4$ , volume sel = 201,0210 Å<sup>3</sup> dan grup ruang  $I4/mcm$ . Plot hasil *refinement* ditampilkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Plot hasil *refinement* material SrTiO<sub>3</sub> menggunakan metode reaksi keadaan padatan

Data kristalografi hasil *refinement* dirangkum pada Tabel 4.2. SrTiO<sub>3</sub> memiliki kecocokan yang sesuai dengan data standar ICSD SrTiO<sub>3</sub> No. 56718, hal ini dapat dilihat dari nilai profil ( $R_p$  : 7,71%) dan nilai residu profil terbobot ( $R_{wp}$  : 6,84%).

Tabel 4.2 Data kristalografi SrTiO<sub>3</sub> dari proses *refinement* dengan metode Le Bail

Parameter	SrTiO <sub>3</sub>
Sistem Kristal	Tetragonal
Grup Ruang	I 4/m c m
Satuan Asimetrik (Z)	4
Panjang <i>a</i> (Å)	5,22123
Panjang <i>b</i> (Å)	5,22123
Panjang <i>c</i> (Å)	7,38670
Volume Sel (Å <sup>3</sup> )	201,3712
<i>R<sub>p</sub></i> (%)	7,71
<i>R<sub>wp</sub></i> (%)	6,84
<i>GoF</i> (χ <sup>2</sup> )	0,2427

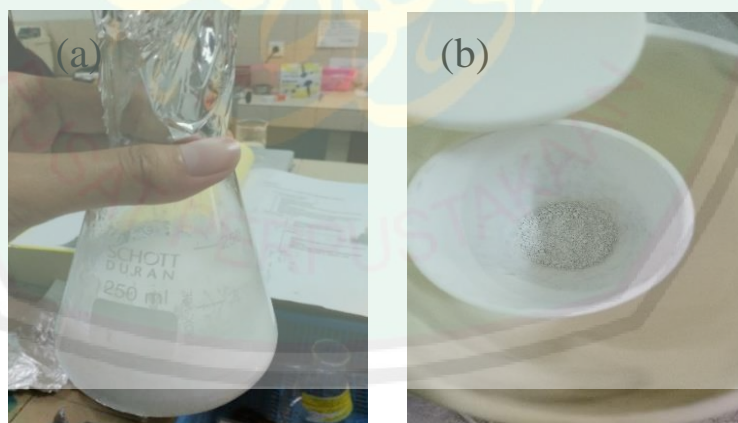
Tabel 4.2 menjelaskan bahwa SrTiO<sub>3</sub> yang disintesis menggunakan metode reaksi keadaan padatan yang dikalsinasi dengan suhu bertingkat, pada penelitian ini SrTiO<sub>3</sub> memiliki grup ruang I4/mcm dengan kisi Kristal tetragonal dan satuan asimetrik (Z) 4. Hal ini menunjukkan bahwa sintesis menggunakan metode reaksi keadaan padatan yang dikalsinasi dengan suhu bertingkat tidak berpengaruh terhadap struktur kristal dan grup ruang SrTiO<sub>3</sub>. Nilai parameter kisi *a*, *b*, dan *c* juga tidak mengalami perubahan yang berarti. Hal ini mengindikasikan kecocokan SrTiO<sub>3</sub> hasil sintesis dengan standar ICSD SrTiO<sub>3</sub> No. 56718.

Data pola difraksi sinar-X juga dapat ditentukan *crystallite size* hasil sintesis. *Crystallite size* dapat ditentukan dari hasil lebar puncak pola difraksi sinar-X menggunakan persamaan Debye-Scherrer. Hasil *crystallite size* SrTiO<sub>3</sub> adalah 68,32 nm. Perhitungan *crystallite size* menggunakan Debye-Scherrer ditampilkan pada lampiran 1.5.

#### 4.3 Sintesis Material *Heterojunction* Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub>/SrTiO<sub>3</sub> dengan Metode Sonokimia

Material Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub>/SrTiO<sub>3</sub> disintesis dengan metode sonokimia. Prekursor yang digunakan dalam sintesis ini adalah Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub>, SrTiO<sub>3</sub>, aquademin dan

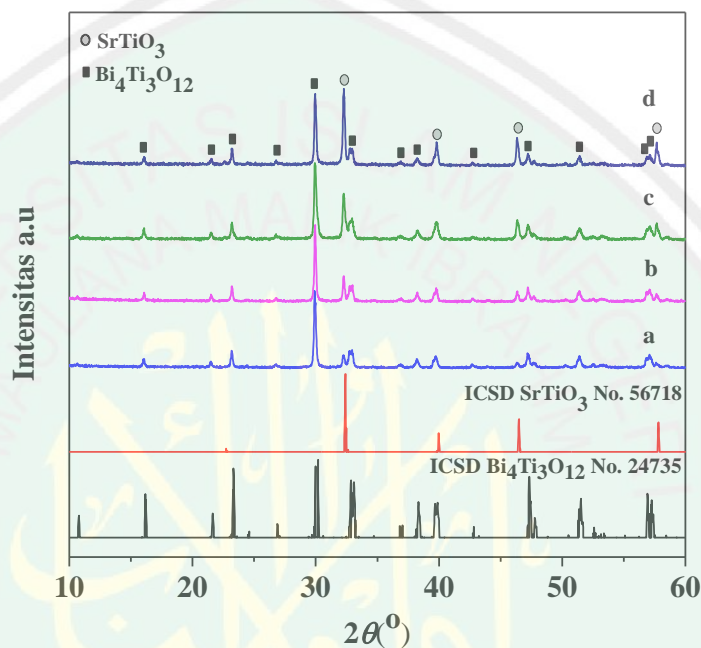
etanol. Semua prekursor dicampur yang kemudian dilakukan sonikasi selama 4 jam. Sintesis komposit dilakukan untuk menghasilkan material dengan ukuran yang seragam dan murni. Iradiasi gelombang ultrasonik umumnya dapat memberikan ukuran partikel yang lebih kecil akibat adanya proses kavitasi. Hasil yang diperoleh kemudian disaring, pada saat penyaringan material *heterojunction*  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (1/1) hingga (1/4) filtrat yang didapatkan berupa larutan bening sedangkan pada  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (1/6) filtrat yang dihasilkan berupa larutan agak keruh dan berwarna putih, hal ini dapat diindikasikan bahwa material  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  ada yang tidak ikut tersaring atau lolos penyaringan, hal ini dapat disebabkan karena banyaknya komposisi dari  $\text{SrTiO}_3$ , kemudian diuapkan di dalam oven dengan suhu  $105\text{ }^\circ\text{C}$  untuk menghilangkan sisa-sisa pelarut. Material *heterojunction* dikalsinasi pada suhu  $800\text{ }^\circ\text{C}$  selama 8 jam. Hasil kalsinasi ini berupa serbuk komposit  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  berwarna putih. Adapun proses sintesis  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  ditampilkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Sintesis senyawa  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  saat (a) sonikasi, (b) hasil sesudah kalsinasi

#### 4.4 Karakterisasi Hasil Sintesis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ Menggunakan Teknik Difraksi Sinar-X (XRD)

Hasil difraktogram material  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  ditampilkan pada Gambar 4.7. Identifikasi fasa dilakukan dengan membandingkan standar dari  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  (ICSD no. 24735) dan  $\text{SrTiO}_3$  (ICSD no. 56718).



Gambar 4.7 Pola XRD dari: (a)  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (1/1), (b)  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (1/2), (c)  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (1/4), dan (d)  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (1/6).

Berdasarkan dari perbandingan standar difraktogram  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  dan  $\text{SrTiO}_3$ , didapatkan hasil bahwa hasil sintesis terdiri atas  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  dan  $\text{SrTiO}_3$  yang tidak ditemukan adanya pengotor. Hal ini disebabkan karena adanya penggabungan antara sintesis material  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  dan  $\text{SrTiO}_3$  dengan menggunakan suhu yang relatif tinggi sebesar  $800\text{ }^\circ\text{C}$ . Dalam hal ini puncak tertinggi terletak pada  $2\theta$  ( $33^\circ$ ). Intensitas senyawa  $\text{SrTiO}_3$  tampak semakin tinggi hal ini disebabkan karena dengan semakin bertambahnya komposisi  $\text{SrTiO}_3$  dalam komposit.

Tabel 4.3 Hasil perhitungan ukuran kristal material *heterojunction* hasil sintesis

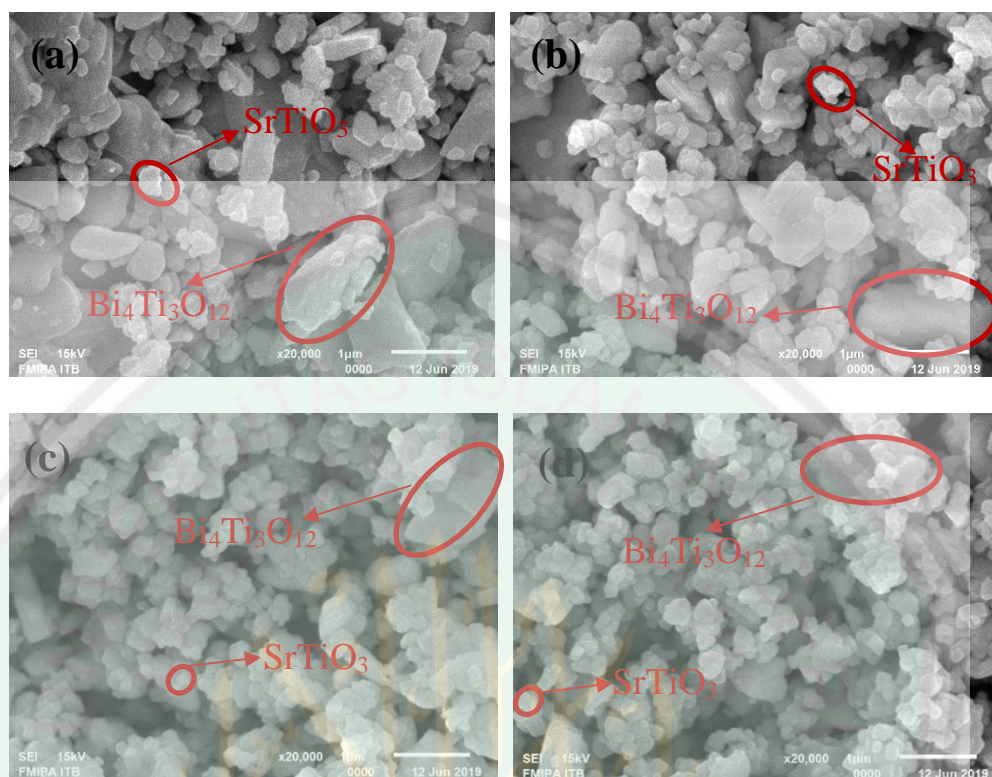
Material		Crystallite Size (nm)
$\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$		76
$\text{SrTiO}_3$		68,3
$\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ 1/1	$\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$	84,677
	$\text{SrTiO}_3$	51,075
$\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ 1/2	$\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$	113,09
	$\text{SrTiO}_3$	88,116
$\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ 1/4	$\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$	84,386
	$\text{SrTiO}_3$	64,63
$\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ 1/6	$\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$	72,02
	$\text{SrTiO}_3$	93,12

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa *crystallite size* yang diperoleh dari hasil perhitungan Debye-Scherrer menunjukkan bahwa material *Heterojunction* memiliki ukuran kristal di bawah 100 nm. Iradiasi gelombang ultrasonik umumnya menyebabkan ukuran partikel  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  yang lebih kecil karena adanya proses kavitasi yang terjadi.

#### 4.5. Karakterisasi Hasil Sintesis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Gambar SEM material *heterojunction*  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  yang berhasil disintesis pada penelitian ini ditampilkan pada Gambar 4.8 mempunyai dua bentuk partikel yang khas yaitu partikel *irregular spherichal* menunjukkan bentuk dari  $\text{SrTiO}_3$ , sedangkan partikel *plate-like* menunjukkan bentuk dari  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ . Zhao, dkk., (2015) melaporkan bahwa material *heterojunction*  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  yang disintesis menggunakan metode hidrotermal dengan variasi waktu telah berhasil disintesis dan mempunyai morfologi *plate-like shape* untuk  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  dan *spherical* untuk  $\text{SrTiO}_3$ . Gao, dkk., (2018) melaporkan

bahwa material  $\text{SrTiO}_3$  berhasil disintesis dengan menggunakan metode hidrotermal dengan morfologi berupa *polygonal-shape*.



