

**SINTESIS SENYAWA  $\text{CaTiO}_3$  TERDOPING  $\text{Fe}^{3+}$  DENGAN METODE  
LELEHAN GARAM CAMPURAN  $\text{NaCl-KCl}$**

**SKRIPSI**

**Oleh :  
Mas Chanif  
NIM. 15630093**



**PROGRAM STUDI KIMIA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2021**

**SINTESIS SENYAWA  $\text{CaTiO}_3$  TERDOPING  $\text{Fe}^{3+}$  DENGAN METODE  
LELEHAN GARAM CAMPURAN NaCl-KCl**

**SKRIPSI**

**Oleh :  
MAS CHANIF  
NIM. 15630093**

**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)**

**PROGRAM STUDI  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2021**

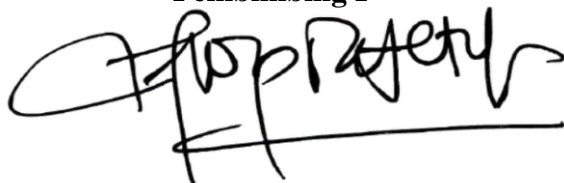
**SINTESIS SENYAWA  $\text{CaTiO}_3$  TERDOPING  $\text{Fe}^{3+}$  DENGAN METODE  
LELEHAN GARAM CAMPURAN  $\text{NaCl-KCl}$**

**SKRIPSI**

**Oleh:  
MAS CHANIF  
NIM. 15630093**

**Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:  
Tanggal: 16 Juni 2021**

**Pembimbing I**



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

**Pembimbing II**



**Dr. M. Mukhlis Fahrudin, M.S.I  
NIPT. 20140201409**

**Mengetahui,  
Ketua Program Studi**



**Elak Kamilah Hayati, M.Si  
NIP. 19790620 200604 2 002**

**SINTESIS SENYAWA  $\text{CaTiO}_3$  TERDOPING  $\text{Fe}^{3+}$  DENGAN METODE  
LELEHAN GARAM CAMPURAN NaCl-KCl**

**SKRIPSI**

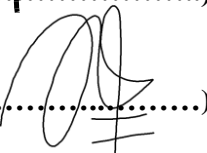
**Oleh:  
MAS CHANIF  
NIM. 15630093**

**Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi  
Dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Tanggal : 16 Juni 2021**

**Penguji Utama : Elok Kamilah Hayati, M.Si  
NIP. 19790620 200604 2 002**

(.....)

**Ketua Penguji : Febi Yusniyanti, M.Sc  
LB. 68004**

(.....)

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

(.....)

**Anggota Penguji : Dr. M. Mukhlis Fahrudin, M.S.I (.....)  
NIPT. 20140201409**

**Mengetahui,  
Ketua Program Studi**



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

## PERNYATAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Mas Chanif  
NIM : 15630093  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Sains dan Teknologi  
Judul Penelitian : Sintesis Senyawa  $\text{CaTiO}_3$  Terdoping  $\text{Fe}^{3+}$  dengan Metode  
Lelehan Garam Campuran  $\text{NaCl-KCl}$

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil 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.

Malang, 23 Juni 2021  
Yang Membuat Pernyataan,



Mas Chanif  
NIM 15630093

## MOTTO

“1W + 1SKS”

Seseorang yang lulus usia 21 tetapi menunggu 6 tahun untuk mendapatkan pekerjaan yang baik

Seseorang yang tidak memiliki pendidikan tetapi menjadi seorang jutawan pada usia 21

Seseorang yang menikah pada usia 20 tetapi bercerai lima tahun kemudian

Seseorang yang menikah usia 30 tetapi menemukan cinta abadi

Kamu tidak terlambat sama sekali tapi kamu tepat waktu

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ ءَامَنُوا اسْتَعِينُوا بِالصَّبْرِ وَالصَّلَاةِ إِنَّ اللَّهَ مَعَ الصَّابِرِينَ ١٥٣

Hai orang-orang yang beriman, jadikanlah sabar dan shalat sebagai penolongmu, sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar Q.S Al Baqarah 153.

“Ngaji, Sekolah, Sholat Berjamaah”

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Rasa syukur Alhamdulillah dihaturkan kepada Allah SWT, untuk kesempatan, kemampuan dan pelajaran dari takdir yang sangat indah yang sudah diberikan kepada hamba, dan hal terkecil yaitu dihidupkan dan diciptakan menjadi salah-satu hamba-Nya. Selanjutnya kepada Baginda Rasulullah Muhammad SAW, sebagai tauladan untuk hidup sebagaimana mestinya seorang hamba.

Skripsi ini saya persembahkan kepada kedua orang tua saya tercinta yang selalu mendoakan, mendukung dan mencintai saya dengan setulus hati. Kepada Alm Abah saya Bapak Masruf dan Ibu Tarkiniatin, terimakasih sudah memondokkan dan mensekolahkan saya sampai jenjang S1 ini. Semoga kelak saya, kakak dan adik bisa menjadi pembuka jalan kalian ke surga terindah. serta seluruh keluarga yang sudah mendukung dan mendo'akan yang terbaik.

Semua sahabat saya yang selalu mendukung dan mendoakan tanpa pamrih, semoga Allah membalas kebaikan kepada kalian. Teman-teman satu tim penelitian, teman-teman terdekat yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu, serta seluruh teman-teman Kimia C dan Kimia angkatan 2015 yang selalu mendoakan yang terbaik untuk saya. Semoga Allah membalas semua kebaikan kalian dengan segala kemudahan dan Rahmat-Nya.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Sintesis  $\text{CaTiO}_3$  Terdoping  $\text{Fe}^{3+}$  dengan Metode Lelehan Garam Campuran  $\text{NaCl-KCl}$ ”** ini. Sholawat dan salam semoga senantiasa dilimpahkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarganya, sahabatnya dan para pengikutnya.

Skripsi ini dapat disusun dan diselesaikan atas kontribusi, dukungan, motivasi, dan bimbingan dari berbagai pihak sebagai akibat keterbatasan pengetahuan yang penulis miliki. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua yang selalu memberikan do'a, semangat, dan motivasi agar terus belajar dan berusaha, sehingga dapat terselesaikan skripsi ini.
2. Ibu Elok Kamilah Hayati, M.Si selaku ketua Jurusan Kimia.Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Bapak Dr. Anton Prasetyo selaku dosen pembimbing yang selalu sabar untuk meluangkan waktu dalam memberikan bimbingan, pengarahan, dan motivasi, sehingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan.
4. Seluruh dosen Jurusan Kimia, Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan pengetahuan sebagai dasar atau pedoman bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
5. Teman-teman yang selalu memberikan masukan, semangat, dan motivasi, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.



6. Seluruh pihak yang berkontribusi dalam penulisan skripsi ini yang penulis tidak mampu menyebutkan satu per satu.

Penulis sadar bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, segala kritik dan saran akan penulis terima dengan lapang hati dan mohon maaf kepada semua pihak apabila terdapat kesalahan selama penyusunan. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan menambah ilmu pengetahuan. Demikian skripsi ini penulissusun, semoga dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Malang, 28 Juni 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR PERSAMAAN.....</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xvi</b>
<b>الملخص.....</b>	<b>xvii</b>

### **BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	6
1.3 Tujuan Penelitian .....	6
1.4 Batasan Masalah .....	6
1.5 Manfaat Penelitian .....	6

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

2.1 Senyawa $\text{CaTiO}_3$ .....	7
2.2 Teknologi Fotokatalis .....	8
2.3 Pemanfaatan Senyawa $\text{CaTiO}_3$ Sebagai Material Fotokatalis .....	9
2.4 Metode Sintesis Lelehan Garam .....	11
2.5 Sintesis $\text{CaTiO}_3$ dengan Metode Lelehan Garam.....	14
2.6 Manfaat $\text{CaTiO}_3$ dalam Perspektif Islam .....	16

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	20
3.2 Alat dan Bahan .....	20
3.2.1 Alat .....	20
3.2.2 Bahan .....	20
3.3 Rancangan Penelitian .....	20
3.4 Prosedur Kerja.....	21
3.4.1 Sintesis $\text{CaTiO}_3$ Terdoping Fe dengan Metode Lelehan Garam.....	21
3.4.2 Karakterisasi Hasil Sintesis $\text{CaTi}_{1-x}\text{O}_3$ dengan XRD.....	22
3.4.3 Karakterisasi Hasil Sintesis $\text{CaTi}_{1-x}\text{O}_3$ dengan SEM-EDS .....	22
3.4.4 Karakterisasi Hasil Sintesis $\text{CaTi}_{1-x}\text{O}_3$ dengan UV-Vis DRS .....	23
3.5 Analisa Data .....	23

3.5.1 Analisis Data Difraktogram XRD .....	23
3.5.2 Analisis Gambar SEM .....	23
3.5.3 Analisis Spektra UV-Vis DRS .....	23
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Sintesis CaTiO <sub>3</sub> Terdoping Fe <sup>3+</sup> dengan Metode Lelehan Garam .....	25
4.2 Karakterisasi dan Analisis Data CaTi <sub>1-x</sub> Fe <sub>x</sub> O <sub>3</sub> dengan XRD .....	26
4.3 Karakterisasi sampel CaTi <sub>1-x</sub> Fe <sub>x</sub> O <sub>3</sub> dengan SEM.....	30
4.4 Karakterisasi sampel CaTi <sub>1-x</sub> Fe <sub>x</sub> O <sub>3</sub> dengan EDS .....	32
4.5 Karakterisasi dan Analisis Data CaTi <sub>1-x</sub> Fe <sub>x</sub> O <sub>3</sub> dengan UV-Vis DRS.....	33
4.6 Sintesis Material Fotokatalis CaTiO <sub>3</sub> terdoping Fe <sup>3+</sup> berdasarkan perspektif Islam.....	36
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	42
5.2 Saran.....	42
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>43</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>46</b>

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Diagram kerja sintesis senyawa $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ( $x = 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2$ ).....	46
Lampiran 2 Perhitungan dalam Sintesis Material .....	47
Lampiran 3 Hasil Karakterisasi menggunakan XRD .....	52
Lampiran 4 Hasil Karakterisasi menggunakan SEM.....	62
Lampiran 5 Hasil Analisis DRS .....	63

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur kristal $\text{CaTiO}_3$ (ungu = Ca; merah = O; abu-abu = Ti).....	7
Gambar 2.2	Diagram skematis reaksi fotokatalis.....	9
Gambar 2.3	Spektra reflektansi UV-Vis sampel $\text{CaTiO}_3$ yang menunjukkan serapan pada kisaran panjang gelombang 275-450 nm .....	10
Gambar 2.4	Skema celah pita dari $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ .....	10
Gambar 2.5	Spektra UV-Vis DRS dari $\text{Ca}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$ fotokatalisis dengan $x =$ (a) 0; (b) 0,05; (c) 0,1; (d) 0,15; (e) 0,2; (f) 0,3; dan (g) 0,4 ..	11
Gambar 2.6	Ilustrasi tahapan metode lelehan garam untuk sintesis serbuk oksida perovskit.....	14
Gambar 2.7	Difraktogram $\text{CaTiO}_3$ .....	15
Gambar 2.8	Gambar SEM senyawa $\text{CaTiO}_3$ .....	15
Gambar 2.9	Difraktogram $\text{CaTiO}_3$ (hitam) terdoping Pr yang disintesis dengan metode lelehan garam dan $\text{CaTiO}_3$ (merah) terdoping Pr yang disintesis dengan metode hidrotermal.....	16
Gambar 2.10	Gambar SEM senyawa $\text{CaTiO}_3$ doping Pr.....	16
Gambar 4.1	Perubahan warna sampel (a) sebelum kalsinasi, (b) setelah kalsinasi suhu $800^\circ\text{C}$ , dan (c) setelah penyaringan sampel $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ( $x =$ 0; 0,05; 0,1; 0,15; dan 0,2).....	26

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Komposisi prekursor senyawa $\text{CaTiO}_3$ terdoping Fe.....	22
Tabel 4.1 Parameter kristal $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ( $x= 0; 0,05; 0,10; \text{ dan } 0,15$ ) .....	29
Tabel 4.2 Persentase unsur-unsur penyusun $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ hasil EDS.....	33

## DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 3.1 Persamaan Kubelka-Munk.....	23
---	----

## ABSTRAK

Chanif, Mas. 2019. **Sintesis Material  $\text{CaTiO}_3$  Terdoping  $\text{Fe}^{3+}$  dengan Menggunakan Metode Lelehan Garam Campuran NaCl-KCl.** Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing I: Dr. AntonPrasetyo, M.Si, Pembimbing II: Dr. M. Mukhlis Fahrudin, M.S.I

---

**Kata kunci:**  $\text{CaTi}_{(1-x)}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x= 0; 0,05; 0,1; 0,15$  dan  $0,2$ ), dopan Fe, fotokatalis, energi celah pita, metode lelehan garam.

Kalsium Titanat ( $\text{CaTiO}_3$ ) adalah salah satu material berstruktur perovskit yang berpotensi besar dimanfaatkan sebagai material fotokatalis. Akan tetapi  $\text{CaTiO}_3$  mempunyai energi celah pita yang besar ( $E_g = 3,2$  eV) sehingga hanya bekerja pada daerah sinar *ultraviolet* (UV). Pendopongan adalah cara yang banyak digunakan untuk menggeser penyerapan cahaya ke arah sinar tampak dengan mensubstitusikan dopan ke dalam semikonduktor. Salah satu logam yang dilaporkan berhasil menggeser fungsi kerja material fotokatalis adalah logam Fe. Dalam penelitian ini telah disintesis  $\text{CaTi}_{(1-x)}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x= 0; 0,05; 0,1; 0,15$  dan  $0,2$ ) dengan metode lelehan garam campuran NaCl-KCl. Difaktogram senyawa  $\text{CaTi}_{(1-x)}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x= 0; 0,05; 0,1; 0,15$  dan  $0,2$ ) menunjukkan bahwa sampel berhasil disintesis dan tidak ditemukan pengotor. Mikrograf SEM menunjukkan bahwa sampel memiliki morfologi yang tidak beraturan dan cenderung terbentuk aglomerasi. Sedangkan spektra UV-Vis DRS menunjukkan munculnya serapan pada panjang gelombang cahaya tampak yang disebabkan oleh adanya dopan  $\text{Fe}^{3+}$ .



## ABSTRACT

Chanif, Mas. 2019. **Synthesis of Fe<sup>3+</sup> Doped CaTiO<sub>3</sub> Material Using NaCl-KCl Mixed Molten Salt Method.** Department of Chemistry Faculty of Science and Technology, The State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor I: Dr. Anton Prasetyo, M. Sc, Supervisor II: Dr. M. Mukhlis Fahrudin, M.S.I

---

**Keywords:** *CaTi<sub>(1-x)</sub>Fe<sub>x</sub>O<sub>3</sub> (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15 and 0,2), doped Fe, photocatalytic, molten salt method.*

Calcium Titanate (CaTiO<sub>3</sub>) is a perovskite structure material that has great potential to be used as a photocatalyst material. However, CaTiO<sub>3</sub> has a large band gap energy (E<sub>g</sub> = 3,2 eV) therefore it only works in the ultraviolet (UV) light region. Doping is a widely used method of shifting light absorption towards visible light by substituting dopants into semiconductors. One metal that has been reported to be successful in shifting the work function of the photocatalyst material is Fe metal. In this study, CaTi<sub>(1-x)</sub>Fe<sub>x</sub>O<sub>3</sub> (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15 dan 0,2) has been synthesized by using the NaCl-KCl mixed salt melt method. The CaTi<sub>(1-x)</sub>Fe<sub>x</sub>O<sub>3</sub> (x= 0; 0,05; 0,1; 0,15 dan 0,2) diffactogram showed that the sample was successfully synthesized and no impurities were found. The SEM micrographs showed that the samples have irregular morphology and tend to form agglomerations. Meanwhile, the DRS UV-Vis spectra showed the appearance of absorption at visible light wavelengths caused by the presence of Fe<sup>3+</sup> dopant.

## الملخص

هنيف, ماس. 2021. تخليق مادة  $Fe^{3+} CaTiO_3$  باستخدام طريقة تدويب ملح مختلط NaCl-KCl. كلية العلوم والتكنولوجيا ، جامعة مولانا مالك إبراهيم الحكومية الإسلامية في مالانج. المشرف 1: الدكتور انتون فراستيو، الماجستير. المشرف 2: الدكتور محمد مخلص فحر الدين، الماجستير.

الكلمات الأساسية :  $CaTi_{(1-x)}Fe_xO_3$  ( $x= 0; 0,05; 0,1; 0,15$  dan  $0,2$ ) ،  $Fe$  ،  $dopant$  ، محفز ضوئي ، طاقة فجوة النطاق ، طريقة تدويب الملح.

تيتانات الكالسيوم ( $CaTiO_3$ ) يعنى مادة هيكل فروفسكيت التى إمكانية كبيرة لاستخدامها كمواد محفز ضوئي. ولكن ،  $CaTiO_3$  على طاقة فجوة نطاق كبيرة ( $E_g = 3,2$  eV) حتى فقط في منطقة الضوء فوق البنفسجي (UV). المنشطات هي طريقة مستخدمة على نطاق واسع لتحويل امتصاص الضوء نحو الضوء المرئي عن طريق استبدال المنشطات بأشباه الموصلات. أحد المعادن التي تم الإبلاغ عن نجاحها في تحويل وظيفة عمل مادة الحفاز الضوئي هو معدن الحديد. في هذا البحث تم تصنيعه  $CaTi_{(1-x)}Fe_xO_3$  ( $x= 0; 0,05; 0,1; 0,15$  dan  $0,2$ ) بطريقة تدويب ملح مختلط NaCl-KCl. مجمع ديفاكثوغرام ( $x= 0; 0,05; 0,1; 0,15$  dan  $0,2$ )  $CaTi_{(1-x)}Fe_xO_3$  يشير إلى أن العينة بنجاح ولم يتم العثور على شوائب. Mikrograf SEM يشير إلى أن العينة بها شكل غير منتظم وتميل إلى تكوين تكتلات. حيث ان UV-Vis DRS يشير إلى ظهور الامتصاص عند الأطوال الموجية للضوء المرئي الناتجة عن وجود المنشطات  $Fe^{3+}$ .

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan ilmu pengetahuan dan kebutuhan manusia yang semakin tinggi mendorong terjadinya ekspansi industri global, salah satunya adalah sektor industri. Perkembangan dibidang industri dapat memberikan kontribusi bagi perekonomian Indonesia, tetapi, juga menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan. Salah satu dari jenis limbah adalah zat warna yang dihasilkan dari industri tekstil. Berbagai metode sudah banyak dilakukan oleh para peneliti untuk meminimalkan pencemaran limbah industri terhadap lingkungan sekitar. Salah satu metode yang tengah gencar dikembangkan adalah metode fotokatalis yang memanfaatkan sinar matahari untuk mendegradasi cemaran zat warna menjadi zat-zat yang lebih sederhana dan tidak berbahaya bagi lingkungan air (Zhang, dkk., 2016).

Fotokatalis merupakan suatu proses katalis yang memanfaatkan cahaya matahari sebagai sumber energi. Metode fotokatalis menawarkan keuntungan yang baik dalam proses pendegradasian limbah karena lebih efektif dan murah dalam mendegradasi limbah organik dan bakteri (Shivaraju., 2011). Teknologi fotokatalis telah banyak digunakan dan diaplikasikan untuk berbagai pengolahan limbah seperti degradasi alizarin (Roopaei, dkk., 2014), metilen orange (Pundisari, dkk., 2013), dan metilen biru (Widihatidkk., 2011). Material yang digunakan sebagai fotokatalis merupakan suatu semikonduktor yang mempunyai energi celah pita yang kecil, yakni pada rentang 0,5-5 eV. Material yang sering

digunakan sebagai agen fotokatalis adalah oksida logam yang mempunyai sifat semikonduktor seperti:  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{CdO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{SnO}_2$ , sedangkan dari kelompok sulfida adalah  $\text{CdS}$ ,  $\text{ZnS}$ ,  $\text{CuS}$ , dan  $\text{FeS}$  (Rahmawati dan Fitria, 2010).

