

**SINTESIS SENYAWA $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ DENGAN MENGGUNAKAN
METODE LELEHAN GARAM NaCl , KCl , DAN NaCl/KCl**

SKRIPSI

**Oleh:
ULVI DWI PERTIWI
NIM. 18630060**



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

**SINTESIS SENYAWA $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ DENGAN MENGGUNAKAN
METODE LELEHAN GARAM NaCl , KCl , DAN NaCl/KCl**

SKRIPSI

**Oleh:
ULVI DWI PERTIWI
NIM. 18630060**

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

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


**SINTESIS SENYAWA $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ DENGAN MENGGUNAKAN
METODE LELEHAN GARAM NaCl , KCl , DAN NaCl/KCl**

SKRIPSI

Oleh:
ULVI DWI PERTIWI
NIM. 18630060

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal: 08 Desember 2022

Pembimbing I



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

Pembimbing II



Achmad Nashichuddin, M.A
NIP. 19730705 200003 1 002

Mengetahui,
Ketua Program Studi



Rachmayati Wingsih, M.Si
NIP. 19810811 200801 2 010

**SINTESIS SENYAWA $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ DENGAN MENGGUNAKAN
METODE LELEHAN GARAM NaCl , KCl , DAN NaCl/KCl**

SKRIPSI

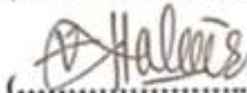
Oleh:
ULVI DWI PERTIWI
NIM. 18630060

**Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
Dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 08 Desember 2022**

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


(.....)

Ketua Penguji : Nur Aini, M. Si
NIP. 19840608 201903 2 009


(.....)

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


(.....)

Anggota Penguji : Achmad Nashichuddin, M.A
NIP. 19730705 200003 1 002


(.....)

Mengetahui,
Ketua Program Studi

Rachmayati Wignati, M.Si
NIP. 19810811 200801 2 010

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ulvi Dwi Pertiwi

NIM : 18630060

Program Studi : Kimia

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Sintesis Senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ dengan Menggunakan Metode Lelehan Garam NaCl, KCl, dan NaCl/KCl

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

Malang, 08 Desember 2022
Yang membuat pernyataan,



Ulvi Dwi Pertiwi
NIM. 18630060

MOTTO

“Berjuang dan Jadi Pemenang
Bukan
Putus Asa Lalu Kalah Seperti Pecundang”

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Allah atas kehendak-Nya saya bisa menjadi pribadi yang berilmu, beriman, dan bersyukur dalam segala hal. Alhamdulillah, akhirnya saya bisa menyelesaikan karya tulis ini.

Dengan ini saya persembahkan karya tulis ini kepada diri saya sendiri yang telah bekerja keras untuk sampai di titik pencapaian. Terimakasih sudah mau berjuang untuk pilihan yang telah di pilih. Tetaplah menjadi pribadi yang ikhlas, sabar, dan optimis dalam segala hal baik. Ingat, setelah ini masih banyak hal yang diperjuangkan. Semangat!

Keluarga saya terutama kedua orang tua yaitu bapak Musonep dan ibu Siti Masruroh yang senantiasa memberikan doa dan dukungan disetiap perjalanan kehidupan. Terimakasih untuk segala yang telah beliau berikan. Kedua kakak dan Nenek saya yang telah memberikan dukungan, nasihat, dan semangat untuk saya sehingga saya bisa menjadi pribadi yang lebih kuat dan lebih baik.

Pembimbing dan penguji yaitu Abah dan bapak Nashih serta Ummah dan ibu Aini atas kesabaran dan bimbingan dari beliau sehingga saya bisa menyelesaikan karya tulis ini. Terimakasih juga untuk semua guru yang telah berbagi ilmu dengan ikhlas semenjak dari pendidikan dini sampai dengan studi jenjang S-1. Karena dari mereka saya bisa menjadi seorang yang lebih baik dari sebelumnya. Semoga kebaikan bapak dan ibu mendapat balasan yang lebih baik dari Allah.

Anggota bimbingan bapak Anton yang tergabung dalam grup “Photokatalis-18” yaitu Rizki Fitriana “kakak sulung” yang selalu memberikan bantuan dan nasihat, Nurul Fitriathus sebagai teman adu nasib selama penelitian maupun dalam menyelesaikan karya tulis, Efrilia, Fitria, Kanty dan Diajeng yang telah mendukung dan memberi semangat kepada penulis. Kebersamaan kita selama bimbingan dan segala cerita tentang kehidupan mahasiswi akhir akan menjadi memori yang tak akan terlupakan.

Semua teman yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terimakasih atas segala bantuan, dukungan, nasihat, dan motivasi yang kalian berikan. Saya merasa beruntung bisa mengenal kalian. Semoga pertemanan ini terus terhubung tidak terbatas jarak dan waktu.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis sampaikan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan segala nikmat, rahmat, karunia, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **“Sintesis Senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ dengan Menggunakan Metode Lelehan Garam NaCl, KCl, dan NaCl/KCl”**. Sholawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membimbing kita ke jalan yang terang, lurus, dan diridhai Allah SWT.

Selama proses penulisan skripsi ini penulis mendapat banyak sekali bimbingan dan nasihat dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini, kepada:

1. Orang tua penulis dan keluarga yang telah memberikan perhatian, kasih sayang nasihat, do'a, motivasi, dan dukungan baik materi maupun moril yang tak mungkin terbalaskan.
2. Prof, Dr. H. M. Zainuddin, M.A selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Sri Harini M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Rachmawati Ningsih, M.Si selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Dr. Anton Prasetyo, M.Si selaku dosen pembimbing utama yang telah meluangkan waktu serta sabar memberikan bimbingan, arahan, motivasi, saran, dan nasihat sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

6. Achmad Nashichuddin, M.A selaku dosen pembimbing agama yang telah meluangkan waktu, memberikan bimbingan dan arahan terutama bagian integrasi sains dan islam sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
7. Seluruh dosen, laboran, dan staf Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan ilmu, pengetahuan, pengalamannya sebagai pedoman dan bekal bagi penulis.
8. Teman-teman Program Studi Kimia, anggota bimbingan bapak Anton 2018, dan seluruh warga Kimia *Bismillah* 2018 yang telah memberikan semangat, masukan, motivasi dan menjadi teman berjuang untuk menyelesaikan penyusunan skripsi.

Segala bantuan semua pihak kepada penulis selama proses penyusunan skripsi ini semoga dibalas oleh Allah SWT dengan pahala dan ridha-Nya. Penulis menyadari dalam penulisan naskah skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang membangun akan penulis terima dengan lapang hati. Semoga karya tulis ini dapat bermanfaat dan menambah ilmu pengetahuan yang bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Malang, 08 Desember 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR PERSAMAAN	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
ABSTRAK	xvii
ABSTRACT	xviii
ملخص البحث	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan	7
1.4 Batasan Masalah	7
1.5 Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Teknologi Fotokatalis	8
2.2 Senyawa SrTiO ₃	10
2.3 Strategi Pendopongan pada Senyawa Perovskit	12
2.4 Pengaruh Morfologi Partikel pada Aktivitas Fotokatalitik	16
2.5 Metode Sintesis Lelehan Garam	18
2.6 Sintesis Senyawa Perovskit dengan Metode Lelehan Garam	21
2.7 Lingkungan Hidup dalam Alqur'an	27
BAB III METODE PENELITIAN	31
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.2 Alat dan Bahan	31
3.2.1 Alat	31
3.2.2 Bahan	31
3.3 Rancangan Penelitian	32
3.4 Prosedur Kerja	32
3.4.1 Preparasi Bahan	32
3.4.2 Sintesis SrTi _{0,95} Fe _{0,05} O ₃ Menggunakan Metode Lelehan Garam	33
3.5 Proses Karakterisasi	34
3.5.1 Karakterisasi SrTi _{0,95} Fe _{0,05} O ₃ Menggunakan Instrumen XRD	34

3.5.2 Karakterisasi $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ Menggunakan Instrumen SEM-EDS.....	34
3.5.3 Karakterisasi $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ Menggunakan Instrumen UV-Vis DRS	34
3.6 Analisis Data	34
3.6.1 Analisis Data XRD.....	34
3.6.2 Analisis Data SEM-EDS	35
3.6.3 Analisis Data UV-Vis DRS.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Sintesis $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ Menggunakan Metode Lelehan Garam.....	36
4.2 Karakterisasi dan Analisis $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ Menggunakan XRD.....	38
4.3 Refinement Data XRD $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$	41
4.4 Karakterisasi dan Analisis $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ Menggunakan SEM-EDS	43
4.5 Karakterisasi dan Analisis $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ Menggunakan UV-Vis DRS	47
4.6 Menjaga Lingkungan Hidup dalam Alqur'an	50
BAB V PENUTUP	54
5.1 Kesimpulan	54
5.2 Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN.....	63

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Diagram Alir.....	63
Lampiran 2	Perhitungan.....	65
Lampiran 3	Hasil Karakterisasi Menggunakan XRD	67
Lampiran 4	Analisis Pengotor Senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ Hasil Sintesis Menggunakan Garam KCl.....	70
Lampiran 5	Hasil Analisis <i>Refinement</i> Menggunakan Rietica	71
Lampiran 6	Hasil Karakterisasi Menggunakan SEM-EDS.....	73
Lampiran 7	Spektra DRS Perhitungan Nilai Energi Celah Pita dan Serapan Sinar Senyawa	76
Lampiran 8	Dokumentasi Penelitian.....	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses mekanisme reaksi fotokatalitik	9
Gambar 2.2	Struktur kristal senyawa SrTiO_3	10
Gambar 2.3	Gambar SEM senyawa (a) TiO_2 , (b) CaTiO_3 , (c) BaTiO_3 , (d) PbTiO_3 , (e) SrTiO_3 metode polimerik prekursor, dan (f) SrTiO_3 metode sol-gel	11
Gambar 2.4	Hasil uji (a) aktivitas degradasi <i>reactive dye yellow</i> (RY) dari TiO_2 dan katalis titanat, dan (b) laju kinetika degradasi katalis titanat	12
Gambar 2.5	Pergeseran penyerapan sinar senyawa ke daerah cahaya tampak akibat pendopongan.....	13
Gambar 2.6	Difraktogram (a) $\text{SrTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ($x= 0; 0,05; 0,1;0,15; \text{ dan } 0,2$), dan (b) pergeseran peak pada senyawa.....	14
Gambar 2.7	Spektra DRS $\text{SrTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ($x= 0; 0,05; 0,1;0,15; \text{ dan } 0,2$).....	15
Gambar 2.8	Hasil SEM SrTiO_3 dengn (a) $x= 0$, (b) $x= 0,05$ (c) $x= 0,1$, (d) $x= 0,25$, (e) $x= 0,4$, dan (f) TEM $x= 0,4$	16
Gambar 2.9	Hasil SEM perbedaan morfologi SrTiO_3 (a) tabung, (b) lembaran, dan (c) bola.....	17
Gambar 2.10	Perbandingan (a) pergeseran penyerapan sinar, an (b) aktivitas fotokatalitik SrTiO_3 dengan morfologi yang berbeda	18
Gambar 2.11	Skema prose sintesis menggunakan metode lelehan garam.....	19
Gambar 2.12	Ilustrasi difraksi sinar-X pada bidang kristal	21
Gambar 2.13	Difraktogram senyawa $\text{LaMn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ yang disintesis menggunakan jenis garam LiCl/KCl pada suhu 850°C (a) $x= 0,1$, (b) $x= 0,2$, (c) $x= 0,3$, dan (d) $x= 0,5$	22
Gambar 2.13	Difraktogram senyawa $\text{LaMn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ yang disintesis dengan garam LiCl/KCl pada suhu (a) 600 , (b) 700°C , dan garam NaCl/KCl (a) 700 , (b) 800 , dan (c) 850°C	22
Gambar 2.14	Hasil SEM $\text{LaMn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ yang disintesis dengan garam LiCl/KCl pada suhu (a) 600 , (b) 700 , (c) 850°C dan garam NaCl/KCl (a) 700 , (b) 800 , dan (c) 850°C	24
Gambar 2.15	Pola difraksi sinar-X (a) standar SrTiO_3 , (b) tanpa menggunakan garam, (c) menggunakan jenis garam LiCl, (d) NaCl, (e) KCl, dan (f) SrCl_2	25
Gambar 2.16	Morfologi partikel senyawa SrTiO_3 (a) tanpa menggunakan garam, (b) menggunakan jenis garam LiCl, (c) NaCl, (d dan e) KCl, dan (f) SrCl_2	26
Gambar 4.1	Perubahan warna sampel secara berurutan sebelum, sesudah kalsinasi, serta setelah dikeringkan untuk sampel (a) NaCl, (b) KCl, dan (c) NaCl/KCl	37
Gambar 4.2	Difraktogram sinar-X senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ yang disintesis menggunakan jenis garam berbeda	39
Gambar 4.3	Pergeseran puncak difraksi sinar-X pada sudut $2\theta= 32,43^\circ$ senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ yang disintesis menggunakan jenis garam berbeda.....	40

Gambar 4.4	Plot hasil proses <i>refinement</i> dengan metode Le Bail senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ hasil sintesis garam NaCl dan NaCl/KCl	41
Gambar 4.5	Hasil SEM senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ yang disintesis menggunakan jenis garam (a) NaCl, (b) KCl, dan (c) NaCl/KCl	43
Gambar 4.6	Bentuk skematis polihedral reguler (1-5) dan semi reguler (6-19).....	44
Gambar 4.7	Hasil EDS senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ yang disintesis menggunakan jenis garam (a) NaCl, (b) KCl, dan (c) NaCl/KCl	46
Gambar 4.8	Spektra DRS hubungan % reflektansi dengan panjang gelombang senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$	48
Gambar 4.9	Spektra DRS Plot-Tauc penentuan energi celah pita senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$	49
Gambar L.3.1	Pola difraksi sinar-X $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ hasil sintesis garam NaCl	67
Gambar L.3.2	Pola difraksi sinar-X $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ hasil sintesis garam KCl	68
Gambar L.3.2	Pola difraksi sinar-X $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ hasil sintesis garam NaCl/KCl	69
Gambar L.4.1	Difraktogram identifikasi pengotor $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ hasil sintesis garam KCl	70
Gambar L.5.1	Plot hasil <i>refinement</i> $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ hasil sintesis garam NaCl	71
Gambar L.5.2	Plot hasil <i>refinement</i> $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ hasil sintesis garam NaCl/KCl	72
Gambar L.6.1.1	Morfologi $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ hasil sintesis garam NaCl dengan perbesaran (a) 7.000x, dan (b) 15.000x	73
Gambar L.6.2.1	Morfologi $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ hasil sintesis garam KCl dengan perbesaran (a) 7.000x, dan (b) 15.000x	74
Gambar L.6.2.1	Morfologi $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ hasil sintesis garam NaCl/KCl dengan perbesaran (a) 7.000x, dan (b) 15.000x	75
Gambar L.7.1	Spektra DRS energi celah pita $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ hasil sintesis garam NaCl.....	76
Gambar L.7.2	Spektra DRS energi celah pita $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ hasil sintesis garam KCl	77
Gambar L.7.3	Spektra DRS energi celah pita $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ hasil sintesis garam NaCl/KCl.....	78
Gambar L.8.1	Proses penimbangan sampel	79
Gambar L.8.2	Proses penggerusan sampel.....	79
Gambar L.8.3	Sampel (a) sebelum dikalsinasi, dan (b) sesudah dikalsinasi.....	79
Gambar L.8.4	Proses penyaringan sampel	79
Gambar L.8.5	Proses identifikasi garam pada filtrat	80
Gambar L.8.6	Proses pengeringan sampel setelah disaring	80
Gambar L.8.7	Produk hasil sintesis senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$	80

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Ukuran kristal dan energi celah pita senyawa SrTiO ₃ dengan perbedaan morfologi.....	17
Tabel 3.1	Komposisi prekursor senyawa SrTi _{0,95} Fe _{0,05} O ₃ dan jenis garam	33
Tabel 4.1	Data kristalografi standar SrTiO ₃ dan SrTi _{0,95} Fe _{0,05} O ₃ yang disintesis dengan jenis garam NaCl dan NaCl/KCl dari <i>refinement</i> dengan metode Le Bail.....	42
Tabel 4.2	Ukuran partikel SrTi _{0,95} Fe _{0,05} O ₃ hasil sintesis dengan jenis garam berbeda.....	45
Tabel 4.3	Persentase massa unsur penyusun senyawa SrTi _{0,95} Fe _{0,05} O ₃ hasil perhitungan teoritis dan karakterisasi EDS	47
Tabel 4.4	Nilai energi celah pita dan serapan panjang gelombang senyawa SrTi _{0,95} Fe _{0,05} O ₃	50
Tabel L.3.1	Puncak-puncak XRD SrTi _{0,95} Fe _{0,05} O ₃ hasil sintesis menggunakan garam NaCl	66
Tabel L.3.2	Puncak-puncak XRD SrTi _{0,95} Fe _{0,05} O ₃ hasil sintesis menggunakan garam KCl.....	67
Tabel L.3.3	Puncak-puncak XRD SrTi _{0,95} Fe _{0,05} O ₃ hasil sintesis menggunakan garam NaCl/KCl.....	68

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 3.1 Kubelka-Munk	35
Persamaan 4.1 Reaksi kimia pembentukan senyawa	37
Persamaan 4.2 Reaksi selama proses pencucian sampel.....	37

ABSTRAK

Pertiwi, U. D. 2022. **Sintesis Senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ Dengan Menggunakan Metode Lelehan Garam NaCl, KCl, dan NaCl/KCl**. Skripsi. Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing I: Dr. Anton Prasetyo, M.Si; Pembimbing II; Achmad Nashichuddin, M.A.

Kata Kunci: Fotokatalis, Strontium Titanat, Doping Fe, Metode Lelehan Garam, Morfologi Partikel.

Strontium titanat (SrTiO_3) adalah senyawa perovskit yang dapat dimanfaatkan sebagai material fotokatalis. Namun, SrTiO_3 memiliki kelemahan yaitu hanya dapat bekerja pada sinar UV dan memiliki laju rekombinasi *electron-hole* yang cepat. Salah satu strategi untuk mengatasinya adalah dengan melakukan pendopongan menggunakan logam Fe untuk meningkatkan penyerapan sinar tampak serta memodifikasi morfologi partikel untuk meningkatkan situs reaksi pada permukaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi jenis garam NaCl, KCl, dan garam campuran NaCl/KCl terhadap struktur kristal, morfologi, ukuran partikel, dan energi celah pita senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$. Hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan instrumen *X-ray diffraction* (XRD) untuk menganalisa fasa yang terbentuk, *scanning electron microscopy-energy dispersive X-ray diffraction* (SEM-EDS) untuk menganalisa morfologi dan ukuran partikel, serta *ultraviolet-visible diffuse reflectance spectroscopy* (UV-Vis DRS) untuk mengetahui energi celah pita dan serapan sinar senyawa. Difraktogram senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ hasil sintesis dengan jenis garam berbeda menunjukkan bahwa sampel telah berhasil disintesis. Akan tetapi, pada jenis garam KCl ditemukan pengotor SrCO_3 dan TiO_2 anatas. Hasil SEM-EDS menunjukkan morfologi partikel ketiga sampel berbentuk polihedral yang seragam tanpa aglomerasi dengan rata-rata ukuran yang kecil sekitar $0,0328\text{-}0,0635\ \mu\text{m}^2$ serta komposisi penyusun senyawa adalah Sr, Ti, O, dan Fe. Spektra UV-Vis DRS menunjukkan bahwa nilai energi celah pita ketiga senyawa sebesar 2,8 eV sehingga dapat menyerap pada daerah sinar tampak.