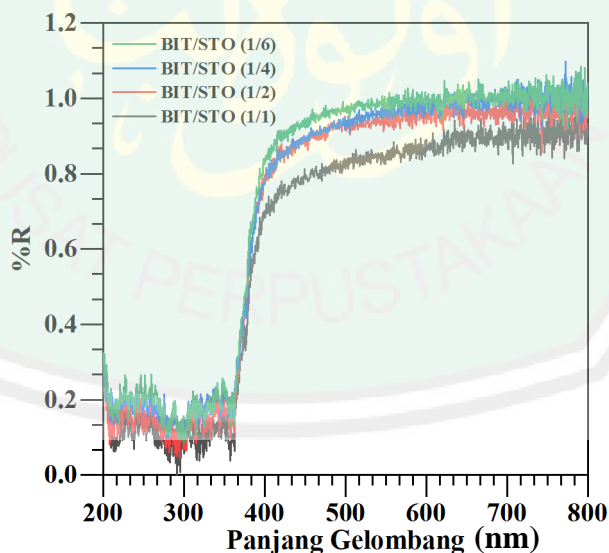
Gambar 4.8 Karakterisasi SEM (a)  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (1/1), (b)  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (1/2), (c)  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (1/4), (d)  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (1/6) pada perbesaran 7.000x

Gambar morfologi partikel dari masing-masing variasi di analisis lebih lanjut dengan menggunakan *software* Image-J untuk mendapatkan informasi ukuran partikel. Distribusi ukuran partikel dianalisis dengan *software* Image-J yang di tampilkan pada Lampiran 6. Hasil analisis tersebut dirangkum pada Tabel 4.4. Dari hasil pengukuran tersebut dapat diketahui bahwa partikel memiliki ukuran pada rentang antara 500-1000 nm. Pada sampel  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (1/1) memiliki ukuran yang lebih besar daripada yang lain hal ini disebabkan karena partikel  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  lebih banyak daripada  $\text{SrTiO}_3$  pada variasi molar yang lain, karena  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  memiliki bentuk *plate-like*. Dan pada material  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$

(1/6) tampak ukuran partikel yang paling kecil hal ini disebabkan karena adanya pengaruh penambahan jumlah molar  $\text{SrTiO}_3$  Hasil analisis dengan *software* Image-J dirangkum pada Tabel 4.4.

Material	Bentuk Partikel	Ukuran Partikel Rata-rata (nm)
$\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ 1/1	<i>plate-like/spherical</i>	1070
$\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ 1/2	<i>plate-like/spherical</i>	1457
$\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ 1/4	<i>plate-like/spherical</i>	715
$\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ 1/6	<i>Spherical</i>	548

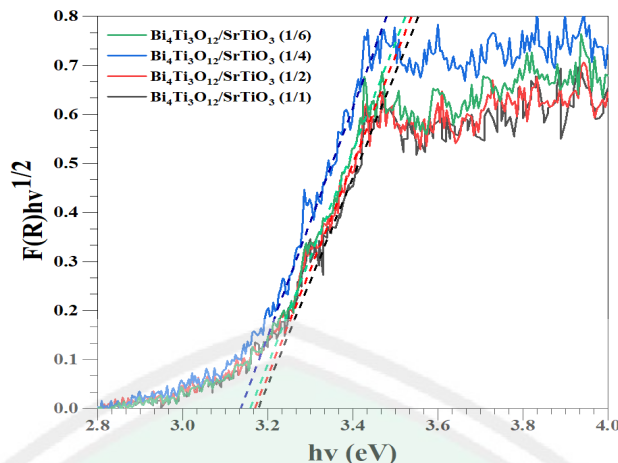
#### 4.6 Karakterisasi Hasil Sintesis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ Menggunakan *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (DRS)



Gambar 4.9 Spektra DRS hubungan %R dengan panjang gelombang  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$

Gambar 4.9 menunjukkan material  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  dengan empat variasi perbandingan mol tersebut tidak terdapat perubahan yang berarti terhadap nilai reflektansinya. Nilai reflektansi terdapat perubahan pada daerah serapan sinar tampak di daerah pengukuran 360-800 nm. Pada material  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  dengan perbandingan mol 1/6 memiliki nilai reflektansi yang sangat tinggi pada daerah UV dengan rentang 200-400 nm, sedangkan pada material  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  dengan perbandingan mol 1/1 memiliki nilai reflektansi yang sangat rendah. Hal ini menunjukkan bahwa sinar yang dipantulkan oleh material tersebut sangat sedikit, dapat juga dikatakan jika nilai reflektansi yang diperoleh rendah pada daerah UV menunjukkan bahwa penyerapan sinar yang didapatkan sangat tinggi pada daerah tersebut. Spektra DRS sampel material *heterojunction* ditampilkan pada gambar 4.9 hasil dari spektra DRS dari masing-masing sampel dengan variasi perbandingan mol antara material  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  diukur terhadap nilai reflektansinya.

Dari data hasil reflektansi dilakukan analisa lebih lanjut dengan menggunakan teori pendekatan Kubelka-Munk. Didapatkan nilai energi celah pita dari perhitungan data persen reflektansi DRS dengan persamaan Kubelka-Munk dalam persamaan 3.2. dari hasil perhitungan didapatkan hubungan antara  $(FR*hv)^{1/2}$  dengan energi celah pita ( $hv$ ) yang ditampilkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Spektra DRS hubungan antara  $(FR*hv)^{1/2}$  dengan energi celah pita ( $hv$ )  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$

Tabel 4.5 Nilai energi celah pita dan nilai serapan panjang gelombang material  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  setelah proses sonikasi

Material	Energi celah pita (eV)	Panjang gelombang (nm)
$\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ *	2,95	420,61
$\text{SrTiO}_3$ **	3,25	381,79
$\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ (1/1)	3,178	390,44
$\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ (1/2)	3,170	391,43
$\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ (1/4)	3,137	395,54
$\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ (1/6)	3,160	392,67

\* Yao, dkk (2003)

\*\* Benthem, dkk (2001)

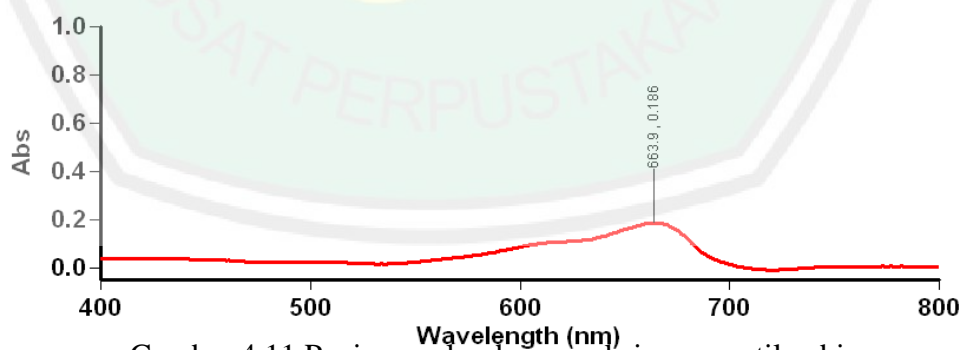
Dari hasil *band gap* yang dirangkum pada Tabel 4.3 dapat diketahui bahwa nilai *band gap* senyawa *heterojunction* berada di rentang nilai *band gap* antara  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  dan  $\text{SrTiO}_3$ . Hal ini menandakan bahwa sifat serapan cahaya pada senyawa *heterojunction* merupakan campuran dari sifat serapan cahaya milik  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  dan  $\text{SrTiO}_3$ . Rafael, dkk. (2017) melaporkan bahwa senyawa *heterojunction*  $\text{SrTiO}_3$  dan  $\text{TiO}_2$  memiliki nilai *band gap* yang lebih rendah dari nilai *band gap*  $\text{SrTiO}_3$ , hal ini disebabkan karena kedua sampel *heterojunction* menunjukkan energi celah pita lebih rendah dari masing-masing material yang dipisahkan, yang dikaitkan dengan adanya keteraturan susunan struktural pada material yang disebabkan oleh cacat pada antarmuka.

Energi *band gap* yang semakin kecil berpotensi untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitik, karena dibutuhkan energi yang lebih kecil agar elektron dapat mengalami eksitasi dan menghasilkan *hole*. Berdasarkan karakter serapan sinar dan energi celah pita, menunjukkan bahwa  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  yang bekerja di daerah UV memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai material fotokatalis. Hasil uji aktivitas fotokatalis akan dijelaskan lebih lanjut pada sub bab 4.7.

#### 4.7 Uji Aktivitas Fotokatalitik $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ Menggunakan Metilen Biru

##### 4.7.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Metilen Biru

Sebelum dilakukan proses degradasi metilen biru, perlu dilakukan pengukuran panjang gelombang maksimum pada metilen biru. Tujuan dari perlakuan ini adalah untuk menentukan panjang gelombang maksimum dan mengetahui absorbansi maksimum metilen biru pada panjang gelombang yang dihasilkan. Hasil pengukuran dari spektrofotometer UV-Vis dapat dilihat pada Gambar 4.11 dengan hasil sebesar 663,9 nm. Dalam hal ini hasil pengukuran panjang gelombang maksimum akan digunakan pada perlakuan selanjutnya.

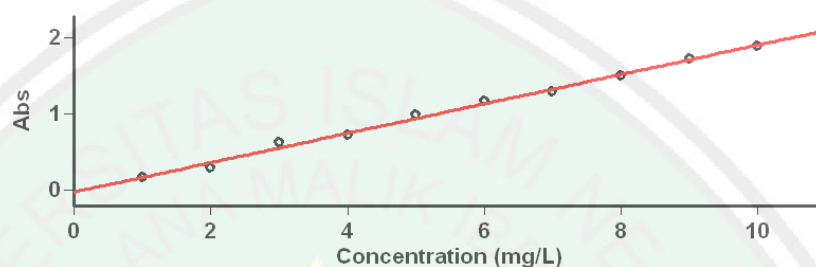


Gambar 4.11 Panjang gelombang maksimum metilen biru

##### 4.7.2 Pembuatan Kurva Standar Metilen Biru

Pembuatan kurva standar perlu dilakukan untuk mengetahui konsentrasi terukur metilen biru. Pembuatan kurva standar metilen biru dilakukan pada

konsentrasi 1-10 ppm pada panjang gelombang 663,9 nm, kemudian dibuat kurva hubungan antara konsentrasi (sumbu X) dan absorbansi (sumbu Y). Hasil pembuatan kurva standar ditampilkan pada Gambar 4.12.



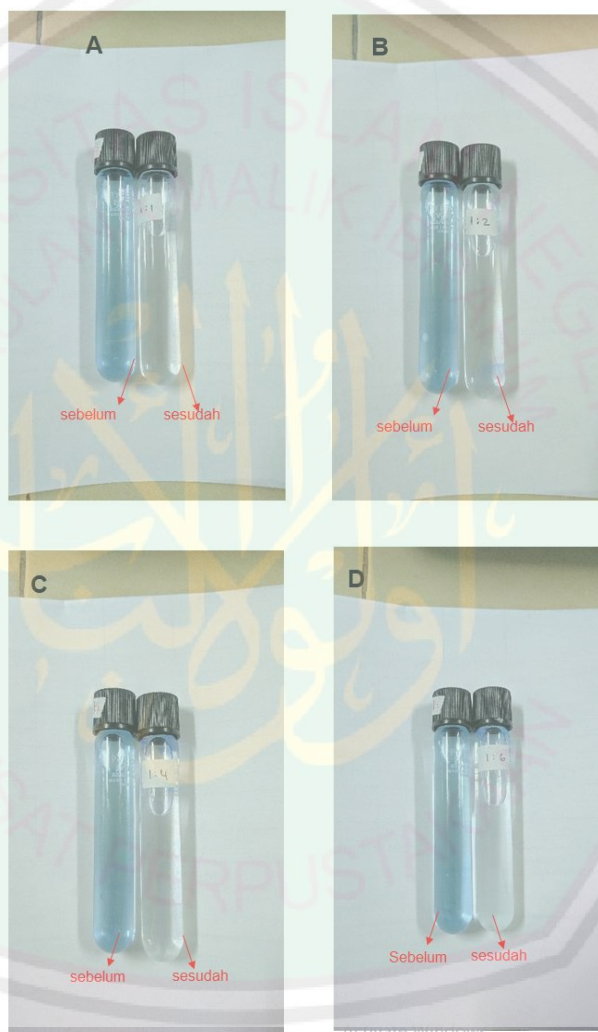
Gambar 4.12 Hasil Pembuatan kurva standar

Dari Gambar 4.12 tersebut hasil konsentrasi yang diperoleh sesuai dengan hukum Lambert-Beer. Hukum ini menyatakan bahwa semakin tinggi nilai absorbansi yang dihasilkan maka berbanding lurus dengan konsentrasi dalam larutan. Dalam analisa ini didapatkan hasil koefisien koreksi ( $R$ ) sebesar 0,9974 hal tersebut menunjukkan kelinieran antara konsentrasi dan absorbansi. Sehingga dalam menentukan nilai konsentrasi pada metilen biru dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang diperoleh, yakni  $y = 0,1933x - 0,0284$ , dimana nilai  $y$  adalah nilai absorbansi yang diketahui dari spektroskopi UV-Vis dan nilai  $x$  adalah konsentrasi metilen biru.