Senyawa  $\text{CaTiO}_3$  mempunyai rumus umum  $\text{ABO}_3$  dengan struktur perovskit yang dilaporkan mempunyai potensi yang dapat digunakan sebagai material fotokatalis. Pada struktur perovskit kation  $A$  dan  $B$  dapat disubstitusi atau doping dengan logam lain berupa ion logam monovalen, divalen, dan trivalen seperti  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{La}^{3+}$ ,  $\text{Pr}^{3+}$ ,  $\text{Nd}^{3+}$  pada kation  $A$  dan  $\text{Ti}^{4+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ , atau  $\text{Mn}^{4+}$  pada kation  $B$  (Yang dkk., 2013; Roth, 1957; Fatihah, 2017). Pendopongan ini bertujuan untuk mendapatkan sifat-sifat yang lebih menarik, misalnya untuk aplikasi dibidang elektrik dan fotokatalis (Moura dkk., 2017).

Penelitian tentang senyawa perovskit terus diteliti, dikembangkan, dan dilakukan secara bertahap dan sistematis dalam proses menemukan metode sintesis yang lebih baik, pendopongan dalam tujuan untuk meningkatkan kinerjanya dalam mendegradasi limbah zat warna merupakan sebuah ciri dan perilaku seorang ilmuwan muslim yang digambarkan dalam firman Allah SWT surat Ali Imron ayat 190-191 yang berbunyi:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَأَخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ ۗ الَّذِينَ يَذْكُرُونَ  
 اللَّهَ قِيَمًا وَفُجُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا  
 بَطِلًا سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ ۗ

Artinya: “*Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang berakal (190), (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadan 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 (191)''.*

Diakhir ayat 190 terdapat kata (orang-orang yang berakal). Kata *Ulul Albab/Ulil Albab* disebutkan sebanyak 16 kali dalam al-Quran. Apabila kita perhatikan penggunaan kata ini dalam al-Quran bahwa hakikatnya *Ulul Albab* adalah orang yang menggunakan akalnyanya untuk mengenal siapa Allah SWT, bagaimana keagungannya, kebijakannya, dan keadilannya dengan melihat ayat-ayat Allah SWT, baik ayat kauniyah (ciptaan-Nya) maupun ayat syar'iyah (hukum Allah SWT), sehingga kita semakin tunduk dan dekat kepada Allah SWT. Seorang *Ulul Albab* akan mampu mengungkap hikmah dari setiap ciptaan Allah SWT bahwa sesungguhnya tuhan tidak menciptakan alam semesta dan segala isinya dengan sia-sia (Shihab, 2002). Sebagai mahasiswa kimia, memikirkan, mempelajari dan memanfaatkan berbagai senyawa kimia dalam rangka mengembangkan ilmu pengetahuan, menciptakan teknologi yang bermanfaat bagi lingkungan seperti sintesis senyawa  $\text{CaTiO}_3$  merupakan betuk usaha untuk mengingat Allah SWT dibalik ciptaannya dan menjadi salah satu usaha untuk menjadi seseorang yang *Ulul Albab*.

Senyawa  $\text{CaTiO}_3$  dilaporkan mempunyai nilai energi celah pita sebesar 3,5 eV sehingga hanya aktif pada daerah sinar ultraviolet (UV). Hal ini tentunya kurang menguntungkan jika diterapkan di Indonesia yang merupakan negara tropis, karena lebih dari 98% cahaya matahari yang mencapai bumi berada pada rentang daerah sinar tampak ( $\lambda > 400\text{nm}$ ) (Chen dan Wu, 2004). Untuk itu, banyak usaha yang dilakukan untuk meningkatkan aktifitasnya dalam menyerap cahaya dalam rentang cahaya tampak, yaitu dengan doping logam atau non logam. Yang, dkk. (2013) melaporkan bahwa pendopingan dengan Fe secara signifikan

dapat meningkatkan kemampuan penyerapan  $\text{CaTiO}_3$  pada daerah cahaya tampak serta mampu meningkatkan aktivitas fotokatalitiknya dalam mendegradasi metilen biru. Huang, dkk. (2015) melaporkan bahwa  $\text{CaTiO}_3$  yang didoping dengan Zr 5% memberikan aktivitas fotokatalitik terbaik, sedangkan Jang, dkk. (2010) melaporkan bahwa  $\text{CaTiO}_3$  yang didoping  $\text{Fe}^{3+}$  mampu meningkatkan aktivitas fotokatalitik yang dibuktikan dengan penurunan nilai energi celah pita yang semula 3,38 menjadi 2,25 eV. Logam  $\text{Fe}^{3+}$  bisa digunakan sebagai dopan pada material  $\text{CaTiO}_3$  karena mempunyai jari-jari sebesar  $0,79\text{\AA}$  yang hampir sama dengan jari-jari  $\text{Ti}^{4+}$   $0,75\text{\AA}$ , sehingga ion  $\text{Fe}^{3+}$  bisa mudah ditampung kedalam kisi. Yang, dkk. (2013) melaporkan telah berhasil mendoping logam  $\text{Fe}^{3+}$  pada material  $\text{CaTiO}_3$  dengan metode reaksi keadaan padatan.

Selain nilai energi celah pita, aktifitas fotokatalitik juga dipengaruhi oleh morfologi ukuran dan keseragamannya. Henrique, dkk. (2016) melaporkan bahwa  $\text{SrTiO}_3$  yang didoping dengan Fe pada rasio molar 5% dan 10% melalui analisis *scanning electron microscope* (SEM) menampilkan bentuk dan ukuran kristal bulat yang seragam pada perbesaran 100 nm dengan permukaan yang halus dan teratur. Ukuran dan bentuk kristal yang seragam ini secara signifikan mampu meningkatkan kemampuannya sebagai fotokatalis dalam mendegradasi metilen biru (MB).

Metode lelehan garam merupakan metode yang menggunakan garam sebagai medium reaksi (Kimura, 2006). Beberapa garam yang dapat digunakan antara lain adalah NaCl, KCl atau garam campuran NaCl-KCl, NaOH-KOH. Prekursor dan garam akan dicampur dan dipanaskan pada suhu titik leleh garam agar membentuk fase cair dan prekursor akan menyebar, berdisosiasi, menyusun

ulang, dan berdifusi dengan cepat ke seluruh garam. Pada proses nukleasi dan pertumbuhan kristal akan terjadi pada proses presipitasi-larutan. Morfologi dan ukuran partikel produk dapat kita kontrol dengan variasi suhu dan lama pemanasan, sedangkan material sintesis yang diperoleh didinginkan sampai suhu kamar dan dicuci dengan pelarut yang sesuai (air) untuk menghilangkan garam (Xue dkk., 2017).

Sintesis menggunakan metode lelehan garam telah banyak dilakukan dengan menggunakan garam-garam campuran seperti KCl, NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang dipadukan menjadi garam campuran NaCl-KCl dan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, dimana garam campuran tersebut akan memberikan titik leleh yang lebih rendah dalam mensintesis material perovskit sebagai fotokatalis semikonduktor (Kan dkk., 2003; Kimura dkk., 2011). Chen dan Zeng. (2010) telah mensintesis material CaCu<sub>3</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>12</sub> menggunakan garam campuran NaCl-KCl dengan suhu kalsinasi 750-1000°C, dan didapatkan senyawa murni dengan ukuran partikel rata-rata 2 nm. Kan, dkk. (2003) juga menggunakan garam campuran NaCl-KCl untuk mensintesis material bismuth titanat dan menghasilkan kristal yang semakin besar. Metode ini juga telah digunakan oleh beberapa peneliti untuk mensintesis kristal tunggal berbagai oksida seperti Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (Ke, dkk., 2007) Niobate (Xu, dkk., 2007), dan *nanowires* Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (Wang, dkk., 2002).

Dari uraian di atas, maka dalam penelitian ini akan disintesis senyawa CaTi<sub>(1-x)</sub>Fe<sub>x</sub>O<sub>3</sub> ( $x = 0; 0,05; 0,1; 0,15$  dan  $0,2$ ) dengan menggunakan metode lelehan garam campuran NaCl-KCl. Hasil sintesis akan dikarakterisasi dengan *X-Ray diffraction* (XRD), *scanning electron microscopy-energy dispersive spectroscopy* (SEM-EDS) untuk mengetahui morfologi dan komposisi unsur

senyawa, dan UV-Vis *diffuse reflectance spectroscopy* (DRS) untuk mengetahui nilai energi celah pita.

## 1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana struktur, morfologi, komposisi unsur penyusun senyawa, dan energi celah pita dari senyawa  $\text{CaTi}_{(1-x)}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x= 0; 0,05; 0,1; 0,15$  dan  $0,2$ ) yang disintesis dengan metode lelehan garam campuran NaCl-KCl?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Mengetahui struktur, morfologi, komposisi unsur penyusun senyawa, dan energi celah pita dari senyawa  $\text{CaTi}_{(1-x)}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x=0; 0,05; 0,1; 0,15$  dan  $0,2$ ) yang disintesis dengan metode lelehan garam campuran NaCl-KCl.

## 1.4 Batasan Masalah

1. Rasio mol  $\text{CaTiO}_3/\text{NaCl-KCl}$  yang digunakan dalam proses sintesis adalah 1:7:7.
2. Suhu kalsinasi yang digunakan adalah  $800^\circ\text{C}$ .

## 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini akan memberikan informasi terkait pengaruh dopan  $\text{Fe}^{3+}$  terhadap struktur, morfologi, komposisi unsur penyusun senyawa, dan nilai energi celah pita senyawa  $\text{CaTi}_{(1-x)}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x= 0; 0,05; 0,1; 0,15$  dan  $0,2$ ) dengan metode lelehan garam campuran NaCl-KCl, dan diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap kajian struktur pada senyawa  $\text{CaTiO}_3$  dalam aplikasi fotokatalis.

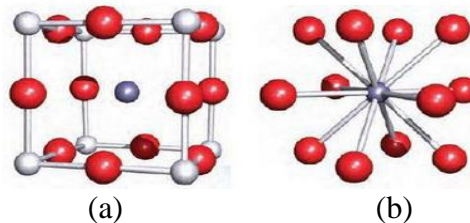


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Senyawa $\text{CaTiO}_3$

$\text{CaTiO}_3$  merupakan kristal katalis tipe perovskit dengan rumus stoikiometri  $\text{ABO}_3$ . Nama perovskit pertama kali diperkenalkan oleh Gustav Rose, kimiawan asal Jerman yang berhasil menemukan mineral  $\text{CaTiO}_3$  di pegunungan Ural pada tahun 1893. Diberi nama perovskit sebagai tanda untuk menghormati Lev Alexeievitch Perovsky seorang ahli sains material, mineral fisika padatan dan geologi Rusia yang merupakan penggagas utama dalam identifikasi  $\text{CaTiO}_3$  (Pramita, 2017).  $\text{CaTiO}_3$  memiliki sifat kimia yang unik, stabil dan berpotensi digunakan sebagai fotokatalis pada dekomposisi air dibawah iradiasi sinar UV (Lisma, 2012). Struktur senyawa  $\text{CaTiO}_3$  ditampilkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur kristal  $\text{CaTiO}_3$  (ungu = Ca; merah = O; abu-abu = Ti) (Safira, 2017)

Perovskit adalah nama dari struktur kristal dengan susunan  $\text{ABO}_3$ , posisi  $A$  dan  $B$  bisa ditempati oleh berbagai kation anorganik. Perovskit mempunyai struktur kubik atau hampir kubik, biasanya dapat mengalami satu atau lebih transisi fasa struktur terutama pada suhu yang rendah. Kation  $B$  adalah ion logam transisi seperti Co, Fe, Ni, Ti, atau Mn yang terletak ditengah oktahedron anion

oksigen. Kation  $A$  berupa ion logam monovalen, divalen, dan trivalent seperti Li, Na, K, Ba, Ca, atau La, Pr, dan Nd. Ion  $A$  dikelilingi oleh 12 ion oksigen yang berjarak sangat jauh (Safira, 2017).

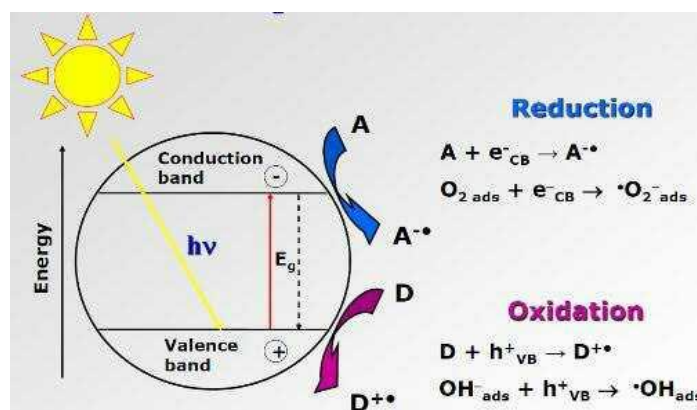
## 2.2 Teknologi Fotokatalis

Fotokatalisis secara umum dapat diartikan sebagai proses transformasi kimia yang dibantu oleh cahaya dan material katalis. Fotokatalis merupakan suatu kombinasi dari proses fotokimia dan katalisis. Proses fotokimia sendiri adalah proses transformasi secara kimiawi dengan melibatkan cahaya sebagai pemicunya. (Nitya, dkk., 2012).

Metode fotokatalisis menawarkan keuntungan yang baik dalam proses pendegradasian limbah karena lebih efektif dan murah dalam mendegradasi limbah organik (Shivaraju, 2011). Material yang digunakan sebagai fotokatalis merupakan suatu semikonduktor yang mempunyai energi celah pita ( $E_g$ ) yang kecil, yakni antara 0,5-5 eV. Material yang sering digunakan sebagai agen fotokatalis adalah oksida logam yang mempunyai sifat semikonduktor seperti :TiO<sub>2</sub>, ZnO, CuO, CdO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,WO<sub>3</sub>, dan SnO<sub>2</sub> (Arief, 2011; Rahmawati, 2010).

Proses pendegradasian zat warna dalam fotokatalis terjadi ketika suatu katalis semikonduktor dikenai suatu sinar dengan energi yang lebih besar, maka elektron ( $e^-$ ) pada pita valensi bereaksi menuju ke pita konduksi dan akan meninggalkan lubang positif atau *hole* ( $h^+$ ) pada pita valensi. *Hole* ( $h^+$ ) dapat bereaksi dengan air (H<sub>2</sub>O) atau gugus hidroksil (OH<sup>-</sup>) yang diserap dipermukaan untuk menghasilkan radikal hidroksil (OH<sup>•</sup>) yang bersifat sebagai oksidator kuat, dan elektron ( $e^-$ ) dapat bereaksi dengan oksigen (O<sub>2</sub>) untuk membentuk radikal superkonduktor (O<sub>2</sub><sup>•-</sup>) yang bersifat sebagai reduktor. Oksidator dan reduktor

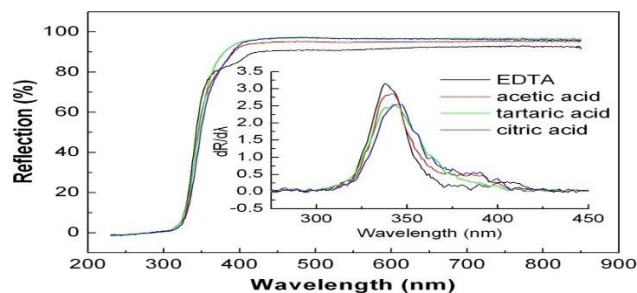
tersebut mendegradasi zat warna metilen biru sehingga menghasilkan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O serta beberapa asam dengan konsentrasi yang rendah (Batista dkk., 2010). Mekanisme fotokatalitik di tampilkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Diagram skematis reaksi fotokatalis (Samsudin, dkk., 2015).

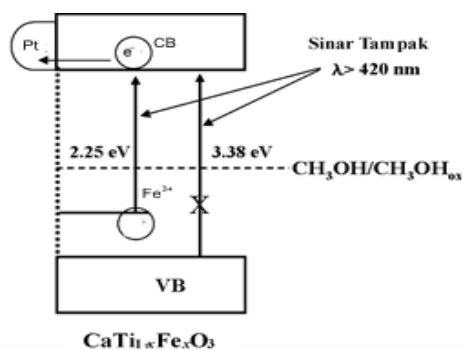
### 2.3 Pemanfaatan Senyawa CaTiO<sub>3</sub> Sebagai Material Fotokatalis

Penelitian terdahulu melaporkan bahwa CaTiO<sub>3</sub> mempunyai energi celah pita sebesar 3,6 eV pada panjang gelombang 350 nm. Pada uji aktifitas fotokatalitik dalam mereduksi CO<sub>2</sub> dengan H<sub>2</sub>O menunjukkan pengurangan sebesar 45% dalam mendegradasi CO<sub>2</sub> (Yoshida dkk., 2014). Huo, dkk. 2014 telah mensintesis CaTiO<sub>3</sub> dengan menggunakan zat pengkhelet EDTA, asam asetat, dan asam tartarat. Energi celah pita yang diperoleh berkisar pada nilai 3,59-3,66 eV atau pada rentang panjang gelombang 275-450 nm dan spektra DRS CaTiO<sub>3</sub> ditampilkan pada Gambar 2.3. Pada uji aktifitas fotokatalitik CaTiO<sub>3</sub> mampu mendegradasi zat warna *methylene orange* hingga 80 sampai 90% selama 3 jam.

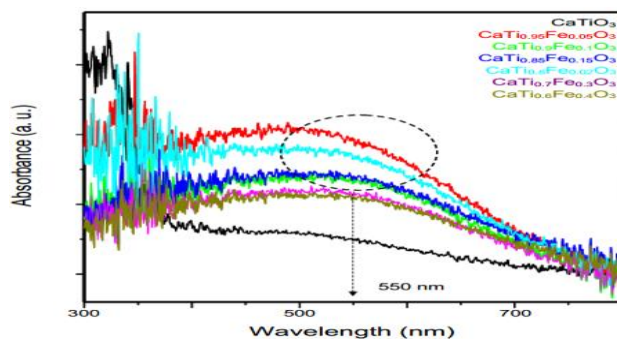


Gambar 2.3 Spektra reflektansi UV-Vis sampel  $\text{CaTiO}_3$  yang menunjukkan serapan pada kisaran panjang gelombang 275-450 nm (Huo dkk., 2014).

$\text{CaTiO}_3$  sebagai fotokatalis dengan nilai energi celah pita 3,5 eV hanya aktif pada daerah sinar ultraviolet (UV) dinilai belum efisien karena lebih dari 98% cahaya matahari yang mencapai bumi berada pada rentang daerah sinar tampak ( $\lambda > 400$  nm) (Wu dan Chen, 2004). Untuk itu, banyak usaha yang dilakukan untuk meningkatkan aktifitasnya dalam menyerap cahaya dalam rentang cahaya tampak, yaitu dengan doping logam atau non logam. Doping merupakan suatu proses pemasukan unsur lain (dopan) yang dilakukan untuk memperbaiki sifat-sifat bahan, dan salah satunya adalah untuk meningkatkan konduktivitas semikonduktor atau mendapatkan semikonduktor yang memiliki nilai energi celah pita lebih rendah dari aslinya (Lestari dkk., 2009).



Gambar 2.4 Skema celah pita dari  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  (Jang dkk., 2011).



