PEMBUATAN LAPISAN TIPIS TiO₂ BERBASIS ILMENIT LAMPUNG MENGGUNAKAN METODE *CHEMICAL BATH DEPOSITION* (CBD)

(Skripsi)

Oleh

Nadia Febriyanti



JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021

ABSTRAK

PEMBUATAN LAPISAN TIPIS TiO₂ BERBASIS ILMENIT LAMPUNG MENGGUNAKAN METODE CHEMICAL BATH DEPOSITION (CBD)

Oleh

NADIA FEBRIYANTI

Telah dilakukan penelitian pembuatan lapisan tipis TiO₂ berbasis ilmenit Lampung dengan menggunakan metode Chemical Bath Deposition (CBD). Prekursor yang digunakan dalam pembuatan lapisan tipis TiO₂ pada penelitian ini berupa serbuk hasil ekstraksi TiO₂ dari ilmenit Lampung dengan kemurnian sebesar 60,701%. Lapisan tipis TiO₂ ditumbuhkan pada media berupa substrat kaca. Variasi yang digunakan dalam penumbuhan lapisan tipis pada penelitian ini berupa waktu pelapisan yaitu 2, 3, 4 dan 5 jam. Setelah proses pelapisan, substrat kaca dikeringkan dan dikalsinasi pada suhu 500°C selama 4 jam. Kemudian dilakukan karakterisasi menggunakan XRD dan SEM, serta dilakukan pengukuran nilai resistivitas dari lapisan tipis dengan menggunakan metode empat titik. Hasil XRD menunjukkan bahwa serbuk hasil ekstraksi TiO2 dari ilmenit Lampung didominasi oleh fasa rutil dan brukit. Sedangkan untuk lapisan tipis TiO2 yang dihasilkan berstruktur amorf. Morfologi pada semua sampel menunjukkan bahwa telah terbentuk struktur berpori. Berdasarkan hasil SEM penampang melintang, pada sampel dengan waktu pelapisan 3 jam memiliki ketebalan lapisan sebesar 7,28 µm. Berdasarkan pengukuran resistivitas didapatkan hasil bahwa semakin lama waktu pelapisan maka semakin besar nilai resistivitas rata-ratanya.

Kata Kunci: Chemical Bath Deposition, ilmenit, lapisan tipis, TiO₂.

ABSTRACT

FABRICATION OF TiO₂ THIN FILM BASED ON ILMENIT LAMPUNG WITH CHEMICAL BATH DEPOSITION (CBD) METHOD

By

NADIA FEBRIYANTI

Research has been carried out on the fabrication of thin film TiO₂ based on ilmenite in Lampung using the chemical bath deposition (CBD) method. The precursor used in the manufacture of TiO₂ thin films in this study was a powder extracted from TiO₂ from Lampung ilmenite with a purity of 60.701%. A thin layer of TiO₂ was grown on a medium in the form of a glass substrate. The variation used in the growth of the thin layer in this study were 2, 3, 4, and 5 hours coating time. After the coating process, the glass substrate was dried and calcined at $500 \,^{\circ}\!\!\mathrm{C}$ for 4 hours. Then the characterization was carried out using XRD, SEM and the resistivity value of the thin layer was measured using the four-point method. The XRD results showed that the TiO₂ powder extracted from Lampung ilmenite was dominated by the rutile and brookite phases. As for the resulting thin layer of TiO₂, the structure is amorphous. The morphology of all samples showed that a porous structure had been formed. Based on the cross-sectional SEM results, the sample with a coating time of 3 hours had a layer thickness of 7,28 µm. Based on the resistivity measurement, it was found that the longer the coating time, the greater the average resistivity value.

Keywords: chemical bath deposition, ilmenite, thin film, TiO_2 .

PEMBUATAN LAPISAN TIPIS TiO₂ BERBASIS ILMENIT LAMPUNG MENGGUNAKAN METODE *CHEMICAL BATH DEPOSITION* (CBD)

Oleh

NADIA FEBRIYANTI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar **SARJANA SAINS**

Pada

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung



FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM UNIVERSITAS LAMPUNG BANDAR LAMPUNG 2021

Judul Skripsi

: PEMBUATAN LAPISAN TIPIS TiO2 BERBASIS ILMENIT LAMPUNG MENGGUNAKAN METODE

CHEMICAL BATH DEPOSITION (CBD)

Nama Mahasiswa

: Nadia Febriyanti

Nomor Pokok Mahasiswa: 1717041008

Jurusan

: Fisika

Fakultas

: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

1. Komisi Pembimbing

Prof. Posman Manurung, Ph.D.