#### 4.7.3 Pengujian Aktivitas Fotokatalis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ terhadap Metilen Biru

Uji degradasi metilen biru terhadap material fotokatalis  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  dilakukan dengan menggunakan bantuan sinar UV *blacklight* 365 nm selama 30 menit. Hasil uji selanjutnya dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis

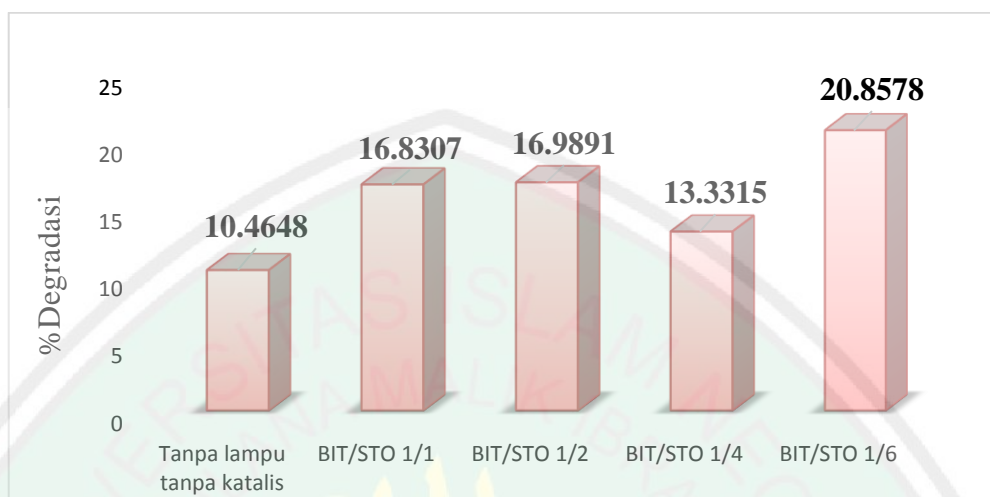
dengan panjang gelombang 663,9 nm. Konsentrasi metilen biru yang digunakan adalah 10 ppm dengan berat katalis yang ditambahkan sebesar 0,1 gram. Hasil fotodegradasi metilen biru dengan material fotokatalis  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Metilen Biru sebelum dan sesudah degradasi dengan fotokatalis *Heterojunction*: (a)  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (1/1), (b)  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (1/2), (c)  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (1/4), (d)  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (1/6)

Gambar 4.12 menunjukkan adanya perubahan warna sebelum dan sesudah disinari lampu UV yang berarti adanya aktivitas degradasi zat warna oleh material

*Heterojunction*. Kemudian konsentrasi metilen biru yang terdegradasi diukur menggunakan spektrometer UV-Vis pada  $\lambda_{\text{maks}}$  663,9 nm.

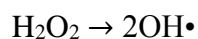
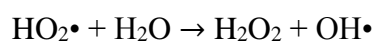
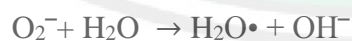
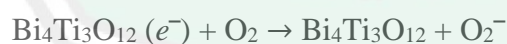
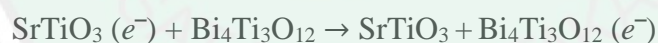
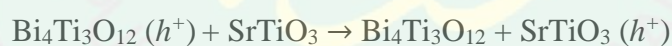
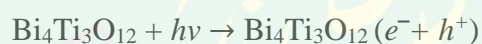
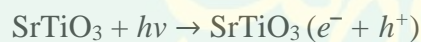


Gambar 4.13 Hasil uji aktivitas material fotokatalis  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  terhadap metilen biru. (BIT =  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ , STO =  $\text{SrTiO}_3$ )

Berdasarkan Gambar 4.13. dapat diketahui bahwa persen degradasi metilen biru tanpa katalis dan tanpa lampu UV masih di bawah % degradasi yang dimiliki oleh  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  1/4. Pencampuran material *heterojunction*  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  dengan komposisi (1/6) mampu menurunkan konsentrasi metilen biru hingga 20,8578%, berdasarkan data SEM dimungkinkan karena semakin banyaknya luas permukaan yang ada pada material *heterojunction*  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  1/6 yang dapat menyebabkan aktivitas fotokatalisnya dalam mendegradasi metilen biru semakin baik. Berdasarkan data hasil difraksi sinar-X dimungkinkan karena semakin tinggi intensitas puncak  $\text{SrTiO}_3$  pada  $2\theta$  ( $33^\circ$ ) yang dimiliki oleh material *heterojunction*  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  1/6 sehingga dapat meningkatkan aktivitas fotokatalisnya. Berdasarkan data UV-Vis DRS dimungkinkan karena adanya penurunan energi *band gap* dari material

*heterojunction*  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ . Hal ini berhubungan dengan fungsi struktur *heterojunction* yang mampu mempengaruhi laju rekombinan  $e^-$  dan *hole*. Material *heterojunction*  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  dengan komposisi (1/4) memiliki % degradasi paling kecil yaitu sebesar 13,3315%, hal ini dimungkinkan karena energi *band gap* yang dimiliki material  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  1/4 yang paling kecil, sehingga diduga bahwa rekombinan yang terjadi lebih cepat daripada laju rekombinan material *heterojunction* yang lain.

*Hole* merupakan oksidator yang kuat, sedangkan elektron merupakan reduktor yang baik. Sebagian besar dari reaksi fotodegradasi senyawa organik menggunakan kekuatan *hole* untuk mengoksidasi baik secara langsung maupun tidak langsung, oleh karena itu untuk mempertahankan efektifitas reaksi degradasi, maka laju rekombinasi elektron dan *hole* harus diminimalisir (Hoffman, dkk., 1995). Mekanisme reaksi fotokatalis ditampilkan pada persamaan 4.3 :



## BAB V

### KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa material fotokatalis  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  dengan perbandingan mol (1/1, 1/2, 1/4, dan 1/6) berhasil disintesis menggunakan metode sonikasi. Morfologi yang terbentuk adalah *irregular spherical* untuk senyawa  $\text{SrTiO}_3$ , dan *plate-like* untuk senyawa  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ . Berdasarkan data UV-Vis DRS menunjukkan bahwa  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (1/4) merupakan nilai serapan yang besar pada daerah *visible* dengan nilai energi celah pita paling kecil yaitu sebesar 3,137 eV dengan panjang gelombang 395,54 nm. Berdasarkan data uji aktivitas menunjukkan  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (1/6) memiliki % degradasi paling besar yaitu 21,2165%.

#### 5.2 Saran

Perlu dilakukan uji fotokatalitik dengan menurunkan konsentrasi metilen biru dan menaikkan jumlah kadar katalis agar aktivitas fotokatalitiknya mendapatkan hasil yang maksimal. Dan juga perlu dilakukan pengukuran spektroskopi fotoluminesensi untuk mengetahui intensitas kenaikan atau penurunan intensitas laju rekombinan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah. 1994. *Tafsir Ibnu Katsir Jilid 1 dan 5*. Terjemahan M. Abdul Ghoffar, Abdurrohman Mu'thi, Abu Ihsan Al-Atsari. Bogor: Pustaka Imam Syafi'i.
- Andayani, W. 2001. *Degradasi Pentalarofenol dalam Air secara Fotokatalitik dengan TiO<sub>2</sub> yang Diimobilisasikan pada Logam Titanium: Evolusi Senyawa Intermediet*, tesis magister ilmu kimia, program pasca sarjana FMIPA UI.
- Bashar. 2010. A study of photoelectrical characteristic of (CdS/CdTe) heterojunction. *Al rafidan engineering* (19): 12.
- Benthem, K. Van., Elsasser, C., French, F. H. 2001. Bulk Electronic Structure of SrTiO<sub>3</sub> : Experiment and Theory. *Journal of applied physics* (90) : 6156
- Bhalla, A. S., Guo, R., Roy, R. 2004. The Perovskite Structure-a Reviewer of its Role in Ceramic Science and Technology. *Material Research. Innovation* (4): 3-26.
- Bonaccorso, F., Colombo, L., Yu, G.H., Stoller, M., Tozzini, V., Ferrari, A.C., Ruoff, R.S., Pellegrini, V., 2015. Graphene Related Two-dimensional Crystals, and Hybrid systems for Energy Conversion and Storage, *Science* 347.
- Cao, M.H., Wang, P.H., Ao, Y.H., Wang, C., Hou, J., Qian, J. 2015. Investigation on Graphene and Pt Co-modified CdS Nanowires with Enhanced Photocatalytic Hydrogen Evolution Activity Under Visible Light Irradiation, *Dalton Transactions* (44): 16372–16382.
- Carneiro, P.A., Osugi, M. E., Sene, J.J., Anderson, Marc. A., dan Zanoni, Maria. V. B. 2004. Evaluation of Color Removal and Degradation of a Reactive Textile Azo dye on Nanoporous TiO<sub>2</sub> Thin-film Electrodes. *Electrochimica Acta*, 49 (22): 3807-3820.
- Cardona, M. 1965. Optical Properties and Band Structure of SrTiO<sub>3</sub> and BaTiO<sub>3</sub>. *Physical Review* (140): 651.
- Chakrabarti, S., dan Dutta, B. K., 2004. Photocatalytic Degradation of Model Textile Dyes in Wastewater using ZnO as Semiconductor Catalyst. *Journal of Hazardous Materials*, 112(3): 269-278
- Chang, C.H., Shen, Y.H. 2006. Synthesis and Characterization of Chromium Doped SrTiO<sub>3</sub> Photocatalyst, *Materials Letters* (60): 129 – 132.
- Chang, H. T., Wu, N., Zhu, F. 2000. A Kinetic Model for Photocatalytic Degradation of Organic Contaminant in a Thin-film TiO<sub>2</sub> Catalyst. *Water Res* (40): 143-157.