Gambar 2.5 Spektra UV-Vis dari  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  fotokatalisis dengan  $x =$  (a) 0; (b) 0,05; (c) 0,1; (d) 0,15; (e) 0,2; (f) 0,3; dan (g) 0,4 (Jang, dkk., 2011).

Jang, dkk. (2010) melaporkan bahwa  $\text{CaTiO}_3$  yang didoping Fe mampu memperkecil energi celah pita dari 3,38 eV menjadi 2,25 eV seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.4. Spektrum reflektansi difusi UV dari sampel  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $0 \leq x \leq 0,4$ ) ditampilkan oleh Gambar 2.5 menunjukkan bahwa pada puncak spektrum sampel  $\text{CaTiO}_3$  yang tidak didoping muncul pada serapan panjang gelombang 388 nm, sedangkan spektrum absorpsi sampel  $\text{CaTiO}_3$  terdoping Fe menunjukkan penyerapan baru di wilayah cahaya tampak yaitu (550 nm). Penyerapan cahaya meningkat seiring dengan menurunnya konsentrasi logam Fe yang didoping.

#### 2.4 Metode Sintesis Lelehan Garam

Metode lelehan garam merupakan metode sintesis yang menggunakan lelehan garam sebagai media reaksi. Garam yang mempunyai titik leleh rendah ditambahkan dalam reaktan dan dipanaskan sampai suhu titik leleh dari garam, dan lelehan garam akan digunakan sebagai medium reaksi (Sikalidis, 2011). Salah satu keuntungan dari metode lelehan garam adalah membutuhkan suhu reaksi yang relatif rendah, dan juga mobilitas ion dalam garam cair ( $10^{-5} - 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$ )

$10^{10}$  kali lebih tinggi daripada padatan ( $10^{-18}\text{cm}^2/\text{s}$ ), sehingga waktu reaksi yang diperlukan lebih cepat (He, dkk., 2014).

Secara umum, terdapat beberapa tahapan dalam metode lelehan garam. Tahapan pertama adalah pencampuran antara prekursor dengan garam, dengan perbandingan jumlah garam lebih banyak daripada jumlah prekursor. Selanjutnya adalah proses homogenisasi yang dilakukan dalam krus alumina yang kemudian dipanaskan sampai di atas suhu eutektik dan didinginkan. Setelah dingin, produk yang dihasilkan dicuci dengan air hangat yang bertujuan untuk memisahkan garam dan prekursor, dan kemudian dikeringkan untuk menghasilkan produk yang kering (Kimura, dkk., 2011). Faktor-faktor yang mempengaruhi hasil sintesis dengan metode lelehan garam adalah:

1. Suhu Sintering

Suhu sintering berpengaruh terhadap struktur morfologis kristal, dimana semakin tinggi suhu pemanasan, maka ukuran kristal yang dihasilkan akan relatif semakin besar. Hal ini disebabkan karena pada suhu tinggi, partikel akan menurunkan energi permukaannya, sehingga partikel yang terbentuk akan semakin baik (Zhao, dkk., 2014).

2. Jenis Garam

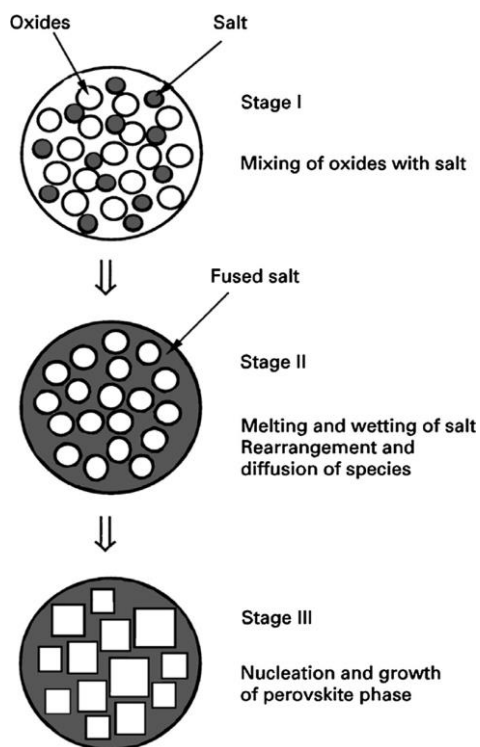
Jenis garam yang digunakan akan sangat berpengaruh terhadap kristal yang dihasilkan dari proses sintesis, yaitu akan berpengaruh pada morfologi dan ukuran partikel produk. Hal ini dapat dimungkinkan karena perbedaan kelarutan dan ukuran anion dari konstituen oksida pada garam. Sedangkan faktor lain yang berpengaruh adalah transportasi massa dan

kelarutan produk terhadap lelehan garam (He, dkk., 2014; Kan, dkk., 2003).

### 3. Laju penurunan suhu sintering

Laju penurunan suhu sintering sangat berpengaruh terhadap ukuran partikel dan morfologi partikel kristal yang dihasilkan. Karena semakin kecil laju perbandingan, ukuran kristal akan relatif lebih besar. Rasio diameter dan ketebalan kristal juga dipengaruhi oleh faktor ini. Laju pendinginan yang lambat mampu mencegah pendinginan mendadak yang mungkin dapat terjadi pada lelehan, sehingga proses nukleasi spontan dapat dicegah (Zhao, dkk., 2014).

Piaojie, dkk. (2017) menjelaskan tahap dan proses sintesis serbuk oksida perovskit dengan metode lelehan garam yang diilustrasikan pada Gambar 2.6. Tahap 1, prekursor yang akan membentuk senyawa yang diinginkan dicampur dengan garam tunggal atau campuran (misalnya NaCl, KCl, atau NaCl-KCl). Pada tahap II, campuran dipanaskan pada suhu tertentu yang berada diatas titik leleh garam guna membentuk fluks cair. Pada suhu ini, molekul dari prekursor menyebar, berdisosiasi, menyusun ulang, dan berdifusi cepat ke seluruh garam. Pada tahap III, partikel produk mulai membentuk inti (*nukleasi*) dan tumbuh melalui proses presipitasi-larutan. Reaktan yang telah bereaksi didinginkan sampai suhu kamar dan dicuci dengan pelarut yang sesuai (air) untuk menghilangkan garam. Serbuk oksida perovskit kompleks dapat diperoleh setelah melakukan pengeringan. Sedangkan untuk karakteristik serbuk produk dapat dikontrol dengan mengatur suhu dan lama pemanasan.

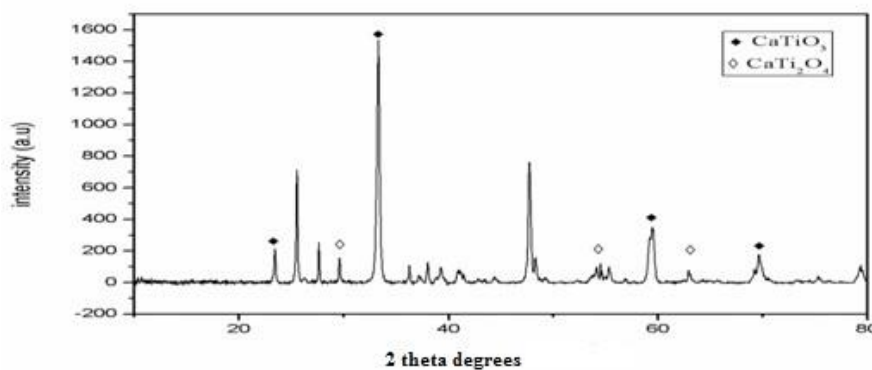


Gambar 2.6 Ilustrasi tahapan metode lelehan garam untuk sintesis serbuk oksida perovskit (Piaoji, dkk., 2017).

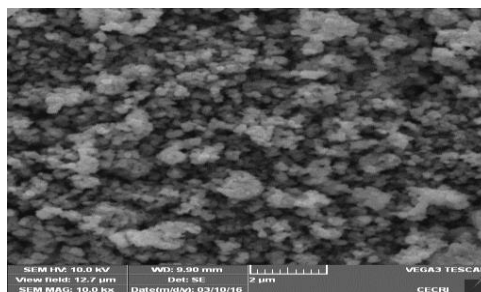
## 2.5 Sintesis $\text{CaTiO}_3$ dengan Metode Lelehan Garam

Beberapa pihak telah mensintesis  $\text{CaTiO}_3$  dengan metode lelehan garam. Bercmans, dkk. (2017) telah mensintesis material  $\text{CaTiO}_3$  menggunakan metode lelehan garam dari campuran garam  $\text{NaCl-KCl}$  pada suhu  $850^\circ\text{C}$  selama 5 jam. Data XRD menunjukkan bahwa telah diperoleh senyawa target tanpa pengotor dengan kristalinitas tinggi yang ditandai dengan puncak-puncak difraksi yang tajam seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.7. Gambar SEM ditampilkan pada Gambar 2.8 dan diperoleh hasil bahwa morfologi  $\text{CaTiO}_3$  berbentuk bulatan kecil tak beraturan dengan ukuran kristal rata-rata 50 nm.



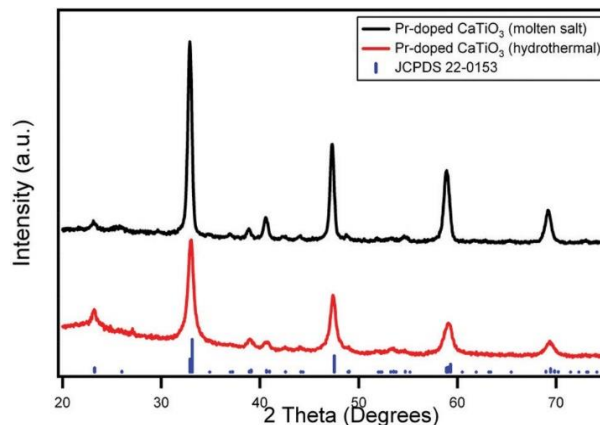


Gambar 2.7 Difraktogram  $\text{CaTiO}_3$  (Bercmans,dkk.,2017).

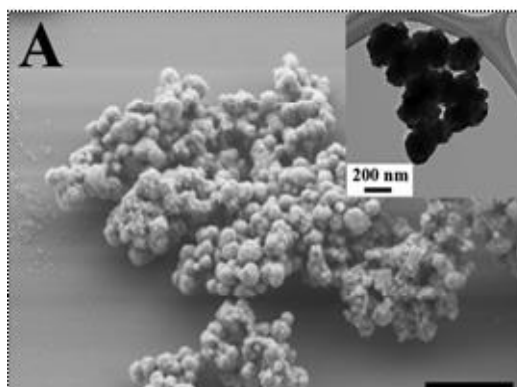


Gambar 2.8 Gambar SEM senyawa  $\text{CaTiO}_3$  (Bercmans,dkk.,2017).

Lewis, dkk. (2015) telah mensintesis material  $\text{CaTiO}_3$  yang didoping Pr dengan menggunakan metode lelehan garam campuran kalsium okslat ( $\text{CaC}_2\text{O}_4$ ), titanium oksida ( $\text{TiO}_2$ ), natrium klorida ( $\text{NaCl}$ ) dan Triton X-100 dengan perbandingan rasio molar 1:1:20:3 pada suhu  $820^\circ\text{C}$  selama 3,5 jam. Data XRD menunjukkan bahwa telah diperoleh senyawa target dengan kristalinitas tinggi yang ditandai dengan puncak-puncak difraksi yang lebih tajam dibanding dengan metode hidrotermal seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.9. Gambar dari karakterisasi SEM ditampilkan pada Gambar 2.10 dan diperoleh morfologi  $\text{CaTiO}_3$  berbentuk bola dengan permukaan eksternal sedikit kasar dengan ukuran kristal rata-rata 30 nm.



Gambar 2.9 Difraktogram  $\text{CaTiO}_3$  (hitam) terdoping Pr yang disintesis dengan metode lelehan garam dan  $\text{CaTiO}_3$  (merah) terdoping Pr yang disintesis dengan metode hidrotermal (Lewis, dkk., 2015).



Gambar 2.10 Gambar SEM senyawa  $\text{CaTiO}_3$  terdoping Pr (Lewis, dkk., 2015).

## 2.6 Manfaat $\text{CaTiO}_3$ dalam Persepektif Islam

Pengolahan limbah zat warna dilakukan untuk memperbaiki lingkungan dengan menggunakan berbagai macam metode salah satunya yaitu fotokatalis. Kelebihan dari metode fotokatalis adalah mampu mengubah limbah zat warna yang berbahaya menjadi senyawa yang tidak berbahaya dan ramah lingkungan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini perlu dilakukan pengabungan dua material fotokatalis agar manusia dapat menjalankan tugas dari Allah SWT untuk menjaga

dan memperbaiki lingkungan dari kerusakan. Mengenai hal ini Allah SWT berfirman dalam al-Quran surat al A'raf ayat 56:

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

٥٦

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

Al-Qarmi. (2007) dalam tafsir al-Misbah menjelaskan bahwa dalam ayat ini Allah SWT sangat melarang kita untuk berbuat kerusakan. Kemudian Allah SWT berfirman *“إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ”* sesungguhnya rahmat Allah SWT amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik. Pada ayat ini Allah SWT menggunakan kata *قَرِيبٌ* bukan *قَرِيبَةٌ* karena rahmat Allah SWT itu mengandung makna tsawah (pahala), atau karena rahmat itu disandarkan kepada Allah SWT. Oleh karena itu, Allah SWT berfirman *قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ* (amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik). Peringatan yang Allah berikan melalui ayat-ayat Nya merupakan sebuah perintah dan anjuran kepada kita agar menjaga lingkungan darat, udara dan air.

Khususnya lingkungan air, dewasa ini permasalahan mengenai pencemaran air oleh limbah zat warna yang dihasilkan oleh pabrik tekstil merupakan penyebab utama dari pencemaran lingkungan. Hal tersebut mengakibatkan ketidakseimbangan ekosistem dan mengancam keberlangsungan hidup manusia terutama biota air. Mengingat begitu pentingnya menjaga kelestarian air, Allah SWT berfirman dalam Q.S al-Anbiya' (21) ayat 30.

أَوْ لَمْ يَرَ الَّذِينَ كَفَرُوا أَنَّ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ كَانَتَا رَتْقًا فَفَتَقْنَاهُمَا وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ (٣٠)

Artinya:

*“Dan apakah orang-orang yang kafir tidak mengetahui bahwasanya langit dan bumi itu keduanya dahulu adalah suatu yang padu, kemudian Kami pisahkan antara keduanya. Dan dari air Kami jadikan segala sesuatu yang hidup. Maka mengapakah mereka tiada juga beriman? (50)”*

Menurut Ash-Shiddieqy (2000: 2604), Allah telah menjadikan segala yang hidup dari air, baik tumbuhan maupun binatang. Tidak ada benda hidup yang tidak membutuhkan air, bahkan airlah yang menjadi asalnya. Mengenai hal ini, Shihab (2002:445) juga mentafsirkan bahwa segala yang hidup membutuhkan air atau pemeliharaan kehidupan segala sesuatu adalah dengan air. Para pengarang *Tafsir al-Muntakhab* berkomentar bahwa ayat ini telah dibuktikan kebenarannya melalui penemuan lebih dari satu cabang ilmu pengetahuan. Sitologi misalnya menyatakan bahwa air adalah komponen terpenting dalam pembentukan sel yang merupakan satuan bangunan pada setiap makhluk hidup, baik hewan maupun tumbuhan.

Menanggapi masalah pencemaran air, material fotokatalis berbasis semikonduktor merupakan sebuah metode pendegradasian limbah yang tengah dikembangkan dan telah menarik minat yang besar untuk digunakan dalam pemecahan air dan degradasi polutan organik di udara atau air dikarenakan murah, tidak beracun dan mampu digunakan secara luas tanpa kehilangan aktivitas fotokatalitik (Gaikward, dkk., 2012) selain itu fotokatalis semikonduktor tidak menghasilkan limbah yang berbahaya dan lebih efektif dalam mendegradasi limbah-limbah senyawa organik maupun anorganik (Naimah, dkk., 2014). Sehingga secara tidak langsung penelitian tentang material  $\text{CaTiO}_3$  terdoping Fe

merupakan bentuk usaha dalam menjaga kelestarian lingkungan. Selain itu penelitian ini juga menunjukkan peran sains dan teknologi yang tepat, yaitu sebagai pendukung manusia dalam usaha melindungi lingkungan.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

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

#### **3.2 Alat dan Bahan**

##### **3.2.1 Alat**

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

##### **3.2.2 Bahan**

Bahan yang digunakan antara lain  $\text{CaCO}_3$  (Aldrich, 99,9% serbuk),  $\text{TiO}_2$  (Aldrich, 99,9% serbuk),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Aldrich, 99,9% serbuk),  $\text{NaCl}$  (Aldrich, 99,5% serbuk), aseton, dan akuades.

#### **3.3 Rancangan Penelitian**

1. Tahapan sintesis  $\text{CaTiO}_3$  terdoping  $\text{Fe}^{3+}$  dengan metode lelehan garam

$\text{CaTiO}_3$  terdoping  $\text{Fe}^{3+}$  disintesis dengan mencampurkan  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  secara stoikiometri dan dipanaskan pada suhu  $700^\circ\text{C}$  selama 6 jam dengan menggunakan rasio mol sampel dan garam adalah 1:7:7. Sintesis dilakukan dengan garam campuran  $\text{NaCl-KCl}$  pada suhu  $800^\circ\text{C}$  selama 6 jam.

## 2. Tahapan proses karakterisasi dan analisis data

Proses ini mencakup karakterisasi dan analisa produk sintesis menggunakan instrumen difraksi sinar-X untuk mengetahui struktur yang terbentuk, analisa morfologi dan komposisi produk sintesis dengan SEM-EDS, dan untuk mengetahui lebar celah pita produk sintesis menggunakan DRS.

### 3.4 Prosedur Kerja

#### 3.4.1 Sintesis $\text{CaTiO}_3$ Terdoping $\text{Fe}^{3+}$ dengan Metode Lelehan Garam

Senyawa Perovskit  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2$ ) disintesis dengan mencampurkan prekursor dan garam secara stoikiometri yang ditampilkan pada Tabel 3.1 dengan senyawa target sebanyak 4 gram pada  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x= 0,1$ ) dan 2,5 gram pada  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x= 0; 0,05; 0,15; 0,2$ ). Campuran tersebut digerus menggunakan mortar agate selama 2 jam dengan ditambahkan aseton selama penggerusan dan dikalsinasi pada suhu  $700^\circ\text{C}$  selama 6 jam. Kemudian dikalsinasi kembali pada  $800^\circ\text{C}$  selama 6 jam. Sampel dicuci beberapa kali menggunakan aquades panas untuk menghilangkan garam alkali, dan untuk mengidentifikasi ada tidaknya garam dapat diuji menggunakan larutan  $\text{AgNO}_3$  dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu  $75^\circ\text{C}$  sampai kering (Zhao, dkk., 2014; Zulhadjri, dkk., 2011). Perubahan senyawa target dari 4 gram menjadi 2,5 gram dilakukan akibat penggunaan garam campuran  $\text{NaCl-KCl}$  yang besar beresiko menyebabkan krus alumina yang digunakan sebagai wadah menjadi pecah akibat keropos (teroksidasi).