ABSTRACT

Pertiwi, U. D. 2022. **Synthesis of SrTi_{0,95}Fe_{0,05}O₃ Compound Using Molten Salt Method of NaCl, KCl, and NaCl/KCl.** Thesis. Chemistry Departement, Faculty of Science and Technology, State Islamic University Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor I: Dr. Anton Prasetyo, M.Si; Supervisor II; Achmad Nashichuddin, M.A.

Keywords: Photocatalyst, Strontium Titanate, Doped-Fe, Molten Salt Method, Particle Morphology.

Strontium titanate (SrTiO₃) is a perovskite compound that can be used as a photocatalyst material. However, SrTiO₃ has disadvantage that it can only work in UV light and has a fast electron-hole recombination rate. One strategy to overcome this is by doping with Fe metal to increase visible light absorption and modifying particle morphology to increase reaction sites on the surface. This research aims to determine the effect of variations in the types of salt NaCl, KCl, and mixed salt NaCl/KCl on the crystal structure, morphology, particle size, and band gap energy of SrTi_{0,95}Fe_{0,05}O₃ compound. The results of the synthesis were characterized using an X-ray diffraction (XRD) instrument to analyze the formed phase, scanning electron microscopy-energy dispersive X-ray diffraction (SEM-EDS) to analyze particle morphology and size, and ultraviolet-visible reflectance spectroscopy (UV-Vis DRS) to determine the band gap energy and light absorption of compounds. The diffractogram of the synthesized SrTi_{0,95}Fe_{0,05}O₃ compound with different types of salt indicates that the sample has been successfully synthesized. However, in the type of KCl salt, SrCO₃ and TiO₂ impurities were found. The SEM-EDS results showed that the particle morphology of the three samples is uniformly polyhedral without agglomeration with an average small size of 0,0328-0,0635 μm² and the composition of the compound is Sr, Ti, O, and Fe. The UV-Vis DRS spectra showed that the band gap energy of the three compounds was 2.8 eV so that they could absorb in the visible light region.

ملخص البحث

قرنوي. أو. د. ٢٠٢٢. تركيب مركب $SrTi_{0.95}Fe_{0.05}O_3$ باستخدام طريقة ذوبان أملاح $NaCl$ و KCl و $NaCl/KCl$ فرضية. برنامج دراسة الكيمياء ، كلية العلوم والتكنولوجيا ، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية ، مالانج. المستشار الأول: د. أنطون براسيتيو ، إم إس آي ؛ المستشار الثاني ؛ أحمد نشيش الدين ، ماجستير.

الكلمات الرئيسية: محفز ضوئي، تيتانات السترونتيوم، منشطات الحديد، طريقة ذوبان الملح، مورفولوجيا الجسيمات

تيتانات السترونتيوم ($SrTiO_3$) هو مركب بيروفسكايت يمكن استخدامه كمادة محفزة للضوء. ومع ذلك، فإن $SrTiO_3$ لديه عيب أنه لا يمكنه العمل إلا على ضوء الأشعة فوق البنفسجية ولديه معدل إعادة تركيب سريع لثقب الإلكترون. تتمثل إحدى الاستراتيجيات للتغلب على ذلك في التهرب باستخدام معدن Fe لتحسين امتصاص الأشعة المرئية وكذلك تعديل مورفولوجيا الجسيمات لتحسين مواقع التفاعل على السطح. تهدف هذه الدراسة إلى تحديد تأثير الاختلافات في أنواع ملح $NaCl$ ، KCl ، وملح مخلوط $NaCl/KCl$ على البنية البلورية والمورفولوجيا وحجم الجسيمات وطاقة فجوة النطاق لمركبات $SrTi_{0.95}Fe_{0.05}O_3$. تم تمييز نتائج التوليف باستخدام أدوات حيود الأشعة السينية (XRD) لتحليل المرحلة المشكلة ، وحيود الأشعة السينية المشتتة بالطاقة المجهرية الإلكترونية الماسحة (SEM-EDS) لتحليل المورفولوجيا وحجم الجسيمات ، والتحليل الطيفي للانعكاس المنتشر المرئي بالأشعة فوق البنفسجية (UV-VIS DRS) لتحديد طاقة فجوة النطاق وامتصاص الأشعة المركبة. مخطط الحيود للمركب $SrTi_{0.95}Fe_{0.05}O_3$ نتيجة التوليف مع أنواع مختلفة من الأملاح يظهر أن العينة قد تم تصنيعها بنجاح. ومع ذلك، في نوع ملح KCl ، تم العثور على الشوائب $SrCO_3$ و TiO_2 Anatas. تظهر نتائج SEM-EDS أن مورفولوجيا الجسيمات للعينات الثلاث كانت متعددة السطوح بشكل موحد دون تكتل بمتوسط حجم صغير من ٠,٠٣٢٨ - ٠,٠٦٣٥ ميكرومتر وتكوين المركب هم Sr و Ti و O و Fe . أظهرت أطياف UV-Vis DRS أن قيمة الطاقة لفجوة النطاق الثالث للمركب كانت $2,8$ eV حتى يتمكن من امتصاص منطقة الحزمة المرئية.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aktivitas industri tekstil telah menghasilkan limbah zat warna yang bersifat toksik dan sulit untuk didegradasi sehingga jika tidak diolah kembali dan tidak dibuang pada tempatnya dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan mengancam kesehatan masyarakat (Jing, dkk., 2015). Beberapa metode telah dilakukan untuk degradasi limbah zat warna tersebut, seperti penggunaan lumpur aktif, filtrasi membran, biodegradasi, bioremediasi enzimatik, ozonisasi UV, adsorpsi, koagulasi, dan fotokatalis (Aliah dan Karlina, 2015; Illahi, dkk., 2020). Metode fotokatalis merupakan metode pengolahan limbah zat warna maupun fotodegradasi yang lebih efektif dibandingkan dengan metode sebelumnya. Fotokatalis dapat digunakan untuk proses pemecahan air menjadi hidrogen dan oksigen, reduksi CO₂, degradasi limbah organik dan bakteri (Kiss, dkk., 2017; Zhang, dkk., 2019). Metode fotokatalis termasuk metode yang ramah lingkungan dengan konsumsi energi yang rendah, sederhana, ekonomis, tidak memerlukan tempat luas serta dapat digunakan oleh masyarakat umum (Wang, dkk., 2021).

Fotokatalis merupakan metode yang memanfaatkan sinar untuk mendegradasi limbah zat warna menjadi material yang lebih sederhana sehingga lebih aman untuk lingkungan perairan menggunakan material semikonduktor sebagai katalis (Permatasari, dkk., 2015). Aktivitas fotokatalitik merupakan kombinasi antara proses fitokimia dan katalis, dimana metode ini bergantung pada kemampuan katalis untuk menghasilkan sepasang *electron-hole* (e^-/h^+) pada pita valensi dan konduksi dalam partikel semikonduktor. *Hole* ini berfungsi sebagai

tempat terjadinya oksidasi, sedangkan elektron sebagai tempat terjadinya reduksi. Pasangan e^-/h^+ ini kemudian akan menghasilkan radikal hidroksil (OH^\bullet) yang dapat mendegradasi polutan organik berbahaya (Naimah, dkk., 2014). Aktivitas katalitik dari fotokatalis tergantung pada penyerapan cahaya berkaitan dengan energi celah pita, pemisahan dan transfer muatan fotogenerasi e^-/h^+ dan reaksi pada permukaan berkaitan dengan morfologi dan ukuran partikel (Xu, 2021).

Pengolahan limbah zat warna merupakan salah satu bentuk perwujudan usaha manusia untuk menjaga dan melestarikan lingkungan di bumi khususnya pada ekosistem perairan. Allah SWT telah melarang manusia untuk berbuat kerusakan di bumi seperti yang dijelaskan dalam Alqur'an surah al-A'raf (7) ayat 56 yang berbunyi:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَأَدْعُوهُ حَوْفًا 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 penuh harap (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang yang berbuat baik” (Q. S. al-A'raf (7): 56).

Ayat diatas melarang berbuat kerusakan di bumi, yang mana berbuat kerusakan merupakan bentuk pelampauan batas. Alam raya diciptakan Allah SWT dalam keadaan yang harmonis, serasi, dan memenuhi kebutuhan makhluk. Allah SWT telah menjadikannya dalam keadaan baik, serta memerintahkan hamba-hambanya untuk memperbaikinya. Larangan membuat kerusakan ini mencakup semua bidang, seperti merusak pergaulan, kehidupan, sumber-sumber penghidupan, lingkungan dan lain sebagainya. Bumi ini sudah diciptakan Allah dengan segala kelengkapannya, seperti gunung, lembah, sungai, lautan, daratan,

hutan dan lain-lain, yang semuanya ditujukan untuk keperluan manusia, agar dapat diolah dan dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya untuk kesejahteraan mereka. Merusak setelah diperbaiki, jauh lebih buruk daripada merusaknya sebelum diperbaiki, atau pada saat dia buruk. Karena itu, ayat ini secara tegas menggarisbawahi larangan tersebut, walaupun tentunya memperparah kerusakan atau merusak yang baik juga amat tercela (Shihab, 2002). Salah satu cara memperbaiki kerusakan lingkungan seperti pencemaran air adalah dengan menyintesis senyawa fotokatalis yang dapat mendegradasi limbah zat warna dengan bantuan sinar sehingga lebih aman untuk ekosistem perairan.

Material berstruktur perovskit adalah salah satu jenis bahan yang banyak digunakan dalam industri fotokatalis diantaranya adalah SrTiO_3 , CaTiO_3 , BaTiO_3 , NaTaO_3 , dan AgTaO_3 serta industri elektronik seperti SrNbO_3 , LaTiO_3 , PbCrO_3 , dan LaCrO_3 (Kanhere dan Chen, 2014; Rizwan, dkk., 2019). Material perovskit memiliki rumus kimia ABO_3 dengan kation A memiliki ukuran yang lebih besar daripada kation B , dimana kation A berasal dari unsur tanah jarang, alkali atau alkali tanah seperti Sr, Ba, Pb, Ca, La sedangkan kation B dari golongan logam transisi seperti Co, Cr, Ti, Zr, Nb, Ta (Da Silva, dkk., 2009; Sebastian, 2008). Sifat menarik senyawa perovskit yang telah dilaporkan adalah fotokatalis, ferroelektrik, piezoelektrik, dan konstanta dielektrik yang tinggi (Wei, dkk., 2020).

Strontium titanat (SrTiO_3 , STO) merupakan senyawa oksida logam yang memiliki beberapa keunggulan, diantaranya yaitu memiliki ketahanan sifat kimia dan kestabilan fisik yang kuat, tahan terhadap suhu tinggi, kestabilan struktur kristal melalui substitusi, serta memiliki sifat optik yang unggul (Tanigawa, dkk., 2017; Putri, dkk., 2021). Salah satu sifat menarik dari senyawa SrTiO_3 adalah fotokatalis

dengan energi celah pita sebesar 3,24 eV sehingga akan bekerja pada daerah sinar ultraviolet (Li, dkk., 2021). Kelemahan dari SrTiO₃ sebagai material fotokatalis adalah memiliki laju rekombinasi e^-/h^+ yang cepat serta kurang efisien dalam menyerap sinar karena spektrum sinar matahari hanya mengandung sekitar 5% sinar UV dan sisanya adalah sinar tampak dan infra merah. Beberapa usaha dapat dilakukan untuk meningkatkan aktivitas dari SrTiO₃ seperti sistem reaksi skema-Z, *p-n junction*, pendopongan dengan logam atau non logam, dan penggabungan dengan semikonduktor lain (*heterojunction*) (Fan, dkk., 2020; Xu, 2021).

Substitusi pada situs kation *A* atau *B* (doping) pada SrTiO₃ dilaporkan dapat mengubah struktur elektroniknya sehingga meningkatkan aktivitas fotokatalitik (Mohan dan Mao, 2020). Abdi, dkk. (2020) telah melakukan sintesis SrTiO₃ yang didoping La pada situs kation *A* dan Fe pada situs kation *B* dan melaporkan bahwa energi celah pita senyawa mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya konsentrasi doping. Penggunaan doping La dan Fe ($x= 5\%$) pada SrTiO₃ dapat menurunkan energi celah pita dari 3,2 menjadi 2,61 eV dan mampu meningkatkan aktivitas fotokatalitik untuk mendegradasi metil orange hingga 90% dibandingkan dengan SrTiO₃ murni yang hanya dapat mendegradasi sebesar 5%. Namun, dilaporkan bahwa penurunan energi celah pita SrTiO₃ lebih signifikan berasal dari penggunaan doping pada situs kation Ti daripada situs kation Sr. Bantawal, dkk. (2020) dalam penelitiannya melaporkan bahwa sintesis SrTiO₃ yang didoping vanadium pada situs kation Ti ($x= 0,5; 1,0; 1,5; \text{ dan } 2\%$) dapat menurunkan energi celah pita dari 3,16 eV menjadi 2,7; 2,54; 2,29; dan 2,13 eV serta menyebabkan pergeseran penyerapan sinar di daerah cahaya tampak.

Doping logam besi (Fe) memiliki potensi untuk digunakan sebagai doping material SrTiO₃ karena memiliki jari-jari ion yang hampir mirip dengan jari-jari ion Ti⁴⁺ sehingga mudah masuk ke dalam kisi kristal. Xie, dkk. (2008) telah menyintesis SrTiO₃ terdoping Fe sebesar 5% pada situs Ti dan melaporkan penggunaan sejumlah kecil doping Fe tidak mengubah pertumbuhan struktur kristal senyawa serta dapat menyebabkan pergeseran penyerapan sinar ke daerah sinar tampak. Selain itu, dilaporkan juga adanya doping Fe mengakibatkan bentuk partikel menjadi lebih kecil sehingga lebih efektif untuk proses fotokatalitik. Sood, dkk. (2015) melaporkan penambahan doping Fe sebesar 5% berperan sebagai pusat pemisahan dan perangkap e^-/h^+ yang dapat menghambat laju rekombinasi e^-/h^+ . Di lain pihak, Mourão, dkk. (2017) melaporkan bahwa SrTiO₃ yang didoping logam Fe sebesar 5% menunjukkan aktivitas fotokatalitik terbaik untuk mendegradasi metilen biru dengan konstanta laju 0,157 menit⁻¹ dibawah iradiasi sinar tampak.

Sintesis material fotokatalis dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya seperti metode hidrotermal, lelehan garam, solvotermal, reaksi fasa padat, dan sol-gel (Liu, dkk., 2012). Metode lelehan garam merupakan metode sintesis senyawa oksida kompleks yang dapat mengontrol bentuk morfologi dan ukuran partikel material menggunakan jenis garam sehingga pemilihan jenis garam sintesis menjadi sangat penting (Xue, dkk., 2018). Kriteria pemilihan jenis garam diantaranya yaitu tidak bereaksi dengan produk sintesis, mudah dihilangkan setelah proses sintesis, dan memiliki titik leleh yang lebih rendah daripada prekursor. Akdogan, dkk. (2006) telah berhasil menyintesis SrTiO₃ menggunakan metode lelehan garam dengan jenis garam NaCl dan KCl. Hasil karakterisasi dilaporkan bahwa morfologi partikel yang didapatkan dengan garam KCl berupa kubik atau

tetragonal dengan panjang $\sim 10\text{-}15\ \mu\text{m}$ sedangkan morfologi pada garam NaCl berupa trombosit atau trombosit memanjang dengan panjang $\sim 20\text{-}40\ \mu\text{m}$.

Sintesis senyawa SrTiO_3 menggunakan metode lelehan garam telah dilaporkan oleh beberapa pihak. Li, dkk. (2010) melaporkan bahwa senyawa SrTiO_3 yang disintesis menggunakan jenis garam NaCl/KCl menghasilkan produk yang lebih murni dibandingkan dengan produk yang disintesis tanpa garam. Dilaporkan juga adanya garam pada proses sintesis berperan sebagai tempat pembentukan dan pertumbuhan partikel sehingga dapat mengontrol morfologi senyawa. Hasil karakterisasi menunjukkan morfologi partikel yang didapatkan berupa kubik dengan ukuran kristal pada prekursor TiO_2 *nanocrystal* dan *submicron* masing-masing sebesar 20-61 dan 95-184 nm. Wang, dkk. (2011) juga telah berhasil menyintesis senyawa SrTiO_3 dengan prekursor TiO_2 *nanocrystal* dan *submicron* menggunakan metode lelehan garam NaCl/KCl dan melaporkan bahwa produk yang dihasilkan adalah SrTiO_3 murni tanpa adanya fasa pengotor serta morfologi partikel yang didapatkan berupa kubik dengan ukuran kristal masing-masing sebesar 11-43 dan 64-182 nm.

Berdasarkan uraian diatas, maka dalam penelitian yang akan dilakukan adalah sintesis senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ (STFO) menggunakan metode lelehan garam dengan variasi jenis garam yaitu NaCl, KCl, dan NaCl/KCl. Untuk mengetahui pengaruh berbagai jenis garam pada material fotokatalis, maka hasil sintesis akan dikarakterisasi menggunakan instrumen *X-ray diffraction* (XRD), *scanning electron microscopy-energy dispersive X-ray spectroscopy* (SEM-EDS), dan *ultraviolet-visible diffuse reflectance spectroscopy* (UV-Vis DRS).

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh variasi jenis garam NaCl, KCl, NaCl/KCl terhadap struktur kristal, morfologi, ukuran partikel, dan energi celah pita dari senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ yang di sintesis menggunakan metode lelehan garam?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi jenis garam NaCl, KCl, dan NaCl/KCl terhadap struktur kristal, morfologi, ukuran partikel, dan energi celah pita dari senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ yang di sintesis menggunakan metode lelehan garam.

1.4 Batasan Masalah

Jenis garam yang digunakan untuk sintesis senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ adalah NaCl, KCl, dan NaCl/KCl dengan perbandingan rasio molar 1:7 pada suhu kalsinasi 830 dan 855°C masing-masing selama 6 jam.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat memberikan informasi terkait pengaruh variasi jenis garam NaCl, KCl, NaCl/KCl terhadap struktur kristal, morfologi, ukuran partikel, energi celah pita material fotokatalis $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ yang disintesis dengan metode lelehan garam serta memberikan kontribusi terhadap kajian variasi jenis garam pada senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ dalam aplikasi fotokatalis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

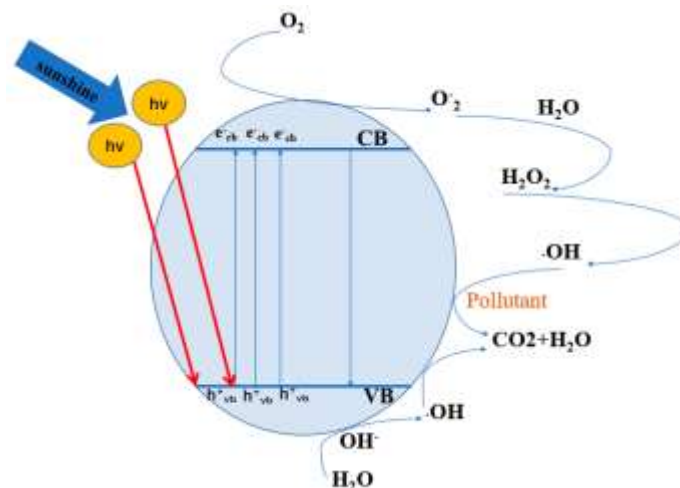
2.1 Teknologi Fotokatalis

Istilah fotokatalis pertama kali digunakan pada tahun 1911 oleh Eibner yang mengintegrasikan konsep fotokatalis dalam penelitiannya mengenai efek iluminasi ZnO untuk penjernihan pada pigmen biru dari *prussian blue*. Pada tahun yang sama, Bruner dan Kozak melakukan percobaan untuk mendegradasi asam oksalat menggunakan garam uranil (UO_2^+) dibawah iluminasi. Kemudian pada tahun 1913, Landau memperkenalkan fenomena fotokatalis dalam reaksi fotokimia dengan bantuan cahaya (Coronado, dkk., 2013). Selanjutnya teknologi fotokatalis mulai dikenal luas setelah ditemukannya peristiwa pemisahan air (*water splitting*) yang menghasilkan gas hidrogen dan oksigen oleh Honda-Fujishima pada tahun 1967 melalui sel elektrokimia yang terdiri dari kristal tunggal TiO_2 sebagai anoda dan logam Pt sebagai katoda dibawah iradiasi sinar ultraviolet (Wang, dkk., 2015).