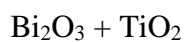
- Choi, H. J. & Kang, M. 2007. Hydrogen production from methanol/water decomposition in a liquid photosystem using the anatase structure of Cu loaded TiO<sub>2</sub>. *International Journal of Hydrogen Energy*, 32(16): 3841-3848.
- Colmenares, J.C., Luque, R., 2014. Heterogeneous Photocatalytic Nanomaterials : Prospects and Challenges in Selective Transformations of Biomass-derived Compounds, *Chemistry Society Review* (43): 765–778.
- Djarwanti, Cholid S dan Yuniati, Aniek. 2009. Degradasi Fotokatalitik Polutan Organik dalam Air Limbah Menggunakan TiO<sub>2</sub> Nano Partikel Sistem. Lapisan Tipis-alir. *Jurnal Riset Industri* (3): 109-117. Semarang : Balai besar teknologi pencegahan pencemaran industri.
- Domen, K., Kudo, A., Onishi, T., Kosugi, N., Kuroda, H. 1986. Photocatalytic Decomposition of Water into Hydrogen and Oxygen Over Nickel (III) Oxide-Strontium Titanate (SrTiO<sub>3</sub>) Powder.1. Structure of the Catalysts. *Journal Physical Chemistry* (90): 292.
- Effendy. 2008 : *Ikatan Ionik dan Cacat-cacat pada Kristal Ionik*, Bayumedia. Publishing, Malang (2): 28 – 29.
- Evans, J. E., Springer, K. W., Zhang, J. H. J. 1994. Femtosecond Studies of Interparticle Electron Transfer in a Coupled CdS-TiO<sub>2</sub> Colloidal System. *Chemical Physics* (101): 6222.
- Fujishima, A., Honda, K., 1972. Electrochemical Photolysis of Water at a Semiconductor Electrode. *Nature* (238): 37-8.
- Gao, Huajing., Yang, Hua., Wang, Shifa. 2018. Hydrothermal Synthesis, Growth Mechanism, Optical Properties and Photocatalytic Activity of Cubic SrTiO<sub>3</sub> Particles for Degradation of Cationic and Anionic Dyes. *Optic*.
- Gedanken. 2011. *Sonochemical Coating of Textiles with Metal Oxide Nanoparticles for Antimicrobial Fabrics*. United states patent application publication.
- Goncalves, A., Resende, J., Maarques, A.C., Pinto, J.V., Nunes, D., Mane, A., Goncalves, R., Pereira, L., Martins, R., Fortunato, E. 2016. Smart Optically Active, VO<sub>2</sub> Nanostructured Layers Applied in Roof-Type Ceramic Tiles for Energy Efficiency. *Solid Energy Materials Solid Cells* (150) : 1-9.
- Hashimoto, K., Irie, H., Fujishima, A., 2005. TiO<sub>2</sub> Photocatalysis: A Historical Overview and Future Prospects, *Japanese Journal of Applied Physics* (44): 8269-8285.
- Hermann, J.M. 1999. *Environmental Catalysis : Water Treatment by Heterogenous Photocatalys*. Singapore: imperial college press:

- Hoffman, M. R., Martin, S. T., Choi, W., Bahnemann, D. W. 1995. Environmental Application of Semiconductor Photocatalysis, *Chemistry Review* (95): 735-758.
- Ismunandar, 2006. *Padatan Oksida Logam : Struktur, Sintesis, dan Sifat-sifatnya*. ITB, Bandung
- Kuang, Q., Yang, S.H., 2013. Template Synthesis of Single-Crystal-like Porous SrTiO<sub>3</sub> Nanocube Assemblies and Their Enhanced Photocatalytic Hydrogen Evolution, *ACS Application Mater Interfaces* (5): 3683–3690.
- Kurniawan, Cepi. 2009. *Pengenalan Analisis Kristal XRD dan SEM*. Kimia. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Semarang : UNNES
- Linsebigler, A. L., L. Guangquan, J. T. Yates, 1995, Photocatalysis on TiO<sub>2</sub> Surfaces: Principles, Mechanism and Selected Result, *Chemistry Review* (95): 735-758
- Marshall, M.S.J., Newell, D.T., Payne, D.J., Egdell, R.G., Castell. M.R., 2011. Atomic and Electronic Surface Structure of dopants in Oxides: STM and XPS of Nb- and La- doped SrTiO<sub>3</sub> (001). *Physical Review*. (83): 035410.
- Nakahira, A., Nakamura, S., Horimoto, M. 2007. Synthesis of Modified Hydroxypatite (HAP) Substituted with Fe Ion for DDS Application. *Transaction on Magneic* 43 (6) : 2465-2467.
- Ramana, E.V., Zarasnik, Janez., Graca, M.P.F. 2016. Magnetoelectric Studies on CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/0,5(BaTi<sub>0,8</sub>Zr<sub>0,2</sub>O<sub>3</sub>)-0,5(Ba<sub>0,7</sub>Ca<sub>0,3</sub>TiO<sub>3</sub>) Lead-Free Bilayer Thin Films Derived by Chemical Solution Deposition. *Journal of Applied Physics* 120 (7) : 074108.
- Ran, J.R., Zhang, J., Yu, J.G., Qiao, S.Z. 2014. Enhanced visible-light photocatalytic H<sub>2</sub>production by ZnxCd1-xS modified with earth-abundant nickel-basedcocatalysts, *ChemSusChem* (7): 3426–3434.
- Slamet, R. F. Raisuli, D. Tristantini. (2009). *Disinfeksi Bakteri E-coli Secara Fotokatalitik dengan Katalis Komposit Tio<sub>2</sub>-karbon Aktif Berpenyangga Batu Apung*. Depok : departemen teknik kimia universitas indonesia
- Suslick, S Kenneth. 1999. Application of Ultrasound to Materials Chemistry Annual Reviews. *Science* (29): 295-326.
- Szot, K., Speier, W., Bihlmayer, G., Waser, R. 2006. Switching the Electrical Resistance of Individual dislocation in Single Crystalline SrTiO<sub>3</sub>. *Nat Mater* (4): 312.

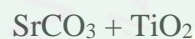
- Warusawithana, M.P., Cen, C., Sleasman, C.R., Woicik, J.C., Li, Y.L., Kourkoutis, K.L., Klug, J.A., Li, H., Ryan, P., Wang, L.P., Bedzyk, M., Muller, D.A., Chen, Q.L., Levy, J., Schlom, D.G. 2009. *Science* (324): 367.
- Wen, Xiao-Ju., Niu, Cheng-Gang., Zhang, Lei., Liang, Chao., Zeng, Guang-Ming. 2017. *An in depth mechanism insight of the degradation of multiple refractory pollutants via a novel SrTiO<sub>3</sub>/BiOI heterojunction photocatalysts*. College of Environmental Science Engineering, Key Laboratory of Environmental Biology Pollution Control, Ministry of Education, Hunan University, Changsha 410082, China.
- West, A.R., 1999. *Basic Solid State Chemistry 2nd edition*, John Wiley & Sons, England (56).
- Yao, Wei F., Wang, Hong., Xu, Xiao H., Shang, Shux., Hou, Yun., Zhang, Yin., Wang, Min. 2003. Synthesis and Photocatalytic Property of Bismuth Titanate Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub>. *Materials letters* (57) : 1899-1902.
- Yuan, J.L., Wen, J.Q., Gao, Q.Z., Chen, S.C., Li, J.M., Li, X., Fang, Y.P. 2015. Amorphous Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Modified CdS Nanorods with Enhanced Visible-light Photocatalytic H<sub>2</sub> Production Activity, *Dalton Transactions* (44): 1680–1689.
- Zhang, Junhao., Huang, Man., Yanagisawa, kazumichi., Yao, Shanshan. (2015). NaCl-H<sub>2</sub>O-Assisted Preparation of SrTiO<sub>3</sub> Nanoparticles Solid State Reaction at Low Temperature. *Ceramics international* 41 (4) : 5439-5444.
- Zhao, Wei., Wang, Hongxing., Feng, Xiangning., Jiang, Wangyang., Zhao, Dan., Li, Jiyuan. 2015. *Materials Research Bulletin* (70) : 179-183.
- Zou, X.X., Zhang, Y. 2015, Noble metal-free hydrogen evolution catalysts for watersplitting, *Chemistry Social Review* (44): 5148–5149.

## LAMPIRAN

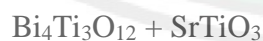
## Lampiran 1. Diagram Alir

L.1.1 Sintesis  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ 

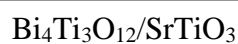
- Ditambahkan  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  sebanyak 3,16 g
- Ditambahkan  $\text{TiO}_2$  sebanyak 0,81 g
- Campuran digerus selama 2 jam
- Dikalsinasi pada suhu  $500^\circ\text{C}$  selama 8 jam
- Diambil sampel dan digerus selama 2 jam
- Dipanaskan lagi pada suhu  $600, 700, 800, 900, 1000^\circ\text{C}$  selama 8 jam secara bertahap

L.1.2 Sintesis  $\text{SrTiO}_3$ 

- Ditambahkan  $\text{SrCO}_3$  sebanyak 3,21 g
- Ditambahkan  $\text{TiO}_2$  sebanyak 1,74 g
- Digerus campuran selama 2 jam
- Dikalsinasi pada suhu  $500^\circ\text{C}$  selama 8 jam
- Diambil sampel dan digerus selama 2 jam
- Dipanaskan lagi pada suhu  $600, 700, 800, 900$  dan  $950^\circ\text{C}$  selama 8 jam secara bertahap

L.1.3 Pembentukan Komposit *Heterojunction*  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  dengan perbandingan 1/1, 1/2, 1/4, 1/6.

- Disintesis campuran komposit dengan perbandingan mol  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  1/1, 1/2, 1/4, dan 1/6
- Ditambah 20 mL akuades
- Ditambah 40 mL etanol
- Disonikasi selama 2 jam
- Disaring dan diuapkan komposit dengan suhu  $105^\circ\text{C}$
- Dikalsinasi pada suhu  $800^\circ\text{C}$



### L.1.4 Uji Aktivitas Fotokatalitik

#### a. Pembuatan Larutan Induk Metilen Biru 100 ppm

0,01 g Metilen biru

- Dilarutkan dengan aquades dalam labu ukur 100 ml
- Disimpan dalam keadaan gelap

Larutan Induk Metilen biru 100 ppm

#### b. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Metiilen Biru

10 mL Metilen biru 10 ppm

- Diukur serapannya pada panjang gelombang 400-700 nm dengan spektrofotometer UV-Vis

Absorbansi

#### c. Pembentukan Kurva Standar Spektroskopi UV-Vis

10 mL Metilen biru konsentrasi 1,2,3,4,5,6,7,8,9,dan 10

- Diukur absorbansinya dengan spektroskopi UV-Vis pada panjang gelombang maksimum

Absorbansi

#### d. Pengujian Aktivitas Fotokatalis pada Metilen Biru dengan Reaktor Fotokatalitik

10 mL Metilen biru 10 ppm + 0,1 g serbuk Katalis

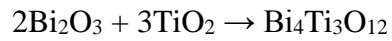
- Dimasukkan ke dalam *beaker glass* 250 mL
- Dimasukkan dalam reaktor fotokatalis selama 90 menit
- Distirring selama 60 menit
- Dilakukan penyinaran selama 30 menit
- Disentrifuge selama 3 menit
- Dilakukan pnegukuran menggunakan UV-Vis
- Dilakukan pengulangan pembacaan sebanyak 3 kali

Hasil

## Lampiran 2. Perhitungan

### L.2.1 Sintesis Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub>

Reaksi yang terjadi pada sintesis Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub> adalah :



Target massa produk adalah 4 g

- Mol Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub>

Diketahui

$$\text{Mr Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12} = 1171,54 \text{ g/mol}$$

$$\text{Massa target} = 4 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \text{mol Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12} &= \frac{\text{massa Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}}{\text{Mr Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}} \\ &= \frac{4 \text{ g}}{1171,54 \text{ g/mol}} \\ &= 3,41 \times 10^{-3} \text{ mol} \end{aligned}$$

- mol Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Diketahui

$$\text{mol Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12} = 3,41 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{mol Bi}_2\text{O}_3 &= \frac{2}{1} x \text{ mol Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12} \\ &= \frac{2}{1} x 3,41 \times 10^{-3} \text{ mol} \\ &= 6,82 \times 10^{-3} \text{ mol} \end{aligned}$$

- mol TiO<sub>2</sub>

Diketahui

$$\text{mol Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12} = 3,41 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{mol TiO}_2 &= \frac{3}{1} x \text{ mol Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12} \\ &= \frac{3}{1} x 3,41 \times 10^{-3} \text{ mol} \\ &= 10,23 \times 10^{-3} \text{ mol} \end{aligned}$$

- Massa Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Diketahui :

$$\text{mol Bi}_2\text{O}_3 = 6,82 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

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

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

$$= 6,82 \times 10^{-3} \text{ mol} \times 466 \text{ g/mol}$$

$$= 3,18 \text{ g}$$

- Massa  $\text{TiO}_2$

Diketahui :

$$\text{Mol TiO}_2 = 10,23 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$\text{Mr TiO}_2 = 79,88 \text{ g/mol}$$

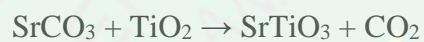
$$\text{Massa TiO}_2 = \text{mol TiO}_2 \times \text{Mr TiO}_2$$

$$= 10,23 \times 10^{-3} \text{ mol} \times 79,88 \text{ g/mol}$$

$$= 0,82 \text{ g}$$

### L.2.2 Sintesis $\text{SrTiO}_3$

Reaksi yang terjadi pada sintesis  $\text{SrTiO}_3$  adalah :