Tabel 3.1 Komposisi prekursor senyawa  $\text{CaTiO}_3$  terdoping Fe

Target Senyawa	Massa Target (gram)	Massa Pereaksi (gram)				
		$\text{CaCO}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{NaCl}$	$\text{KCl}$
$\text{CaTiO}_3$	2,5	1,8406	1,4693	-	7,5101	9,6019
$\text{CaTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$	2,5	1,8352	1,3917	0,0731	7,4856	9,5706
$\text{CaTi}_{0,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_3$	4	2,9278	2,1035	0,2335	11,9460	15,2685
$\text{CaTi}_{0,85}\text{Fe}_{0,15}\text{O}_3$	2,5	1,8245	1,2380	0,2183	7,4406	9,5132
$\text{CaTi}_{0,8}\text{Fe}_{0,2}\text{O}_3$	2,5	1,8461	1,1618	0,2902	7,4284	9,4975

### 3.4.2 Karakterisasi Hasil Sintesis $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ dengan XRD

Karakterisasi senyawa perovskit menggunakan XRD dilakukan dengan menempatkan sampel serbuk kurang lebih 0,5 gram dalam bentuk pelet dan diletakkan pada sampel *holder*. Pengukuran dilakukan pada rentang  $2\theta$ : 10-90°. Hasil XRD selanjutnya di *refinement* dengan menggunakan metode Le-Bail yang bertujuan untuk menentukan data kristalografinya (Lazarevi, dkk., 2007).

### 3.4.3 Karakterisasi Hasil Sintesis $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ dengan SEM-EDS

Karakterisasi morfologi senyawa perovskit menggunakan SEM, sampel serbuk dibuat pelet. Sampel diletakkan pada sampel *holder* dan dikarakterisasi dengan perbesaran 3.000-20.000 kali (Kan, dkk., 2003). Gambar hasil karakterisasi diolah dengan menggunakan *software image-J*.



### 3.4.4 Karakterisasi Hasil Sintesis $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ dengan UV-Vis DRS

Karakterisasi senyawa perovskit menggunakan DRS, sampel dalam bentuk serbuk halus ditempatkan pada sampel *holder* dan diukur persentase reflektansinya pada rentang panjang gelombang 200-800 nm.

## 3.5 Analisis Data

### 3.5.1 Analisis Data Difaktogram XRD

Hasil yang diperoleh dari karakterisasi XRD (difaktogram) dibandingkan dengan data standar JCPDS (No.82-0229). Kemudian data XRD di *Refinement* menggunakan program Retica dan metode *Le-Bail* untuk mendapatkan data kristalografinya.

### 3.5.2 Analisis Gambar SEM

Data yang didapatkan dari hasil karakterisasi menggunakan SEM-EDS mikrograf dan spektrum atom. Selanjutnya gambar yang diperoleh dianalisis menggunakan *software image-J* untuk mengetahui morfologi dan ukuran partikelnya.

### 3.5.3 Analisis Spektra UV-Vis DRS

Data yang didapatkan dari hasil karakterisasi dengan UV-Vis DRS dianalisa menggunakan persamaan Kubelka-Munk yang ditunjukkan pada Persamaan 3.1.

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

Dengan  $F(R)$  adalah faktor Kubelka-Munk,  $K$  adalah koefisien absorpsi molar,  $S$  adalah koefisien *scattering*, dan  $R$  adalah nilai reflektansi yang diukur.

Nilai energi celah pita ditentukan dari membuat plot antara energi foton ( $h\nu$ ) (sebagai sumbu  $x$ ) dan  $(F(R).h\nu)^{1/2}$  (sebagai sumbu  $y$ ). Energi foton ( $h\nu$ ) bisa dihitung dari data panjang gelombang yang terukur, dimana  $h\nu = hc/\lambda$  dengan  $c$  adalah tetapan cahaya dan  $h$  adalah tetapan Planck. Energi celah pita dihitung secara regresi linier pada nilai  $x$  ( $h\nu =$  energi celah pita) ketika  $y=0$ .

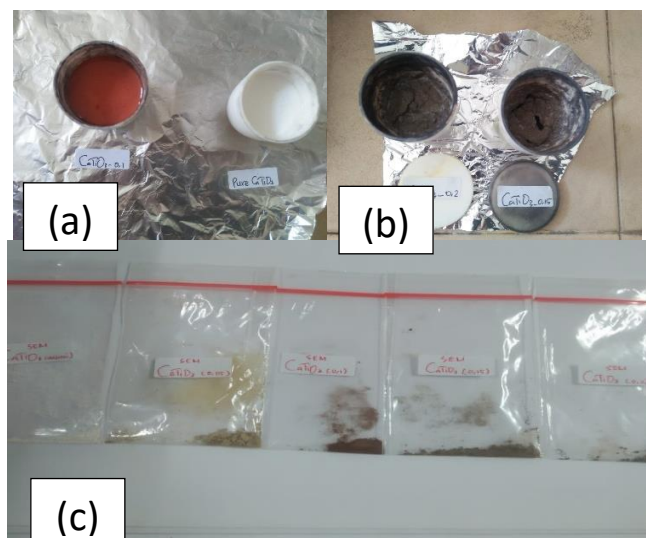
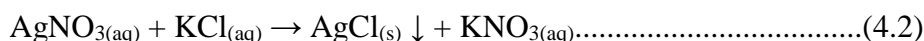
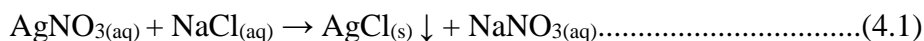
## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini dilakukan sintesis senyawa  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  dengan metode lelehan garam campuran NaCl-KCl dengan perbandingan 1:7:7 yang dikalsinasi pada suhu  $700^\circ\text{C}$  dan  $800^\circ\text{C}$  masing-masing selama 6 jam dengan variasi konsentrasi doping  $\text{Fe}^{3+}$  ( $x= 0; 0,05; 0,10; 0,15; \text{ dan } 0,2$ ). Material hasil sintesis selanjutnya dikarakterisasi menggunakan: (a) difraksi sinar-X (XRD) untuk mengidentifikasi struktur senyawa yang terbentuk, (b) *scanning electron microscopy* (SEM-EDS) untuk mengetahui morfologi partikel dan komposisi penyusun senyawa, (c) UV-Vis DRS untuk mengetahui serapan cahaya dan energi celah.

#### 4.1 Sintesis $\text{CaTiO}_3$ Terdoping $\text{Fe}^{3+}$ dengan Metode Lelehan Garam

Sintesis  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  dengan metode lelehan garam dilakukan dengan melakukan penggerusan prekursor  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , dan garam campuran NaCl-KCl. Penggerusan dilakukan dengan menggunakan *mortar agate* untuk memaksimalkan kontak antar prekursor. Selama proses penggerusan ditambahkan aseton untuk meningkatkan homogenitas prekursor. Kemudian dilakukan pemanasan pada suhu 700 dan  $800^\circ\text{C}$ . Perubahan sampel sebelum dan setelah kalsinasi  $800^\circ\text{C}$  ditampilkan pada Gambar 4.1. Perubahan warna dari orange menjadi hijau kehitaman menunjukkan bahwa terjadi reaksi selama kalsinasi dan terbentuk senyawa baru. Produk yang dihasilkan kemudian dicuci dengan air panas untuk menghilangkan garam. Keberadaan sisa garam diidentifikasi dengan  $\text{AgNO}_3$  yang reaksinya sebagai berikut:



Gambar 4.1 Perubahan warna sampel (a) sebelum kalsinasi, (b) setelah kalsinasi suhu  $800^{\circ}\text{C}$ , dan (c) setelah penyaringan sampel  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; \text{ dan } 0,2$ )

#### 4.2 Karakterisasi dan Analisis Data $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ dengan XRD

Pola difraksi sinar-X sampel  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; \text{ dan } 0,2$ ) ditampilkan pada Lampiran 3.7.1. Senyawa yang terbentuk diidentifikasi dengan mencocokkan pola difraksi sinar-X sampel dengan data standar  $\text{CaTiO}_3$  pada JCPDS (No.82-0229). Dari perbandingan tersebut menunjukkan bahwa fasa tunggal dari senyawa  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; \text{ dan } 0,2$ ) telah terbentuk dan tidak ditemukan fasa pengotor yang ditandai dengan tidak ditemukan puncak-puncak tambahan selain puncak khas  $\text{CaTiO}_3$  ( $2\theta= 23,43; 26,28; 33,27; 39,41; 41,03; 47,65; 53,87; 59,47; \text{ dan } 69,74^{\circ}$ )

Pergeseran puncak difraksi sinar-X pada posisi  $2^\circ\theta = 33,27^\circ$  ditampilkan pada Lampiran 3.7.2 dan diketahui bahwa dopan Fe dapat menggeser puncak ke arah  $2\theta$  yang lebih besar pada  $x = 0,05$  dan  $0,15$  sedangkan pada  $x = 0,1$  dan  $x = 0,2$  pergeseran puncak ke arah  $2\theta$  yang lebih kecil. Pada sampel  $\text{CaTi}_{0,90}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_3$ , dan  $\text{CaTi}_{0,80}\text{Fe}_{0,2}\text{O}_3$  puncak difraksi bergeser ke arah kiri ( $2\theta$  kecil) yang menunjukkan bahwa senyawa tersebut mempunyai ukuran kristal yang lebih besar. Hal ini mengindikasikan bahwa sebagian atom  $\text{Ti}^{4+}$  (jari-jari ionik  $0,745\text{\AA}$ ) digantikan oleh Fe dengan jari-jari ionik yang lebih besar, sehingga dapat diduga bahwa Fe yang mensubstitusi mempunyai bilangan oksidasi +3 (jari-jari ionik  $0,785\text{\AA}$ ). Pada sampel  $\text{CaTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$  dan  $\text{CaTi}_{0,85}\text{Fe}_{0,15}\text{O}_3$  puncak difraksi bergeser ke arah kanan ( $2\theta$  besar) yang menunjukkan bahwa senyawa tersebut mempunyai ukuran kristal yang lebih kecil sehingga dapat diduga bahwa sebagian atom  $\text{Ti}^{4+}$  digantikan oleh Fe dengan jari-jari ionik yang lebih kecil dengan bilangan oksidasi +4 (jari-jari ionik  $0,585\text{\AA}$ ). Akan tetapi untuk memastikan berapa bilangan oksidasi Fe tersebut harus dilakukan analisis tambahan dengan menggunakan *X-ray photoelectron spectroscopy* (XPS) dan dalam penelitian ini tidak dilakukan.

Untuk mendapatkan data kristalografi maka dilakukan *refinement* dengan metode Le Bail pada aplikasi Rietica. Proses *refinement* menggunakan data standar  $\text{CaTiO}_3$  JCPDS No. 82-0229 yang memiliki sistem kristal ortorombik dengan grup ruang *Pbnm*, dengan unit azimetrik ( $Z$ )= 4, parameter kisi kristal  $a = 5,4086\text{\AA}$ ;  $b = 5,4553\text{\AA}$ ;  $c = 7,6782\text{\AA}$ ; dan  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  dengan volum sel satuan 226,55. Plot hasil *refinement*  $\text{CaTiO}_3$  ditampilkan pada Lampiran 3.6.1  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ , sedangkan hasil plot *refinement* untuk (a)  $x=0$   $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x = 0,05$ ;

0,10; 0,15; dan 0,20) ditampilkan pada lampiran 3. Hasil proses *refinement* dirangkum pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Parameter kristal  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x= 0; 0,05; 0,10; \text{ dan } 0,15$ ).

Parameter	$\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ( $x=0$ )	$\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ( $x=0,05$ )	$\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ( $x=0,10$ )	$\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ( $x=0,15$ )	$\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ( $x=0,2$ )
Sistem Kristal	Ortorombik	Ortorombik	Ortorombik	Ortorombik	Ortorombik
Space Group	<i>Pbnm</i>	<i>Pbnm</i>	<i>Pbnm</i>	<i>Pbnm</i>	<i>Pbnm</i>
Jumlah Satuan Azimetrik ( <i>Z</i> )	4	4	4	4	4
<i>a</i> (Å)	5,3979	5,4067	5,4020	5,3848	5,4098
<i>b</i> (Å)	5,5517	5,3797	5,4137	5,4220	5,4245
<i>c</i> (Å)	7,6272	6,8277	7,6627	7,6630	7,6575
$\alpha, \beta, \gamma$ (°)	90, 90, 90	90, 90, 90	90, 90, 90	90, 90, 90	90, 90, 90
Volum sel ( <i>V</i> )	228,5728	198,5929	224,0922	225,2572	224,7171
<i>R<sub>p</sub></i> (%)	11,65	11,86	9,77	8,37	8,22
<i>R<sub>wp</sub></i> (%)	8,64	10,35	8,01	6,74	6,96

Berdasarkan Tabel 4.1 diketahui bahwa  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x= 0,05; 0,1; 0,15; \text{ dan } 0,2$ ) mempunyai kecocokan yang baik dengan data standar. Hal ini dapat dilihat dari nilai profil (*R<sub>p</sub>*) dan nilai residu profil berbobot (*R<sub>wp</sub>*) yaitu kurang dari 20% (Andrieux, dkk., 2018). Menurut Raharjo (2011) menyatakan bahwa nilai kesesuaian parameter didapat jika nilai *R<sub>p</sub>* < 10 dan nilai *R<sub>wp</sub>* kurang dari 20%, hal ini menunjukkan bahwa dopan tidak berpengaruh terhadap struktur kristal maupun grup ruang.

### 4.3 Karakterisasi sampel $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ dengan SEM

Gambar SEM  $\text{CaTiO}_3$  murni dan  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x= 0,05; 0,10; 0,15; \text{ dan } 0,20$ ) ditampilkan pada Lampiran 4 dan dapat dilihat bahwa morfologi partikel

yang terbentuk tidak beraturan. Morfologi partikel tidak beraturan telah dilaporkan Stoyanova, dkk. (2019) yang berhasil mensintesis  $\text{CaTiO}_3$  dengan metode hidrotermal dan menghasilkan morfologi partikel yang tidak beraturan dan sebelumnya juga telah dilaporkan oleh Bercmans, dkk. (2017) yang berhasil mensintesis material  $\text{CaTiO}_3$  menggunakan metode lelehan garam dari campuran garam NaCl-KCl pada suhu  $850^\circ\text{C}$  selama 5 jam dan menghasilkan morfologi  $\text{CaTiO}_3$  berbentuk bulatan kecil tak beraturan dengan ukuran kristal rata-rata 50 nm.

Morfologi yang tidak beraturan pada tiap senyawa memiliki ciri khas seiring meningkatnya konsentrasi dopan yang diberikan. Pada Lampiran 4 ( $\text{CaTiO}_3$  murni) dan sampel  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x= 0,05$ ; dan  $0,10$ ) menunjukkan bahwa morfologi partikel yang terbentuk adalah polihedral regular. Hal tersebut diperkuat oleh penelitian Yoshida, dkk. (2015) yang berhasil mensintesis  $\text{CaTiO}_3$  dengan morfologi partikel berbentuk polihedral regular pada suhu  $1100^\circ\text{C}$  dengan metode lelehan garam. Sedangkan pada sampel  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x= 0,15$  dan  $0,2$ ) diperoleh morfologi partikel berbentuk seperti kubus. Hal tersebut diperkuat oleh Yoshida, dkk. (2015) dan Wang, dkk. (2019) yang berhasil mensintesis  $\text{CaTiO}_3$  dengan metode lelehan garam pada suhu  $1100^\circ\text{C}$  dan  $974^\circ\text{C}$  dengan morfologi partikel berbentuk kubus. Distribusi permukaan  $\text{CaTiO}_3$  murni dan doping  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x= 0,05$ ;  $0,10$ ;  $0,15$ ; dan  $0,20$ ) membentuk partikel yang tidak beraturan dengan ukuran butiran yang lebih besar dengan mengalami aglomerasi.

Aglomerasi dapat disebabkan karena adanya cacat partikel akibat adanya substitusi Fe dalam kisi  $\text{CaTiO}_3$  yang menyebabkan ketidakhomogenan dan distorsi dalam pertumbuhan kristal (Li, dkk., 2014). Selain itu aglomerasi dapat

terjadi akibat meningkatnya energi total permukaan dari efek kalsinasi pada suhu tinggi sehingga untuk menurunkan energi total permukaan, partikel akan membentuk permukaan yang besar. Menurut Mondal, dkk. (2015) aglomerasi terjadi akibat adanya ketidakseimbangan muatan pada atom  $Ti^{4+}$  oleh dopan  $Fe^{3+}$  yang memiliki muatan lebih kecil yang mengakibatkan adanya kekosongan oksigen (*oxygen vacancy*). Kekosongan oksigen ini mendorong gerak ion oksigen yang lebih besar sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan butiran dengan ukuran partikel yang lebih besar dan menyebabkan muatan permukaan lebih besar sehingga membentuk aglomerasi

#### 4.4 Karakterisasi sampel $CaTi_{1-x}Fe_xO_3$ dengan EDS

Hasil analisis EDS dari kandungan unsur penyusun  $CaTi_{1-x}Fe_xO_3$  ( $x= 0; 0,05; 0,10; 0,15; \text{ dan } 0,20$ ) ditampilkan pada Tabel 4.2. Berdasarkan data tersebut diketahui bahwa dopan Fe terdeteksi pada kisi kristal  $CaTiO_3$ . Unsur-unsur penyusun dalam sampel  $CaTi_{1-x}Fe_xO_3$  adalah kalsium, titanium, besi, dan oksigen yang menunjukkan bahwa unsur-unsur tersebut sesuai dengan sampel. Dapat diamati bahwa terjadi penurunan % massa pada unsur Ti yang disebabkan adanya dopan besi (Fe).

Sampel	Kadar Ca (%)	Kadar Ti (%)	Kadar Fe (%)	Kadar O (%)
$CaTiO_3$	28,46	35,07	-	36,46
$CaTi_{0,95}Fe_{0,05}O_3$	31,24	34,99	2,09	31,68
$CaTi_{0,9}Fe_{0,1}O_3$	26,30	32,78	3,66	37,27
$CaTi_{0,85}Fe_{0,15}O_3$	26,01	28,28	5,99	39,27
$CaTi_{0,8}Fe_{0,2}O_3$	27,37	28,65	8,85	35,14



#### 4.5 Karakterisasi dan Analisis Data $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ dengan UV-Vis DRS

Hasil karakterisasi menggunakan UV-Vis DRS ditampilkan pada Lampiran 5.2 dan hasil perhitungan energi celah pita dengan menggunakan persamaan Kubelka-Munk ditampilkan pada Lampiran 5.1. Berdasarkan gambar tersebut dapat diamati bahwa dopan Fe pada  $\text{CaTiO}_3$  mampu merubah karakter pola serapan yang baik pada daerah sinar tampak dan serapan di daerah tersebut semakin tinggi seiring dengan besarnya konsentrasi doping Fe. Hal ini dikarenakan keberadaan dopan Fe dalam kisi  $\text{CaTiO}_3$  mengakibatkan terbentuknya sub pita baru antara pita valensi dengan pita konduksi dengan energi yang lebih rendah (Jang, dkk., 2011; Zhou, dkk., 2011; Li, dkk., 2014; Ma, dkk., 2018; dan Humayun, dkk., 2018). Sedangkan penyerapan di daerah UV pada  $\text{CaTiO}_3$  tanpa dopan disebabkan oleh adanya transisi elektron dari orbital  $2p$  O ke orbital  $3d$  Ti. Jang, dkk. (2010) melaporkan bahwa  $\text{CaTiO}_3$  yang tidak didoping menunjukkan puncak spektrum di daerah 388 nm, namun spektrum absorpsi sampel  $\text{CaTiO}_3$  terdoping Fe menunjukkan penyerapan baru pada wilayah cahaya tampak yaitu 550 nm.