Fotokatalis merupakan proses reaksi kimia yang melibatkan katalis untuk mempercepat reaksi dan cahaya sebagai sumber energi (Khan, dkk., 2015). Fotokatalis berbasis semikonduktor merupakan *green technology* karena memiliki efisiensi tinggi, non-selektif, dan efektif mendegradasi polutan organik dalam air limbah (Chen, dkk., 2018). Material yang digunakan sebagai fotokatalis adalah bahan semikonduktor dengan nilai energi celah pita yang kecil antara 0,2-4 eV. Struktur eletronik bahan semikonduktor ditandai dengan pita valensi (VB) yang terisi penuh oleh elektron dan pita kosong yang disebut pita konduksi (CB) serta terdapat celah energi yang kecil diantara VB dan CB yang disebut dengan energi celah pita (Zhang dan Sillanpää, 2020). Salah satu material semikonduktor yang

dapat digunakan sebagai fotokatalis adalah oksida logam seperti TiO_2 , ZnO , Fe_2O_3 , CdS , ZnS , WO_3 , SrTiO_3 , BaTiO_3 , $\text{BaTi}_2\text{O}_{15}$, PbTiO_3 , BiVO_4 dan ZrO_2 (Hoang, dkk., 2019; Jafari, dkk., 2016).

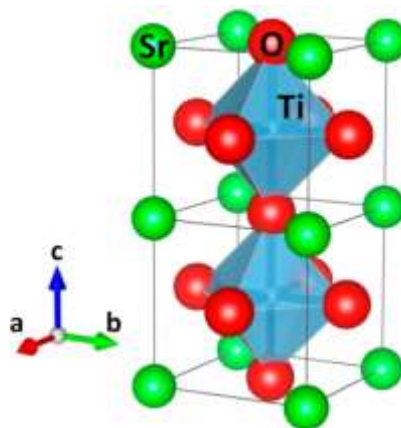
Proses mekanisme fotokatalitik dari material semikonduktor ditampilkan pada Gambar 2.1. Fotokatalitik terjadi ketika fotokatalis ditembak oleh cahaya foton dengan nilai energi yang setara atau lebih tinggi dari nilai energi celah pita sehingga elektron (e^-) yang berada pada pita valensi (VB) tereksitasi menuju pita konduksi (CB) dan meninggalkan *hole* (h^+) di VB. Proses generasi pasangan *electron-hole* (e^-/h^+) ini disebut muatan fotogenerasi. Elektron pada CB kemudian menuju ke permukaan fotokatalis dan terlibat dalam proses reaksi reduksi. Elektron dapat mereduksi akseptor elektron khas (O_2) untuk menghasilkan spesies oksigen reaktif ($\bullet\text{O}_2^-$) atau hidrogen peroksida (H_2O_2). Sedangkan *hole* bereaksi dengan air (H_2O) dan gugus hidroksil (OH^-) untuk menghasilkan radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$). Anion superoksida ($\bullet\text{O}_2^-$) dan radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) ini kemudian digunakan untuk mendegradasi polutan organik menjadi CO_2 dan H_2O (Long, dkk., 2020; Zhang, dkk., 2019).



Gambar 2.1 Proses mekanisme reaksi fotokatalitik (Zhang, dkk., 2019)

2.2 Senyawa SrTiO₃

Senyawa SrTiO₃ merupakan suatu kristal dengan tipe struktur *cubic perovskite* yang dirumuskan ABO₃ dengan parameter kisi $a=b=c$ adalah 0.3905 nm serta densitas $\rho = 5,12 \text{ g/cm}^3$ (Crespillo, dkk., 2019). Komposisi struktur ABO₃ dalam posisi A biasanya ditempati oleh kation yang lebih besar dan B adalah kation yang lebih kecil dengan ukuran jari-jari kation $r_A > 0,09 \text{ nm}$ dan $r_B > 0,051 \text{ nm}$ (Zhu, dkk., 2014). Secara spesifik struktur SrTiO₃ pada posisi A ditempati oleh ion Sr²⁺ memiliki panjang $r_{\text{Sr}^{2+}} = 1,18 \text{ \AA}$ sedangkan posisi B ditempati oleh ion Ti⁴⁺ memiliki panjang $r_{\text{Ti}^{4+}} = 0,605 \text{ \AA}$ (Jiang, dkk., 2020).

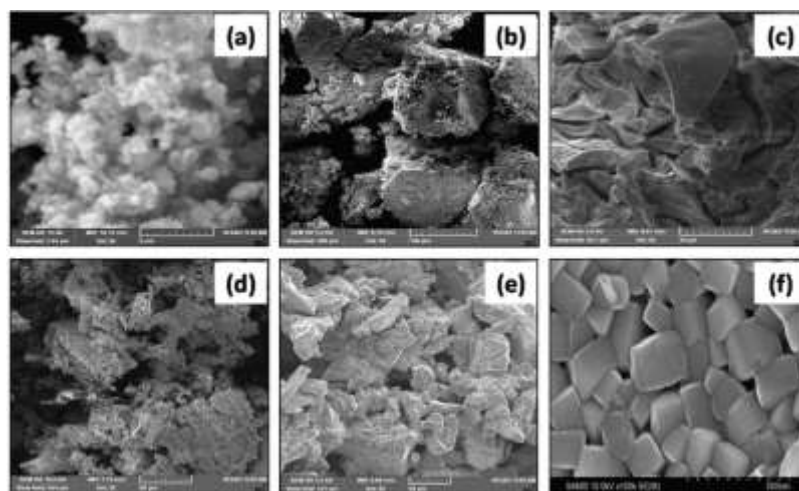


Gambar 2.2 Struktur kristal senyawa SrTiO₃ (Crespillo, dkk., 2019)

Struktur kristal SrTiO₃ ditampilkan pada Gambar 2.2. Struktur kristal SrTiO₃ memiliki kisi kristal kubus primitif dengan grup ruang $Pm3m$. Ion Sr²⁺ dari SrTiO₃ menempati posisi pusat kubus dan dikelilingi oleh empat oktahedral TiO₆ sehingga memiliki bilangan koordinasi 12 yang mengikat ion O²⁻. Sedangkan ion TiO⁴⁺ memiliki bilangan koordinasi 6 yang mengikat ion O²⁻ dan menempati posisi pusat oktahedral (Zhou, dkk., 2011). Struktur oktahedral TiO₆ memiliki hibridisasi pada O-2p dan Ti-3d yang menghasilkan terbentuknya ikatan kovalen, sedangkan

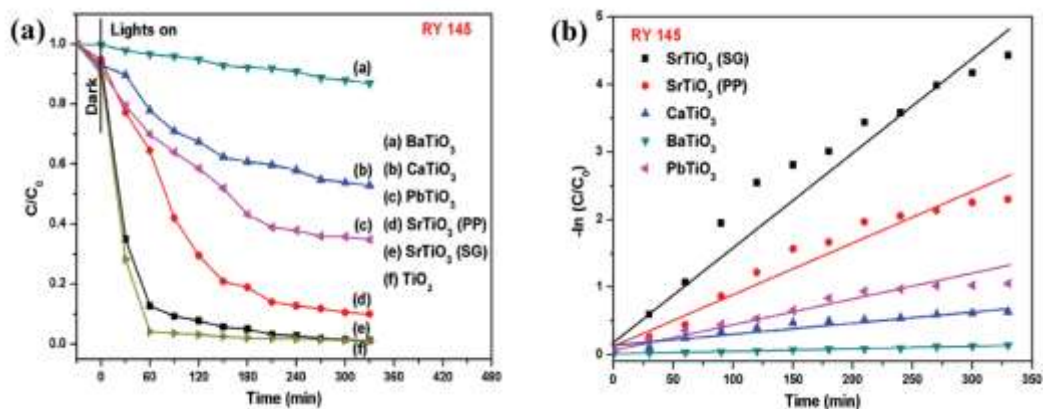
ion Sr^{2+} dan O^{2-} mempunyai sifat ikatan ionik-kovalen. Sifat ikatan kimia ini menyebabkan terbentuknya struktur yang unik dan menjadikan SrTiO_3 sebagai bahan elektronik (Crespillo, dkk., 2019).

SrTiO_3 termasuk material yang dapat diaplikasikan secara luas, misalnya bahan keramik, kapasitor, sensor oksigen, perangkat *random access memory*, dan fotokatalis (Kim, dkk., 2016; Liu, dkk., 2012). SrTiO_3 telah dilaporkan memiliki morfologi yang unik sehingga dapat meningkatkan aktivitas fotokatalitiknya. Thamaraiselvi, dkk. (2018) melaporkan bentuk morfologi senyawa TiO_2 , CaTiO_3 , BaTiO_3 , PbTiO_3 yang disintesis menggunakan metode polimerik prekursor (PP) menghasilkan bentuk morfologi yang tidak beraturan dan terbentuk aglomerasi, sedangkan pada SrTiO_3 didapatkan morfologi yang lebih baik. Selain itu, ketika senyawa SrTiO_3 disintesis menggunakan metode sol-gel (SG) didapatkan bentuk morfologi berupa kubik yang lebih seragam dengan ukuran 8-50 nm. Gambar SEM masing-masing senyawa ditampilkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Gambar SEM senyawa (a) TiO_2 , (b) CaTiO_3 , (c) BaTiO_3 , (d) PbTiO_3 , (e) SrTiO_3 metode polimerik prekursor, dan (f) SrTiO_3 metode sol-gel (Thamaraiselvi, dkk., 2018)

Hasil uji aktivitas fotokatalitik dari katalis logam titanat untuk mendegradasi *reactive dye yellow* (RY) dibawah penyinaran UV ditampilkan pada Gambar 2.4 (a). Pada katalis SrTiO_3 (metode SG) menunjukkan aktivitas degradasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan katalis titanat lainnya dimana pada menit ke-120 dapat mendegradasi sebesar 43%. Dapat dilihat juga pada Gambar 2.4 (a) bahwa aktivitas katalitik dari SrTiO_3 (SG) sebanding dengan katalis TiO_2 . Selain itu, laju kinetika SrTiO_3 juga lebih tinggi dibandingkan dengan katalis titanat yang lain. Hal ini dapat menunjukkan adanya perbedaan morfologi partikel senyawa berpengaruh terhadap aktivitas fotokatalitik. Gambar laju kinetika katalis titanat untuk degradasi RY ditampilkan pada Gambar 2.4 (b).



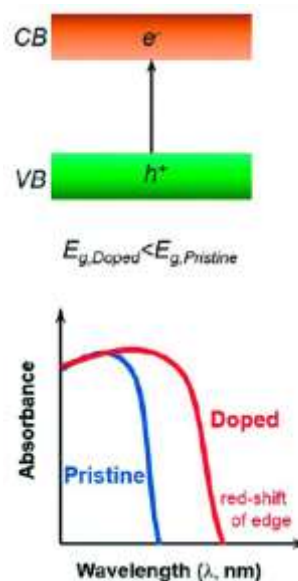
Gambar 2.4 Hasil uji (a) aktivitas degradasi RY dari TiO_2 dan katalis titanat, dan (b) laju kinetika degradasi katalis titanat (Thamaraiselvi, dkk., 2018)

2.3 Strategi Pendopongan pada Senyawa Perovskit

Pendopongan adalah penambahan sejumlah kecil unsur asing kedalam logam atau oksida senyawa semikonduktor tanpa menimbulkan bentuk, fase, atau sktruktur kristalografi baru (Ibhadon dan Fitzpatrick, 2013). Penambahan doping pada semikonduktor dapat meningkatkan aktivitas fotokatalitik dengan cara

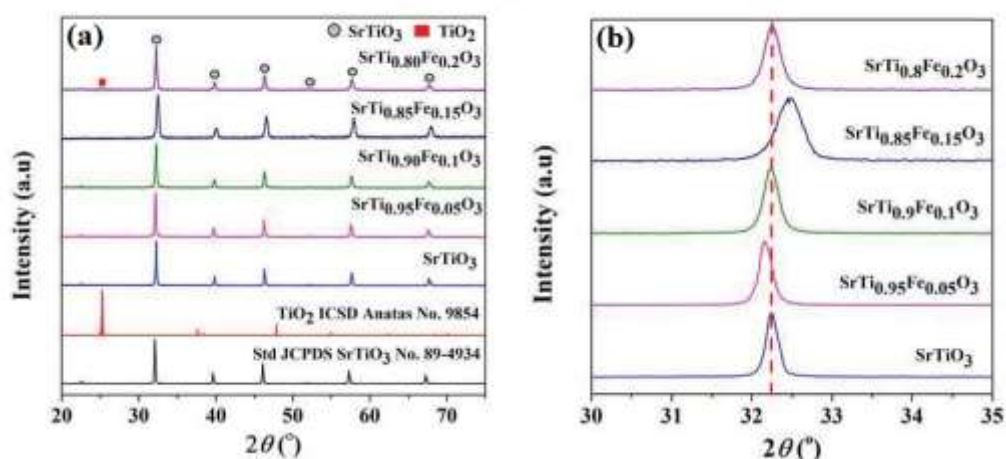
memodifikasi energi celah pita semikonduktor untuk menghindari laju rekombinasi serta dapat membentuk jalur energi baru diantara pita valensi dan konduksi yang memiliki energi lebih rendah sebagai pusat pemisahan dan transfer muatan e^-/h^+ (Wang, dkk., 2021; Zhou, dkk., 2011). Pendopongan menggunakan logam yang mempunyai orbital $4d$ dan $5d$ dari golongan transisi dapat meningkatkan perpindahan elektron menuju pita konduksi (Kumar, dkk., 2020). Beberapa jenis logam yang dapat digunakan antara lain Rh, Ir, Ru, Sc, Fe, Cr, Cu, Mn, La, Ni, Nb, Mo dan V (Bantawal, dkk., 2020; Le, dkk., 2021; Wang, dkk., 2021).

Strategi untuk mengubah energi celah pita dengan pendopongan merupakan salah satu cara untuk meningkatkan penyerapan katalis terhadap spektrum sinar, karena fotokatalis memiliki aktivitas tinggi pada panjang gelombang cahaya dalam spektrum tampak ($380 \text{ nm} < \lambda < 500 \text{ nm}$) (Ibhadon dan Fitzpatrick, 2013). Grafik pergeseran energi celah pita senyawa kearah panjang gelombang sinar tampak akibat pendopongan ditampilkan pada Gambar 2.4.

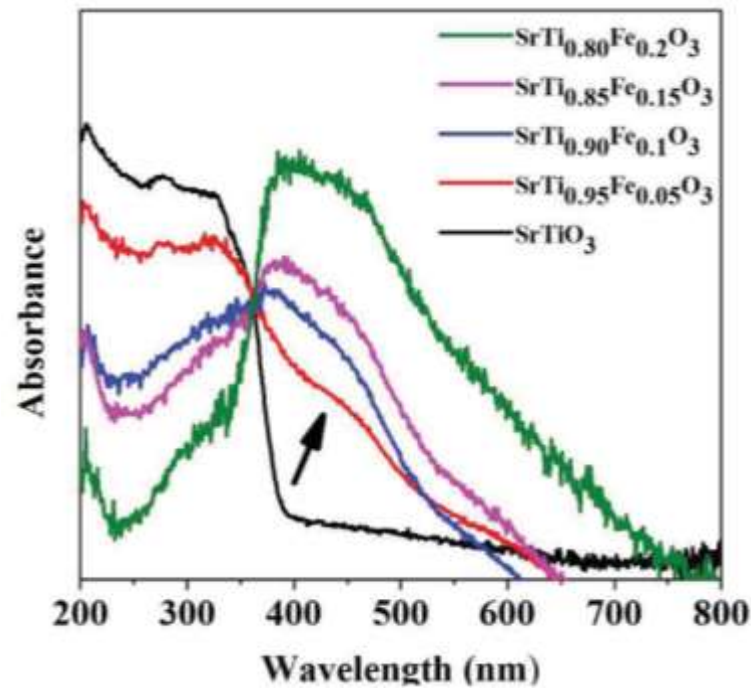


Gambar 2.5 Pergeseran penyerapan sinar senyawa ke daerah cahaya tampak akibat pendopongan (Kumar, dkk., 2020)

Pendopingan pada senyawa SrTiO_3 telah dilaporkan beberapa pihak. Prasetiyo, dkk. (2021) melaporkan telah menyintesis senyawa SrTiO_3 terdoping Fe pada situs kation Ti dengan ($x= 0; 0,5; 0,1; 0,15; \text{ dan } 0,2$) menggunakan metode lelehan garam tunggal NaCl pada suhu 900°C . Hasil karakterisasi menggunakan teknik difraksi sinar-X ditampilkan pada Gambar 2.6 (a) dan diperoleh bahwa pola difraksi pada $x= 0; 0,05; 0,1; \text{ dan } 0,15$ sesuai dengan pola standar SrTiO_3 sedangkan pada $x= 0,2$ terdapat pengotor berupa TiO_2 yang menunjukkan reaksi antar prekursor belum selesai. Pergantian sebagian kecil kation Ti oleh doping Fe ditandai dengan adanya pergeseran serta pelebaran puncak difraksi pada $2\theta= 32,23^\circ$ yang dapat dilihat pada Gambar 2.6 (b). Selain itu, Prasetiyo, dkk. (2021) melaporkan bahwa hasil karakterisasi UV-Vis DRS yang ditampilkan pada Gambar 2.7 memperlihatkan bahwa semakin tinggi konsentrasi doping Fe pada senyawa meningkatkan pergeseran penyerapan (absorpsi) sinar di daerah cahaya tampak.

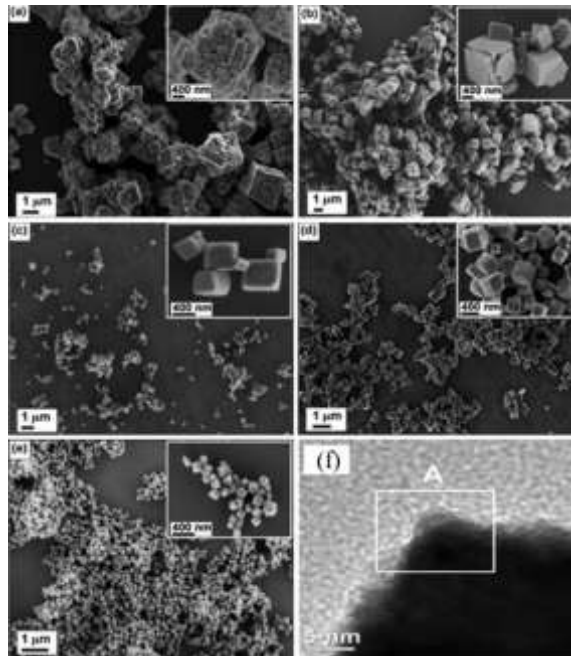


Gambar 2.6 Difraktoram (a) $\text{SrTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ($x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; \text{ dan } 0,2$), dan (b) pergeseran puncak pada senyawa (Prasetiyo, dkk., 2021)



Gambar 2.7 Spektra DRS $\text{SrTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ($x= 0; 0,05; 0,1; 0,15; \text{ dan } 0,2$) (Prasetyo, dkk., 2021)

Da Silva, dkk. (2012) melaporkan telah menyintesis SrTiO_3 terdoping Fe dengan konsentrasi 0, 5, 10, 25 dan 40% menggunakan metode hidrotermal. Hasil karakterisasi SEM ditampilkan pada Gambar 2.8 dan diperoleh morfologi partikel berupa nanokubus dengan adanya doping Fe sedangkan pada SrTiO_3 tanpa doping memiliki bentuk morfologi mikrokubus yang kurang baik. Pembentukan nanopartikel kubus pada SrTiO_3 terdoping Fe juga mengakibatkan pengurangan ukuran partikel dari $1,5 \mu\text{m}$ ($x= 0,0$) hingga 90 nm ($x= 40\%$). Namun, dilaporkan hasil karakterisasi *transmission electron microscopy* (TEM) pada konsentrasi doping Fe sebesar 40% terdapat agregat nanokristal berdiameter 5 nm .