Target massa produk adalah 4 g

- mol  $\text{SrTiO}_3$

Diketahui

$$\text{Mr SrTiO}_3 = 183,48 \text{ g/mol}$$

$$\text{Massa target} = 4 \text{ g}$$

$$\text{mol SrTiO}_3 = \frac{\text{massa SrTiO}_3}{\text{Mr SrTiO}_3}$$

$$= \frac{4 \text{ g}}{183,48 \text{ g/mol}}$$

$$= 2,18 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

- Mol  $\text{SrCO}_3$

Diketahui

$$\text{mol SrTiO}_3 = 2,18 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

$$\text{mol SrCO}_3 = \frac{1}{1} \times \text{mol SrTiO}_3$$

$$= \frac{1}{1} \times 2,18 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

$$= 2,18 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

- mol  $\text{TiO}_2$

Diketahui

$$\text{mol SrTiO}_3 = 2,18 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

$$\text{mol SrCO}_3 = \frac{1}{1} \times \text{mol Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$$

$$= \frac{1}{1} \times 2,18 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

$$= 2,18 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

- Massa  $\text{SrCO}_3$

Diketahui :

$$\text{mol SrCO}_3 = 2,18 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

$$\text{Mr SrCO}_3 = 147,62 \text{ g/mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa SrCO}_3 &= \text{mol SrCO}_3 \times \text{Mr SrCO}_3 \\ &= 2,18 \times 10^{-2} \text{ mol} \times 147,62 \text{ g/mol} \\ &= 3,21 \text{ g} \end{aligned}$$

- Massa  $\text{TiO}_2$

Diketahui :

$$\text{mol TiO}_2 = 2,18 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

$$\text{Mr TiO}_2 = 79,88 \text{ g/mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa TiO}_2 &= \text{mol TiO}_2 \times \text{Mr TiO}_2 \\ &= 2,18 \times 10^{-2} \text{ mol} \times 79,88 \text{ g/mol} \\ &= 1,74 \text{ g} \end{aligned}$$

### L.2.3 Menghitung variasi konsentrasi

$$1 \text{ mol Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12} : 1 \text{ mol SrTiO}_3 = 1171,54 : 183,48$$

$$1 \text{ mol Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12} : 2 \text{ mol SrTiO}_3 = 1171,54 : 366,96$$

$$1 \text{ mol Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12} : 4 \text{ mol SrTiO}_3 = 1171,54 : 733,92$$

$$1 \text{ mol Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12} : 6 \text{ mol SrTiO}_3 = 1171,54 : 1100,88$$

### L.2.4 Menghitung Massa Perbandingan $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12} : \text{SrTiO}_3$

$$\text{Pada perbandingan } 1 : 1 \text{ Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12} = \frac{1171,5}{1355,1} \times 1,5 \text{ g} = 1,2968 \text{ g}$$

$$\text{SrTiO}_3 = \frac{183,48}{1355,1} \times 1,5 \text{ g} = 0,2030 \text{ g}$$

$$\text{Pada perbandingan } 1 : 2 \text{ Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12} = \frac{1171,54}{1538,58} \times 1,5 \text{ g} = 1,1421 \text{ g}$$

$$\text{SrTiO}_3 = \frac{366,96}{1538,58} \times 1,5 \text{ g} = 0,3577 \text{ g}$$

$$\text{Pada perbandingan 1 : 4 Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12} = \frac{1171,54}{1905,54} \times 1,5 \text{ g} = 0,9221 \text{ g}$$

$$\text{SrTiO}_3 = \frac{733,92}{1905,54} \times 1,5 \text{ g} = 0,5777 \text{ g}$$

$$\text{Pada perbandingan 1 : 6 Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12} = \frac{1171,54}{2272,5} \times 1,2 \text{ g} = 0,61863 \text{ g}$$

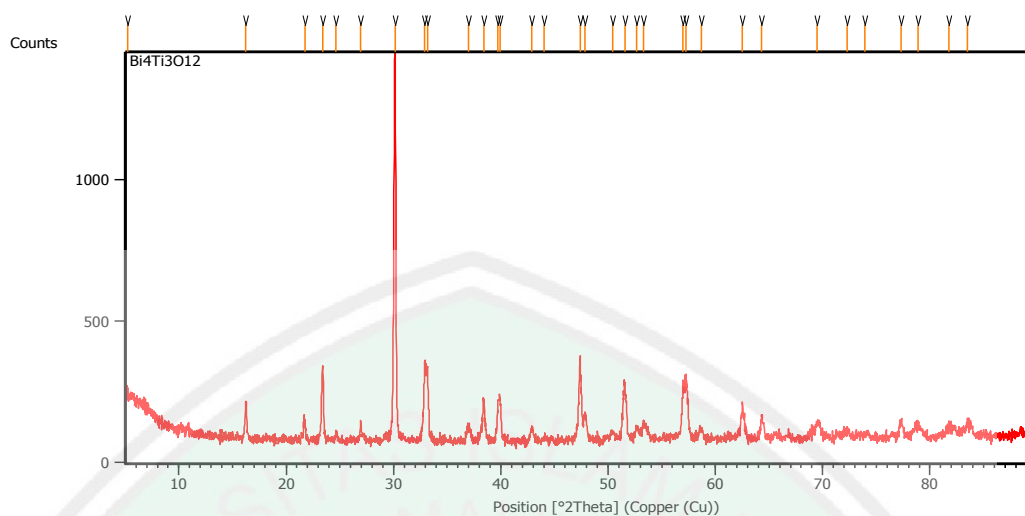
$$\text{SrTiO}_3 = \frac{1100,88}{2272,5} \times 1,2 \text{ g} = 0,5813 \text{ g}$$



### Lampiran 3. Hasil Karakterisasi XRD

Dataset Name	XRD
File name	E:\DATA PENGUJIAN\Pengujian
2018\September\Tassya\Bi4Ti3O12\Bi4Ti3O12.rd	
Comment	Configuration=Reflection-Transmission Sp Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Mini
Measurement Date / Time	9/26/2018 8:06:00 AM
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [°2Th.]	5.0084
End Position [°2Th.]	89.9744
Step Size [°2Th.]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1500
Scan Type	Continuous
Offset [°2Th.]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [°]	0.2500
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	12.7500
Measurement Temperature [°C]	-273.15
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [Å]	1.54060
K-Alpha2 [Å]	1.54443
K-Beta [Å]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractometer Type	XPert MPD
Diffractometer Number	1
Goniometer Radius [mm]	200.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	Yes

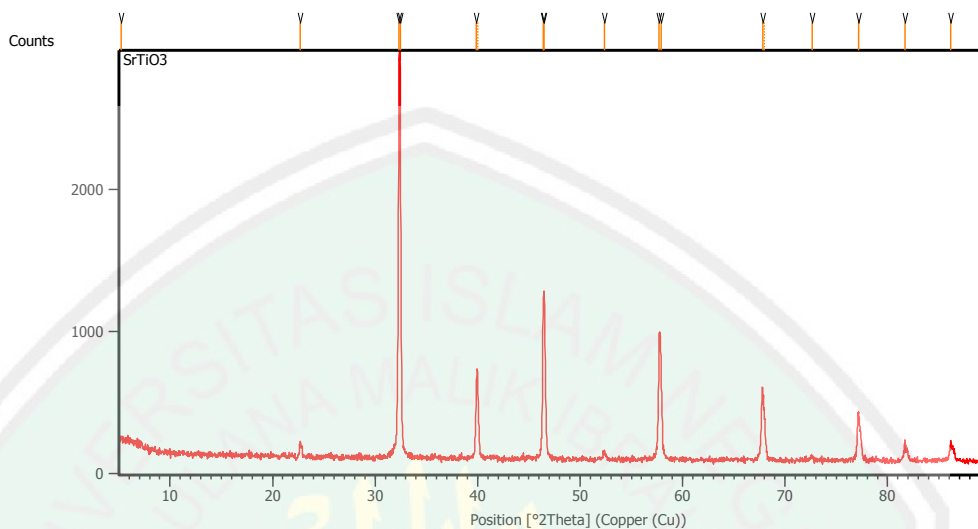
### L.3.1 Difraktgram $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$



Pos. [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
5.2004	41.58	0.2007	16.99370	3.05
16.2298	123.18	0.1004	5.46150	9.03
21.7478	66.13	0.2007	4.08664	4.85
23.4223	244.36	0.1506	3.79813	17.91
24.6621	26.53	0.2007	3.60993	1.94
26.9568	60.13	0.1004	3.30762	4.41
30.1436	1364.19	0.1673	2.96480	100.00
32.9114	262.99	0.1338	2.72152	19.28
33.1746	242.72	0.1673	2.70053	17.79
37.0020	44.14	0.4015	2.42952	3.24
38.4090	138.72	0.1673	2.34369	10.17
39.7331	135.85	0.1673	2.26859	9.96
39.9565	134.82	0.1338	2.25642	9.88
42.8980	43.35	0.2676	2.10827	3.18
44.0706	14.49	0.4015	2.05486	1.06
47.3847	297.31	0.0836	1.91859	21.79
47.8182	94.74	0.1673	1.90220	6.95
50.4460	33.67	0.2007	1.80911	2.47
51.5560	209.52	0.3346	1.77274	15.36
52.6846	44.97	0.2676	1.73739	3.30
53.3084	60.96	0.2676	1.71852	4.47
56.9703	165.54	0.2040	1.61512	12.13
57.2774	216.88	0.1338	1.60852	15.90
58.6658	31.52	0.3346	1.57372	2.31
62.5388	113.76	0.1673	1.48525	8.34
64.3139	78.69	0.1338	1.44848	5.77
69.4825	61.63	0.4015	1.35283	4.52
72.2511	22.87	0.4015	1.30766	1.68
73.8988	11.05	0.8029	1.28252	0.81
77.2941	54.17	0.3346	1.23444	3.97
78.9182	51.48	0.6022	1.21307	3.77

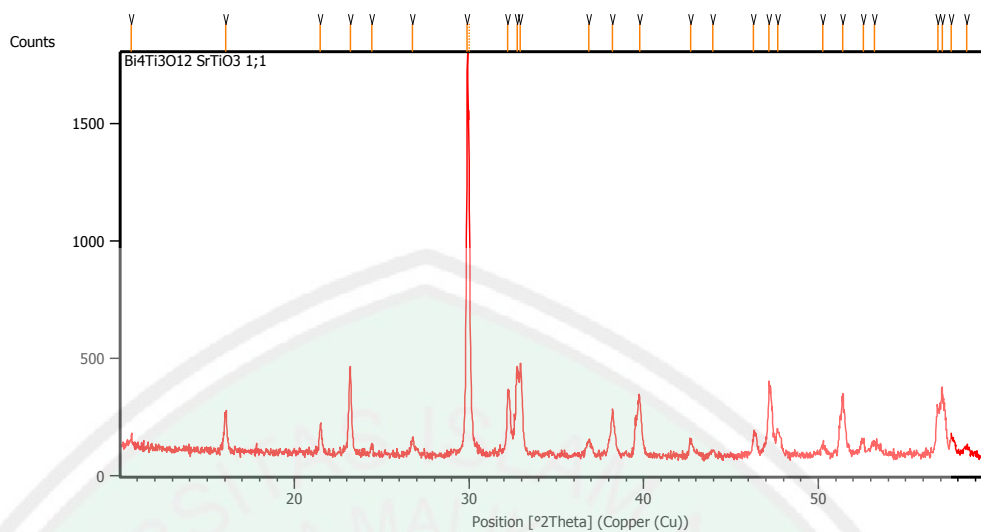
81.7344	38.54	0.6691	1.17825	2.83
83.4912	43.16	0.2676	1.15787	3.16