Spektra DRS pada Lampiran 5.1 dan 5.3 ditentukan energi celah pita dengan cara memplotkan grafik hubungan antara  $(F(R)h\nu^{1/2})$  dengan energi celah pita (eV). Energi celah pita dihitung secara regresi linier pada nilai  $x$  ( $h\nu = \text{energy celah pita}$ ) ketika  $y=0$ . Penentuan energi celah pita hanya bisa dilakukan pada sampel yang memiliki koefisien determinasi ( $R^2$ ) mendekati 1. Berdasarkan analisis di atas diketahui bahwa hanya sampel  $\text{CaTiO}_3$  murni yang dapat ditarik garis linier dengan energi celah pita sebesar 3,12 eV yang spektranya ditampilkan pada Lampiran 5.1. Hal ini menunjukkan bahwa fotokatalis  $\text{CaTiO}_3$  tanpa doping hanya

bekerja pada daerah sinar ultraviolet. Energi celah pita  $\text{CaTiO}_3$  tanpa doping umumnya  $\sim 3,5$  eV dan mampu menyerap cahaya pada daerah ultraviolet (Yang, dkk., 2014). Sedangkan sampel  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x=0,05$ ;  $0,10$ ;  $0,15$ ; dan  $0,20$ ) tidak dapat ditentukan energi celah pitanya karena memiliki nilai reflektansi yang terlampaui rendah dengan menunjukkan pergeseran pada daerah sinar tampak. Sehingga dapat diindikasikan bahwa energi celah pita  $\text{CaTiO}_3$  yang terdoping Fe lebih kecil dari  $\text{CaTiO}_3$  murni. Jang, dkk. (2010) melaporkan bahwa doping  $\text{Fe}^{3+}$  mampu menurunkan energi celah pita dari 3,38 eV menjadi 2,25 eV yang setara dengan penyerapan pada panjang gelombang 550 nm.

#### **4.6 Sintesis Material Fotokatalis $\text{CaTiO}_3$ terdoping $\text{Fe}^{3+}$ berdasarkan perspektif Islam**

Penelitian tentang material  $\text{CaTiO}_3$  terdoping Fe merupakan suatu bentuk usaha menjaga dan melindungi lingkungan dari hasil pencemaran yang dihasilkan oleh manusia. Allah SWT mangutus manusia sebagai khalifah di bumi agar manusia dapat menjalankan tugas untuk menjaga dan memperbaiki lingkungan dari kerusakan. Mengenai hal ini Allah SWT berfirman dalam al-Quran surat al-A'raf ayat 56:

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

٥٦

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

Al-Qarmi. (2007) dalam tafsir al-Misbah menjelaskan bahwa dalam ayat ini Allah SWT sangat melarang kita untuk berbuat kerusakan. Kemudian Allah SWT

berfirman “إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ” sesungguhnya rahmat Allah SWT amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik. Pada ayat ini Allah SWT menggunakan kata قَرِيبٌ bukan قَرِيبَةٌ karena rahmat Allah SWT itu mengandung makna tsawah (pahala), atau karena rahmat itu disandarkan kepada Allah SWT. Oleh karena itu, Allah SWT berfirman قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ (amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik).

Manusia sebagai *khalifatullah fil al 'ardh* diberi kelebihan dalam berfikir agar senantiasa memperhatikan, merenungkan, dan memikirkan segala bentuk ciptaan-Nya baik di langit, bumi maupun diantara keduanya. Atas dasar inilah ia bertanggung jawab baik menyangkut dirinya maupun dunianya, bertanggung jawab untuk memelihara, mengayomi, dan menggunakan dengan baik tanpa merugikan orang lain. Hal ini sejalan dengan hadits nabi yang diriwayatkan oleh Ibnu Majjah dan Ad Daruquthni:

لَا ضَرَرَ وَلَا ضِرَارَ

Dari sini jelas bahwa fungsi dan tugas manusia di dunia adalah melaksanakan tugas kekhalifahan, yakni mengelola dan membangun dunia ini sesuai dengan kehendak Allah.

Limbah zat warna yang berbahaya akibat dari ulah tangan manusia harus dikelola terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan perairan untuk menghindari dampak pencemaran lingkungan. Shihab (2005) menyatakan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi dengan membunuh, menyamun, melakukan tindak kejahatan dan mengikuti hawa nafsu yang rendah.

Penelitian ini mensintesis material  $\text{CaTiO}_3$  agar nantinya dapat digunakan masyarakat khususnya pada bidang industri tekstil sebagai material fotokatalis yang efisien dan efektif dalam proses pengolahan limbah tersebut. Pengolahan limbah yang baik merupakan bentuk tindakan manusia sebagai *khalifatullah fi al 'ardh* atau wakil Allah yang ditugaskan untuk menjaga, melindungi, mengelola dan memanfaatkannya demi kemaslahatan manusia serta makhluk hidup lainnya. Surat Al-Baqarah ayat 30 menegaskan posisi manusia sebagai khalifah di bumi.

وَإِذْ قَالَ رَبُّكَ لِلْمَلٰٓئِكَةِ اِنِّىْ جَاعِلٌ فِى الْاَرْضِ خَلِيْفَةًۭۙ قَالُوْۤا اَتَجْعَلُ فِیْهَا مَنْ یُّفْسِدُ فِیْهَا وَیَسْفِكُ الدِّمَآءَ وَنَحْنُ نُسَبِّحُ بِحَمْدِكَ وَنُقَدِّسُ لَكَۗ قَالَ اِنِّىْۤ اَعْلَمُ مَا لَا تَعْلَمُوْنَۙ ۝۳۰

Artinya: *“Ingatlah ketika Tuhanmu berfirman kepada para Malaikat: Sesungguhnya Aku hendak menjadikan seorang khalifah di muka bumi”. Mereka berkata: “Mengapa Engkau hendak menjadikan (khalifah) di bumi itu orang yang akan membuat kerusakan padanya dan menumpahkan darah, padahal kami senantiasa bertasbih dengan memuji Engkau dan mensucikan Engkau?” Tuhan berfirman: “Sesungguhnya Aku mengetahui apa yang tidak kamu ketahui (30)”*

Penelitian ini merupakan bentuk tanggung jawab dari hasil proses berfikir manusia sebagai makhluk yang di berikan kemampuan berupa akal oleh Allah SWT untuk memenuhi tugasnya sebagai *khalifatullah fil al 'ardh*. Seperti halnya pemanfaatan sinar matahari untuk proses pendegradasi limbah zat warna. Matahari sebagai pusat tata surya yang merupakan sumber energi untuk kehidupan yang berkelanjutan. Allah Swt berfirman dalam Q.S Fushshilat ayat 37:

وَمِنْۢ اٰیٰتِہٖ الَّیْلُ وَالتَّهٰرُ وَالشَّمْسُ وَالْقَمَرُۙ لَا تَسْجُدُوْۤا لِلشَّمْسِ وَلَا لِلْقَمَرِ وَاسْجُدُوْۤا لِلّٰہِ الَّذِیْ خَلَقَہُنَّۙ اِنۡ کُنْتُمْۢ اِیَّاهُ تَعْبُدُوْنَۙ ۝۳۷

Artinya: *“Dan di antara tanda-tanda kekuasaan-Nya ialah malam, siang, matahari dan bulan. Janganlah sembah matahari maupun bulan, tapi*

*sembahlah Allah Yang menciptakannya, Jika Ialah yang kamu hendak sembah (37)''.*

Quraish Shihab menafsirkan, bahwa dalam ayat tersebut Allah mengingatkan tentang kuasa-Nya melalui benda-benda langit. Ayat tersebut menyatakan: Dan diantara ayat-ayat yaitu tanda-tanda ke-Esaan dan kekuasaan-Nya adalah malam dan siang, serta matahari dan bulan. janganlah sujud kepada matahari dan janganlah pula kepada bulan, karena keduanya adalah makhluk ciptaan-Nya tetapi sujudlah kepada Allah yang menciptakan keempatnya yaitu malam, siang, matahari dan bulan, jika memang kamu hanya kepadanya saja menyembah (Shihab, 2006). Oleh karena itu dapat dipahami bahwa Allah menciptakan kita sebagai *Khalifah* yang diberi nafsu dan akal pikiran agar kita selalu merenungi bahwa segala hal yang kecil dan besar adalah ciptaan dari yang maha besar yakni Allah SWT. Yang mana dari ciptaannya kita dapat menggali sedikit demi sedikit manfaat dan keilmuan yang begitu besar bagi kehidupan di bumi atas kehendak Allah SWT sebagai tanda kekuasaan-Nya.

Penurunan energi celah pita dan pergeseran serapan material pada daerah sinar tampak merupakan salah satu usaha untuk meningkatkan aktifitas fotokatalis  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ , salah satu usaha yang dilakukan adalah modifikasi dengan adanya dopan Fe (besi) yang mampu meningkatkan aktivitas fotokatalis didaerah sinar tampak sehingga usaha untuk meminimalisir limbah zat warna akan lebih optimal dan efisien. Hal tersebut dapat dikaitkan dengan firman Allah SWT dalam al-Qur'an surat ar-Ra'd ayat 11:

لَهُ مَعْقَبَاتٌ مِّن بَيْن يَدَيْهِ وَمِنْ خَلْفِهِ يَحْفَظُونَهُ مِنْ أَمْرِ اللَّهِ إِنَّ اللَّهَ لَا يُغَيِّرُ مَا بِقَوْمٍ حَتَّى يُغَيِّرُوا مَا بِأَنْفُسِهِمْ وَإِذَا أَرَادَ اللَّهُ بِقَوْمٍ سُوءًا فَلَا مَرَدَّ لَهُ وَمَا لَهُمْ مِّن دُونِهِ مِن وَالٍ ۝

Artinya: *“Bagi manusia ada malaikat-malaikat yang selalu mengikutinya bergiliran, di muka dan di belakangnya, mereka menjaganya atas perintah Allah. Sesungguhnya Allah tidak merubah keadaan sesuatu kaum sehingga mereka merubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri. Dan apabila Allah menghendaki keburukan terhadap sesuatu kaum, maka tak ada yang dapat menolaknya; dan sekali-kali tak ada pelindung bagi mereka selain Dia (11).”*

Menurut Shihab (2003), dalam *Tafsir Al-Misbah* menjelaskan bahwa setiap manusia memiliki sejumlah malaikat yang bertugas menjaga dan memeliharanya atas perintah Allah. Demikian pula, Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum, sebelum adanya usaha dan tawakkal dari mereka sendiri untuk merubah keadaannya. kata قوم menunjukkan bahwa perubahan tidak dapat dilakukan sendiri, melainkan terbentuk secara gotong royong. Oleh sebab itu, penelitian ini dapat memberikan informasi untuk mengatasi permasalahan lingkungan seperti pencemaran air dengan menggunakan material fotokatalis CaTiO<sub>3</sub> terdoping Fe.

Manusia yang diberikan anugerah berupa akal pikiran diperintahkan untuk selalu memikirkan segala penciptaan Allah SWT baik di langit atau di bumi maupun antara keduanya karena ciptaan-Nya penuh hikmah dan tidak ada satupun yang sia-sia sebagaimana firman Allah dalam surat Shaad (38): 27.

وَمَا خَلَقْنَا السَّمَاءَ وَالْأَرْضَ وَمَا بَيْنَهُمَا بَاطِلًا ذَلِكَ ظَنَّ الَّذِينَ كَفَرُوا فَوَيْلٌ لِلَّذِينَ كَفَرُوا مِنَ النَّارِ

Artinya: *“Dan Kami tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada antara keduanya tanpa hikmah. Yang demikian itu adalah anggapan orang-orang kafir, maka celakalah orang-orang kafir itu karena mereka akan masuk neraka (27)”*.

Jalaluddin al-Mahalli dan Jalaluddin as-Suyuthi (1990) dalam *Tafsir al-Jalalain* menjelaskan bahwa Allah tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada di antara keduanya dengan sia-sia dan agar dapat dimanfaatkan. Pemanfaatan ciptaan-Nya yang berada di langit seperti matahari dan di bumi seperti material pembentuk senyawa  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  memiliki banyak manfaat. Sinar matahari dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alami yang mengandung banyak foton dan dapat difungsikan untuk mengaktifkan suatu katalis pendegradasi limbah zat warna yang berbahaya, sedangkan material semikonduktor  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  dapat dimanfaatkan sebagai material katalis. Oleh karena itu, matahari dan material pembentuk  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  merupakan rahmat Allah yang diciptakan tanpa sia-sia dan tak bernilai harganya bagi orang-orang yang berfikir dan mengambil hikmah didalamnya. Kesadaran masyarakat sangat penting untuk menjaga kelestarian alam dan lingkungannya dengan cara membiasakan hal-hal sederhana seperti: tidak membuang sampah sembarangan serta tidak membuang limbah ke badan sungai yang menyebabkan kerusakan terhadap lingkungan perairan.

## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Senyawa  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; \text{ dan } 0,2$ ) berhasil disintesis dan tidak ditemukan fase pengotor yang ditandai dengan tidak ditemukan puncak-puncak tambahan selain puncak khas  $\text{CaTiO}_3$  ( $2\theta= 23,43; 26,28; 33,27; 39,41; 41,03; 47,65; 53,87; 59,47; \text{ dan } 69,74^\circ$ ).
2. Bentuk morfologi  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; \text{ dan } 0,2$ ) adalah tidak beraturan dan dopan  $\text{Fe}^{3+}$  menyebabkan aglomerasi partikel dengan distribusi komposisi unsur Ca, Ti, Fe dan O yang merata.
3. Dopan  $\text{Fe}^{3+}$  menyebabkan adanya perubahan pola serapan pada panjang gelombang cahaya tampak.

### **5.2 Saran**

1. Perlu dilakukan uji aktivitas fotokatalis pada rentang UV maupun visibel, untuk mengetahui pengaruh dopan terhadap aktivitas fotokatalitiknya.
2. Perlu dilakukan uji *Photoluminescence* untuk mengetahui pengaruh dopan Fe terhadap laju rekombinasi.
3. Perlu dilakukan uji menggunakan *X-ray photoelectron spectroscopy (XPS)* untuk mengetahui dan memastikan berapa bilangan oksidasi Fe.

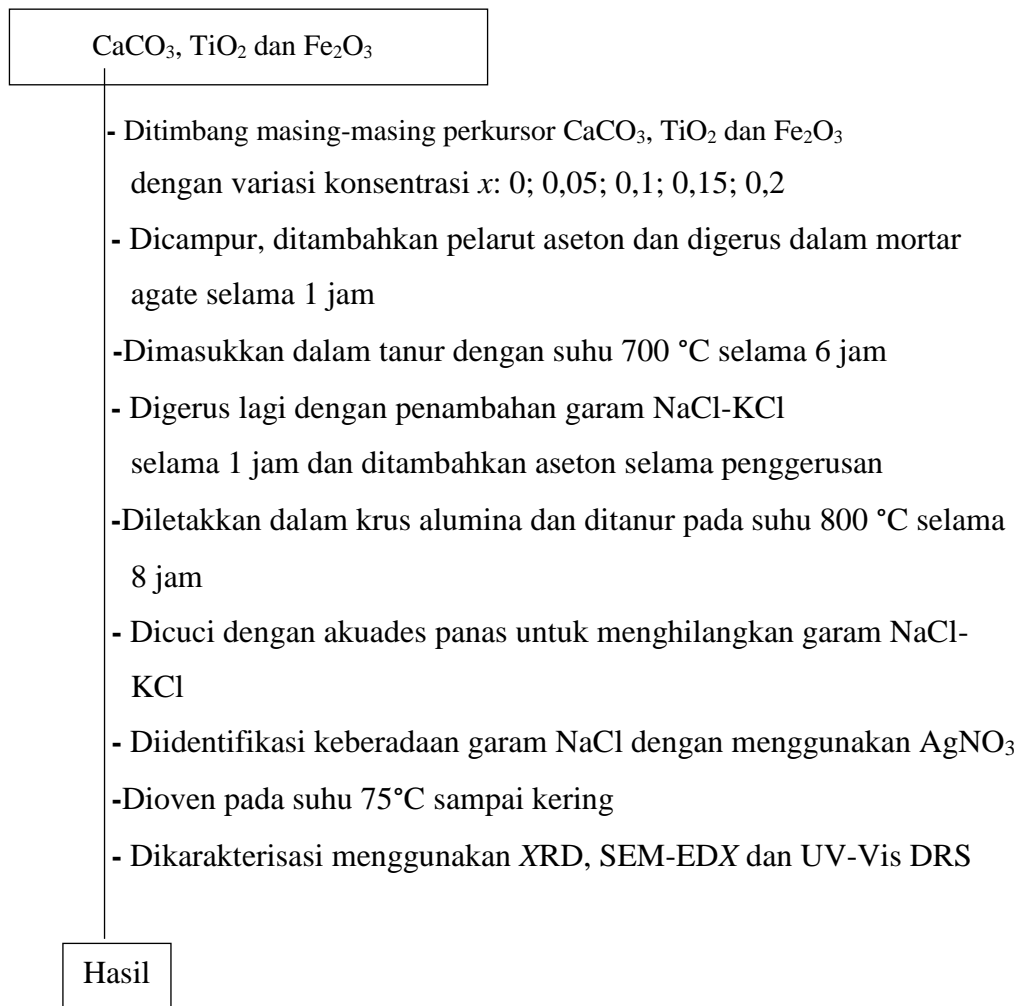


## DAFTAR PUSTAKA

- Andrieux, J., Gardiola, B., dan Dezellus, O. 2018. Synthesis of Ti Matrix Composites Reinforced With TiC Particles: In-Situ Synchrotron X-Ray Diffraction and Modeling. *Journal of Materials Science Applications*. Springer International Publishing
- Bercmans, L.J., Sornakumar, T., Kumar, A.H., Siva, G., dan Vankatesh, G. 2017. Synthesis and Characterization of Calcium Titanate and Calcium Zirconate Compound Powders by Molten Salt Method. *Journal of Nano Hybrids and Composites*, 17: 88-95
- Chen, K.P., dan Zhang, X.W. 2010. Synthesis of Calcium Copper Titanate Ceramics Via The Molten Salt Method. *Journal of Ceramics International*, 36: 1523-1527
- Chen dan Wu. 2016. Enhanced Photocatalytic Performance over Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub> Nanosheets with Controllable Size and Exposed (001) Facets for Rhodamine B Degradation. *Applied Catalysis B: Environmental*, 180: 698-706
- Fatihah, S.W. 2017. Aplikasi Perovskit CaTiO<sub>3</sub> dalam Teknologi Membran. *Jurnal Kimia Institute Teknologi Sepuluh Nopember*
- Huang, X.J., Yang, X., Wu, H.Y., Fang, Y., Min, Y.H., Li, W.S., Wang, S.Y., dan Wu, Z.S. 2015. Preparation of Zr-Doped CaTiO<sub>3</sub> with Enhanced Charge Separation Efficiency and Photocatalytic Activity. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26(2): 464-71
- Humayun, M., Xu, L., Zhou, L., Zheng, Z., Fu, Q., dan Luo, W. 2018. Exceptional Co-Catalyst Free Photocatalytic Activities of B and Fe Co-Doped SrTiO<sub>3</sub> for CO<sub>2</sub> Conversion and H<sub>2</sub> Evolution. *Nano Research*. Springer International Publishing
- Jang, J.S., Borse, P.H., Lee, J.S., Lim, K.T., Jung, D.S., Jeong, E.D., Bae, J.S., dan Kim, H.O. 2011. Photocatalytic Hydrogen Production in Water-Methanol mixture over iron-doped CaTiO<sub>3</sub>. 95-99
- Kan, Y., Jin, X., Wang, P., Li, Y., Cheng, Y.B., dan Yan, D. 2003. Anisotropic Grain Growth of Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub> in Molten Salt Fluxes. *Materials Research Bulletin*, 38(4): 567-576
- Kimura, T. 2011. Molten Salt Synthesis of Ceramic Powders. *Advances in Ceramics Synthesis and Characterization, Processing and Specific Applications*. Rijeka: In Tech