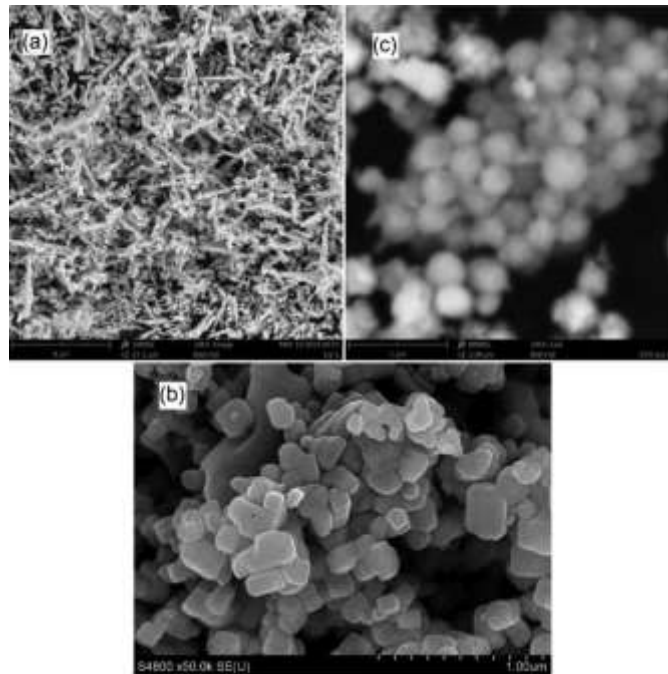


Gambar 2.8 Hasil SEM SrTiO₃ dengan (a) $x=0$, (b) $x=0,05$, (c) $x=0,1$ (d) $x=0,25$, dan (e) $x=0,4$, dan (f) TEM $x=0,4$ (Da Silva, dkk., 2012)

2.4 Pengaruh Morfologi Partikel pada Aktivitas Fotokatalitik

Aktivitas fotokatalis dari material semikonduktor dipengaruhi oleh morfologi dan ukuran partikel. Perbedaan morfologi akan menghasilkan perbedaan luas permukaan dan situs reaksi fotokatalitik (Luo, dkk., 2021). Selain itu, ukuran partikel yang kecil akan memberikan luas permukaan yang tinggi sehingga dapat meningkatkan situs reaksi antara transfer elektron, penyerapan cahaya serta laju reaksi reduksi-oksidasi pada permukaan fotokatalis (Zhang dan Sillanpää, 2020).

Li, dkk. (2015) melaporkan bahwa sintesis senyawa SrTiO₃ menggunakan metode lelehan garam dengan perbedaan prekursor TiO₂ menghasilkan perbedaan morfologi partikel senyawa. Hasil karakterisasi SEM ditampilkan pada Gambar 2.9 dan menunjukkan bahwa penggunaan prekursor TiO₂ tabung, lembaran, dan bola akan menghasilkan nano kristal dengan bentuk morfologi berupa tabung, lembaran, dan bola pula.



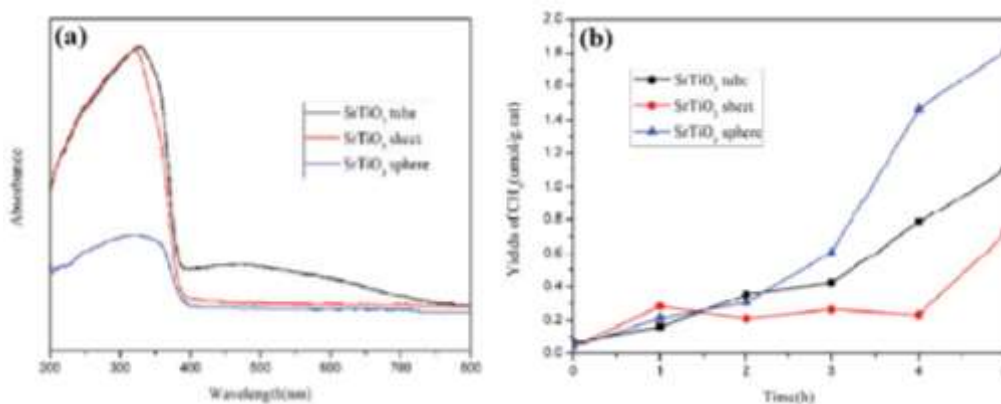
Gambar 2.9 Hasil SEM perbedaan morfologi partikel senyawa SrTiO_3 (a) tabung, (b) lembaran, dan (c) bola (Li, dkk., 2015)

Morfologi partikel yang berbeda dilaporkan juga mengakibatkan perbedaan ukuran kristal dan energi celah pita senyawa. Pengaruh perbedaan morfologi partikel terhadap ukuran kristal dan energi celah pita senyawa dapat dilihat pada Tabel 2.1. Dapat diamati bahwa semakin kecil ukuran kristal mengakibatkan energi celah pita senyawa mengalami penurunan sehingga penyerapan sinar bergeser kearah panjang gelombang sinar tampak yang ditampilkan pada Gambar 2.10 (a). Pada SrTiO_3 dengan morfologi tabung, lembaran, dan bola masing-masing memiliki serapan pada panjang gelombang 382, 385, dan 391 nm.

Tabel 2.1 Ukuran kristal dan energi celah pita SrTiO_3 dengan perbedaan morfologi

Sampel	Ukuran kristal (nm)	Energi celah pita (eV)
SrTiO_3 tabung	45,1	3,092
SrTiO_3 lembaran	47,2	3,088
SrTiO_3 bola	26,1	2,970

Perbandingan aktivitas fotokatalitik senyawa SrTiO_3 dengan perbedaan morfologi ditampilkan pada Gambar 2.10 (b). Urutan aktivitas fotokatalitik mulai dari yang paling tinggi untuk mereduksi CO_2 diperlihatkan oleh SrTiO_3 dengan morfologi partikel berupa bola, tabung, dan lembaran dengan ukuran kristal masing-masing sebesar 26,1; 45,1; dan 47,2 nm. Dapat dilihat pada Gambar 2.8 bahwa selama 5 jam jumlah CH_4 yang dihasilkan oleh SrTiO_3 dengan morfologi partikel berbentuk bola menunjukkan aktivitas fotokatalitik 3 kali lipat lebih baik dibandingkan dengan SrTiO_3 berbentuk lembaran. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran partikel semakin baik pula aktivitas fotokatalitiknya.



Gambar 2.10 Perbandingan (a) pergeseran penyerapan sinar, dan (b) aktivitas fotokatalitik SrTiO_3 dengan morfologi yang berbeda (Li, dkk., 2015)

2.5 Metode Sintesis Lelehan Garam

Metode lelehan garam merupakan salah satu metode sintesis yang sederhana, ramah lingkungan, dan ekonomis. Metode lelehan garam merupakan suatu metode yang digunakan untuk pembuatan bubuk keramik menggunakan lelehan garam sebagai media preparasi oksida kompleks. Peranan lelehan garam adalah untuk meningkatkan laju reaksi dan menurunkan suhu reaksi, meningkatkan

derajat homogenitas (distribusi konstituen elemen dalam larutan padat), mengontrol bentuk dan ukuran partikel, serta mengontrol aglomerasi (Kimura, 2011).



Gambar 2.11 Skema proses sintesis menggunakan metode lelehan garam (Xue, dkk., 2018)

Skema proses sintesis dengan metode lelehan garam melalui tiga tahapan sintesis yang ditampilkan pada Gambar 2.11. Tahap I, oksida reaktan dan prekursor yang sesuai dengan senyawa yang diinginkan dicampur dengan jenis garam yang diinginkan. Tahap II, campuran reaktan dan prekursor dipanaskan pada suhu diatas titik leleh medium garam untuk membentuk fluks cair. Pada suhu ini terjadi dispersi, disosiasi, penyusunan ulang partikel yang kemudian berdifusi dengan cepat ke seluruh media lelehan garam. Tahap III, partikel produk mulai terbentuk nukleasi dan tumbuh melalui proses presipitasi larutan. Karakteristik bubuk produk dapat dikontrol dengan pemilihan suhu dan lama waktu pemanasan. Selanjutnya produk didinginkan pada suhu kamar dan dicuci menggunakan pelarut yang sesuai (atau air) yang bertujuan untuk memisahkan garam dan prekursor, kemudian serbuk oksida kompleks dapat diperoleh setelah proses pengeringan (Gupta dan Mao, 2021; Xue, dkk., 2018).

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi hasil sintesis senyawa menggunakan metode lelehan garam, diantaranya yaitu:

a. Jenis garam

Jenis garam mempengaruhi kristalinitas, morfologi dan ukuran partikel yang dihasilkan. Kenaikan suhu reaksi pada titik leleh garam mengakibatkan garam secara bertahap terionisasi membentuk kation dan anion yang teradsorpsi pada permukaan templat. Ion-ion ini akan mempengaruhi laju dan arah pertumbuhan dari kristal sehingga menghasilkan morfologi partikel seperti pipih, tabung, nanorod, dan polihedron (Luo, dkk., 2021).

b. Jenis prekursor

Jenis prekursor berperan sangat penting dalam pembentukan morfologi senyawa. Perbedaan jenis prekursor awal akan menghasilkan morfologi partikel yang berbeda pula. Hal ini dikarenakan prekursor awal digunakan sebagai tempat pembentukan templat (Cai, dkk., 2008).

c. Suhu sintering

Suhu sintering mempengaruhi struktur kristal dan morfologi senyawa. Semakin tinggi suhu sintering akan meningkatkan kelarutan dan reaktivitas prekursor serta memudahkan proses difusi prekursor dalam lelehan garam karena viskositas garam akan semakin berkurang (Zhou, dkk., 2007).

d. Lama waktu pemanasan

Lama waktu pemanasan mempengaruhi intensitas pengotor pada produk hasil sintesis. Selain itu, semakin lama waktu pemanasan akan meningkatkan tingkat keseragaman morfologi (homogenitas) serta meningkatkan ukuran partikel (Liu, dkk., 2015).

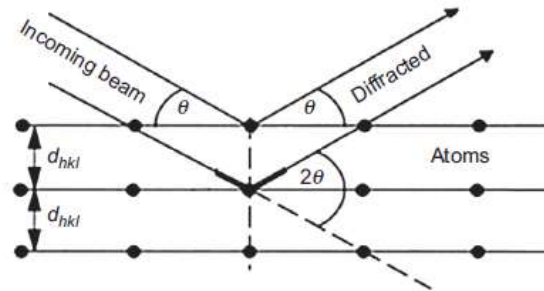
e. Laju penurunan suhu sintering

Laju penurunan suhu sintering sangat mempengaruhi proses pembentukan morfologi partikel pada produk akhir. Semakin kecil laju pendinginan menyebabkan proses nukleasi, pertumbuhan dan pembentukan partikel menjadi lebih optimal (Zhou, dkk., 2007).

2.6 Sintesis Senyawa Perovskit dengan Metode Lelehan Garam

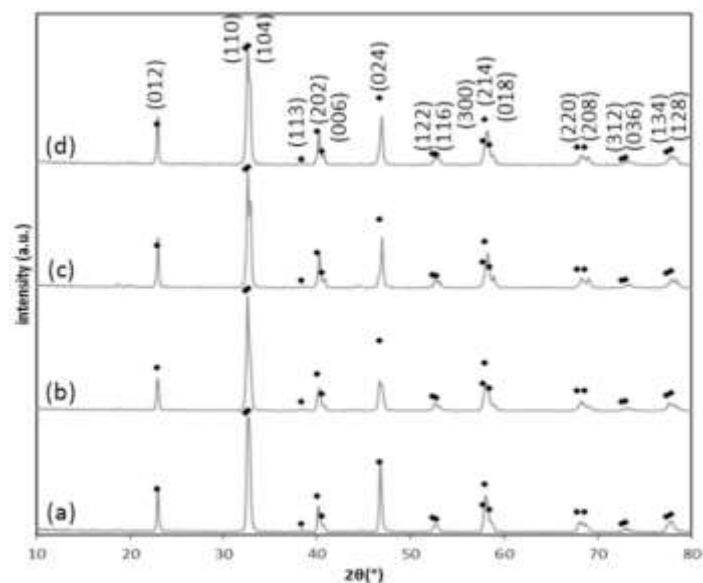
Lelehan garam digunakan sebagai media reaksi karena memiliki beberapa keunggulan diantaranya adalah toksisitasnya rendah, mudah didapatkan, harga terjangkau, tekanan uap rendah, melimpah, memiliki kapasitas panas dan konduktivitas ionik yang tinggi, serta jangkauan elektrokimia yang besar. Beberapa jenis garam yang sering digunakan antara lain garam hidroksida, nitrat, sulfat, dan karbonat (Gupta dan Mao, 2021).

Keberhasilan sintesis menggunakan metode lelehan garam dapat diidentifikasi menggunakan instrumen XRD. Berdasarkan hukum Bragg yang diilustrasikan pada Gambar 2.12 jika suatu bidang berisi atom-atom di dalam kristal dikenai cahaya akan dibiaskan dan menghasilkan sudut tertentu dan intensitas difraksi (Epp, 2016). Puncak difraksi sinar-X yang muncul pada difraktogram mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Masing-masing bidang melambangkan anggota dari bidang ruang dan titik kisi yang sama dan disebut sebagai indeks Miller (h , k , dan l) yang bernilai bilangan bulat positif, negatif, atau nol (Le Pevelen, 2016).



Gambar 2.12 Ilustrasi difraksi sinar-X pada bidang kristal (Epp, 2016)

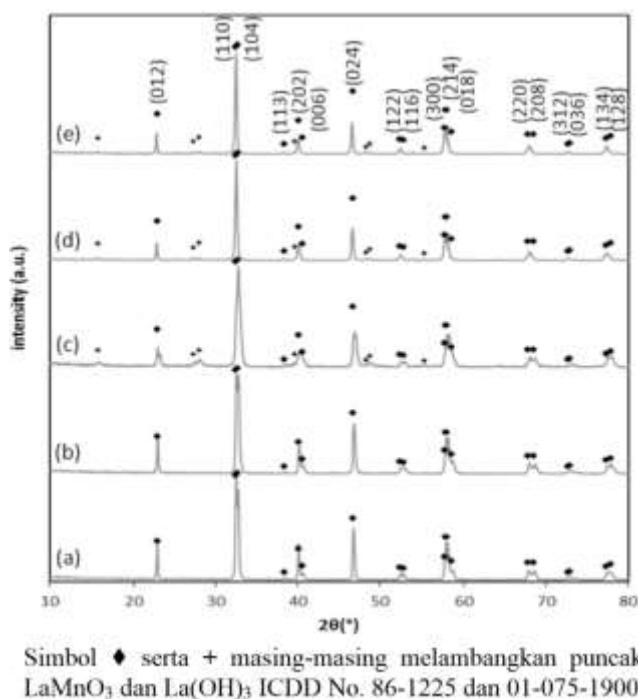
Sintesis senyawa perovskit menggunakan metode lelehan garam telah dilakukan oleh beberapa pihak. Meir, dkk. (2019) telah menyintesis senyawa $\text{LaMn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ dengan $(0,1 \leq x \leq 0,5)$ menggunakan metode lelehan garam LiCl/KCl . Difraktogram senyawa produk yang diperoleh ditampilkan pada Gambar 2.13 dan menunjukkan bahwa struktur kristal senyawa berbentuk perovskit. Selain itu, tidak ditemukan fase pengotor yang mengandung Li atau K dari garam klorida. Hal ini menunjukkan bahwa garam klorida sebagai media reaksi secara efektif dapat dihilangkan melalui pencucian.



Symbol ◆ melambangkan puncak LaMnO_3 ICDD No. 86-1225

Gambar 2.3 Difraktogram senyawa $\text{LaMn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ yang disintesis menggunakan garam LiCl/KCl pada suhu 850°C (a) $x=0,1$, (b) $x=0,2$, (c) $x=0,3$, (d) $x=0,5$ (Meir, dkk., 2019)

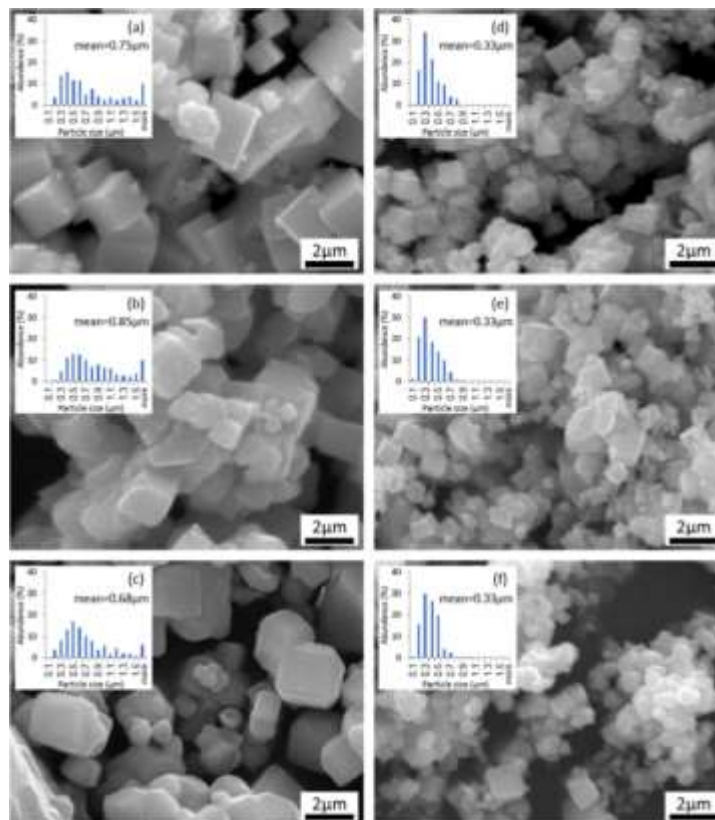
Meir, dkk. (2019) juga melakukan perbandingan sintesis senyawa $\text{LaMn}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_3$ dengan jenis garam LiCl/KCl dan NaCl/KCl pada berbagai variasi suhu sintesis. Difraktogram hasil karakterisasi XRD senyawa ditampilkan pada Gambar 2.14 dan menunjukkan bahwa tidak ada fase pengotor pada senyawa yang disintesis menggunakan jenis garam LiCl/KCl pada suhu 600 dan 700°C. Sedangkan pada difraktogram senyawa yang disintesis menggunakan jenis garam NaCl/KCl pada suhu 700, 800, dan 850°C menunjukkan fase perovskit dengan sedikit pengotor berupa La(OH)_3 yang jumlahnya menurun seiring dengan meningkatnya suhu sintesis.