NIP 19590308 199103 1 001

Dr. rer. no. Koniyus Marjunus, S.Si., M.Si. NIP 197703/18 200012 1 003

2. Ketua Jurusan Fisika

Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. NIP 19801010 200501 1 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Prof. Posman Manurung, Ph.D.

Sekretaris

: Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si.

Penguji

Bukan Pembimbing: Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si.

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, M.T.

NIP 19740705 200003 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 24 November 2021

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi yang berjudul "Pembuatan Lapisan Tipis TiO2 Berbasis Ilmenit Lampung Menggunakan Metode Chemical Bath Deposition (CBD)" tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila ada peryataan saya yang tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukuman yang berlaku.

Bandar Lampung, 24 November 2021

METERAL TEMPEL 323AJX551888401

Nadia Febriyanti NPM, 1717041008

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Nadia Febriyanti, dilahirkan pada tanggal 25 Februari 2000 di Bukit Kemuning, Lampung Utara. Penulis merupakan anak pertama dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Deni Indra dan Ibu Herlinda Wati. Pendidikan yang telah ditempuh oleh penulis adalah Sekolah Dasar Negeri 2 Campang

Delapan pada Tahun 2011, Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Bukit Kemuning pada Tahun 2014, Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Bukit Kemuning pada Tahun 2017.

Penulis diterima di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung pada tahun 2017 melalui jalur SNMPTN. Selama menempuh pendidikan, penulis pernah menjadi asisten praktikum Pemrograman Komputer pada tahun 2018/2019, asisten praktikum Elektronika Dasar 1 pada tahun 2019/2020, asisten praktikum Fisika Eksperimen pada tahun 2019/2020. Pada Tahun 2020, penulis menyelesaikan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Badan Pengkajian dan Penerapatan Teknologi - Pusat Teknologi Material (BPPT-PTM) Serpong. Dalam bidang kepenulisan ilmiah, penulis memiliki pengalaman menulis laporan PKL dengan judul "Pengaruh Variasi Tegangan Anodisasi terhadap Kekasaran Permukaan Titanium untuk Aplikasi Pencangkokan Gigi". Penulis juga melakukan pengabdian terhadap

masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung tahun 2020 di Desa Campang Delapan, Way Kanan. Dalam bidang organisasi penulis dipercaya sebagai anggota bidang Dana dan Usaha Himpunan Mahasiswa FMIPA Universitas Lampung (2017-2018) dan anggota bidang Dana dan Usaha Unit Kegiatan Mahasiswa Sains dan Teknologi Universitas Lampung (2018).

MOTTO

"Allah menghancurkan rencanamu, agar rencanamu tak menghancurkan dirimu"

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya."

(QS. Al-Baqarah: 286)

"Jangan berhenti, yang kau takutkan tak kan terjadi"

(Kunto Aji)

PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur kepada Allah SWT, kupersembahkan karya kecil ini Kepada

Bapak Deni Indra dan Ibu Herlinda Wati

Atas doa yang tidak pernah putus dan segala upaya terbaik yang telah diberikan

Adik-adikku tersayang

Yang selalu memberi semangat, dukungan dan doa

Bapak ibu Guru serta Dosen

Yang telah memberikan bimbingan dan ilmu pengetahuan dengan penuh keikhlasan

Rekan-rekan seperjuangan Fisika FMIPA Unila 2017

Serta Almamater Tercinta Universitas Lampung

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia

yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul

"Pembuatan Lapisan Tipis TiO2 Berbasis Ilmenit Lampung Menggunakan

Metode Chemical Bath Deposition (CBD)" yang merupakan syarat untuk

memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada bidang Material Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan

baik dalam isi maupun penyajian. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan

saran yang membangun dari berbagai pihak demi perbaikan dan penyempurnaan

skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat menjadi rujukan untuk penelitian selanjutnya

agar lebih sempurna dan dapat memperkaya ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 24 November 2021

Penulis

Nadia Febriyanti

хi

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberi kesehatan, hikmat, karunia serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Pembuatan Lapisan Tipis TiO₂ Berbasis Ilmenit Lampung Menggunakan Metode *Chemical Bath Deposition* (CBD)". Terwujudnya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis mengucapkan terima aksih kepada:

- Prof. Posman Manurung, Ph.D. selaku pembimbing pertama yang telah banyak memberi bimbingan, motivasi, nasihat serta ilmunya dalam penulisan skripsi ini.
- 2. Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si. selaku pembimbing kedua yang telah memberikan saran, masukan dan arahan dalam penulisan skripsi ini.
- 3. Dr. Yanti Yulianti, M.Si. selaku penguji yang telah memberikan koreksi dan masukan selama penulisan skripsi.
- 4. Iqbal Firdaus, S.Si., M.Si. selaku pembimbing laboratorium yang telah membantu dalam melakukan penelitian ini.
- 5. Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, M.T. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
- 6. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.