- Kimura, T., dan Yoshida, Y. 2006. Origin of Texture Development in Barium Bismuth Titanate Prepared by the Templated Grain Growth Method, *Journal of the American Ceramic Society*, 89(8) : 869-874
- Lazarevic. Z.Z., Stojanovic, B.D., Santos, C.O., Romcevic, N.Z., dan Navela, J.A. 2007.Characterization of Bismuth Titanate Ceramics Derived by Mechanochemical Synthesis.*Science of Sintering*, 39;267-272
- Lewis, C.S., Liu, H., Han, J., Wang, L., Yue, S., Brennan, N.A., dan Wong, S.S. 2015. Probing Charge Transfer in a Novel Class of Luminescent Perovskite-Based Heterostructures Composed of Quantum Dots Bound to RE-activated CaTiO<sub>3</sub> Phospors. *The Royal Society of Chemistry*
- Li, P., Liu, C., Wu, G., Heng, Y., Lin, S., Ren, A., Kehan, L., Xiao, L., dan Shi, W. 2014. Solvothermal Synthesis and Visible-Light-Driven Photocatalytic Degradation for Tetracycline of Fe-Doped SrTiO<sub>3</sub>. *Royal Society of Chemistry Advances*
- Moura, K.F., Chantelle, L., Rosendo, D., Longo, E., dan Santos, L.M.G.D. 2017. Effect of Fe<sup>3+</sup> Doping in the Photocatalytic Properties ofBaSnO Perovskit. *Materials Research*. 20(2):317-324
- Pundisari, S.S., Wardhani, S., dan Purwonugroho,D. 2013. Pengaruh Konsentrasi Ion Sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) Terhadap Degradasi Zat Warna *Methyl Orange* Menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-Zeolit. *Jurnal Ilmu Kimia Universitas Bawijaya*.1(2)
- Raharjo, H., dan Prasetyo, D. 2011. Sintesis Nano ZnO dengan Metode Kopresipitasi dan Karakterisasinya, *Skripsi*. Jurusan Kimia, FMIPA ITS Surabaya
- Rahmawati dan Fitria. 2010. Ag dan Cu dimuat pada TiO<sub>2</sub>/Grafit sebagai Katalis untuk Desinfeksi Air yang Terkontaminasi *Escherichia coli*. *Jurnal Kimia*
- Roopaei, H., Zohdi, A.R., Abbasi, Z., dan Bazrafkan, M. 2014. Preparation of New Photocatalyst for Removal of Alizarin Red-S from Aqueous Solution. *Journal of Science and Technology*, 7(11): 1882-1887
- Roth, R.S. 1957. Classification of Perovskit and Other ABO<sub>3</sub>-Type Compounds. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, 58 (2)
- Samsudin, E.M., Goh, S.N., Wu, T.Y., Ling, T.T., Hamid, S.B.A., dan Juan, J.C. 2015. Evaluation on The Photocatalytic Degradation Activity of Reactive Blue 4 using Pure Anatase Nano-TiO<sub>2</sub>. *Journal Sains Malaysiana*, 44(7): 1011-1019
- Shihab, M.Q. 2002. Tafsir al-Misbah: Pesan, Kesan, dan Keserasian AlquranVol. *Jakarta: Lentera Hati*

- Shivaraju, H. P. 2010. Removal of Organic Pollutans in the Muicipal Sewage Water by TiO<sub>2</sub> based Heterogeneous Photocatalysis. *International Journal of Enviromental Sciences* 1 (5):911-923
- Stoyanova, D., Stambolova, I., Blaskov, V., Zaharieva, K., Avramova, I., Dimitrov, O., Vassilev, S., Eliyas, A., dan Nedyalkov, N. 2019. Mechanical Milling of Hydrothermally obtained CaTiO<sub>3</sub> Powders- Morphology and Photocatalytic Activity. *Science Direct*
- Widihati, I. G., Diantiariani, N. P., dan Nikmah, Y. F. 2011. Fotodegradasi Metilen Biru dengan Sinar UV dan Katalis Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Jurnal Kimia* 5 (1) : 31-42
- Xue, P., Wu, H., Lu, Y., dan Zhu, X. 2017. Recent progress in molten salt synthesis of low-dimensional perovskite oxide nanostructures, structural characterization, properties, and functional applications: A review. *Journal of Materials Science and Technology*
- Yang, H., Han, C., dan Xue, X. 2014. Photocatalytic Activity of Fe-Doped CaTiO<sub>3</sub> under UV-Visible Light. *Journal of Environmental Sciences*, 26(7): 1489-1495
- Yoshida, H., Zhang, L., Sato, M., Morikawa, T., Kajino, T., Sekito, T., Matsumoto, S., dan Hirata, H. 2014. Calcium titanate photocatalyst prepared by a flux method for reduction of carbon dioxide with water. *Kyoto University Research Information Repository* 251 : 132-139
- Zhang, L.X., Chen, Y.B., Gao, M., Li, X., dan Lin, Z.H. 2016. Validation of Electronic Anti-Fouling Technology in the Spray Water Side of Evaporative Cooler. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 93:624-628
- Zhang, H., Chen, G., Li, Y., dan Teng, Y. 2010. Electronic Structure and Photocatalytic Properties of Copper-Doped CaTiO<sub>3</sub>. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(7): 2713-16
- Zhao, Z., Li, X., Ji, H., dan Deng, M. 2014. Formation Mechanism of Plate-like Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub> Particles in Molten Salt Fluxes. *Integrated Ferroelectric*: 154: 37-41
- Zulhadjri., Prijamboedi, B., Nugroho, A.A., Mufti, N., Fajar, A., Palstra, T.T.M., dan Ismunandar. 2011. Aurivillius phases of PbBi<sub>4</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>15</sub> doped with Mn<sup>3+</sup> synthesized by molten salt technique: Structure, dielectric, and magnetic properties. *Journal of Solid State Chemistry* 184 :1318-1323

**LAMPIRAN****Lampiran 1. Diagram kerja sintesis senyawa  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2$ )**

## Lampiran 2. Perhitungan dalam Sintesis Material

Diketahui:

- Target massa produk adalah 2,5 gram  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x= 0; 0,05; 0,15; 0,2$ ) dan 4 gram  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x= 0,1$ )
- Perbandingan mol prekursor  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3 : \text{NaCl-KCl}$  adalah 1:7:7
- Variasi Konsentrasi Fe adalah  $x = 0; 0,05; 0,1; 0,15; \text{ dan } 0,2$

$$\text{Mr CaCO}_3 = 100,09 \text{ g/mol}$$

$$\text{Mr TiO}_2 = 79,9 \text{ g/mol}$$

$$\text{Mr Fe}_2\text{O}_3 = 159,69 \text{ g/mol}$$

$$\text{Mr NaCl} = 58,34 \text{ g/mol}$$

$$\text{Mr KCl} = 74,59 \text{ g/mol}$$

$$\text{Ar Ca} = 40,078 \text{ g/mol}$$

$$\text{Ar Ti} = 47,867 \text{ g/mol}$$

$$\text{Ar Fe} = 55,845 \text{ g/mol}$$

### 1. Konsentrasi Fe ( $x=0$ )

$$\begin{aligned} \text{Mol CaTiO}_3 &= \frac{\text{massa CaTiO}_3}{\text{Mr CaTiO}_3} \\ &= \frac{2,5 \text{ gram}}{135,9432 \text{ g/mol}} = 0,0183 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa CaCO}_3 &= \frac{\text{Ar Ca}}{\text{Mr CaTiO}_3} \times \frac{\text{Mr CaCO}_3}{\text{Ar Ca}} \times \text{Massa Target} \\ &= \frac{40,078 \text{ g/mol}}{135,9432 \text{ g/mol}} \times \frac{100,09 \text{ g/mol}}{40,078 \text{ g/mol}} \times 2,5 \text{ gram} \\ &= 1,8406 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa TiO}_2 &= \frac{\text{Ar Ti}}{\text{Mr CaTiO}_3} \times \frac{\text{Mr TiO}_2}{\text{Ar Ti}} \times \text{Massa Target} \\ &= \frac{47,867 \text{ g/mol}}{135,9432 \text{ g/mol}} \times \frac{79,9 \text{ g/mol}}{47,867 \text{ g/mol}} \times 2,5 \text{ gram} \\ &= 1,4693 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol NaCl} &= 7 \times \text{mol CaTiO}_3 \\ &= 7 \times 0,0183 \text{ mol} = 0,1287 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\text{Massa NaCl} = \text{Mr} \times \text{mol NaCl}$$

$$= 58,34 \text{ g/mol} \times 0,1287 \text{ mol} = 7,5101 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol KCl} &= 7 \times \text{mol CaTiO}_3 \\ &= 7 \times 0,0183 \text{ mol} = 0,1287 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa KCl} &= \text{Mr} \times \text{mol KCl} \\ &= 74,59 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 0,1287 \text{ mol} = 9,6019 \text{ gram} \end{aligned}$$

## 2. Konsentrasi Fe (x=0,05)

$$\begin{aligned} \text{Mol CaTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3 &= \frac{\text{Massa}}{\text{Mr}} \\ &= \frac{2,5 \text{ gram}}{136,3421 \text{ g/mol}} = 0,0183 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa CaCO}_3 &= \frac{\text{Ar Ca}}{\text{Mr CaTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3} \times \frac{\text{Mr CaCO}_3}{\text{Ar Ca}} \times \text{Massa Target} \\ &= \frac{40,078 \text{ g/mol}}{136,3421 \text{ g/mol}} \times \frac{100,09 \text{ g/mol}}{40,078 \text{ g/mol}} \times 2,5 \text{ gram} \\ &= 1,8352 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa TiO}_2 &= \frac{(\text{Ar Ti} \times 0,95)}{\text{Mr CaTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3} \times \frac{\text{Mr TiO}_2}{\text{Ar Ti}} \times \text{Massa Target} \\ &= \frac{(47,867 \times 0,95) \text{ g/mol}}{136,3421 \text{ g/mol}} \times \frac{79,9 \text{ g/mol}}{47,867 \text{ g/mol}} \times 2,5 \text{ gram} \\ &= 1,3917 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Fe}_2\text{O}_3 &= \frac{(\text{Ar Fe} \times 0,05)}{\text{Mr CaTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3} \times \frac{\text{Mr Fe}_2\text{O}_3}{(\text{Ar Fe} \times 2)} \times \text{Massa Target} \\ &= \frac{(55,845 \times 0,05) \text{ g/mol}}{136,3421 \text{ g/mol}} \times \frac{159,69 \text{ g/mol}}{(55,845 \times 2) \text{ g/mol}} \times 2,5 \text{ gram} \\ &= 0,0731 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol NaCl} &= 7 \times \text{mol CaTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3 \\ &= 7 \times 0,0183 \text{ mol} = 0,1283 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa NaCl} &= \text{Mr} \times \text{mol NaCl} \\ &= 58,34 \text{ g/mol} \times 0,1283 \text{ mol} = 7,4856 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\text{Mol KCl} = 7 \times \text{mol CaTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$$

$$= 7 \times 0,0183 \text{ mol} = 0,1283 \text{ mol}$$

$$\text{Massa KCl} = \text{Mr} \times \text{mol KCl}$$

$$= 74,59 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 0,1283 \text{ mol} = 9,5706 \text{ gra}$$

### 3. Konsentrasi Fe ( $x=0,1$ )

$$\text{mol CaTi}_{0,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_3 = \frac{\text{massa}}{\text{Mr}}$$

$$= \frac{4 \text{ gram}}{136,741 \text{ g/mol}} = 0,0292 \text{ mol}$$

$$\text{Massa CaCO}_3 = \frac{\text{Ar Ca}}{\text{Mr CaTi}_{0,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_3} \times \frac{\text{Mr CaCO}_3}{\text{Ar Ca}} \times \text{Massa Target}$$

$$= \frac{40,078 \text{ g/mol}}{136,741 \text{ g/mol}} \times \frac{100,09 \text{ g/mol}}{40,078 \text{ g/mol}} \times 4 \text{ gram}$$

$$= 2,9278 \text{ gram}$$

$$\text{Massa TiO}_2 = \frac{(\text{Ar Ti} \times 0,9)}{\text{Mr CaTi}_{0,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_3} \times \frac{\text{Mr TiO}_2}{\text{Ar Ti}} \times \text{Massa Target}$$

$$= \frac{(47,867 \times 0,9) \text{ g/mol}}{136,741 \text{ g/mol}} \times \frac{79,9 \text{ g/mol}}{47,867 \text{ g/mol}} \times 4 \text{ gram}$$

$$= 2,1035$$

$$\text{Massa Fe}_2\text{O}_3 = \frac{(\text{Ar Fe} \times 0,1)}{\text{Mr CaTi}_{0,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_3} \times \frac{\text{Mr Fe}_2\text{O}_3}{(\text{Ar Fe} \times 2)} \times \text{Massa Target}$$

$$= \frac{(55,845 \times 0,1) \text{ g/mol}}{136,741 \text{ g/mol}} \times \frac{159,69 \text{ g/mol}}{(55,845 \times 2) \text{ g/mol}} \times 4 \text{ gram}$$

$$= 0,2335 \text{ gram}$$

$$\text{Mol NaCl} = 7 \times \text{mol CaTi}_{0,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_3$$

$$= 7 \times 0,0292 \text{ mol} = 0,2047 \text{ mol}$$

$$\text{Massa NaCl} = \text{Mr} \times \text{mol NaCl}$$

$$= 58,34 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 0,2047 \text{ mol} = 11,9460 \text{ gram}$$

$$\text{Mol KCl} = 7 \times \text{mol CaTi}_{0,9}\text{Fe}_{0,1}\text{O}_3$$

$$= 7 \times 0,0292 \text{ mol} = 0,2047 \text{ mol}$$

$$\text{Massa KCl} = \text{Mr} \times \text{mol KCl}$$

$$= 74,59 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 0,2047 \text{ mol} = 15,2685 \text{ gram}$$

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

$$\text{mol CaTi}_{0,85}\text{Fe}_{0,15}\text{O}_3 = \frac{\text{massa}}{\text{Mr}}$$

$$= \frac{2,5 \text{ gram}}{137,1399 \text{ g/mol}} = 0,0182 \text{ mo}$$

$$\text{Massa CaCO}_3 = \frac{\text{Ar Ca}}{\text{Mr CaTi}_{0,85}\text{Fe}_{0,15}\text{O}_3} \times \frac{\text{Mr CaCO}_3}{\text{Ar Ca}} \times \text{Massa Target}$$

$$= \frac{40,078 \text{ g/mol}}{137,1399 \text{ g/mol}} \times \frac{100,09 \text{ g/mol}}{40,078 \text{ g/mol}} \times 2,5 \text{ gram}$$

$$= 1,8245 \text{ gram}$$

$$\text{Massa TiO}_2 = \frac{(\text{Ar Ti} \times 0,85)}{\text{Mr CaTi}_{0,85}\text{Fe}_{0,15}\text{O}_3} \times \frac{\text{Mr TiO}_2}{\text{Ar Ti}} \times \text{Massa Target}$$

$$= \frac{(47,867 \times 0,85) \text{ g/mol}}{137,1399 \text{ g/mol}} \times \frac{79,9 \text{ g/mol}}{47,867 \text{ g/mol}} \times 2,5 \text{ gram}$$

$$= 1,2380 \text{ gram}$$

$$\text{Massa Fe}_2\text{O}_3 = \frac{(\text{Ar Fe} \times 0,15)}{\text{Mr CaTi}_{0,85}\text{Fe}_{0,15}\text{O}_3} \times \frac{\text{Mr Fe}_2\text{O}_3}{(\text{Ar Fe} \times 2)} \times \text{Massa Target}$$

$$= \frac{(55,845 \times 0,15) \text{ g/mol}}{137,1399 \text{ g/mol}} \times \frac{159,69 \text{ g/mol}}{(55,845 \times 2) \text{ g/mol}} \times 2,5 \text{ gram}$$

$$= 0,2183 \text{ gram}$$

$$\text{Mol NaCl} = 7 \times \text{mol CaTi}_{0,85}\text{Fe}_{0,15}\text{O}_3$$

$$= 7 \times 0,0182 \text{ mol} = 0,1275 \text{ mol}$$

$$\text{Massa NaCl} = \text{Mr} \times \text{mol NaCl}$$

$$= 58,34 \text{ g/mol} \times 0,0510 \text{ mol} = 7,4406 \text{ gram}$$

$$\text{Mol KCl} = 7 \times \text{mol CaTi}_{0,85}\text{Fe}_{0,15}\text{O}_3$$

$$= 7 \times 0,0182 \text{ mol} = 0,1275 \text{ mol}$$

$$\text{Massa KCl} = \text{Mr} \times \text{mol KCl}$$

$$= 74,59 \text{ g/mol} \times 0,1275 \text{ mol} = 9,5132 \text{ gram}$$



### 5. Konsentrasi Fe ( $x=0,2$ )

$$\begin{aligned} \text{mol CaTi}_{0,8}\text{Fe}_{0,2}\text{O}_3 &= \frac{\text{massa}}{\text{Mr}} \\ &= \frac{2,5 \text{ gram}}{137,5388 \text{ g/mol}} = 0,0181 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa CaCO}_3 &= \frac{\text{Ar Ca}}{\text{Mr CaTi}_{0,8}\text{Fe}_{0,2}\text{O}_3} \times \frac{\text{Mr CaCO}_3}{\text{Ar Ca}} \times \text{Massa Target} \\ &= \frac{40,078 \text{ g/mol}}{137,5388 \text{ g/mol}} \times \frac{100,09 \text{ g/mol}}{40,078 \text{ g/mol}} \times 2,5 \text{ gram} \\ &= 1,8461 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa TiO}_2 &= \frac{(\text{Ar Ti} \times 0,8)}{\text{Mr CaTi}_{0,8}\text{Fe}_{0,2}\text{O}_3} \times \frac{\text{Mr TiO}_2}{\text{Ar Ti}} \times \text{Massa Target} \\ &= \frac{(47,867 \times 0,8) \text{ g/mol}}{137,5388 \text{ g/mol}} \times \frac{79,9 \text{ g/mol}}{47,867 \text{ g/mol}} \times 2,5 \text{ gram} \\ &= 1,1618 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Fe}_2\text{O}_3 &= \frac{(\text{Ar Fe} \times 0,2)}{\text{Mr CaTi}_{0,8}\text{Fe}_{0,2}\text{O}_3} \times \frac{\text{Mr Fe}_2\text{O}_3}{(\text{Ar Fe} \times 2)} \times \text{Massa Target} \\ &= \frac{(55,845 \times 0,2) \text{ g/mol}}{137,5388 \text{ g/mol}} \times \frac{159,69 \text{ g/mol}}{(55,845 \times 2) \text{ g/mol}} \times 2,5 \text{ gram} \\ &= 0,2902 \text{ gram} \end{aligned}$$