### L.3.2 Difraktogram SrTiO<sub>3</sub>



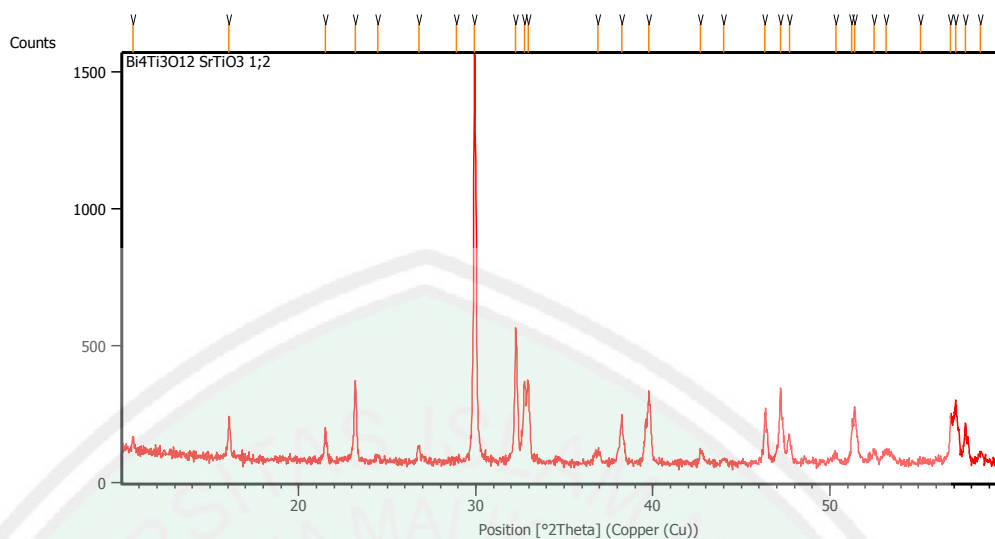
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
5.2429	43.90	0.4015	16.85581	1.67
22.7033	96.84	0.2007	3.91677	3.68
32.3289	2603.48	0.1428	2.76692	99.02
32.4426	2629.32	0.1171	2.75977	100.00
39.8928	546.15	0.1428	2.25801	20.77
40.0064	613.23	0.0816	2.25746	23.32
46.3801	965.17	0.1020	1.95616	36.71
46.4851	1179.42	0.1428	1.95198	44.86
52.3566	71.94	0.1632	1.74605	2.74
57.7015	878.39	0.1020	1.59638	33.41
57.8757	736.74	0.1836	1.59199	28.02
67.7875	506.84	0.1632	1.38132	19.28
67.9514	350.49	0.1224	1.38181	13.33
72.6124	26.20	0.2448	1.30096	1.00
77.1366	326.51	0.2040	1.23555	12.42
81.6606	113.47	0.1224	1.17815	4.32
86.1475	126.85	0.2040	1.12792	4.82

### L.3.3 Difraktogram $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ (1/1)



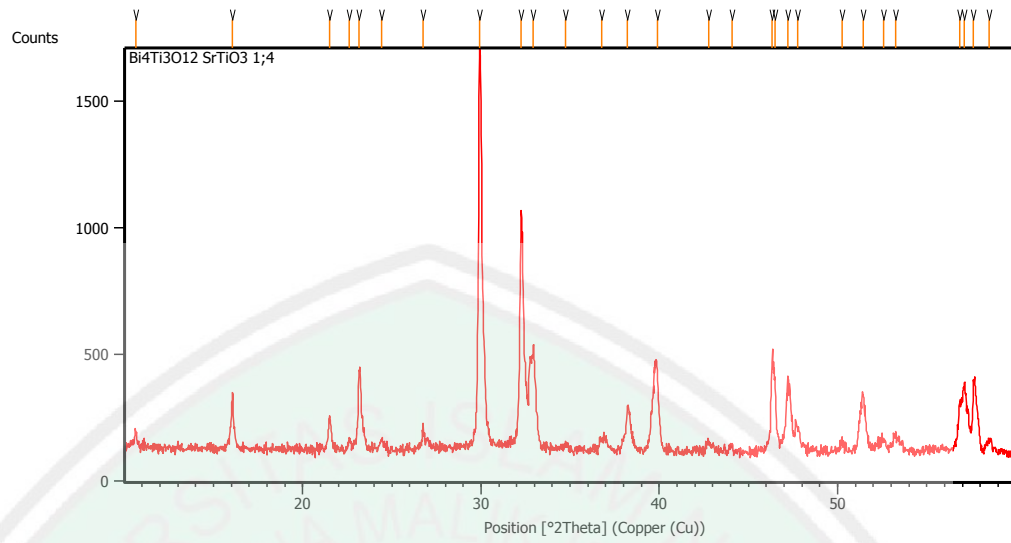
Pos. [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
10.6596	37.34	0.2676	8.29959	2.27
16.0501	165.84	0.1673	5.52225	10.09
21.4855	120.95	0.1171	4.13594	7.36
23.1821	374.33	0.0836	3.83694	22.77
24.4235	30.58	0.1338	3.64466	1.86
26.7507	68.26	0.1004	3.33263	4.15
29.8998	1643.61	0.1224	2.98596	100.00
29.9951	1302.71	0.0612	2.98408	79.26
32.2075	259.43	0.1632	2.77708	15.78
32.7457	360.07	0.1224	2.73266	21.91
32.9437	389.03	0.0816	2.71668	23.67
36.8588	65.73	0.3264	2.43661	4.00
38.2080	187.52	0.2040	2.35361	11.41
39.7548	254.37	0.1428	2.26553	15.48
42.6711	55.35	0.1632	2.11720	3.37
43.9424	24.56	0.2448	2.05885	1.49
46.2983	95.33	0.2856	1.95942	5.80
47.1878	319.14	0.1020	1.92454	19.42
47.6760	111.32	0.1224	1.90596	6.77
50.2726	42.15	0.2448	1.81344	2.56
51.4042	263.96	0.1224	1.77614	16.06
52.5702	56.50	0.2448	1.73946	3.44
53.2068	52.10	0.4080	1.72014	3.17
56.8355	204.54	0.1224	1.61863	12.44
57.0997	282.88	0.2040	1.61176	17.21
57.6070	85.78	0.1224	1.59877	5.22
58.4956	38.47	0.3264	1.57658	2.34

### L.3.4 Difraktogram $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ (1/2)



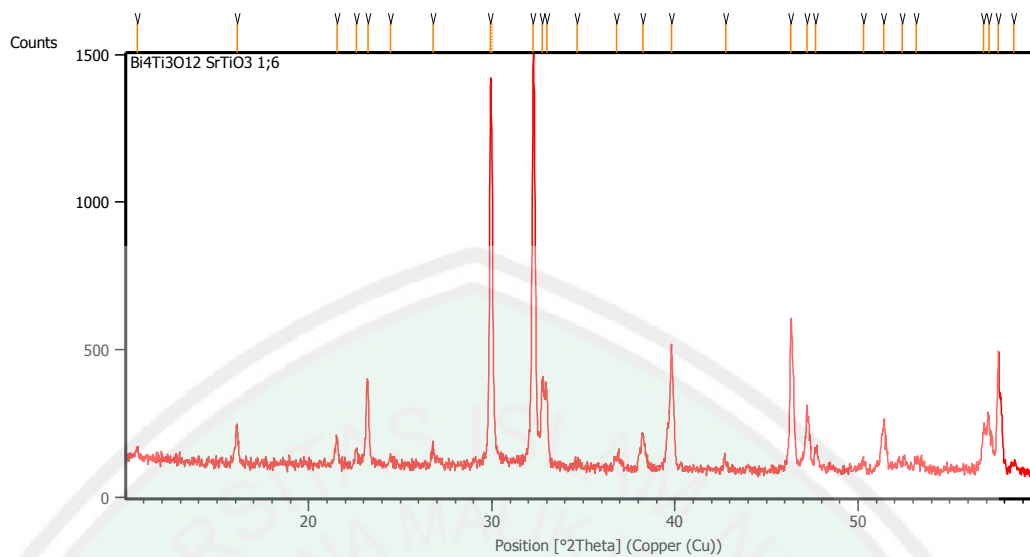
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
10.6631	57.60	0.1004	8.29687	3.83
16.0721	151.32	0.1004	5.51473	10.06
21.5140	112.51	0.0669	4.13052	7.48
23.2005	295.81	0.1171	3.83395	19.67
24.4701	24.23	0.2007	3.63782	1.61
26.7834	55.59	0.1338	3.32864	3.70
28.9275	17.72	0.1004	3.08662	1.18
29.9333	1504.24	0.0836	2.98516	100.00
32.2509	477.32	0.1338	2.77573	31.73
32.7399	288.60	0.0502	2.73539	19.19
32.9649	292.33	0.0836	2.71723	19.43
36.9113	40.88	0.3346	2.43528	2.72
38.2459	177.34	0.0502	2.35331	11.79
39.7755	263.85	0.0836	2.26627	17.54
42.6976	48.63	0.2007	2.11770	3.23
44.0097	17.41	0.2342	2.05756	1.16
46.3426	185.82	0.0836	1.95927	12.35
47.2163	276.46	0.0836	1.92504	18.38
47.7097	108.58	0.1338	1.90627	7.22
50.3213	31.24	0.2007	1.81330	2.08
51.2474	123.34	0.1224	1.78121	8.20
51.3946	208.08	0.0836	1.77792	13.83
52.4812	48.04	0.1673	1.74364	3.19
53.1816	45.58	0.4015	1.72232	3.03
55.0962	17.79	0.1004	1.66692	1.18
56.8157	171.46	0.0816	1.61914	11.40
57.1170	212.13	0.1338	1.61265	14.10
57.6590	143.95	0.0836	1.59878	9.57
58.5103	33.87	0.2007	1.57753	2.25

### L.3.5 Difraktogram $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ (1/4)



Pos. [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
10.6381	65.76	0.1004	8.31635	4.41
16.0737	221.23	0.0836	5.51419	14.82
21.4977	129.46	0.1506	4.13362	8.67
22.6071	37.35	0.2007	3.93322	2.50
23.1532	300.26	0.1171	3.84166	20.11
24.4085	39.47	0.2007	3.64687	2.64
26.7664	69.88	0.1004	3.33071	4.68
29.9084	1492.84	0.1004	2.98758	100.00
32.2451	917.19	0.1840	2.77622	61.44
32.9406	411.80	0.0836	2.71918	27.59
34.7246	20.10	0.4015	2.58346	1.35
36.7515	47.89	0.2007	2.44550	3.21
38.2253	181.32	0.1004	2.35453	12.15
39.9003	307.71	0.1338	2.25947	20.61
42.7543	49.62	0.2007	2.11502	3.32
44.0709	28.98	0.2007	2.05484	1.94
46.3280	351.15	0.1020	1.95823	23.52
46.5062	254.08	0.1004	1.95276	17.02
47.2220	288.38	0.0612	1.92322	19.32
47.7536	97.72	0.1338	1.90462	6.55
50.2535	40.56	0.2676	1.81558	2.72
51.4535	220.42	0.1004	1.77603	14.77
52.5713	45.85	0.2007	1.74087	3.07
53.2434	57.97	0.2676	1.72047	3.88
56.8480	190.32	0.1224	1.61830	12.75
57.1211	263.23	0.1338	1.61254	17.63
57.6110	266.27	0.0816	1.59867	17.84
58.5155	46.52	0.2676	1.57740	3.12

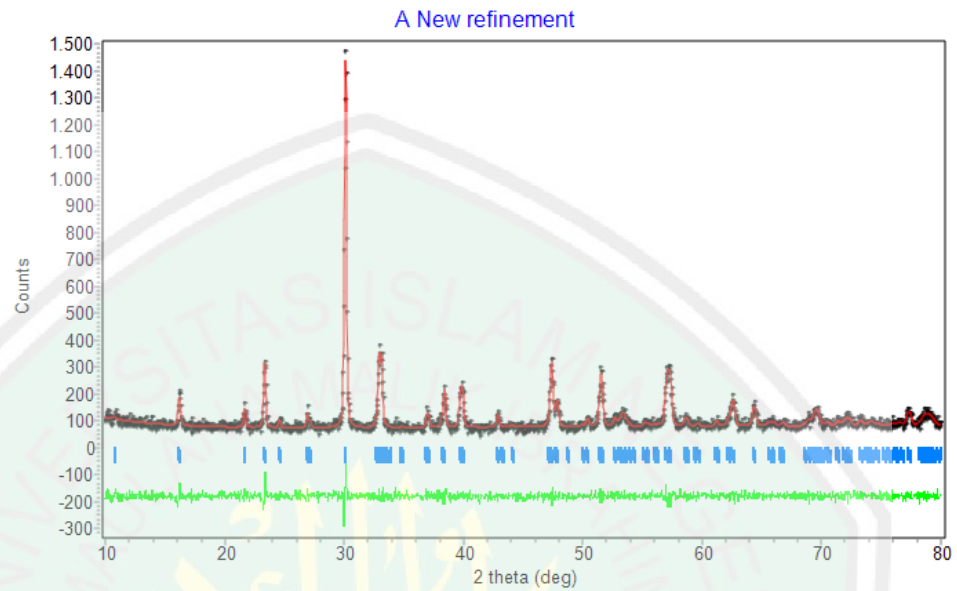
### L.3.6 Difraktgram $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ (1/6)