Gambar 2.14 Difraktogram senyawa $\text{LaMn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ yang disintesis dengan garam LiCl/KCl pada suhu (a) 600, (b) 700°C, dan garam NaCl/KCl pada suhu (c) 700, (d) 800, dan (e) 850°C (Meir, dkk., 2019)

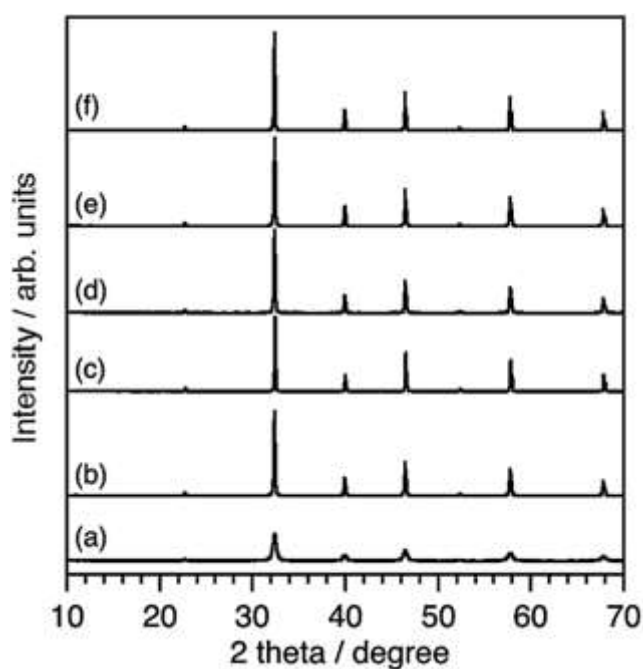
Hasil karakterisasi menggunakan SEM-EDS ditampilkan pada Gambar 2.15 dan menunjukkan perbedaan suhu sintesis tidak berpengaruh signifikan terhadap morfologi partikel. Dilaporkan bahwa bentuk morfologi yang diperoleh

menggunakan garam LiCl/KCl pada suhu 600, 700, dan 850 °C berupa kubus hingga oktahedron terpotong. Morfologi yang serupa juga diperoleh dengan jenis garam NaCl/KCl pada suhu 700, 800, dan 850 °C meskipun pada hasil karakterisasi XRD terdapat sedikit pengotor $\text{La}(\text{OH})_3$. Namun, partikel yang diperoleh menggunakan jenis garam NaCl/KCl memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan garam LiCl/KCl. Hal ini dikarenakan titik leleh dan tingkat supersaturasi garam NaCl/KCl yang lebih tinggi, dimana supersaturasi ini menyebabkan jumlah zat terlarut dalam media menjadi lebih banyak sehingga meningkatkan laju nukleasi dan pertumbuhan kristal.



Gambar 2.15 Hasil SEM $\text{LaMn}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_3$ yang disintesis dengan garam LiCl/KCl pada suhu (a) 600, (b) 700, dan (c) 850°C, dan garam NaCl/KCl pada suhu (a) 700, (e) 800, dan (f) 850°C (Meir, dkk., 2019)

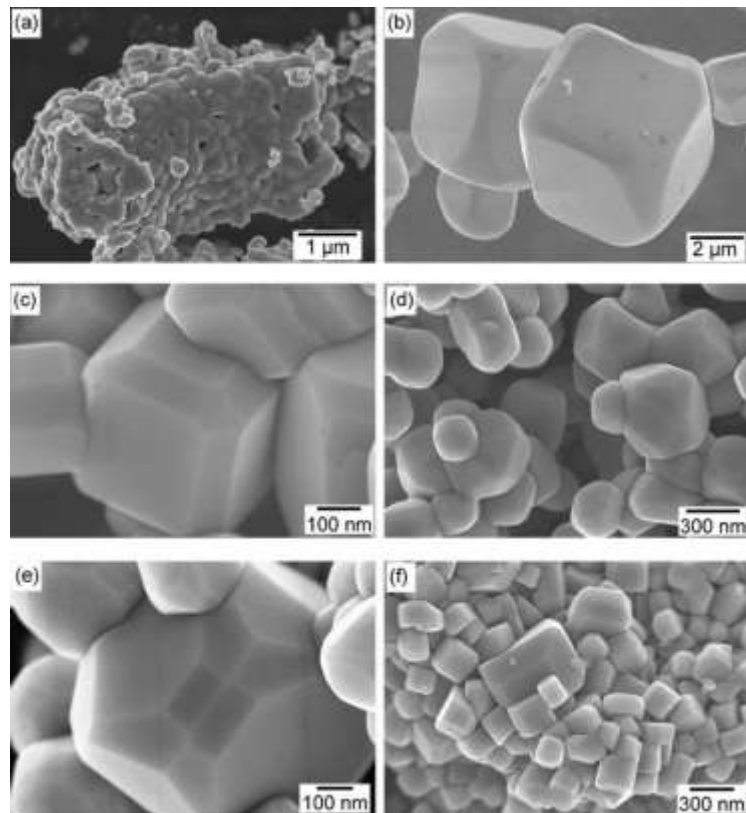
Kato, dkk. (2013) telah menyintesis senyawa SrTiO_3 menggunakan metode lelehan garam dengan variasi jenis garam LiCl , NaCl , KCl , dan SrCl_2 . Pola difraksi sinar- X senyawa ditampilkan pada Gambar 2.16 dan menunjukkan bahwa semua sampel telah berhasil disintesis dan memiliki pola difraksi yang sama dengan SrTiO_3 tanpa adanya fase pengotor. Pada senyawa yang disintesis menggunakan variasi garam menunjukkan intensitas dan lebar puncak difraksi menjadi lebih tinggi dan tajam dibandingkan dengan prekursor yang disintesis tanpa garam.



Gambar 2.16 Pola difraksi sinar- X (a) standar SrTiO_3 , (b) tanpa menggunakan garam, (c) menggunakan garam LiCl , (d) NaCl , (e) KCl , dan (f) SrCl_2 (Kato, dkk., 2013)

Penggunaan variasi jenis garam pada sintesis menghasilkan morfologi dan ukuran partikel yang berbeda. Gambar SEM senyawa ditampilkan pada Gambar 2.17. Terlihat pada sampel yang disintesis tanpa menggunakan garam menghasilkan morfologi partikel yang tidak beraturan dan terbentuk agregat dengan ukuran 300 nm. Sedangkan pada sampel yang disintesis menggunakan variasi garam

menghasilkan perubahan morfologi kristal senyawa SrTiO_3 , dimana pada garam LiCl bentuk morfologi sampel berupa kubus dengan ukuran 5-6 μm . Pada garam NaCl menghasilkan morfologi kubus dengan ukuran partikel yang mirip dengan kristal yang disintesis menggunakan jenis garam SrCl_2 dengan ukuran kristal 200-400 nm. Sedangkan pada garam KCl menghasilkan ukuran kristal sebesar 300 nm dengan morfologi yang hampir sama dengan jenis garam NaCl dan SrCl_2 . Karakteristik morfologi partikel yang terbentuk pada jenis garam KCl adalah terdapat bagian seperti bola pada sisi bidang kubus.



Gambar 2.17 Morfologi partikel senyawa SrTiO_3 (a) tanpa menggunakan garam, (b) menggunakan jenis garam LiCl , (c) NaCl , (d dan e) KCl , dan (f) SrCl_2 (Kato, dkk., 2013)

2.7 Lingkungan Hidup dalam Alqur'an

Alqur'an al-Karim adalah mukjizat Islam yang kekal dan didalamnya terdapat petunjuk setiap dimensi kehidupan manusia. Alqur'an sebagai kitab terpadu yang menggunakan benda-benda alam sebagai tali penghubung untuk mengingatkan manusia akan kehadiran Allah SWT dan bahwa segala sesuatu yang terjadi sekecil apapun adalah dibawah kekuasaan, pengetahuan, dan pengaturan Allah (Maisaroh, 2017). Salah satu kekuasaan dan karunia Allah yang paling besar bagi manusia adalah diciptakannya lingkungan hidup.

Menurut Undang-undang Nomor 32 Tahun 2009 pengertian lingkungan hidup adalah kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan, dan makhluk hidup, termasuk manusia dan perilakunya, yang mempengaruhi alam itu sendiri, kelangsungan perikehidupan dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lain. Lingkungan hidup diciptakan oleh Allah sebagai bentuk dukungan terhadap kehidupan dan kesejahteraan manusia dan makhluk lain seperti hewan dan tumbuhan (Ilyas, 2008). Secara dasar prinsip lingkungan hidup yaitu suatu sistem yang saling berhubungan satu sama lain sehingga dapat diartikan bahwa lingkungan hidup adalah semua unsur ciptaan Allah. Hal tersebut dijelaskan oleh firman Allah dalam surah al-Baqarah (01) ayat 164 yang berbunyi:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمُوتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ وَالْفُلْكِ الَّتِي تَجْرِي فِي الْبَحْرِ بِمَا يَنْفَعُ النَّاسَ وَمَا أَنْزَلَ اللَّهُ مِنَ السَّمَاءِ مِنْ مَّاءٍ فَأَحْيَا بِهِ الْأَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَا وَبَثَّ فِيهَا مِنْ كُلِّ دَابَّةٍ وَتَصْرِيفِ الرِّيحِ وَالسَّحَابِ الْمُسَخَّرِ بَيْنَ السَّمَاءِ وَالْأَرْضِ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ (١٦٤)

Artinya: “*Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, pergantian malam dan siang, bahtera-bahtera yang berlayar di laut membawa apa yang berguna bagi manusia, dan apa yang Allah turunkan dari langit berupa air, lalu dengan air itu Dia hidupakan (suburkan) bumi sesudah mati (kering)-nya dan Dia sebarkan di bumi itu segala jenis hewan, dan pengisaran angin dan awan yang dikendalikan antara langit dan bumi; (pada semua itu) sungguh terdapat tanda-tanda (keesaan dan kebesaran Allah) bagi kaum yang berakal*” (Q. S. al-Baqarah (01): 164).

Menurut Shihab (2000) ayat diatas mengundang manusia untuk berpikir dan merenung tentang banyak hal. Pertama, berpikir dan merenungkan tentang *khalq as-samawat wa al-ard* yaitu *penciptaan langit dan bumi*. Kata *khalq* dapat diterjemahkan dengan pengukuran yang teliti atau pengaturan, dimana dalam hal ini Allah telah menciptkana benda-benda angkasa seperti matahari, bulan, dan bintang-bintang yang semuanya beredar dengan sangat teliti dan teratur. Kedua, merenungkan *pergantian malam dan siang*, yaitu perputaran bumi dan porosnya yang melahirkan malam dan siang serta perbedaannya. Ketiga, merenungkan *bahtera-bahtera yang berlayar di laut, membawa apa yang berguna bagi manusia* yang mengisyaratkan sarana transportasi. Keempat, merenungkan tentang *apa yang Allah turunkan dari langit berupa air*, yaitu memperhatikan proses turunnya hujan dalam siklus yang berulang-ulang, serta memperhatikan fungsi angin yang semuanya merupakan kebutuhan bagi kelangsungan dan kenyamanan hidup manusia, binatang, dan tumbuh-tumbuhan. Serta yang kelima adalah berpikir tentang aneka binatang yang diciptakan Allah. Pada semua yang telah diciptakan Allah itu *sungguh terdapat tanda-tanda keesaan dan kebesaran Allah bagi kaum yang berakal*.

Berdasarkan pemaparan ayat diatas dapat kita renungkan bahwa Allah telah menciptakan alam seisinya untuk memenuhi kebutuhan manusia dan menunjukkan kebesaran Allah melalui ciptaan-Nya. Sebagaimana Muhammad, dkk. (2006)

mengartikan ayat tersebut bahwa Allah telah menggariskan takdirnya atas bumi dengan memberikan segala fasilitas terbaik bagi semua penghuni bumi. Diciptakan lautan yang maha luas dengan segala kekayaan didalamnya. Air hujan menghidupkan bumi setelah masa keringnya. Belum cukup dengan itu semua, Allah memperindah kehidupan di muka bumi dengan menciptakan hewan, tumbuhan, angin, dan awan sebagai teman hidup manusia. Namun, Allah juga meminta manusia sebagai makhluk yang berakal untuk berfikir mengenai penciptaan Allah tersebut, betapa besar dan pemurahNya Allah terhadap makhluk-Nya dan sudah sepantasnya manusia taat dan bersyukur kepada Allah atas segala rahmat-Nya.

Alqur'an mengajarkan bahwa Allah SWT telah menciptakan segala sesuatu dengan ukuran dan proporsi yang begitu teliti dan rinci (Sabarudin, 2017). Alam semesta merupakan ciptaan dan anugerah Allah yang bersifat sempurna, teratur, bermakna, serta tidak ada yang sia-sia. Manusia dalam rangka memenuhi kebutuhan hidupnya diperbolehkan memanfaatkannya namun dalam batas yang wajar sebagaimana firman Allah SWT dalam surah al-An'am (06) ayat 141.

وَهُوَ الَّذِي أَنْشَأَ جَنَّاتٍ مَّعْرُوشَاتٍ وَعَيْرَ مَعْرُوشَاتٍ وَالنَّخْلَ وَالزَّرْعَ مُخْتَلِفًا أَكْلُهُ. وَالزَّيْتُونَ وَالرُّمَّانَ مُتَشَابِهًا
وَعَيْرَ مُتَشَابِهٍ ۚ كُلُوا مِنْ ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَعَازُوا حَقَّهُ. يَوْمَ حَصَادِهِ ۖ وَلَا تُسْرِفُوا ۚ إِنَّهُ لَا يُحِبُّ الْمُسْرِفِينَ (١٤١)

Artinya: “Dan Dialah yang menjadikan kebun-kebun yang berjunjung dan yang tidak berjunjung, pohon kurma, tanam-tanaman yang bermacam-macam rasanya, zaitun, dan delima yang serupa dan tidak serupa. Makanlah sebagian buahnya itu bila ia berbuah, dan tunaikanlah haknya dihari memetikinya dan janganlah kamu berlebih-lebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berlebih-lebihan” (Q. S. al-An'am (06): 141).

Ayat diatas menggambarkan betapa besar nikmat Allah yang telah menciptakan tanaman dan melarang segala sesuatu yang mengantar kepada melupakan nikmat-Nya. Selain itu, ayat ini juga melarang manusia untuk berlaku secara berlebihan dalam segala hal karena tidak ada kebajikan dalam pemborosan untuk hal apapun itu (Shihab, 2002). Oleh sebab itu, seharusnya sikap manusia terhadap alam semesta adalah memanfaatkannya secara wajar dan sebaik-baiknya karena jika terjadi kerusakan pada salah satu aspek kehidupan (udara, tanah, air, dll.) maka akan terjadi ketidakseimbangan alam yang dapat menimbulkan berbagai macam bahaya pada komponen kehidupan yang nantinya juga akan merugikan manusia itu sendiri.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilakukan pada bulan Juli-September 2022 yang bertempat di Laboratorium Kimia Fisika Edukasi, Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang. Pengambilan data XRD di Greenlabs Indonesia Utama, data SEM-EDS di Laboratorium SEM, Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh November (ITS) Surabaya dan data UV-Vis DRS di Laboratorium Kimia Fisika Edukasi UIN Malang.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian antara lain seperangkat alat gelas, neraca analitik, *mortar agate*, *hot plate*, *alumina crucible*, oven, tanur, seperangkat instrumen XRD, seperangkat instrumen SEM-EDS, dan seperangkat instrumen UV-Vis DRS.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian antara lain SrCO_3 (Sigma-Aldrich, 99% serbuk), TiO_2 (Sigma-Aldrich, 99,9% serbuk), Fe_2O_3 (Sigma-Aldrich, 99,9% serbuk), NaCl (Merck, 99,9% serbuk), KCl (Merck, 99,9% serbuk), aseton, larutan AgNO_3 (Sigma-Aldrich, 2,5% larutan), dan akuades.

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

a. Tahap preparasi bahan

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

b. Tahap sintesis $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ menggunakan metode lelehan garam.

Proses ini mencakup sintesis $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ menggunakan metode lelehan garam dengan variasi jenis garam NaCl, KCl, dan NaCl/KCl dengan perbandingan mol prekursor dengan jenis garam adalah 1:7. Proses sintesis dilakukan dengan cara mencampurkan prekursor dengan jenis garam secara stoikiometrik, kemudian campuran dikalsinasi pada suhu 830 dan 855°C masing-masing selama 6 jam. Proses sintesis dilanjutkan dengan pendinginan sampel pada suhu ruang serta penghilangan garam menggunakan air panas.

c. Tahap proses karakterisasi

Proses ini mencakup karakterisasi menggunakan instrumen XRD untuk mengetahui fasa atau struktur kristal produk, instrumen SEM-EDS untuk mengetahui morfologi, ukuran partikel dan komposisi unsur, serta instrumen UV-Vis DRS untuk mengetahui energi celah pita senyawa.

3.4 Prosedur Kerja

3.4.1 Preparasi Bahan

Senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ disintesis sejumlah 3 gram menggunakan metode lelehan garam NaCl, KCl, dan NaCl/KCl. Setiap prekursor dan jenis garam ditimbang sesuai dengan stoikiometri reaksi yang dirangkum pada Tabel 3.1 dan perhitungan lengkap ditampilkan pada Lampiran 2. Perbandingan prekursor dan

jenis garam yang dicampurkan adalah 1:7 dan untuk garam campuran digunakan perbandingan 1:1 untuk masing-masing garam sehingga rasio perbandingan menjadi 1:7:7. Bahan yang telah disiapkan kemudian dihomogenkan dengan cara digerus menggunakan *mortar agate* selama satu jam untuk memaksimalkan kontak antar prekursor dan ditambahkan dengan aseton untuk menghomogenkan sampel. Campuran prekursor dengan jenis garam yang telah homogen selanjutnya dipindahkan ke dalam *alumina crucible*.

Tabel 3.1 Komposisi prekursor senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ dan jenis garam

Jenis Garam	Massa Garam (gram)	Massa Pereaksi (gram)		
		SrCO_3	TiO_2	Fe_2O_3
NaCl	6,6635	2,4089	1,2386	0,06514
KCl	8,5196	2,4089	1,2386	0,06514
Campuran NaCl/KCl	6,6635 8,5196	2,4089	1,2386	0,06514

3.4.2 Sintesis $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ Menggunakan Metode Lelehan Garam

Campuran prekursor dengan jenis garam (NaCl, KCl, dan NaCl/KCl) selanjutnya dimasukkan kedalam tanur untuk dipanaskan pada suhu 830°C dengan tujuan meningkatkan titik leleh prekursor, pemanasan selanjutnya pada suhu 855°C untuk membentuk lelehan garam masing-masing selama 6 jam. Produk hasil sintesis dikeluarkan dari tanur dan didinginkan pada suhu ruang kemudian diletakkan diatas kertas saring dan disaring menggunakan corong gelas dan erlenmeyer. Serbuk sampel yang telah diperoleh lalu dicuci dengan air panas secara berulang kali dan untuk mengidentifikasi adanya garam pada sampel filtrat hasil penyaringan diuji dengan larutan AgNO_3 . Setelah kadar garam hilang, produk sintesis dikeringkan menggunakan oven pada suhu 90°C selama 3 jam.

3.5 Proses karakterisasi

3.5.1 Karakterisasi SrTi_{0,95}Fe_{0,05}O₃ Menggunakan Instrumen XRD

Karakterisasi menggunakan instrumen XRD dilakukan dengan serbuk sampel ditempatkan pada sampel *holder* kemudian pengukuran dilakukan pada suhu ruang menggunakan radiasi Cu-K α ($\lambda = 1,54 \text{ \AA}$) pada 40 kV dan 30 mA pada rentang $2\theta = 3-90^\circ$.

3.5.2 Karakterisasi SrTi_{0,95}Fe_{0,05}O₃ Menggunakan Instrumen SEM-EDS

Karakterisasi menggunakan instrumen SEM-EDS dilakukan dengan serbuk sampel ditempatkan pada sampel *holder* kemudian dilakukan analisa menggunakan perbesaran 2.000; 7.000; 15.000; dan 20.000 kali dengan detektor *secondary electron* (SE).

3.5.3 Karakterisasi SrTi_{0,95}Fe_{0,05}O₃ Menggunakan Instrumen UV-Vis DRS

Karakterisasi menggunakan instrumen UV-Vis DRS dilakukan dengan serbuk sampel ditempatkan pada sampel *holder* kemudian reflektansi sampel diukur pada panjang gelombang 200-800 nm.

3.6 Analisis Data

3.6.1 Analisis Data XRD

Data yang diperoleh dari hasil karakterisasi menggunakan instrumen XRD adalah pola difraksi sinar-X yang selanjutnya dibandingkan dengan standar senyawa SrTiO₃ yang terdapat pada database *Inorganic Crystal Structure Database* (ICSD) No. 80874 dan kemungkinan pengotor seperti TiO₂ Anatase (JCPDS No. 21-1272) dan SrCO₃ (JCPDS No. 05-0418).