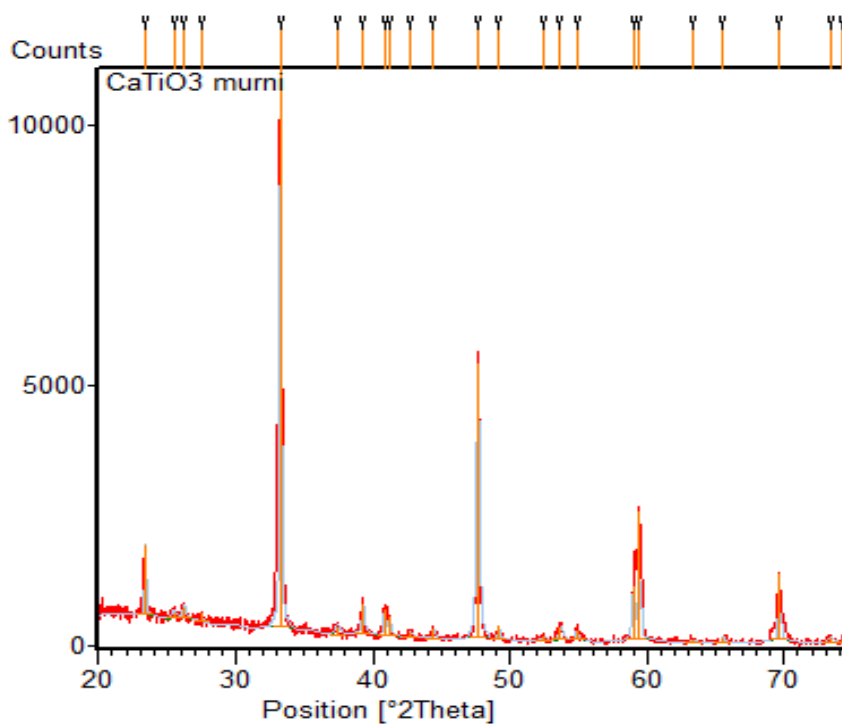
$$\begin{aligned} \text{Mol NaCl} &= 7 \times \text{mol CaTi}_{0,8}\text{Fe}_{0,2}\text{O}_3 \\ &= 7 \times 0,0181 \text{ mol} = 0,1273 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa NaCl} &= \text{Mr} \times \text{mol NaCl} \\ &= 58,34 \text{ g/mol} \times 0,1273 \text{ mol} = 7,4284 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol KCl} &= 7 \times 0,5 \text{ mol CaTi}_{0,8}\text{Fe}_{0,2}\text{O}_3 \\ &= 7 \times 0,0181 \text{ mol} = 0,1273 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa KCl} &= \text{Mr} \times \text{mol KCl} \\ &= 74,59 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 0,12733 \text{ mol} = 9,4975 \text{ gram} \end{aligned}$$

**Lampiran 3. Hasil Karakterisasi menggunakan XRD**  
**L.3.1 Data XRD  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x=0$ )**

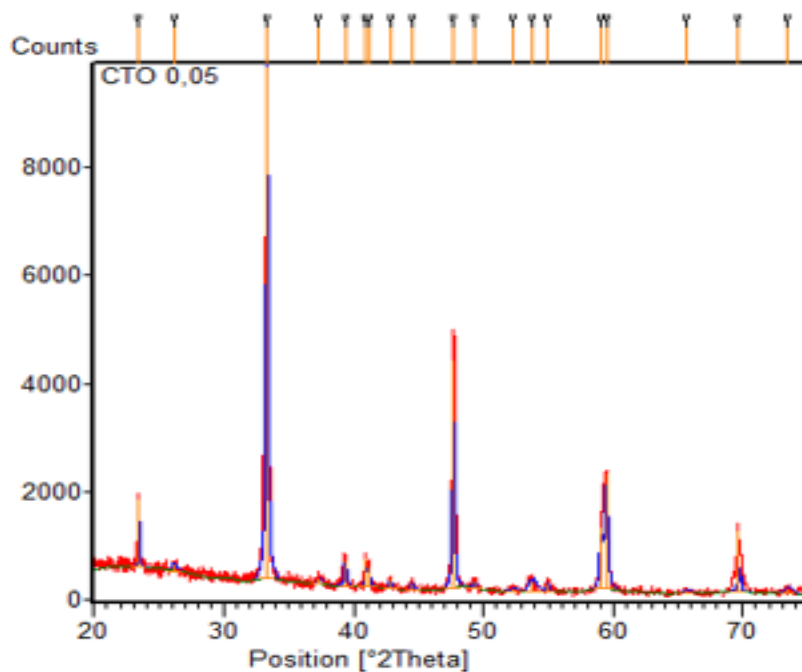


Gambar L.3.1 Difaktogram  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x=0$ )

Tabel L.3.1 Puncak-puncak XRD  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x=0$ )

Pos. [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	FWHM [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Height [cts]
23.3925	0.1378	3.8029	1356.08
25.4655	0.3936	3.49784	117.43
26.2223	0.2755	3.39858	214.96
33.2363	0.1574	2.69566	10751.5
39.259	0.2362	2.29489	558.81
40.8208	0.1574	2.21062	509.03
41.1738	0.1968	2.19248	366.58
42.7423	0.2362	2.11559	80.3
44.4159	0.2362	2.03968	193.1
47.6265	0.2362	1.90941	5272.8
49.1556	0.1574	1.85353	263.22
53.6677	0.2755	1.70786	252.08
54.8475	0.1574	1.67388	197.63
59.403	0.0984	1.55594	2450.88
69.5917	0.1378	1.35097	1286.13
73.3222	0.4723	1.29118	82.42

### L.3.2 Data XRD $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ( $x=0,05$ )

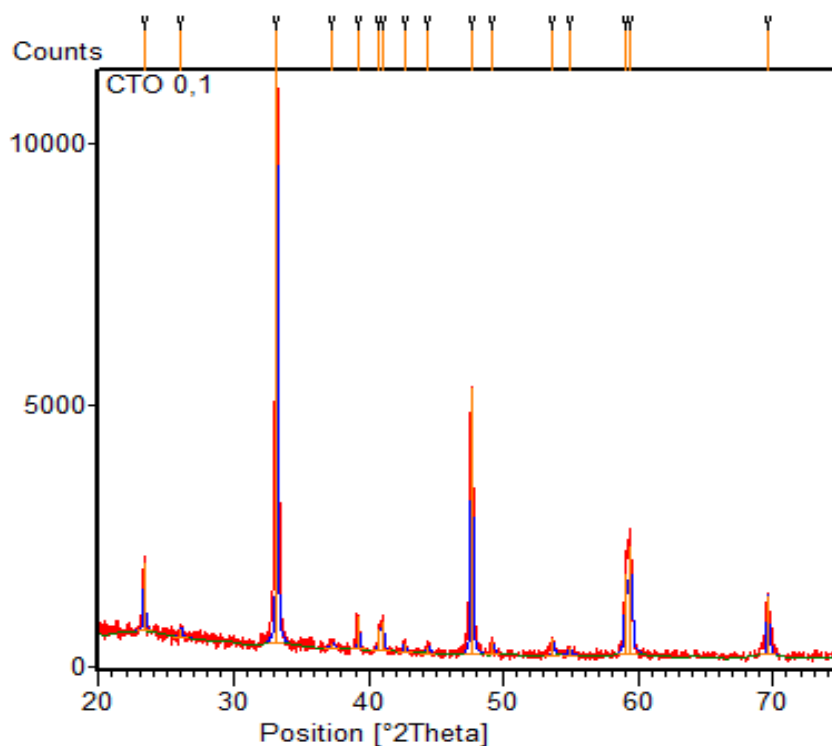


Gambar L.3.2 Difaktogram  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x=0,05$ )

Tabel L.3.2 Puncak-puncak XRD  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x=0,05$ )

Pos. [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	FWHM [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Height [cts]
23.4335	0.0984	3.79635	1258.68
26.1767	0.3936	3.4044	137.82
33.2929	0.2165	2.6912	9466.61
37.3213	0.3936	2.40946	103.2
39.3505	0.2362	2.28976	490.42
40.907	0.1181	2.20616	517.73
41.167	0.1574	2.19283	375.6
42.8286	0.1574	2.11153	199.85
44.4504	0.3149	2.03818	126.27
47.6537	0.1771	1.90838	4206.38
49.2561	0.1968	1.84999	153.26
53.7435	0.6298	1.70563	232.77
54.9126	0.1968	1.67205	172.16
59.4517	0.2362	1.55478	2152.97
69.6125	0.0984	1.35062	1127.97
73.4492	0.576	1.28819	81.83

### L.3.3 Data XRD $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ( $x=0,1$ )

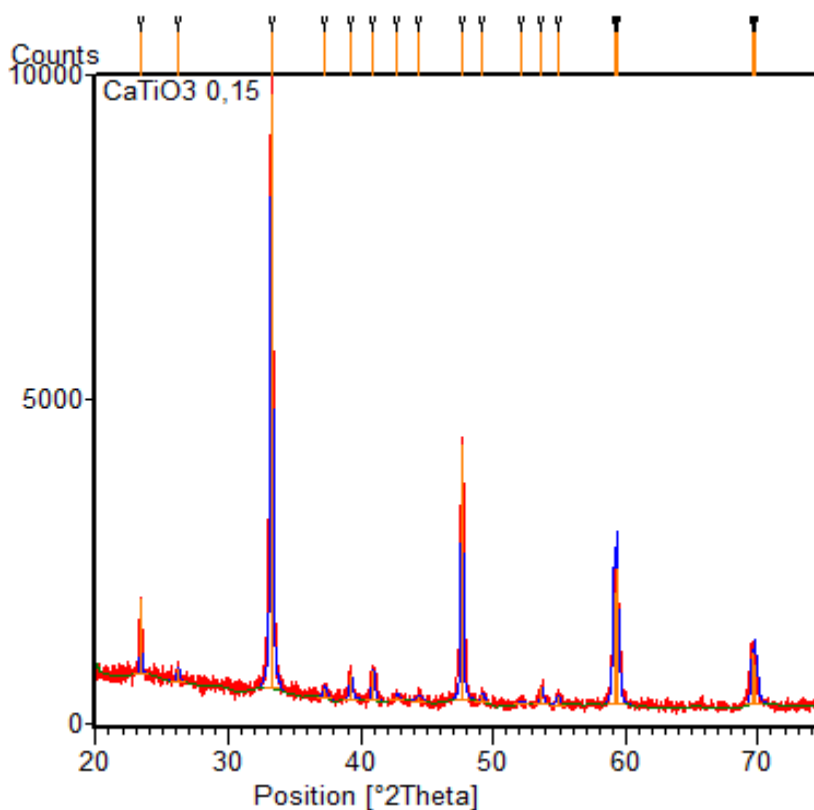


Gambar L.3.3 Difaktogram  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x=0,1$ )

Tabel L.3.3 Puncak-puncak XRD  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x=0,1$ )

Pos. [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	FWHM [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Height [cts]
23.358	0.1378	3.80844	1313.57
26.104	0.1574	3.41371	182.58
33.1898	0.1181	2.69933	10913.73
37.3078	0.3936	2.4103	98.72
39.2367	0.0984	2.29614	646.15
40.7735	0.1574	2.21308	405.44
41.0157	0.1574	2.20057	554.34
42.6406	0.1181	2.1204	196.1
44.4022	0.3936	2.04028	125.86
47.6144	0.1378	1.90987	5077.41
49.2028	0.1574	1.85186	242.04
53.6385	0.1574	1.70872	338.37
54.8862	0.1968	1.67279	151.11
59.0405	0.1968	1.56462	1529.86
59.3722	0.1968	1.55667	2063.8
69.5675	0.12	1.35026	1126.17

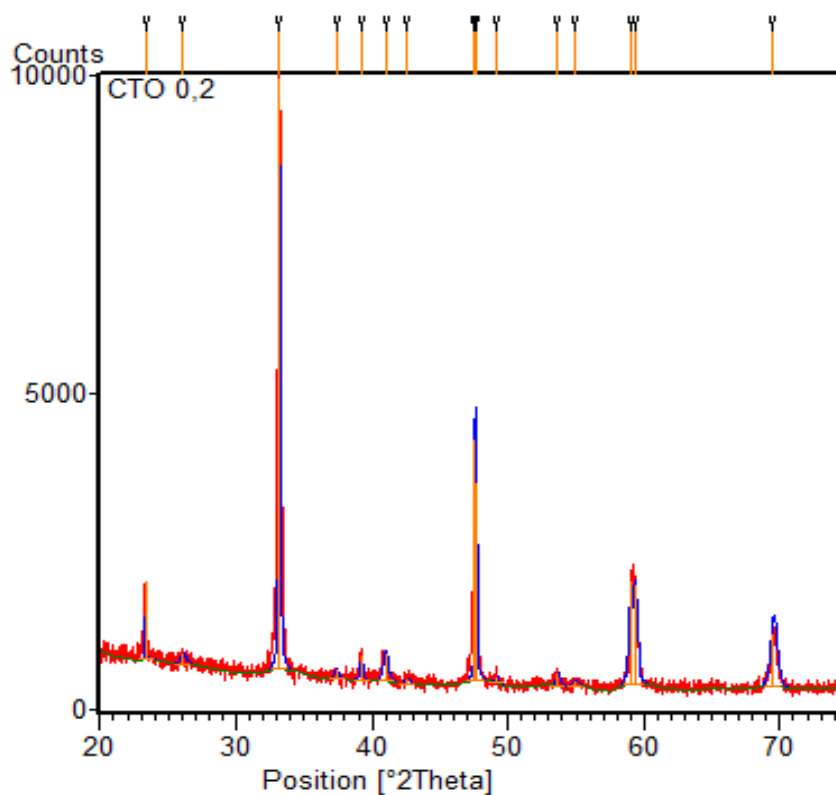
### L.3.4 Data XRD $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ( $x=0,15$ )



Gambar L.3.4 Difaktogram  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x=0,15$ )

Tabel L.3.4 Puncak-puncak XRD  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x=0,15$ )

Pos. [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	FWHM [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Height [cts]
23.3849	0.0984	3.80412	1178.89
26.2158	0.2362	3.39942	213.43
33.2428	0.1968	2.69515	9195.74
37.2877	0.3149	2.41156	178.32
39.2444	0.2362	2.29571	383.66
40.9162	0.2362	2.20569	474.52
42.7584	0.3149	2.11483	77.88
44.345	0.4723	2.04278	89.08
47.616	0.1574	1.9098	3953.84
49.1988	0.3149	1.85201	132.73
53.6515	0.1968	1.70834	283.35
54.8342	0.3149	1.67426	139.4
59.1276	0.24	1.56123	1709.11
59.3557	0.1574	1.55706	2088.5
69.5223	0.1968	1.35215	799.96
69.7779	0.24	1.34671	628.98

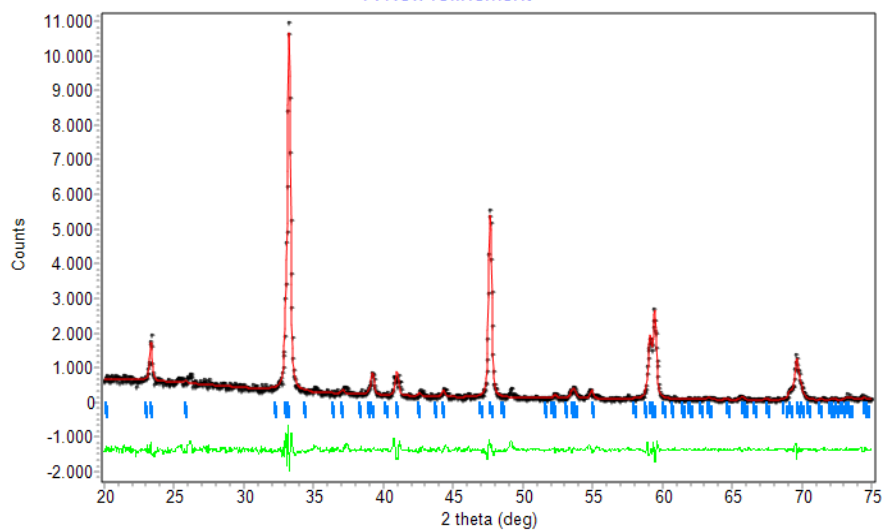
L.3.5 Data XRD  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x=0,12$ )Gambar L.3.5 Difaktogram  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x=0,2$ )Tabel L.3.5 Puncak-puncak XRD  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x=0,2$ )

Pos. [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	FWHM [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Height [cts]
23.3387	0.0787	3.81155	1237.84
26.0808	0.4723	3.41669	169.51
33.1734	0.1378	2.70063	9328.74
37.3561	0.3149	2.4073	149.89
39.2031	0.1968	2.29803	410.55
40.9823	0.3936	2.20228	457.72
42.5839	0.3936	2.12309	98.13
47.5661	0.096	1.91011	3822.44
47.6611	0.0787	1.9081	3117.18
49.1384	0.3149	1.85414	113.77
53.6599	0.3149	1.70809	210.19
54.9132	0.6298	1.67204	91.14
59.0376	0.3542	1.56469	1628.6
59.4036	0.1574	1.55592	1578.63
69.5146	0.48	1.35116	843.71
23.3387	0.0787	3.81155	1237.84

### L.3.6 Hasil *Refinement*

#### L.3.6.1 $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ( $x=0$ )

A New refinement



CELL PARAMETERS = 5.397920 0.000003 0.000083  
 5.551727 0.000126 0.001928  
 7.627288 -0.000002 0.000206  
 90.000008 0.000000 0.000000  
 90.000008 0.000000 0.000000  
 90.000008 0.000000 0.000000

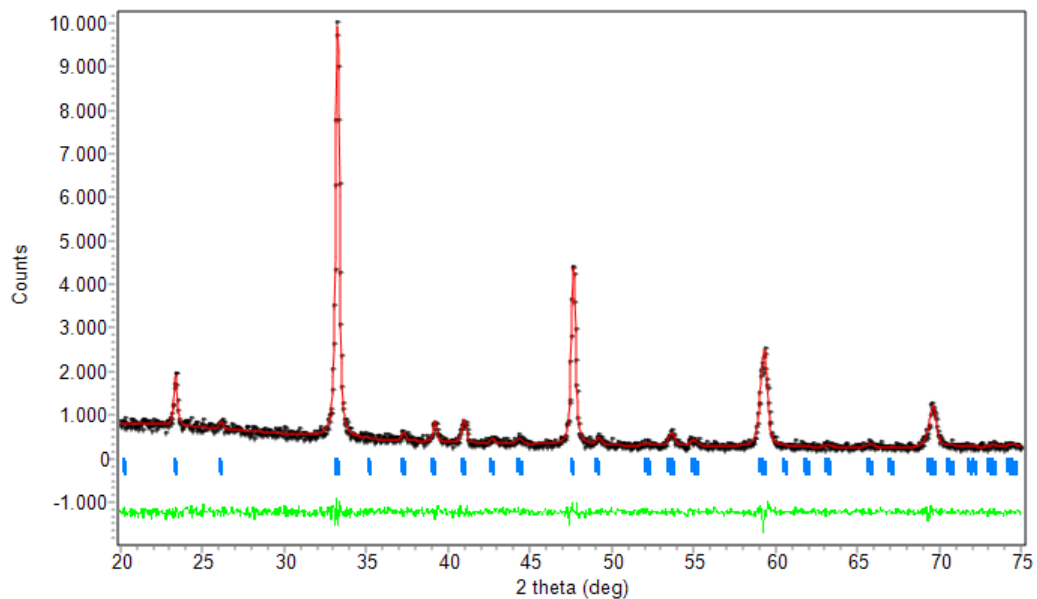
CELL VOLUME = 228,5728

| Rp | Rwp | GOF|

+-----+  
 | 11.65 | 8.64 | 0.4678E+01

### L.3.6.2 $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ( $x=0,05$ )

A New refinement



CELL PARAMETERS = 5.406787 0.000015 0.000801  
 5.379717 0.000070 0.000836  
 6.827715 -0.000026 0.001051  
 90.000008 0.000000 0.000000  
 90.000008 0.000000 0.000000  
 90.000008 0.000000 0.000000