Pos. [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
10.6308	34.33	0.2007	8.32206	2.58
16.0842	121.59	0.1004	5.51062	9.14
21.5418	88.63	0.1338	4.12526	6.66
22.6007	54.92	0.1004	3.93432	4.13
23.2319	288.74	0.1171	3.82883	21.70
24.4550	28.68	0.2007	3.64004	2.16
26.8015	64.84	0.1338	3.32644	4.87
29.9322	1287.22	0.1020	2.98280	96.74
30.0179	1038.12	0.0612	2.98186	78.02
32.2524	1330.54	0.2040	2.77331	100.00
32.7364	268.45	0.1020	2.73341	20.18
33.0264	236.84	0.1224	2.71006	17.80
34.6573	14.30	0.4896	2.58618	1.07
36.8219	33.36	0.4080	2.43897	2.51
38.2407	115.98	0.2040	2.35168	8.72
39.8242	398.75	0.1224	2.26174	29.97
42.7538	33.88	0.2448	2.11330	2.55
46.3153	483.91	0.1224	1.95874	36.37
47.1960	200.28	0.0612	1.92422	15.05
47.6908	72.58	0.2040	1.90541	5.45
50.3146	32.58	0.2448	1.81202	2.45
51.4042	165.82	0.2856	1.77614	12.46
52.4052	32.89	0.4896	1.74455	2.47
53.1925	38.26	0.2448	1.72057	2.88
56.8602	140.14	0.1632	1.61798	10.53
57.1324	173.92	0.1020	1.61092	13.07
57.6655	408.58	0.1224	1.59729	30.71
58.5089	24.39	0.4080	1.57625	1.83

## Lampiran 4. Penentuan Parameter Kisi dengan Metode *Le Bail* Program Rietica

### L.4.1 $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ dengan Metode Reaksi Keadaan Padatan



CELL PARAMETERS = 5.410000 0.000000 0.000000  
 5.447999 0.000000 0.000000  
 32.840000 0.000000 0.000000  
 RECIPROCAL CELL = 0.185 0.184 0.030 90.000 90.000 90.000  
 CELL VOLUME = 967.915527 0.000000

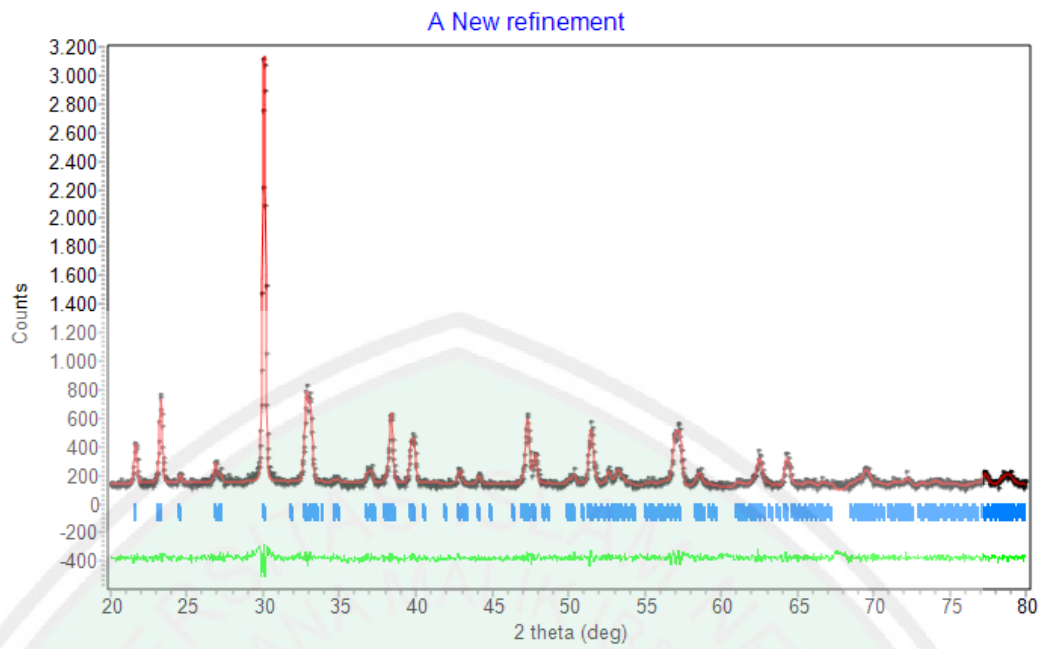
---

Rp | Rwp | GOF

---

8,39 | 10,80 | 0.2153E+00 |

### L.4.2 $\text{SrTiO}_3$ dengan Metode Reaksi Keadaan Padatan



CELL PARAMETERS = 5.221238 0.000001 0.000399  
 5.221238 0.000001 0.000399  
 7.386700 0.000000 0.000000  
 RECIPROCAL CELL = 0.192 0.192 0.135 90.000 90.000 90.000  
 CELL VOLUME = 201.371246 0.021782

---

Rp | Rwp | GOF

---

7,71 | 6,84 | 0.2427E+00 |

## Lampiran 5. Contoh Perhitungan Ukuran Kristal Hasil Sintesis

### L.5.1 Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub>

$$\begin{aligned}
 \text{Diketahui : FWHM} &= 0,1673 \\
 \lambda &= 0,154 \text{ nm} \\
 2\theta &= 30,1436 \\
 \theta &= 15,0718 \\
 \text{Cos } \theta &= 0,9656 \\
 \beta &= \frac{0,1673}{180} \times 3,14 = 0,0029 \\
 D &= \frac{0,9 \times 0,154 \text{ nm}}{0,0029 \times 0,9656} = 49,5 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Diketahui : FWHM} &= 0,0836 \\
 \lambda &= 0,154 \text{ nm} \\
 2\theta &= 47,3847 \\
 \theta &= 23,6923 \\
 \text{Cos } \theta &= 0,91571 \\
 \beta &= \frac{0,0836}{180} \times 3,14 = 0,0014 \\
 D &= \frac{0,9 \times 0,154 \text{ nm}}{0,0014 \times 0,9157} = 115,5 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Diketahui : FWHM} &= 0,1338 \\
 \lambda &= 0,154 \text{ nm} \\
 2\theta &= 32,9114 \\
 \theta &= 16,4572 \\
 \text{Cos } \theta &= 0,9590 \\
 \beta &= \frac{0,1338}{180} \times 3,14 = 0,0023 \\
 D &= \frac{0,9 \times 0,154 \text{ nm}}{0,0023 \times 0,9590} = 63 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

### L.5.2 SrTiO<sub>3</sub>

$$\begin{aligned}
 \text{Diketahui : FWHM} &= 0,1171 \\
 \lambda &= 0,154 \text{ nm} \\
 2\theta &= 32,4426 \\
 \theta &= 16,2213 \\
 \text{Cos } \theta &= 0,9601 \\
 \beta &= \frac{0,1171}{180} \times 3,14 = 0,00204 \\
 D &= \frac{0,9 \times 0,154 \text{ nm}}{0,00204 \times 0,9601} = 71,07 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Diketahui : FWHM} &= 0,1428 \\
 \lambda &= 0,154 \text{ nm} \\
 2\theta &= 46,4815 \\
 \theta &= 23,2425 \\
 \text{Cos } \theta &= 0,9188
 \end{aligned}$$

$$\beta = \frac{0,1428}{180} \times 3,14 = 0,00249$$

$$D = \frac{0,9 \times 0,154 \text{ nm}}{0,00249 \times 0,9188} = 49,5 \text{ nm}$$

Diketahui : FWHM = 0,1020  
 $\lambda = 0,154 \text{ nm}$   
 $2\theta = 57,7015$   
 $\theta = 28,8507$   
 $\text{Cos } \theta = 0,8758$   
 $\beta = \frac{0,1020}{180} \times 3,14 = 0,00177$   
 $D = \frac{0,9 \times 0,154 \text{ nm}}{0,00177 \times 0,8758} = 84,4 \text{ nm}$

### L.5.3 Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub>/SrTiO<sub>3</sub> 1:1

Diketahui : FWHM = 0,1224  
 $\lambda = 0,154 \text{ nm}$   
 $2\theta = 29,8998$   
 $\theta = 14,9499$   
 $\text{Cos } \theta = 0,9661$   
 $\beta = \frac{0,1224}{180} \times 3,14 = 0,00213$   
 $D = \frac{0,9 \times 0,154 \text{ nm}}{0,00213 \times 0,9661} = 67,609 \text{ nm}$

Diketahui : FWHM = 0,0816  
 $\lambda = 0,154 \text{ nm}$   
 $2\theta = 32,9437$   
 $\theta = 16,4718$   
 $\text{Cos } \theta = 0,9589$   
 $\beta = \frac{0,0816}{180} \times 3,14 = 0,00142$   
 $D = \frac{0,9 \times 0,154 \text{ nm}}{0,00142 \times 0,9589} = 101,91 \text{ nm}$

Diketahui : FWHM = 0,1020  
 $\lambda = 0,154 \text{ nm}$   
 $2\theta = 47,1878$   
 $\theta = 23,5939$   
 $\text{Cos } \theta = 0,9164$   
 $\beta = \frac{0,1020}{180} \times 3,14 = 0,00179$   
 $D = \frac{0,9 \times 0,154 \text{ nm}}{0,00179 \times 0,9164} = 84,512 \text{ nm}$

### L.5.4 Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub>/SrTiO<sub>3</sub> 1:2

Diketahui : FWHM = 0,0836  
 $\lambda = 0,154 \text{ nm}$   
 $2\theta = 29,9333$

$$\begin{aligned}\theta &= 14,9666 \\ \cos \theta &= 0,9660 \\ \beta &= \frac{0,0836}{180} \times 3,14 = 0,0014 \\ D &= \frac{0,9 \times 0,154 \text{ nm}}{0,0014 \times 0,9660} = 102,66 \text{ nm}\end{aligned}$$

Diketahui : FWHM = 0,1338

$$\begin{aligned}\lambda &= 0,154 \text{ nm} \\ 2\theta &= 32,2509 \\ \theta &= 16,1254 \\ \cos \theta &= 0,606 \\ \beta &= \frac{0,1338}{180} \times 3,14 = 0,00233 \\ D &= \frac{0,9 \times 0,154 \text{ nm}}{0,00233 \times 0,9606} = 58,23 \text{ nm}\end{aligned}$$

Diketahui : FWHM = 0,1171

$$\begin{aligned}\lambda &= 0,154 \text{ nm} \\ 2\theta &= 23,2005 \\ \theta &= 11,6002 \\ \cos \theta &= 0,9795 \\ \beta &= \frac{0,1171}{180} \times 3,14 = 0,00204 \\ D &= \frac{0,9 \times 0,154 \text{ nm}}{0,00204 \times 0,9795} = 69,64 \text{ nm}\end{aligned}$$

#### L.5.5 Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub>/SrTiO<sub>3</sub> 1:4

Diketahui : FWHM = 0,1004

$$\begin{aligned}\lambda &= 0,154 \text{ nm} \\ 2\theta &= 29,9084 \\ \theta &= 14,9542 \\ \cos \theta &= 0,9661 \\ \beta &= \frac{0,1004}{180} \times 3,14 = 0,00175 \\ D &= \frac{0,9 \times 0,154 \text{ nm}}{0,00175 \times 0,9661} = 82,01 \text{ nm}\end{aligned}$$

Diketahui : FWHM = 0,0840

$$\begin{aligned}\lambda &= 0,154 \text{ nm} \\ 2\theta &= 32,2461 \\ \theta &= 16,12305 \\ \cos \theta &= 0,9606 \\ \beta &= \frac{0,1840}{180} \times 3,14 = 0,00320 \\ D &= \frac{0,9 \times 0,154 \text{ nm}}{0,00320 \times 0,9606} = 45,146 \text{ nm}\end{aligned}$$