3.6.2 Analisis Data SEM-EDS

Data yang diperoleh dari hasil karakterisasi instrumen SEM-EDS adalah gambar morfologi dan komposisi unsur senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$. Gambar hasil karakterisasi dianalisis menggunakan perangkat lunak *image-J* dan dibandingkan untuk mengetahui pengaruh jenis garam terhadap ukuran partikel.

3.6.3 Analisis Data UV-Vis DRS

Data yang diperoleh dari hasil karakterisasi menggunakan instrumen UV-Vis DRS adalah data reflektansi dan absorbansi. Data reflektansi 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 reflektan yang diukur. Nilai energi celah pita ditentukan dari membuat plot antara energi foton ($h\nu$) sebagai sumbu x dan $(F(R).h\nu)^2$ 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

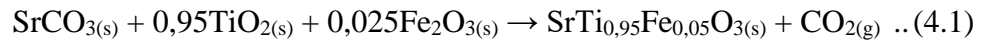
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan sintesis senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ menggunakan metode lelehan garam dengan variasi jenis garam NaCl, KCl, dan NaCl/KCl dengan perbandingan mol prekursor dan jenis garam 1:7 sedangkan untuk garam campuran digunakan perbandingan 1:7:7 dan dikalsinasi pada suhu 830°C dan 855°C masing-masing selama 6 jam. Senyawa hasil sintesis selanjutnya dikarakterisasi menggunakan (a) instrumen XRD untuk mengidentifikasi fasa atau struktur kristal yang terbentuk, (b) SEM-EDS untuk mengetahui morfologi, ukuran partikel dan komposisi unsur senyawa serta (c) UV-Vis DRS untuk mengetahui energi celah pita dan daerah serapan sinar senyawa.

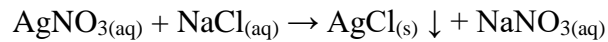
4.1 Sintesis $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ Menggunakan Metode Lelehan Garam

Sintesis senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ dilakukan dengan mereaksikan prekursor SrCO_3 , TiO_2 , dan Fe_2O_3 serta jenis garam NaCl, KCl, dan NaCl/KCl dengan menambahkan aseton selama proses penggerusan untuk meningkatkan homogenitas. Selanjutnya sampel dikalsinasi selama dua kali dengan suhu 830°C dan 855°C masing-masing selama 6 jam. Penggunaan suhu kalsinasi diatas titik leleh garam NaCl (titik leleh 801°C), KCl (titik leleh 770°C), dan NaCl/KCl (titik leleh 650°C) bertujuan untuk membentuk fluks cair sehingga molekul prekursor dapat berdifusi dan membentuk partikel melalui proses pengendapan larutan (Kimura, 2011; Xue, dkk., 2018). Perubahan yang terjadi pada warna sampel selama proses sintesis dapat dilihat pada Gambar 4.1. Perubahan warna dari merah muda menjadi

coklat keabuan menandakan bahwa telah terjadi reaksi selama proses kalsinasi dengan reaksi kimia yang ditampilkan pada Persamaan 4.1.



Senyawa produk hasil kalsinasi kemudian dicuci menggunakan akuades panas untuk melarutkan garam yang ada pada sampel. Filtrat hasil pencucian kemudian diuji untuk mengetahui keberadaan garam dengan larutan AgNO_3 sampai tidak terbentuk endapan berwarna putih. Selanjutnya, hasil sintesis dikeringkan ke dalam oven untuk menghilangkan air. Reaksi yang terjadi selama proses pencucian sampel adalah sebagai berikut:



4.2 Karakterisasi dan Analisis $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ Menggunakan XRD

Fasa senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ diidentifikasi dengan cara mencocokkan pola difraksi hasil sintesis dengan data standar SrTiO_3 ICSD No. 80874. Difraktogram senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ ditampilkan pada Gambar 4.2 dan dapat dilihat bahwa terdapat kesesuaian puncak difraksi senyawa hasil sintesis dengan data standar yang menunjukkan bahwa senyawa telah terbentuk. Puncak-puncak khas senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ ada pada 2θ ($^\circ$) = 23; 32,43; 40; 46,62; 52,4; 57,94; 67,92; 72,76 dan 77,42. Sintesis dengan menggunakan garam KCl ditemukan senyawa pengotor yang diduga berasal dari prekursor TiO_2 anatas pada posisi 2θ = 25,3 $^\circ$ dan SrCO_3 pada 2θ = 25,8 dan 41,5 $^\circ$. Identifikasi kesesuaian puncak pengotor dengan data

standar TiO_2 anatas (JCPDS No. 021-1272) dan SrCO_3 (JCPDS No. 005-0418) ditampilkan pada Lampiran 4.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa penggunaan jenis garam berbeda menghasilkan produk yang berbeda. Adanya puncak pengotor pada garam KCl menunjukkan bahwa reaksi yang terjadi tidak sempurna. Proses pembentukan senyawa STO melalui tahap dekomposisi, difusi, dan reaksi reaktan dalam lelehan garam (Li, dkk., 2007; Liu, dkk., 2009). Reaksi pembentukan senyawa STO dari prekursor SrCO_3 dan TiO_2 dapat dimulai pada suhu rendah (560 dan 610°C) dibawah suhu dekomposisi SrCO_3 (1290°C). Pada lelehan garam KCl diharapkan juga reaksi antara prekursor terjadi sebelum dekomposisi SrCO_3 . Hal ini dikarenakan ketika SrCO_3 terdekomposisi mengarah pada pembentukan SrO (terurai menjadi ion Sr^{2+} dan O^{2-}) yang memiliki kelarutan rendah (0,2%) dalam garam KCl pada suhu 800°C . Kelarutan SrO yang terbatas menyebabkan difusi ion Sr^{2+} dan O^{2-} meningkat disekitar permukaan partikel TiO_2 (Ebrahimi, dkk., 2005; Liu, dkk., 2009). Jika konsentrasi ion Sr^{2+} dan O^{2-} dalam lelehan garam KCl telah jenuh dan tidak ada TiO_2 yang tersisa mengakibatkan reaksi berhenti sehingga partikel tersebut berada dalam posisi yang tidak tepat dalam matriks STO (Liu, dkk., 2007; Liu, dkk., 2009). Disebutkan oleh Liu, dkk. (2009) bahwa terbentuknya senyawa STO lebih sempurna dan dapat diamati dengan jelas ketika menggunakan jenis garam NaCl. Selain itu, kelarutan oksida logam seperti SrO dalam lelehan alkali klorida lebih tinggi pada NaCl daripada KCl (Technic dan Packter, 1980).

Penggunaan doping Fe pada senyawa SrTiO_3 menyebabkan pergeseran puncak difraksi sinar-X pada $2\theta = 32,45^\circ$. Pergeseran puncak ditampilkan pada Gambar 4.3 dan dapat diamati bahwa terjadi pergeseran puncak difraksi ke arah 2θ

yang lebih besar. Hal ini disebabkan karena adanya doping Fe^{3+} dengan jari-jari ion sebesar $0,585 \text{ \AA}$ yang tersubstitusi pada kisi kristal senyawa berukuran lebih kecil dibandingkan dengan ukuran jari-jari ion Ti^{4+} yaitu sebesar $0,605 \text{ \AA}$ sehingga menurunkan parameter kisi, volume sel, dan ukuran kristal (Abbas dan Jamil, 2016; Fuentes, dkk., 2015).

4.3 Refinement Data XRD Senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$

Data XRD senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ (hasil sintesis dengan garam NaCl dan NaCl/KCl) di *refinement* dengan menggunakan perangkat lunak Rietica dengan metode Le Bail untuk mengetahui data kristalografinya. Proses *refinement* menggunakan data standar ICSD No. 80874 dengan sistem kristal kubus, grup ruang $Pm-3m$, unit azimetrik (Z)= 1, parameter kisi $a=b=c= 3,901 \text{ \AA}$, $\alpha=\beta=\gamma= 90^\circ$, dan volume sel $59,365 \text{ \AA}^3$. Hasil *refinement* dirangkum pada Tabel 4.1 dan plot *refinement* ditampilkan pada Gambar 4.4.

Berdasarkan hasil data dari proses *refinement* diperoleh bahwa sampel $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ yang disintesis dengan jenis garam NaCl dan NaCl/KCl memiliki kecocokan dengan data standar ICSD No. 80874. Hal ini dapat dilihat dari nilai residu profil (R_p) dan residu profil berbobot (R_{wp}) dibawah 10% serta nilai *Good of Fitting* (X^2) kurang dari 4. Nilai dari ketiga parameter tersebut mengindikasikan tingkat kemiripan yang tinggi dengan data standar (Nunocha, dkk., 2022).

Hasil analisis dari proses *refinement* adalah perbedaan antara data eksperimen hasil perhitungan dengan data standar. Pada Gambar 4.4 seluruh pola puncak khas senyawa ditandai dengan garis biru (*Bragg position*), data eksperimen ditandai dengan butiran garis hitam (Y_{obs}), data standar ditandai dengan garis merah

(Y_{calc}), sedangkan perbedaan antara data eksperimen dengan standar ditandai dengan garis warna hijau ($Y_{obs}-Y_{calc}$). Perbedaan yang rendah antara Y_{obs} dengan Y_{calc} ditandai dengan garis hijau yang cenderung mendatar dan adanya garis vertikal pada Bragg *position* menunjukkan kecocokan yang baik antara data eksperimen dengan standar (El Yacoubi, dkk., 2017).

4.4 Karakterisasi dan Analisis $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ Menggunakan SEM-EDS

Gambar morfologi partikel senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ dari hasil karakterisasi instrumen SEM dengan perbesaran 15.000 kali ditampilkan pada Gambar 4.5. Morfologi yang terbentuk pada senyawa yang disintesis menggunakan jenis garam berbeda (NaCl, KCl, dan NaCl/KCl) berbentuk polihedral yang seragam tanpa adanya aglomerasi. Hasil penelitian sebelumnya oleh Shen, dkk. (2016) yang menyintesis SrTiO_3 dengan metode hidrotermal menghasilkan morfologi partikel berbentuk polihedral. Bentuk skematis polihedral ditampilkan pada Gambar 4.6.

Morfologi dan ukuran partikel hasil sintesis selanjutnya dianalisis menggunakan perangkat lunak *image-j* dan hasil pengukuran ditampilkan pada Tabel 4.2. Pada metode lelehan garam mekanisme pembentukan template telah dilaporkan berperan penting dalam proses sintesis material SrTiO_3 (Wang, dkk., 2011). Proses pembentukan ini bergantung pada perbedaan laju difusi reaktan dalam fluks cair. Reaktan yang mudah larut akan larut kedalam fluks cair terlebih dahulu yang kemudian berdifusi ke permukaan reaktan yang kurang larut dan bereaksi membentuk fase produk. Seiring meingkatnya suhu, partikel akan tumbuh dipermukaan dengan bentuk morfologi dan ukuran partikel yang mirip dengan reaktan yang kurang larut (Cai, dkk., 2008).

Hasil pengukuran partikel menunjukkan bahwa ukuran partikel hasil sintesis garam NaCl dan KCl memiliki ukuran sekitar 0,0328 dan 0,0336 μm^2 sedangkan pada garam NaCl/KCl sekitar 0,0635 μm^2 . Perbedaan ukuran partikel yang didapatkan ini dipengaruhi oleh perbedaan titik leleh garam. Vradman dkk. (2013) melaporkan bahwa titik leleh jenis garam yang lebih rendah akan menghasilkan ukuran partikel yang lebih besar. Titik leleh garam campuran NaCl/KCl yang lebih rendah dibandingkan dengan garam tunggal (NaCl dan KCl) akan mempengaruhi pembentukan partikel, dimana semakin cepat garam meleleh maka partikel akan segera membentuk inti kristal dan mengalami pertumbuhan partikel (Vradman, dkk., 2013; Meir, dkk., 2019).

Hasil sintesis yang diperoleh menunjukkan bahwa penggunaan jenis garam NaCl dan KCl menghasilkan morfologi dan ukuran partikel yang serupa. Jayaseelan, dkk. (2007) juga menyebutkan hasil sintesis menggunakan garam NaCl dan KCl menghasilkan morfologi dan ukuran partikel yang relatif sama. Hal ini dipengaruhi oleh titik leleh dan viskositas jenis garam yang tidak jauh berbeda. Semakin rendah titik leleh dan viskositas pelarut maka kation dan anion prekursor akan lebih cepat berdifusi (Li, dkk., 2007). Dilaporkan oleh Wakao, dkk. (1991) bahwa NaCl dan KCl memiliki viskositas yang tidak jauh berbeda pada suhu yang sama yaitu sebesar 1,03 dan 1,02 mPa. S. Pada suhu tinggi dengan viskositas yang rendah akan meningkatkan fluks cair dan difusi reaktan yang menyebabkan partikel lebih mudah untuk membentuk inti kristal (Jayaseelan, dkk., 2007; Zhou, dkk., 2007). Perbedaan viskositas garam NaCl dan KCl yang tidak jauh ini menyebabkan bentuk morfologi dan ukuran partikel yang dihasilkan relatif sama.

Hasil karakterisasi EDS ditampilkan pada Gambar 4.7 dan perbandingan persentase komposisi unsur-unsur penyusun senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ hasil sintesis menggunakan jenis garam berbeda ditampilkan pada Tabel 4.3. Berdasarkan data EDS tersebut dapat diketahui bahwa doping Fe telah terdeteksi pada kisi kristal serta unsur-unsur yang terkandung dalam senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ adalah stronsium, titanium, besi, dan oksigen. Namun, pada senyawa hasil sintesis dengan garam KCl memiliki persentase komposisi massa unsur yang berbeda dibandingkan dengan garam NaCl dan NaCl/KCl, hal ini dikarenakan adanya reaksi yang belum selesai dari prekursor TiO_2 anatas dan SrCO_3 (Phoon, dkk., 2018).

4.4 Karakterisasi dan Analisis $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ Menggunakan UV-Vis DRS

Spektra DRS hubungan nilai reflektansi dengan panjang gelombang senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ ditampilkan pada Gambar 4.8 dan dapat dilihat bahwa adanya doping Fe pada senyawa mempengaruhi pergeseran pola serapan sinar ke panjang gelombang yang lebih besar (*red shift*) yaitu pada daerah sinar tampak (400-800 nm). Semakin rendah intensitas % reflektansi maka serapan sinar akan bergeser ke panjang gelombang yang lebih besar. Data reflektansi dan panjang gelombang tersebut selanjutnya diolah menggunakan persamaan Kubelka-Munk dengan metode *direct-gap* sehingga didapatkan plot Tauc untuk menentukan energi celah pita senyawa. Spektra DRS plot Tauc ditampilkan pada Gambar 4.9.

Hasil penentuan energi celah pita senyawa $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ ditampilkan pada Tabel 4.4 dan dapat dilihat bahwa ketiga senyawa hasil sintesis memiliki nilai energi celah pita yang relatif sama. Nilai energi celah pita senyawa hasil sintesis yang didapatkan memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan senyawa STO murni. Li, dkk. (2021) melaporkan bahwa senyawa STO murni memiliki

energi celah pita sebesar 3,24 eV. Semakin kecil nilai energi celah pita menyebabkan penyerapan sinar pada daerah tampak menjadi lebih tinggi. Perbedaan nilai energi celah pita STFO dengan STO murni disebabkan terbentuknya sub pita baru yaitu *d* orbital dari doping Fe diantara pita valensi dan konduksi (Abbas dan Jamil, 2016). Terbentuknya sub pita baru ini mengakibatkan perubahan transisi elektronik dari O-2*p* (VB) ke Ti-*d* (CB) menjadi O-2*p* (VB) ke (Fe, Ti)-*d* (CB) yang mempersempit energi celah pita (Shafique, dkk., 2021). Penggunaan doping Fe³⁺ dengan orbital 3*d* keadaan *T*_{2*g*} diatas VB dan *E*_{*g*} dibawah CB mengakibatkan adanya transisi *d-d* (*²T*_{2*g*} → *²A*_{2*g*}, *²T*_{1*g*}) yang memiliki energi lebih rendah sehingga memudahkan transfer elektron (Jaihindh dkk., 2018).

Pengukuran energi celah pita dengan plot Tauc yaitu dengan menarik garis lurus secara regresi linier pada nilai *x* (*hν*) sampai *y*= 0. Wilayah yang menunjukkan garis lurus menunjukkan adanya peningkatan penyerapan cahaya secara linier dengan peningkatan energi yang merupakan karakteristik bahan semikonduktor. Pada spektra terlihat terjadi perubahan garis yang menandakan adanya transisi elektronik, dimana penggunaan doping pada material memungkinkan adanya celah *sub-band* baru yang kemudian terekam dalam spektrum dan dikenal sebagai Urbach *tail* yaitu pita serapan tambahan yang luas (Makuła, dkk., 2018). Wilayah Urbach *tail* mewakili transisi elektronik dari pita valensi yang meluas dibawah pita konduksi ataupun sebaliknya (Sharma, dkk., 2021). Akan tetapi, Urbach *tail* ditunjukkan dengan garis titik-titik mengakibatkan penentuan energi celah pita pada material menjadi kurang akurat.

4.5 Menjaga Lingkungan Hidup dalam Alqur'an

Penciptaan lingkungan hidup merupakan nikmat terbesar yang telah diberikan oleh Allah SWT kepada makhluk-Nya. Keberadaan manusia sebagai salah satu ciptaan Allah di bumi adalah sebagai khalifah yang diperintahkan untuk beribadah kepada-Nya, berbuat kebaikan, dan dilarang berbuat kerusakan. Peran manusia sebagai khalifah telah disebutkan didalam surah al-Baqarah (01) ayat 30 yang berbunyi:

وَإِذْ قَالَ رَبُّكَ لِلْمَلَائِكَةِ إِنِّي جَاعِلٌ فِي الْأَرْضِ خَلِيفَةً ۗ قَالُوا أَتَجْعَلُ فِيهَا مَنْ يُفْسِدُ فِيهَا وَيَسْفِكُ الدِّمَاءَ
وَنَحْنُ نُسَبِّحُ بِحَمْدِكَ وَنُقَدِّسُ لَكَ ۗ قَالَ إِنِّي أَعْلَمُ مَا لَا تَعْلَمُونَ (٣٠)

Artinya: “Ingatlah ketika Tuhanmu berfirman kepada para malaikat, “*Sesungguhnya Aku hendak menjadikan satu khalifah di muka bumi.*” Mereka berkata, “*Apakah Engkau hendak menjadikan di bumi itu siapa yang akan membuat kerusakan padanya dan menumpahkan darah, padahal kami senantiasa bertasbih dengan memuji-Mu dan menyucikan-Mu?*” Tuhan berfirman, “*Sesungguhnya Aku mengetahui apa yang tidak kamu ketahui.*” (Q. S. al-Baqarah (01): 30).

Menurut Shihab (2007) kata khalifah secara kebahasaan berarti pengganti, disebut dalam Alqur'an surah al-Baqarah (01) ayat 30 menunjukkan bahwa manusia yang dijadikan khalifah diatas bumi bertugas membangunnya atau menjaganya sesuai dengan konsep yang telah ditetapkan oleh Allah. Manusia diangkat menjadi khalifah diciptakan dalam wujud jasmani, akal budi, dan hati nurani yang sempurna sehingga mempunyai tanggung jawab untuk mengelola dan tidak melakukan pencemaran terhadap sumber daya. Beberapa peran manusia sebagai khalifah di bumi yaitu menyebarkan rahmat Tuhan, menegakkan kebenaran, keadilan dan membasmi kebatilan serta memimpin sesam umat (Sabarudin, 2017; Rasyad, 2022).