VOLUME CELL = 198,5929

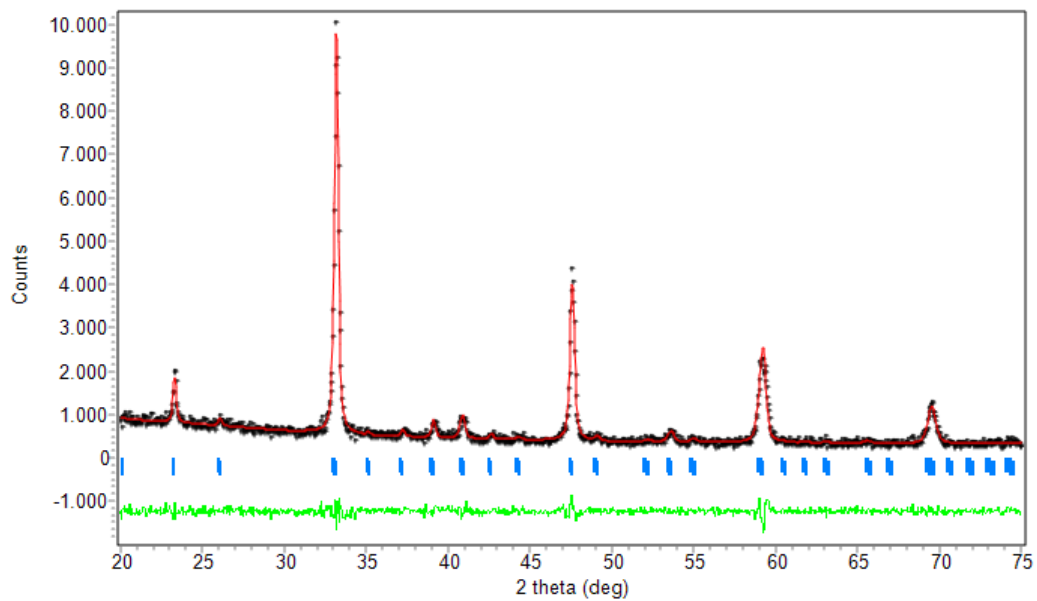
| Rp | Rwp | GOF |

+-----+  
 11.86| 10.35 |0.8155E+01



### L.3.6.3 $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ( $x=0,1$ )

A New refinement



```
CELL PARAMETERS  5.402000  0.000000  0.000000
                  5.413700  0.000000  0.000000
                  7.662632 -0.000055  0.001429
                  90.000008  0.000000  0.000000
                  90.000008  0.000000  0.000000
                  90.000008  0.000000  0.000000
```

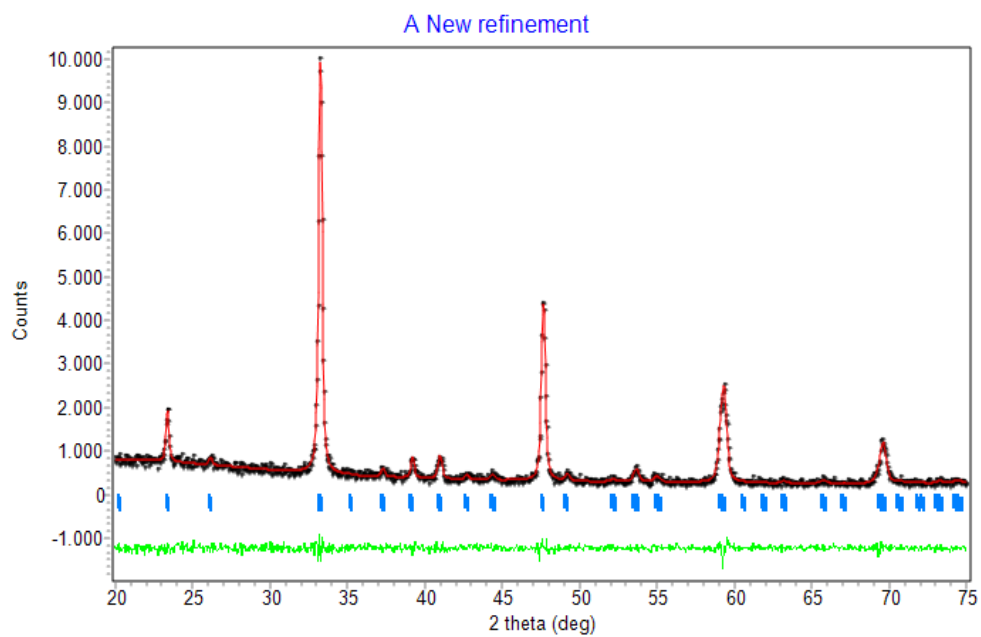
VOLUME CELL = 224,0922

| Rp | Rwp | GOF|

+-----+

| 9.77 | 8.01 | 0.4356E+01

### L.3.6.4 $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ( $x=0,15$ )



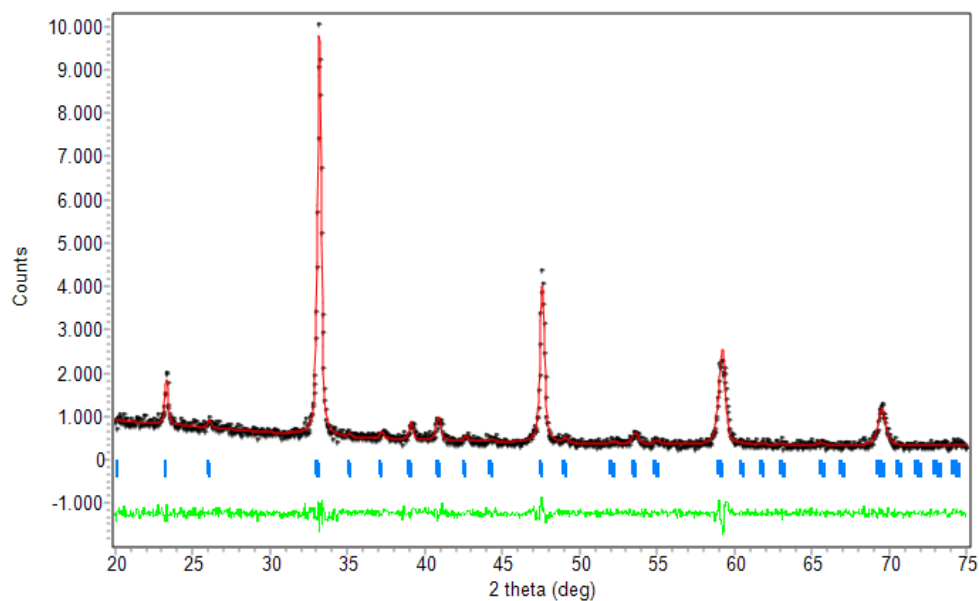
CELL PARAMETERS = 5.409397 0.000000 0.000819  
 5.432231 0.000020 0.000498  
 7.665697 0.000118 0.001549  
 90.000008 0.000000 0.000000  
 90.000008 0.000000 0.000000  
 90.000008 0.000000 0.000000

VOLUME CELL = 225.2572  
 |Rp | Rwp |GOF|

+-----+  
 | 8.37 | 6.74 |0.3144E+01

### L.3.6.5 $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ( $x=0,2$ )

A New refinement



CELL PARAMETERS = 5.409841 -0.000017 0.001134  
 5.424529 -0.000030 0.001336  
 7.657548 -0.000016 0.001414  
 90.000008 0.000000 0.000000  
 90.000008 0.000000 0.000000  
 90.000008 0.000000 0.000000

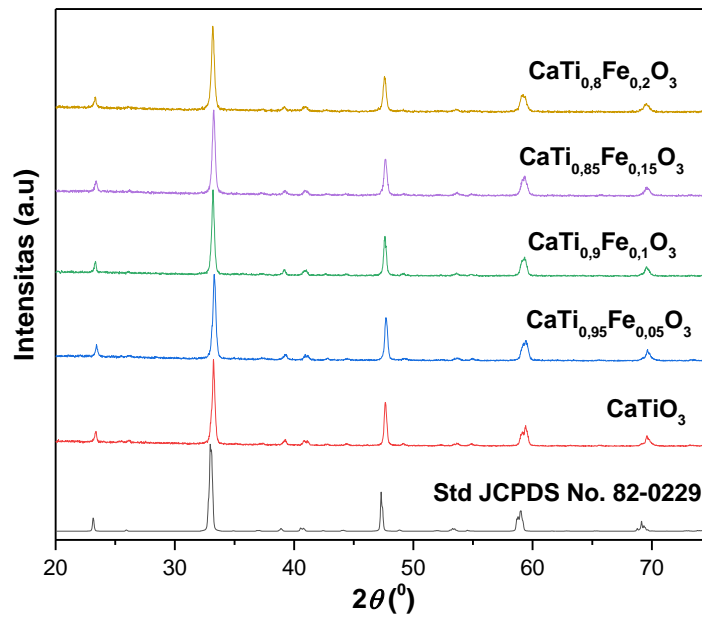
VOLUME CELL = 224, 7171

|Rp | Rwp |GOF|

+-----+  
 | 8.22 | 6.96 |0.3699E+01

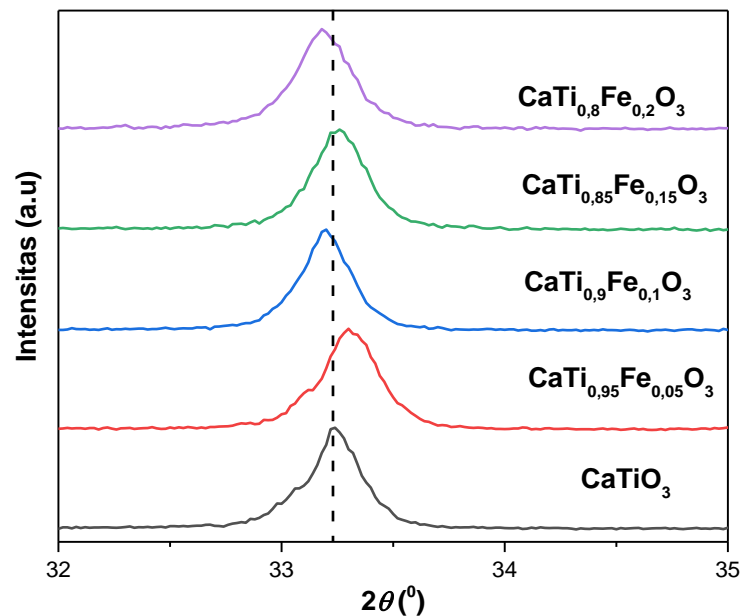
### L.3.7 Pola difraksi sinar-X

### L.3.7.1 Pola difraksi sinar-X $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ( $x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; \text{ dan } 0,2$ )



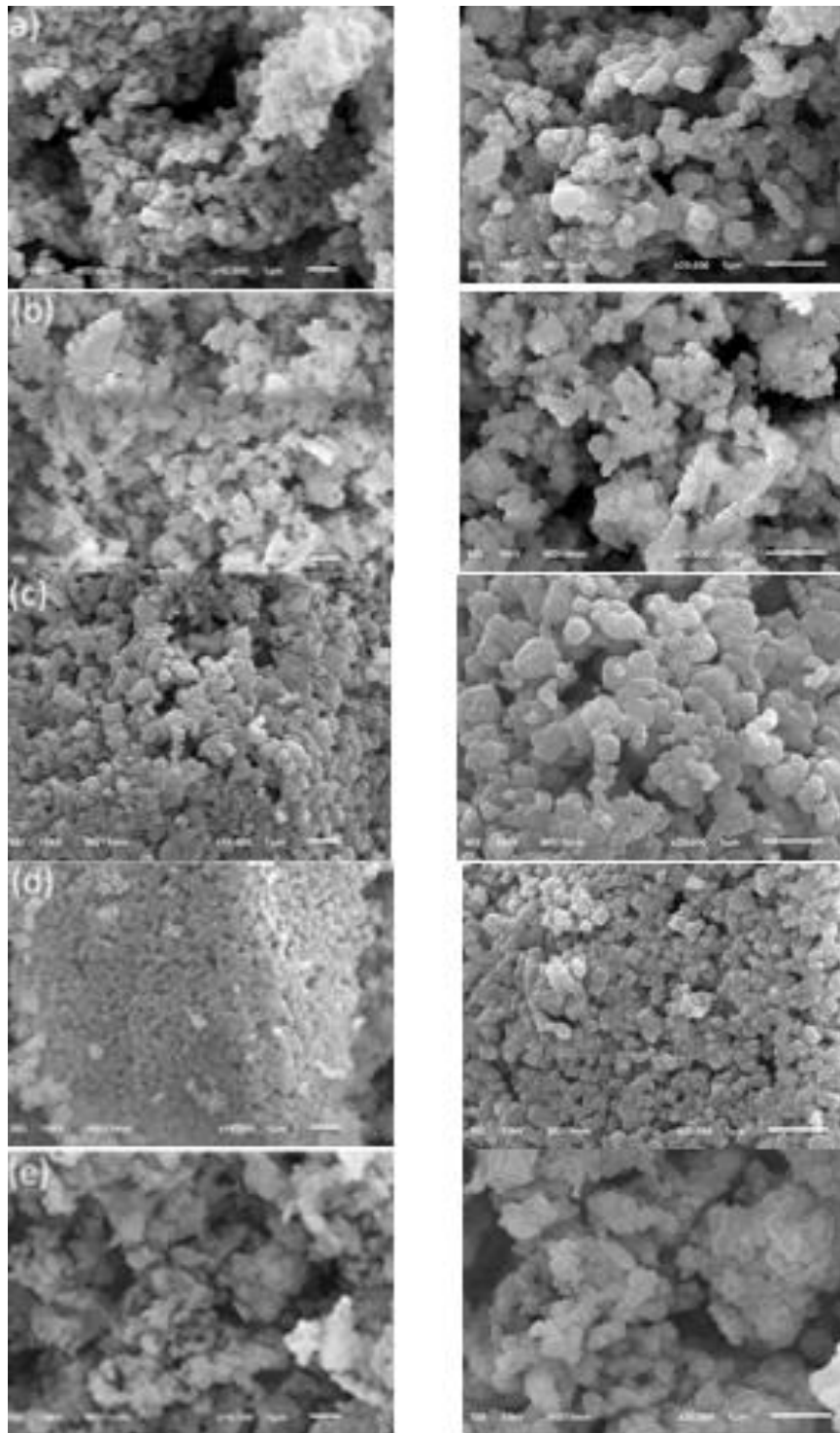
Lampiran 3.7.1 Pola difraksi sinar-X senyawa  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x= 0; 0,05; 0,10; 0,15; \text{ dan } 0,20$ )

### L.3.7.2 Pergeseran puncak difraksi sinar-X senyawa $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$



Lampiran 3.7.2 Pergeseran puncak difraksi sinar-X senyawa  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x= 0; 0,05; 0,10; 0,15; \text{ dan } 0,20$ )

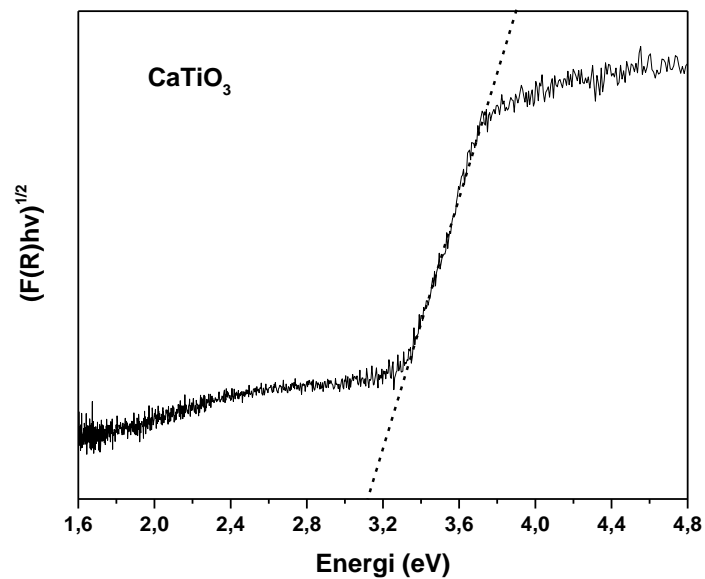
### Lampiran 4. Hasil Karakterisasi menggunakan SEM



Gambar L.5 Mikrograf SEM perbesaran 10.000x dan 20.000x material  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  dengan  $x =$  (a) 0; (b) 0.05; (c) 0,1; (d) 0,15; dan (e) 0,2

#### Lampiran 5. Hasil analisis DRS

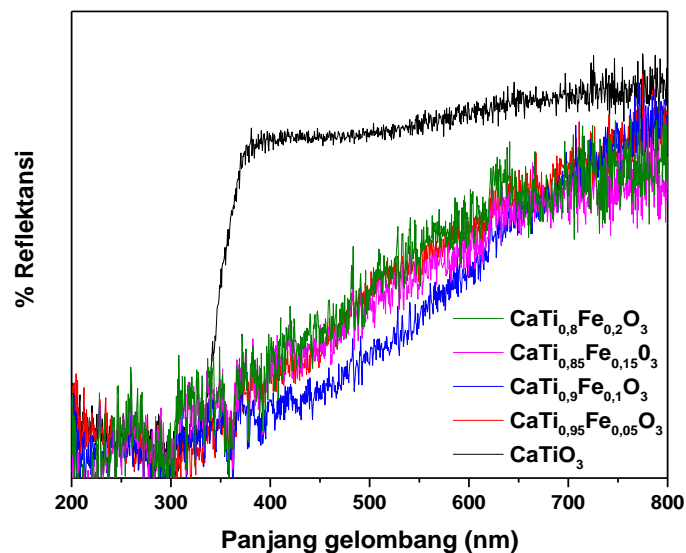
### L.5.1 Energi celah pita dan panjang gelombang $\text{CaTiO}_3$



Gambar L.5.1 Spektra DRS energi celah pita (*band gap*) senyawa  $\text{CaTiO}_3$

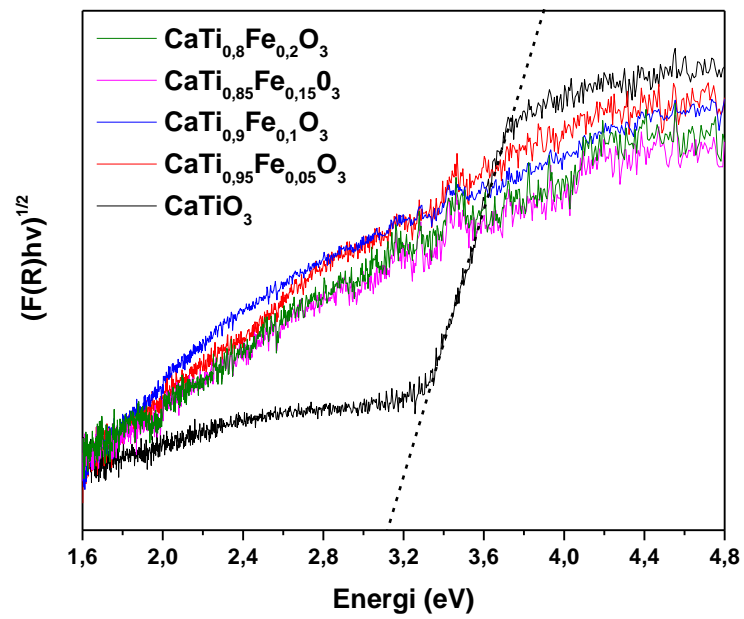
$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{4,13608 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s} \cdot 3 \times 10^8 \text{ m/s}}{3,12 \text{ eV}} = 398 \text{ nm}$$

### L.5.2 Spektra DRS hubungan % reflektansi dengan panjang gelombang



L.5.2 Spektra DRS hubungan % reflektansi dengan panjang gelombang senyawa  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x=0; 0,05; 0,10; 0,15; \text{ dan } 0,20$ )

L.5.3 Spektra DRS energi celah pita (*band gap*) senyawa  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x=0; 0,05; 0,10; 0,15; \text{ dan } 0,20$ )



L.5.3 Spektra DRS energi celah pita (*band gap*) senyawa  $\text{CaTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$  ( $x= 0; 0,05; 0,10; 0,15; \text{ dan } 0,20$ )