7. Drs. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D. sebagai pembimbing akademik yang memberikan masukan-masukan serta nasehat selama masa studi di Jurusan Fisika.

8. Orang tua penulis, Bapak Deni Indra dan Ibu Herlinda Wati yang selalu memberikan cinta kasih, dukungan, pengorbanan dan doa untuk penulis.

Adik penulis, Dinda Aulia Natasya, Adelia Amanda dan Naura Aishila
 Rahma yang telah mendoakan dan menghibur penulis.

10. Teman seperjuangan tim penelitian ilmenit Yudhistira Novita Handayani dan Anggi Sevani sebagai teman diskusi yang selalu ada dan saling menyemangati dikala putus asa.

11. Yudhis, Rifa, Heni dan Letha yang selalu ada disaat senang dan susah serta menjadi kawan diskusi yang baik. Serta teman-teman kosan 10 a yang selalu memberikan dukungan.

12. Teman-teman seperjuangan Fisika 2017 yang telah memberikan semangat.

13. Serta semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat penulis tuliskan satu persatu.

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan dan niat baik yang telah diberikan. Aamiin.

> Bandar Lampung, 24 November 2021 Penulis

Nadia Febriyanti

DAFTAR ISI

A D	BSTRAK	Halaman :
AD	DSTRAK	1
AB	BSTRACT	ii
HA	ALAMAN SAMPUL	iii
LE	EMBAR PERSETUJUAN	iv
LE	EMBAR PENGESAHAN	v
PE	ERNYATAAN	vi
RI	IWAYAT HIDUP	vii
M(отто	ix
PE	ERSEMBAHAN	X
KA	ATA PENGANTAR	xi
SA	ANWACANA	xii
DA	AFTAR ISI	xiv
DA	AFTAR GAMBAR	xvi
DA	AFTAR TABEL	xviii
I.	PENDAHULUAN	
	1.1 Latar Belakang	
	1.2 Rumusan Masalah	
	1.3 Tujuan Penelitian	
	1.4 Batasan Masalah	
	1.5 Manfaat Penelitian	5

II. TINJAUAN PUSTAKA

	2.1	Ilmenit	6
	2.2	Titanium Dioksida (TiO ₂)	7
		Lapisan Tipis	
		Chemical Bath Deposition (CBD)	
		X-Ray Diffraction (XRD)	
	2.6	Scanning Electron Microscopy (SEM)	18
		Pengukuran Resistivitas	
III.	ME	CTODE PENELITIAN	
		Waktu dan Tempat	
	3.2	Alat dan Bahan	26
		Prosedur Percobaan	
	3.4	Karakterisasi Lapisan Tipis TiO ₂	28
	3.5	Diagram Alir Penelitian	30
IV.	HA	SIL DAN PEMBAHASAN	
	4.1	Hasil Analisis XRD	33
	4.2	Hasil Analisis SEM	38
	4.3	Hasil Pengukuran Resistivitas	40
V.	KE	SIMPULAN DAN SARAN	
	5.1	Kesimpulan	43
		Saran	
DA]	FTA	R PUSTAKA	45
T.A 1	МРІ	RAN	51

DAFTAR GAMBAR

Combon 2.1		Halaman
Gambar 2.1.	Struktur kristal TiO ₂ (anatase)	8
Gambar 2.2.	Struktur kristal TiO ₂ (rutil)	9
Gambar 2.3.	Struktur kristal TiO ₂ (brukit)	9
Gambar 2.4.	Skema metode CBD	13
Gambar 2.5.	Skema difraksi sinar-X	15
Gambar 2.6.	Skema dasar XRD	17
Gambar 2.7.	Skema SEM	18
Gambar 2.8.	Gambaran sederhana dari garis-garis arus listrik dan permukaan ekipotensial	22
Gambar 2.9.	Skema dua elektroda arus dan potensial yang terletak pada suatu permukaan.	23
Gambar 2.10.	Diagram pengukuran resistivitas sampel	24
Gambar 3.1.	Diagram alir penelitian	31
Gambar 4.1.	Serbuk hasil ekstraksi TiO ₂ dari ilmenit Lampung dengan kemurnian 60,701%	32
Gambar 4.2.	Hasil xrd serbuk hasil ekstraksi TiO ₂ dari ilmenit Lampung	33
Gambar 4.3.	Hasil refinement serbuk ekstraksi TiO ₂ dari ilmenit Lampung	35
Gambar 4.4.	Hasil xrd lapisan tipis TiO ₂	36
Gambar 4.5.	Morfologi permukaan lapisan tipis TiO ₂ dengan waktu pelapisan	38