Seiring dengan perkembangan zaman yang semakin maju, banyak kegiatan manusia yang menghasilkan limbah, dimana kuantitas limbah cair lebih banyak dibandingkan dengan limbah padat. Umumnya limbah cair dihasilkan dari industri tekstil yaitu limbah zat warna yang merupakan zat organik tidak jenuh seperti hidrokarbon aromatik, fenol, dan senyawa hidrokarbon dengan gugus azo ($-N=N$). Keberadaan gugus azo ini menyebabkan limbah zat warna menjadi sulit terurai sehingga dapat mencemari lingkungan perairan (Enrico, 2019; Sausan, dkk., 2021). Melihat sulit terurainya limbah zat warna yang dapat mencemari lingkungan perairan mengharuskan manusia menggunakan sumber daya secara proporsional dan rasional agar lingkungan tetap terjaga kelestariannya (Juwita, 2017).

Manusia dalam melihat fenomena alam harus menggunakan akal pikirannya untuk mengembangkan berbagai bidang pengetahuan, termasuk ilmu pengelolaan lingkungan agar tetap terjaga kelestariannya (Sunarsa, 2018). Salah satu bentuk pengelolaan terhadap lingkungan perairan yang dapat dilakukan untuk mengurangi limbah zat warna yaitu menggunakan teknologi fotokatalis. Penggunaan fotokatalis termasuk dalam *green synthesis* karena ramah lingkungan dan dapat memanfaatkan energi cahaya matahari dalam mendegradasi limbah zat warna, dimana pada hasil pengelolaan tidak menimbulkan limbah baru.

Alqur'an menerangkan bahwa air sebagai rahmat Allah sehingga memiliki nilai-nilai suci, dan juga merupakan elemen penting dalam kehidupan mulai dari hewan, tumbuhan, dan manusia (Suska, dkk., 2020). Air sebagai dasar keberlangsungan kehidupan telah dijelaskan dalam Alqur'an surah al-Anbiya' (21) ayat 30.

أَوَلَمْ يَرَ الَّذِينَ كَفَرُوا أَنَّ السَّمُوتِ وَالْأَرْضَ كَانَتَا رَتْقًا فَفَتَقْنَاهُمَا ۖ وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيًّا ۚ
 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?” (Q. S. al-Anbiya’ (21): 30).

Air merupakan sumberdaya alam yang sangat vital, sangat diperlukan dan menentukan keberlanjutan kehidupan di muka bumi. Menurut pandangan Islam, air adalah unsur utama yang terlebih dahulu diciptakan Tuhan sebelum menciptakan kehidupan di bumi (Mawardi, 2014). Dalam surah al-Anbiya’ (21) ayat 30 juga menerangkan bahwa segala yang hidup dan pemeliharaan kehidupan membutuhkan air (Shihab, 2002). Suatu organisme juga berasal dari air, termasuk hewan dan manusia dimana dua pertiga berat fisik dari manusia adalah cairan, baik dalam bentuk darah, air liur, maupun pelumas sendi tulang, dan cairan sumsum tulang belakang yang semuanya mengatur suhu badan manusia. Tanpa asupan air yang memadai, semua organisme akan mati dalam beberapa hari (Santoso, 2014).

Setiap sesuatu yang mengancam ketersediaan air akan berdampak pada kehidupan. Seperti halnya limbah zat warna pada perairan yang dibuang secara langsung tanpa diolah terlebih dulu tentunya akan menurunkan kualitas air dan dapat menyebabkan kematian organisme akuatik, dan jika organisme atau air tersebut dikonsumsi oleh manusia dapat menimbulkan berbagai macam penyakit. Oleh karena itu, proses pengolahan limbah perairan menggunakan proses fotokatalitik dengan material semikonduktor seperti SrTiO₃ dapat menjadi alternatif untuk menjaga kualitas air.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa material $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ telah berhasil disintesis menggunakan metode lelehan garam NaCl, KCl, dan NaCl/KCl. Namun, pada jenis garam KCl ditemukan adanya pengotor TiO_2 anatas dan SrCO_3 . Bentuk morfologi yang didapatkan adalah polihedral yang seragam tanpa aglomerasi dengan rata-rata ukuran partikel yang kecil sekitar $0,0328\text{-}0,0635 \mu\text{m}^2$ serta komposisi unsur yang terkandung yaitu Sr, Ti, Fe, dan O. Material STFO hasil sintesis garam NaCl, KCl, dan NaCl/KCl masing-masing memiliki energi celah pita sebesar 2,80 eV (443 nm); 2,86 eV (434 nm); dan 2,84 eV (437 nm). Hasil tersebut menunjukkan bahwa doping Fe dapat menurunkan energi celah pita dan menyebabkan pergeseran sinar senyawa ke daerah sinar tampak.

5.2 Saran

- a. Perlu dilakukan uji aktivitas fotokatalitik untuk mengetahui pengaruh jenis garam terhadap aktivitas fotokatalitik material STFO dalam mendegradasi zat warna.
- b. Perlu dilakukan karakterisasi dengan instrumen *X-ray photoelectron spectroscopy* (XPS) untuk mengetahui muatan Fe yang masuk ke dalam kisi kristal STFO.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, H. A. dan Jamil, T. S. 2016. Nano Sized Fe Doped Strontium Titanate for Photocatalytic Degradation of Dibutyl Phthalate under Visible Light. *Advanced Materials Letters*, 7(6): 467–471.
- Abdi, M., Mahdikhah, V., dan Sheibani, S. 2020. Visible Light Photocatalytic Performance of La-Fe Co-Doped SrTiO₃ Perovskite Powder. *Optical Materials*, 102: 109803.
- Akdogan, E. K., Brennan, Raymond Edwin., Allahverdi, Mehdi., dan Safari, Ahmad. 2006. Effects of Molten Salt Synthesis (MSS) Parameters on The Morphology of Sr₃Ti₂O₇ and SrTiO₃ Seed Crystals. *Journal of Electroceramics*, 16(2): 159–165.
- Aliah, H., dan Karlina, Y. 2015. Semikonduktor TiO₂ Sebagai Material Fotokatalis Berulang. *Jurusan Fisika UIN SGD Bandung*, IX(1): 185–203.
- Bantawal, Harsha., Shenoy, U. Sandhya., dan Bhat, D. Krishna. 2020. Vanadium-Doped SrTiO₃ Nanocubes: Insight into Role of Vanadium in Improving The Photocatalytic Activity. *Applied Surface Science*, 513.
- Cai, Z., Xing, X., Li, L., dan Xu, Y. 2008. Molten Salt Synthesis of Lead Lanthanum Zirconate Titanate Ceramic Powders. *Journal of Alloys and Compounds*, 454 (1–2): 466–470.
- Chen, H., Chen, N., Gao, Y., dan Feng, C. 2018. Photocatalytic Degradation of Methylene Blue by Magnetically Recoverable Fe₃O₄/Ag₆Si₂O₇ Under Simulated Visible Light. *Powder Technology*, 326: 247–254.
- Coronado, J. M., Fresno, F., Hernández-Alonso, M. D., dan Portela, R. 2013. Design of Advanced Photocatalytic Materials for Energy and Environmental Applications. *Green Energy and Technology*, 71: 1–4.
- Crespillo, M. L., Graham, J. T., Agulló-López, F., Zhang, Y., dan Weber, W. J. 2019. Recent Advances on Carrier and Exciton Self-Trapping in Strontium Titanate: Understanding The Luminescence Emissions. *Crystals*, 9(2).
- Da Silva, L. F., Avansi, W., Moreira, M. L., Andrés, J., Longo, E., dan Mastelaro, V. R. 2012. Novel SrTi_{1-x}Fe_xO₃ Nanocubes Synthesized by Microwave-Assisted Hydrothermal Method. *CrystEngComm*, 14(11): 4068–4073.
- Da Silva, L. F., Bernardi, M. I. B., Maia, L. J. Q., Frigo, G. J. M., dan Mastelaro, V. R. 2009. Synthesis and Thermal Decomposition of SrTi_{1-x}Fe_xO₃ (0.0 ≤ x ≤ 0.1) Powders Obtained by The Polymeric Precursor Method. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 97(1): 173–177.
- Ebrahimi, M. E., Allahverdi, M., dan Safari, A. 2005. Synthesis of High Aspect Ratio Platelet SrTiO₃. *Journal of The American Ceramic Society*, 88(8): 2129–2132.

- El Yacoubi, A., Massit, A., El Moutaoikel, S., Rezzouk, A., dan El Idrissi, B. C. 2017. Rietveld Refinement of The Crystal Structure of Hydroxyapatite Using X-Ray Powder Diffraction. *American Journal of Materials Science and Engineering*, 5(1): 1–5.
- Enrico. 2019. Dampak Limbah Cair Industri Tekstil Terhadap Lingkungan dan Aplikasi Tehnik Eco Printing sebagai Usaha Mengurangi Limbah. *Moda*, 1(1): 5–13.
- Epp, J. 2016. X-Ray Diffraction (XRD) Techniques for Materials Characterization, in: Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods. *Elsevier*, 81-124.
- Fan, Y., Liu, Y., Cui, H., Wang, W., Shang, Q., Shi, X., Cui, G., dan Tang, B. 2020. Photocatalytic Overall Water Splitting by SrTiO₃ with Surface Oxygen Vacancies. *Nanomaterials*, 10(12): 1–10.
- Fuentes, S., Muñoz, P., Barraza, N., Chávez-Ángel, E., dan Torres, C. M. S. 2015. Structural Characterisation of Slightly Fe-Doped SrTiO₃ Grown via A Sol–Gel Hydrothermal Synthesis. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 75(3): 593–601.
- Gupta, S. K., dan Mao, Y. 2021. A Review on Molten Salt Synthesis of Metal Oxide Nanomaterials: Status, Opportunity, and Challenge. *Progress in Materials Science*, 117.
- Hoang, V.-Q.-T., Phan, T.-Q.-P., Senthilkumar, V., Doan, V.-T., Kim, Yong-Soo., dan Le, M.-V. 2019. Enhanced Photocatalytic Activities of Vanadium and Molybdenum Co-Doped Strontium Titanate under Visible Light. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 16(4): 1651–1658.
- Ibhadon, A. O., dan Fitzpatrick, P. 2013. Heterogeneous Photocatalysis: Recent Advances and Applications. *Catalysts*, 3(1): 189–218.
- Illahi, A. N., Rouf, U. A., Maulidianingtyas, H., Hastuti, E., Prasetyo, A., dan Istighfarini, V. N. 2020. Sintesis dan Karakterisasi Material Fotokatalis *Heterojunction* Bi₄Ti₃O₁₂/SrTiO₃ dengan Metode Sonikasi. *Jurnal Kimia Riset*, 5(1): 36.
- Ilyas, M. M. 2008. Lingkungan Hidup dalam Pandangan Islam. *Jurnal Sosial Humaniora*, 1(2): 154–166.
- Jafari, T., Moharreri, E., Amin, A. S., Miao, R., Song, W., dan Suib, S. L. 2016. Photocatalytic Water Splitting-The Untamed Dream: A Review of Recent Advances. *Molecules*, 21(7).
- Jaihindh, D. P., Chen, C. C., dan Fu, Y. P. 2018. Reduced Graphene Oxide-Supported Ag-Loaded Fe-Doped TiO₂ for The Degradation Mechanism of Methylene Blue and Its Electrochemical Properties. *RSC Advances*, 8(12): 6488–6501.

- Jayaseelan, D. D., Zhang, S., Hashimoto, S., dan Lee, W. E. 2007. Template Formation of Magnesium Aluminate (MgAl_2O_4) Spinel Microplatelets in Molten Salt. *Journal of the European Ceramic Society*, 27(16): 4745–4749.
- Jiang, D., Sun, X., Wu, X., Shi, L., dan Du, F. 2020. Hydrothermal Synthesis of Single-Crystal Cr-Doped SrTiO_3 for Efficient Visible-Light Responsive Photocatalytic Hydrogen Evolution. *Materials Research Express*, 7(1).
- Jing, P., Lan, W., Su, Q., dan Xie, E. 2015. High Photocatalytic Activity of V-Doped SrTiO_3 Porous Nanofibers Produced from A Combined Electrospinning and Thermal Diffusion Process. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 6(1): 1281–1286.
- Kanhere, P., dan Chen, Z. 2014. A Review on Visible Light Active Perovskite-Based Photocatalysts. *Molecules*, 19(12): 19995–20022.
- Kato, H., Kobayashi, M., Hara, M., dan Kakihana, M. 2013. Fabrication of SrTiO_3 Exposing Characteristic Facets Using Molten Salt Flux and Improvement of Photocatalytic Activity for Water Splitting. *Catalysis Science and Technology*, 3(7): 1733–1738.
- Khan, M. M., Adil, S. F., dan Al-Mayouf, A. 2015. Metal Oxides as Photocatalysts. *Journal of Saudi Chemical Society*, 19(5): 462–464.
- Kim, M., Hong, S. A., Shin, N., Lee, Y. H., dan Shin, Y. 2016. Synthesis of Strontium Titanate Nanoparticles Using Supercritical Water. *Ceramics International*, 42(15): 17853–17857.
- Kimura, T. 2011. Molten Salt Synthesis of Ceramic Powders. *Advances in Ceramics-Synthesis and Characterization, Processing and Specific Applications*.
- Kiss, B., Manning, T. D., Hesp, D., Didier, C., Taylor, A., Pickup, D. M., Chadwick, A. V., Allison, H. E., Dhanak, V. R., Claridge, J. B., Darwent, J. R., dan Rosseinsky, M. J. 2017. Nano-Structured Rhodium Doped SrTiO_3 –Visible Light Activated Photocatalyst for Water Decontamination. *Applied Catalysis B: Environmental*, 206: 547–555.
- Kumar, A., Kumar, A., dan Krishnan, V. 2020. Perovskite Oxide Based Materials for Energy and Environment-Oriented Photocatalysis. *ACS Catalysis*, 10(17): 10253–10315.
- Le, M.-V., Vo, N.-Q.-D., Le, Q.-C., Tran, V. A., Phan, T. Q.-P., Huang, C.-W., dan Nguyen, V.-H. 2021. Manipulating The Structure and Characterization $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{TiO}_3$ Nanocubes Toward The Photodegradation of 2-Naphthol under Artificial Solar Light. *Catalysts*, 11: 564.
- Le Pevelen, D. D. 2016. X-ray Crystallography of Small Molecules: Theory and Workflow. *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry*, 624–639.

- Li, C., Liu, Z., Zhou, H., Haminhgoc., Zhu, F., Guo, Q., dan Zhao, Z. 2015. Molten Salt Synthesis of SrTiO₃ Using TiO₂ with Different Morphology as A Precursor. *Integrated Ferroelectrics*, 162(1): 113–121.
- Li, H. L., Du, Z. N., Wang, G. L., dan Zhang, Y. C. 2010. Low Temperature Molten Salt Synthesis of SrTiO₃ Submicron Crystallites and Nanocrystals in The Eutectic NaCl-KCl. *Materials Letters*, 64(3): 431–434.
- Li, J., Tang, X., Liu, Q., Jiang, Y., dan Tang, Z. 2021. Resistive Switching and Optical Properties of Strontium Ferrate Titanate Thin Film Prepared via Chemical Solution Deposition. *Journal of Advanced Ceramics*, 10(5): 1001–1010.
- Li, Z., Zhang, S., dan Lee, W. E. 2007. Molten Salt Synthesis of Zinc Aluminate Powder. *Journal of the European Ceramic Society*, 27(12): 3407–3412.
- Li, Z., Zhang, X., Hou, J., dan Zhou, K. 2007. Molten Salt Synthesis of Anisometric Sr₃Ti₂O₇ Particles. *Journal of Crystal Growth*, 305(1): 265–270.
- Liu, J., Wang, J., Zhou, H., Jin, S., Xu, Yu., Zhang, J. 2012. Low Temperature Preparation of SrTiO₃ Nanocrystalline by Hydrothermal Method. *Asian Journal of Chemistry*, 24(11): 5055–5057.
- Liu, Y. -F., Lu, Y. -N., Xu, M., Zhou, L. -F., dan Shi, S. -Z. 2009. Topochemical Reaction of SrTiO₃ Platelet Crystals Based on Sr₃Ti₂O₇ Platelet Precursor in Molten Salt Synthesis Process. *Materials Chemistry and Physics*, 114(1): 37–42.
- Liu, Y. F., Lu, Y. N., Xu, M., dan Zhoun, L. F. 2007. Formation Mechanisms of Platelet Sr₃Ti₂O₇ Crystals Synthesized by The Molten Salt Synthesis Method. *Journal of the American Ceramic Society*, 90(6): 1774–1779.
- Liu, Z., Liang, S., Li, S., Zhu, Y., dan Zhu, X. 2015. Synthesis, Microstructural, Characterization, and Dielectric Properties of BiFeO₃ Microcrystals Derived from Molten Salt Method. *Ceramics International*, 41(1): 19–25.
- Long, Z., Li, Q., Wei, T., Zhang, G., dan Ren, Z. 2020. Historical Development and Prospects of Photocatalysts for Pollutant Removal in Water. *Journal of Hazardous Materials*, 395: 122599.
- Luo, L., Wang, S., Wang, H., Tian, C., dan Jiang, B. 2021. Molten-Salt Technology Application for the Synthesis of Photocatalytic Materials. *Energy Technology*, 9(2): 1–14.
- Maisaroh, T. 2017. Akhlak Terhadap Lingkungan hidup Dalam Al-Quran (Studi Tafsir Al-Mishbah). *Skripsi*. Lampung: Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung.
- Makula, P., Pacia, M. & Macyk, W. 2018. How To Correctly Determine the Band Gap Energy of Modified Semiconductor Photocatalysts Based on UV-Vis Spectra. *Journal of Physical Chemistry Letters*, 9(23): 6814–6817.

- Mawardi, M. 2014. Air Dan Masa Depan Kehidupan. *Tarjih: Jurnal Tarjih dan Pengembangan Pemikiran Islam*, 12(1): 134.
- Meir, R., Vradman, L., Zana, J., dan Herskowitz, M. 2019. Effect of Salt Type on The Particle Size of $\text{LaMn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ($0.1 \leq x \leq 0.5$) Synthesized in Molten Chlorides. *Materials Chemistry and Physics*, 231: 181–187.
- Mohan, S., dan Mao, Y. 2020. Molten Salt Synthesized Submicron Perovskite $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ Particles as Efficient Electrocatalyst for Water Electrolysis. *Frontiers in Materials*, 7(9): 1–10.
- Mourão, H. A. J. L., Lopes, O. F., Avansi, W., Pires, M. J. M., Souza, S., Ribeiro, C., dan Mastelaro, V. 2017. $\text{SrTi}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_3$ Samples Obtained by Hydrothermal Method: The Effect of The Amount of Fe on Structural and Photocatalytic Properties. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 68(4): 140–146.
- Muhammad, A. S., Muhammad, H., Maburur, R., Abbas, A. S., Firman, A., Mangunjaya, F., Pasha, K. I., dan Andriana, M. 2006. *Fiqih Lingkungan (Fiqh al-Bi'ah)*. Jakarta: Conversation International Indonesia.
- Naimah, S., A. Ardhanie, S., Jati, B. N., Aidha, Novi N., dan Cahyaningtyas, A. A. 2014. Degradasi Zat Warna pada Limbah Cair Industri Tekstil dengan Metode Fotokatalitik Menggunakan Nanokomposit TiO_2 –Zeolit. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 36(2): 225.
- Nunocha, P., Kaewpanha, M., Bongkarn, T., Eiad-Ua, A., dan Suriwong, T. 2022. Effect of Nb Doping on The Structural, Optical, and Photocatalytic Properties of SrTiO_3 Nanopowder Synthesized by Sol-Gel Auto Combustion Technique. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 10(06): 1–14.
- Permatasari, O. S., Wardhani, S., dan Darjito. 2015. Studi Pengaruh Penambahan Hidrogen Peroksida (H_2O_2) Terhadap Degradasi *Methyl Orange* Menggunakan TiO_2 -N. *Kimia Student Journal*, 1: 661–667.
- Phoon, B. L., Lai, C. W., Pan, G. T., Yang, T. C. K., dan Juan, J. C. 2018. One-Pot Hydrothermal Synthesis of Strontium Titanate Nanoparticles Photoelectrode Using Electrophoretic Deposition for Enhancing Photoelectrochemical Water Splitting. *Ceramics International*, 44(8): 9923–9933.
- Prasetyo, A. D., Novianti, D. R., Maulidiantiyas, H., dan Prasetyo, A. 2021. Molten Salt Synthesis of Photocatalyst Material $\text{SrTi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ ($x= 0, 0.05, 0.1, 0.15, \text{ and } 0.2$). *4Th International Seminar on Chemistry*, 2349(06): 36.
- Putri, Y. E., Najeela, R., Andriani, R., dan Wellia, D. V. 2021. SrTiO_3 Nanokubus: Sintesis, Kontrol Morfologi dan Sifat Termoelektrik (Tinjauan). *Akta Kimia Indonesia*, 6(1): 83.
- Rasyad, R. 2022. Konsep Khalifah dalam Al-Qur'an (Kajian Ayat 30 Surat al-Baqarah dan Ayat 26 Surat Shaad). *Jurnal Ilmiah Al-Mu'ashirah*, 19(1): 20.