Diketahui : FWHM = 0,0836

$$\begin{aligned}\lambda &= 0,154 \text{ nm} \\ 2\theta &= 32,9406 \\ \theta &= 16,4703\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \cos \theta &= 0,9589 \\
 \beta &= \frac{0,0836}{180} \times 3,14 = 0,00145 \\
 D &= \frac{0,9 \times 0,154 \text{ nm}}{0,00145 \times 0,9589} = 99,71 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

### L.5.6 Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub>/SrTiO<sub>3</sub> 1:6

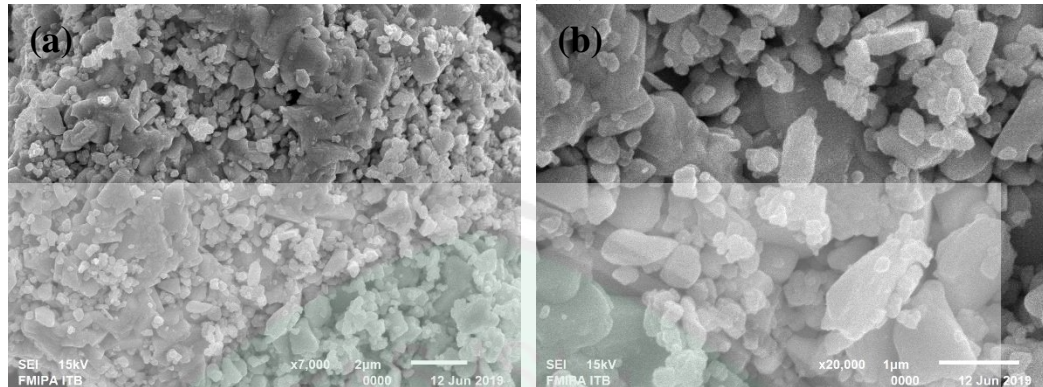
$$\begin{aligned}
 \text{Diketahui : FWHM} &= 0,0612 \\
 \lambda &= 0,154 \text{ nm} \\
 2\theta &= 32,2524 \\
 \theta &= 16,1262 \\
 \cos \theta &= 0,9606 \\
 \beta &= \frac{0,0612}{180} \times 3,14 = 0,00106 \\
 D &= \frac{0,9 \times 0,154 \text{ nm}}{0,00106 \times 0,9606} = 137,22 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Diketahui : FWHM} &= 0,1020 \\
 \lambda &= 0,154 \text{ nm} \\
 2\theta &= 29,9322 \\
 \theta &= 14,9661 \\
 \cos \theta &= 0,9960 \\
 \beta &= \frac{0,1020}{180} \times 3,14 = 0,00177 \\
 D &= \frac{0,9 \times 0,154 \text{ nm}}{0,00177 \times 0,9960} = 78,75 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Diketahui : FWHM} &= 0,1224 \\
 \lambda &= 0,154 \text{ nm} \\
 2\theta &= 46,3153 \\
 \theta &= 23,15765 \\
 \cos \theta &= 0,9194 \\
 \beta &= \frac{0,1224}{180} \times 3,14 = 0,00213 \\
 D &= \frac{0,9 \times 0,154 \text{ nm}}{0,00213 \times 0,9194} = 71,07 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

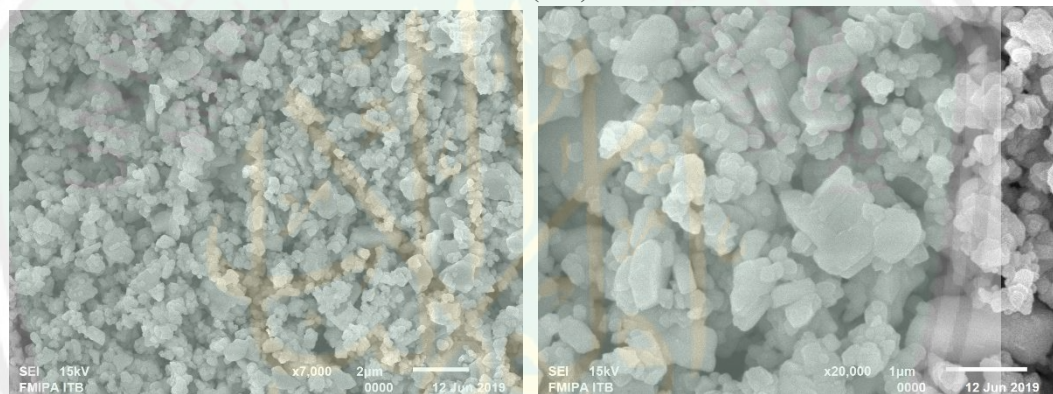
## Lampiran 6 Gambar SEM Material *Heterojunction* $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$

### L.6.1 Gambar SEM $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ (1/1)



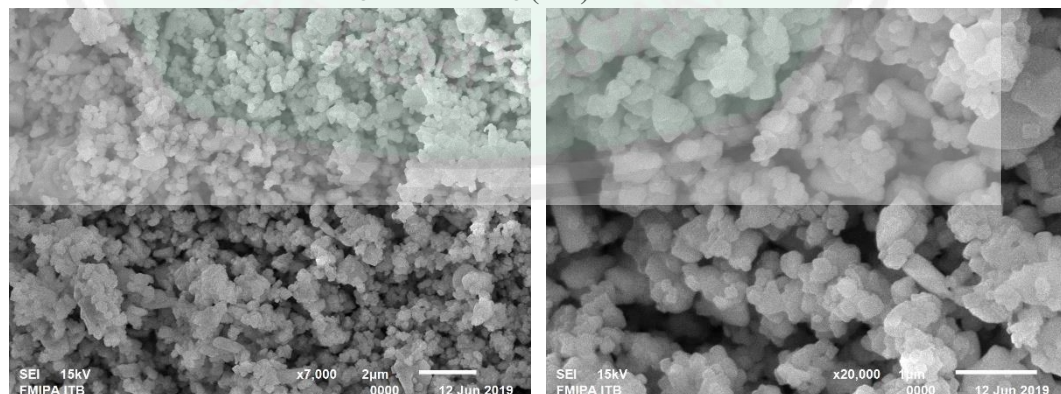
Gambar L.6.1 Morfologi SEM  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (1/1) perbesaran (a) 7000x dan (b) 20.000x

### L.6.2 Gambar SEM $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ (1/2)

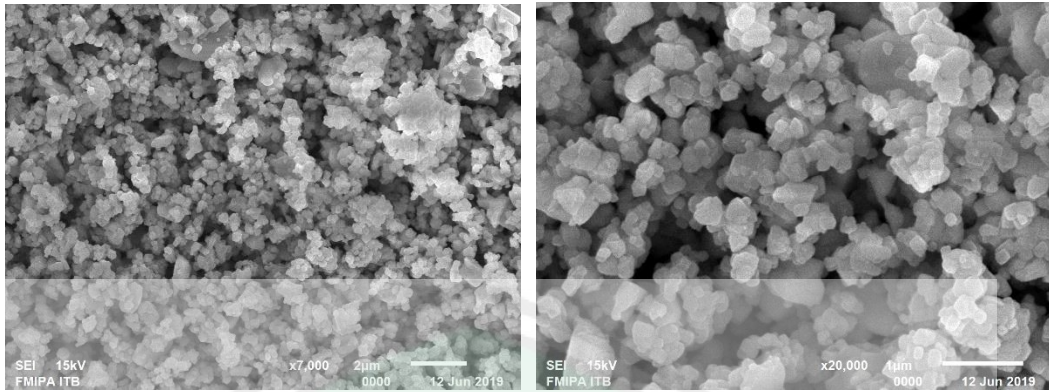


Gambar L.6.2 Morfologi SEM  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (1/2) perbesaran (a) 7000x dan (b) 20.000x

### L.6.3 Gambar SEM $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$ (1/4)



Gambar L.6.3 Morfologi SEM  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (1/4) perbesaran (a) 7000x dan (b) 20.000x

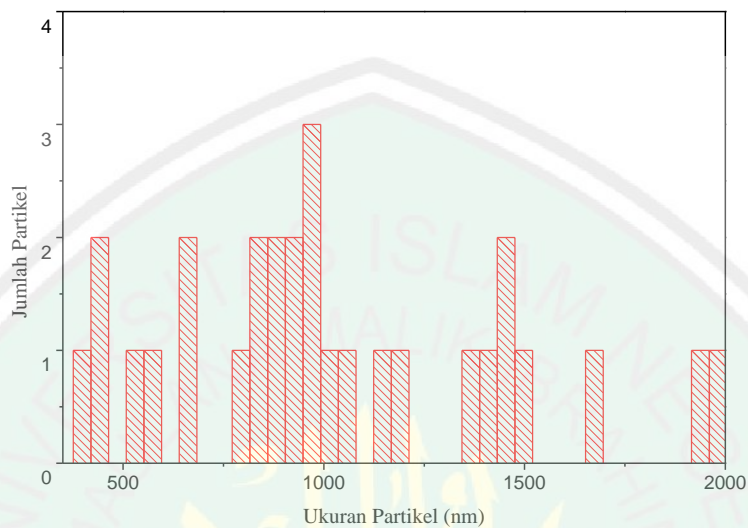
**L.6.4 Gambar SEM  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (1/6)**

Gambar L.6.3 Morfologi SEM  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (1/6) perbesaran (a) 7000x dan (b) 20.000x

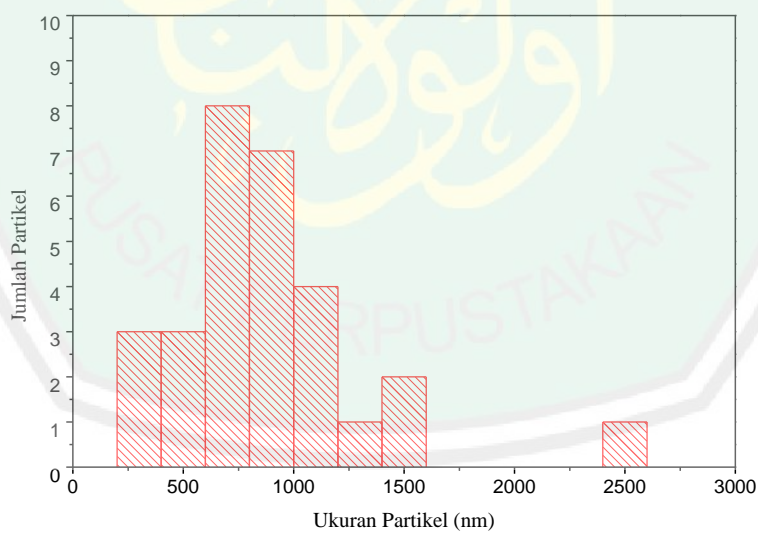


**Lampiran 7 Analisa Distribusi dengan *software* Image-J Material Heterojunction  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$**

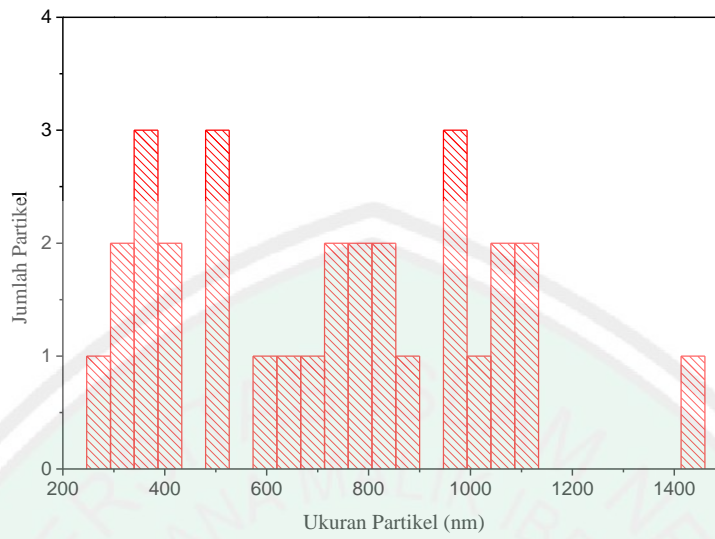
**L.7.1  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (1/1)**



**L.7.2  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (1/2)**



L.7.3  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (1/4)



L.7.4  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SrTiO}_3$  (1/6)