- Rizwan, M., Anwar, M., Usman, Z., Shakil, M., Gillani, S. S. A., Jin, H. B., Cao, C. B., dan Mushtaq, U. 2019. Implementation of Magnesium Doping in SrTiO₃ for Correlating Electronic, Structural and Optical Properties: A DFT Study. *Chinese Journal of Physics*, 62: 388–394.
- Rovenski, V. Y. 2000. *Geometry of Curves and Surfaces with Maple*. Birkhäuser Boston.
- Runjani, D. J. 2017. Fiqh Lingkungan Hidup dalam Perspektif Islam. *El-Wasathiya: Jurnal Studi Agama*, 5(1): 27–42.
- Sabarudin. 2017. *Islam Dan Lingkungan Hidup*. Yogyakarta: Aswaja Pressindo.
- Santoso, M. A. F. 2014. Air Dan Pemeliharaannya Dalam Perspektif Islam. *Tarjih: Jurnal Tarjih dan Pengembangan Pemikiran Islam*, 12(1): 97–113.
- Sausan, F. W., Puspitasari, A. R., dan Yanuarita P, D. 2021. Studi Literatur Pengolahan Warna pada Limbah Cair Industri Tekstil Menggunakan Metode Proses Adsorpsi, Filtrasi, dan Elektrolisis. *Jurnal Tecnoscienza*, 5(2): 213.
- Sebastian, M. T. 2008. Cation-Deficient Perovskites. *Dielectric Materials for Wireless Communication*, 335–360.
- Sharma, N., Prabakar, K., Ilango, S., Dash, S., dan Tyagi, A. K. 2021. Optical Band-Gap and Associated Urbach Energy Tails in Defected AlN Thin Films Grown by Ion Beam Sputter Deposition: Effect of Assisted Ion Energy. *Advanced Materials Proceedings*, 2(5): 342–346.
- Shen, H., Lu, Y., Wang, Y., Pan, Z., Cao, G., Yan, X., dan Fang, G. 2016. Low Temperature Hydrothermal Synthesis of SrTiO₃ Nanoparticles Without Alkali and Their Effective Photocatalytic Activity. *Journal of Advanced Ceramics*, 5(4): 298–307.
- Shihab, M. Quraish. 2002. *Tafsir Al Mishbah: Pesan, Kesan, dan Keserasian Al-Qur'an*. Jakarta: Lentera Hati.
- Sood, S., Umar, A., Mehta, S. K., dan Kansal, S. K. 2015. Highly Effective Fe-Doped TiO₂ Nanoparticles Photocatalysts for Visible-Light Driven Photocatalytic Degradation of Toxic Organic Compounds. *Journal of Colloid and Interface Science*, 450: 213–223.
- Sunarsa, S. 2018. Isyarat Sains Tentang Air Dalam Al-Qur'an. *Jurnal Naratas*, 2(1): 9–18.
- Suskha, A., Rusydi, A. M., dan Wusqa, U. 2020. Manfaat Air Bagi Tumbuhan: Perspektif Al-Qur'an dan Sains. *Jurnal Studi Alquran dan Hadis* 4(2): 447–466.

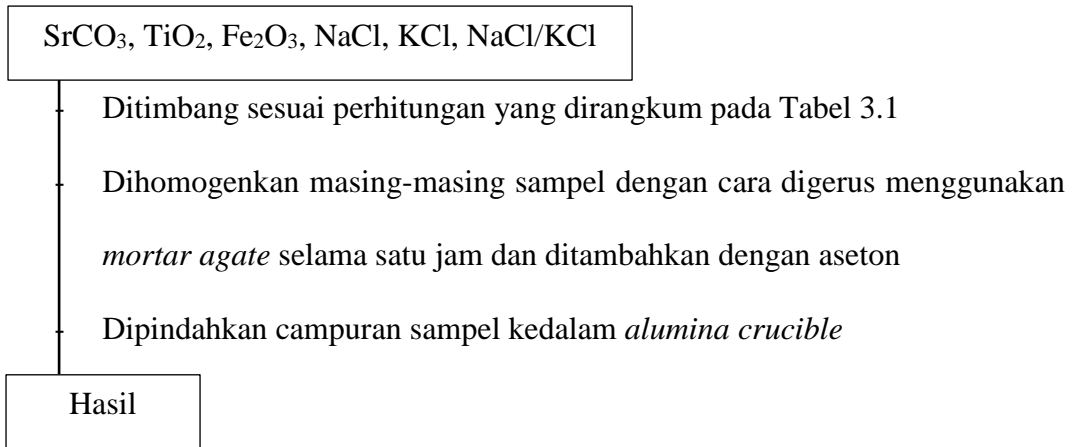
- Tanigawa, S., Takashima, T., dan Irie, H. 2017. Enhanced Visible-Light-Sensitive Two-Step Overall Water-Splitting Based on Band Structure Controls of Titanium Dioxide and Strontium Titanate. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, 05(01): 129–141.
- Technilc, K., dan Packter, A. 1980. Tho Crystallisation of Alkaline-earth Metal Oxides from Metal Chloride Melts : Solubility-Temperature Phase Diagram Analyses and Preliminary Experimental Studies. *Kristall und Technik* 15(4): 413-420.
- Thamaraiselvi, K., Sivakumar, T., Brindha, A., dan Elangovan, E. 2018. Photocatalytic Degradation of Reactive Dyes Over Titanates. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 19(4): 2087–2098.
- Vradman, L., Zana, J., Kirschner, A., dan Herskowitz, M. 2013. Synthesis of LaMnO_3 in Molten Chlorides: Effect of Preparation Conditions. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 15(26): 10914–10920.
- Wakao, M., Minami, K., dan Nagashima, A. 1991. Viscosity Measurements of Molten LiCl in The Temperature Range 886-1275 K. *International Journal of Thermophysics*, 12(2): 223–230.
- Wang, H., Zhang, Q., Qiu, M., dan Hu, B. 2021. Synthesis and Application of Perovskite-Based Photocatalysts in Environmental Remediation: A Review. *Journal of Molecular Liquids*, 334: 116029.
- Wang, T. X., Liu, S. Z., dan Chen, J. 2011. Molten Salt Synthesis of SrTiO_3 Nanocrystals Using Nanocrystalline TiO_2 as A Precursor. *Powder Technology*, 205(1–3): 289–291.
- Wang, Wei., Tadé, Moses O., dan Shao, Zongping. 2015. Research Progress of Perovskite Materials in Photocatalysis and Photovoltaics-Related Energy Conversion and Environmental Treatment. *Chemical Society Reviews*, 44(15): 5371–5408.
- Wei, H., Cai, J., Zhang, Y., Zhang, X., Baranova, E. A., Cui, J., Wang, Yan., Shu, X., Qin, Y., L, J., dan Wu, Y. 2020. Synthesis of SrTiO_3 Submicron Cubes with Simultaneous and Competitive Photocatalytic Activity for H_2O Splitting and CO_2 Reduction. *RSC Advances*, 10(70): 42619–42627.
- Xie, T. H., Sun, X., dan Lin, J. 2008. Enhanced Photocatalytic Degradation of RhB Driven by Visible Light-Induced MMCT of Ti(IV)-O-Fe(II) Formed in Fe-Doped SrTiO_3 . *Journal of Physical Chemistry C*, 112(26): 9753–9759.
- Xue, P., Wu, H., Lu, Y., dan Zhu, X. 2018. Recent Progress in Molten Salt Synthesis of Low-Dimensional Perovskite Oxide Nanostructures, Structural Characterization, Properties, and Functional Applications: A review. *Journal of Materials Science and Technology*, 34(6): 914–930.

- Xu, Yi-Jun 2021. Effect of Reactor Materials on The Properties of Titanium Oxide Nanotubes. *ACS Catalysis*, 2(1): 45–49.
- Zhang, Fubao., Wang, Xianming., Liu, Haonan., Liu, Chunli., Wan, Yong., Long, Yunze., dan Cai, Zhongyu. 2019. Recent Advances and Applications of Semiconductor Photocatalytic Technology. *Applied Sciences*, 9(12).
- Zhang, Y., dan Sillanpää, M. 2020. Modification of Photocatalyst with Enhanced Photocatalytic Activity for Water Treatment. *Advanced Water Treatment: Advanced Oxidation Processes*, 289-336.
- Zhou, H., Mao, Y., dan Wong, S. S. 2007. Probing Structure-Parameter Correlations in The Molten Salt Synthesis of BaZrO₃ Perovskite Submicrometer-Sized Particles. *Chemistry of Materials*, 19(22): 5238–5249.
- Zhou, Xin., Shi, Jingying., dan Li, Can. 2011. Effect of Metal Doping on Electronic Structure and Visible Light Absorption of SrTiO₃ and NaTaO₃ (Metal = Mn, Fe, and Co). *Journal of Physical Chemistry C*, 115(16): 8305–8311.
- Zhu, J., Li, H., Zhong, L., Xiao, P., Xu, X., Yang, X., Zhao, Z., dan Li, J. 2014. Perovskite Oxides: Preparation, Characterizations, and Applications in Heterogeneous Catalysis. *ACS Catalysis*, 4(9): 2917–2940.

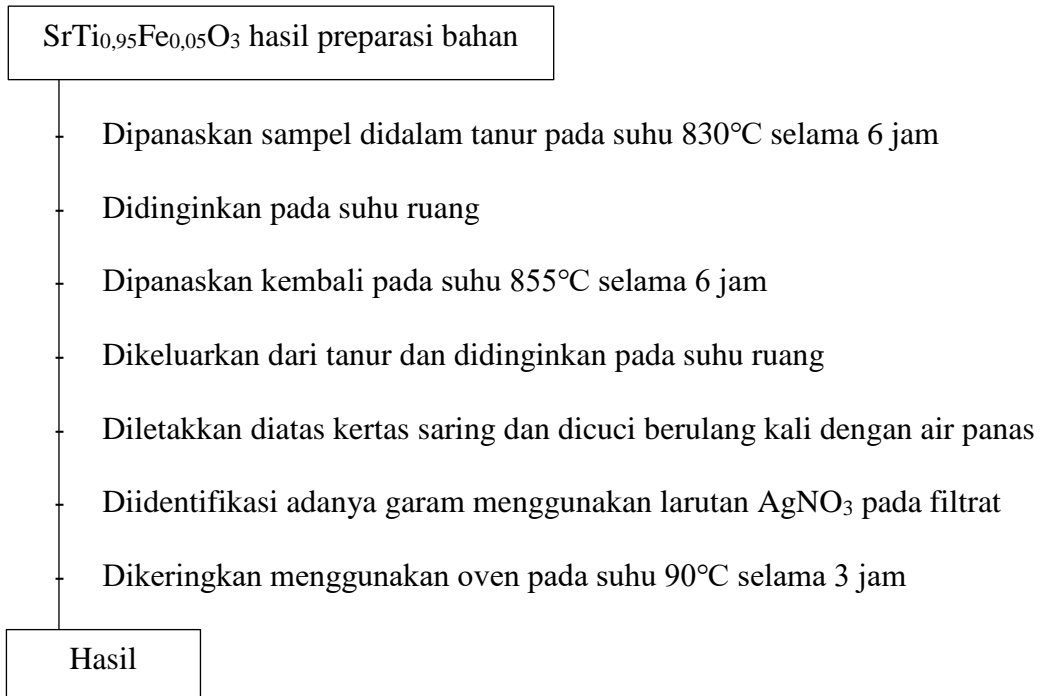
LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Alir

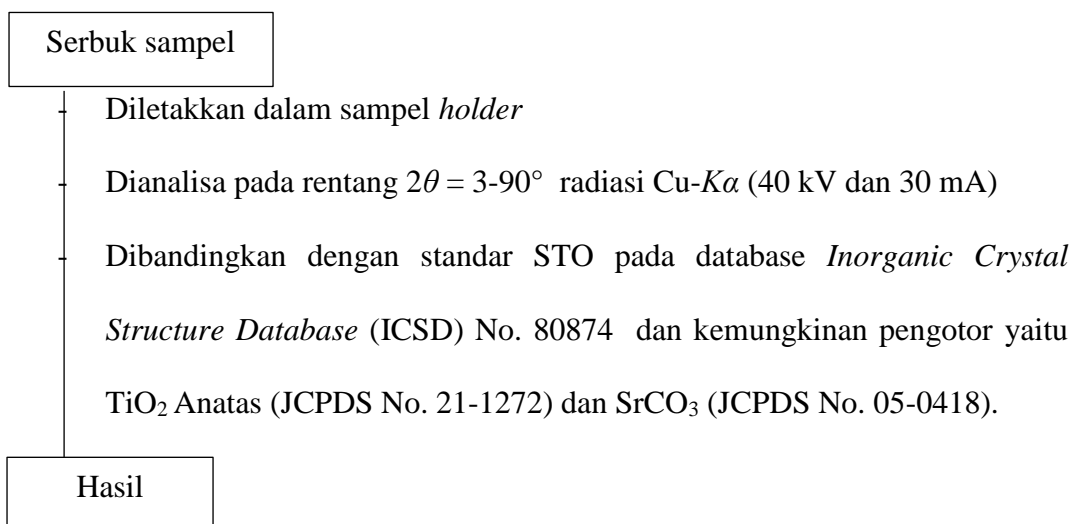
L.1.1 Preparasi Bahan



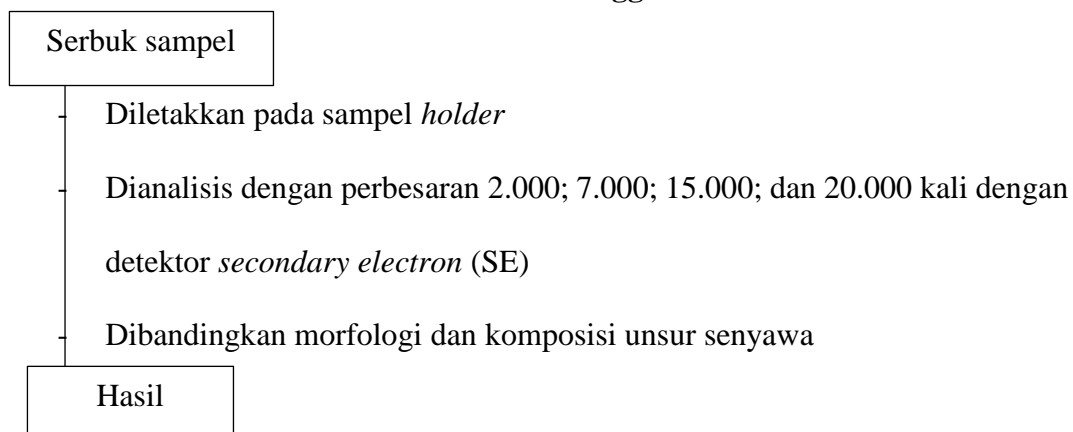
L.1.2 Sintesis SrTi_{0,95}Fe_{0,05}O₃ Menggunakan Metode Lelehan Garam



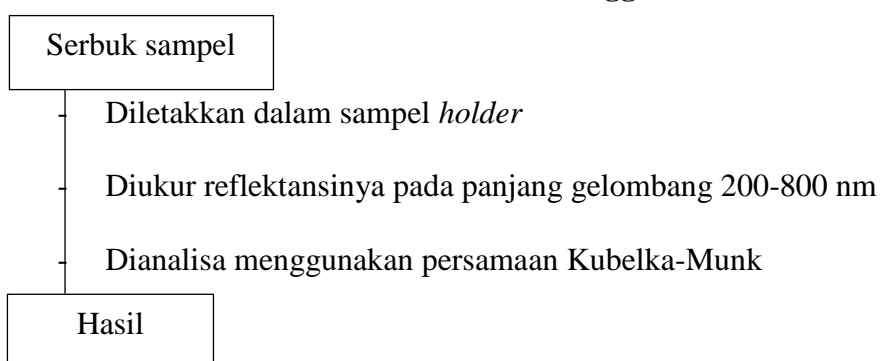
L.1.3 Karakterisasi dan Analisis Data Menggunakan Instrumen XRD



L.1.4 Karakterisasi dan Analisis Data Menggunakan Instrumen SEM-EDS



L.1.5 Karakterisasi dan Analisis Data Menggunakan Instrumen UV-Vis DRS



Lampiran 2. Perhitungan

Reaksi yang terjadi pada sintesis $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ adalah:



Keterangan:

- Target produk $\text{SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3$ dengan massa 3 gram
- Perbandingan mol prekursor dengan jenis garam adalah 1:7
- Perbandingan mol garam NaCl/KCl adalah 1:1

Diketahui:

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

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

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

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

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

$$\text{Ar Sr} = 87,62 \text{ g/mol}$$

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

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

$$\text{Ar O} = 15,99 \text{ g/mol}$$

Massa yang diperlukan:

$$\begin{aligned} \text{Mr SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3 &= (\text{Ar Sr}) + (0,95 \times \text{Ar Ti}) + (0,05 \times \text{Ar Fe}) + (3 \times \text{Ar O}) \\ &= (87,62) + (0,95 \times 47,867) + (0,05 \times 55,845) + (3 \times 15,99) \text{ g/mol} \\ &= 87,62 + 45,47365 + 2,79225 + 47,97 \text{ g/mol} \\ &= 183,8559 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3 &= \frac{\text{Massa}}{\text{Mr}} \\ &= \frac{3 \text{ gram}}{183,8559 \text{ g/mol}} \\ &= 0,016317 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa SrCO}_3 &= \text{Mr SrCO}_3 \times \text{Mol SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3 \times \text{Koefisien reaksi} \\ &= 147,63 \text{ g/mol} \times 0,016317 \text{ mol} \times 1 \\ &= 2,4089 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa TiO}_2 &= \text{Mr TiO}_2 \times \text{Mol SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3 \times \text{Koefisien reaksi} \\ &= 79,9 \text{ g/mol} \times 0,016317 \times 0,95 \\ &= 1,2386 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Fe}_2\text{O}_3 &= \text{Mr Fe}_2\text{O}_3 \times \text{Mol SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3 \times \text{Koefisien reaksi} \\ &= 159,69 \text{ g/mol} \times 0,016317 \text{ mol} \times 0,025 \\ &= 0,06514 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa NaCl} &= 7 \times \text{Mol SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3 \times \text{Mr NaCl} \\ &= 7 \times 0,016317 \text{ g/mol} \times 58,34 \text{ g/mol} \\ &= 6,6635 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa KCl} &= 7 \times \text{Mol SrTi}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{O}_3 \times \text{Mr KCl} \\ &= 7 \times 0,016317 \text{ g/mol} \times 74,59 \text{ g/mol} \\ &= 8,5196 \text{ gram} \end{aligned}$$