Gambar 4.6.	Penampang melintang antara lapisan tipis TiO ₂ dengan
	substrat kaca pada sampel dengan waktu pelapisan 3 jam 40
Gambar 4.7.	Grafik hubungan waktu pelapisan dengan besar resistivitas
	rata-rata41

DAFTAR TABEL

	Halamar
Tabel 2.1. Paramater kisi fasa rutil, anatase dan brukit	8
Tabel 4.1. Parameter kisi dari setiap fasa	36

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki beberapa sumber daya mineral, salah satunya adalah ilmenit. Ilmenit merupakan salah satu sumber utama unsur Titanium (Ti) yang terdapat di alam. Ilmenit (FeTiO₃) terdiri dari kombinasi mineral titanium, besi, dan mineral lainnya. Besi dipisahkan dari ilmenit untuk mendapatkan TiO₂ dalam jumlah besar (Wahyuningsih *et al.*, 2016). Titanium dioksida (TiO₂) merupakan material yang banyak diteliti karena pengaplikasiannya yang luas seperti pada sel surya (Grätzel, 2003), bahan pembatas dalam sensor inframerah (Yusrianto *et al.*, 2010), sensor gas (Sotter *et al.*, 2005), *self cleaning* pada cat (Kusmahetiningsih and Sawatri, 2012), dan fotokatalis (Eufinger *et al.*, 2007). Cukup banyak penelitian yang dilakukan untuk meningkatkan kemurnian TiO₂ hasil ekstraksi dari ilmenit (Li *et al.*, 2007), semua berpusat pada usaha untuk menghilangkan unsur Fe dalam FeTiO₃.

Hasil ekstraksi TiO₂ dari ilmenit ini biasanya digunakan sebagai pigmen, pengisi dalam industri kertas, plastik, karet dan sebagai fluks dalam pembuatan kaca (Zhang *et al.*, 2011). Namun, penggunaan hasil ekstraksi TiO₂ dari ilmenit dalam bentuk lapisan tipis masih jarang digunakan. Penggunaan TiO₂ dalam bentuk lapisan tipis merupakan aspek yang mendapat perhatian besar karena berguna untuk

aplikasi seperti fotokatalis (Weinberger and Garber, 1995), lapisan optik, sensor gas (Manno *et al.*, 1997), dan perangkat elektronik lainnya (Wang and Hu, 1999).

Dalam pembuatan lapisan tipis TiO₂ terdapat beberapa prekursor yang dapat digunakan antara lain yaitu TiCl₃ (Manurung *et al.*, 2013), TiCl₄ (Zhou *et al.*, 2008), TiSO₄ (Elfanaoui *et al.*, 2011) dan titanium butoxide (Wang *et al.*, 2013). Selain itu, prekursor yang dapat digunakan dalam pembuatan lapisan tipis TiO₂ yaitu serbuk TiO₂ yang diekstraksi dari ilmenit (Sahdan *et al.*, 2012).

Penumbuhan lapisan tipis TiO₂ telah berhasil dilakukan dengan berbagai macam metode penumbuhan, seperti *electron-beam evaporation* (Lu *et al.*, 2011), *sputtering* (Tiwary *et al.*, 2014), dan *sol-gel methods* (Pérez-González *et al.*, 2015). Metode penumbuhan lapisan tipis yang lain adalah dengan menggunakan metode *Chemical Bath Deposition* atau CBD (Zhou *et al.*, 2008). Lapisan tipis yang telah berhasil dibuat dengan metode CBD adalah lapisan tipis ZnO (Wang *et al.*, 2012), IrO₂ (Chen *et al.*, 2014), CdS (Robin *et al.*, 2013), PbS (Tohidi *et al.*, 2014), ZnS (Luque *et al.*, 2015) dan TiO₂ (Manurung *et al.*, 2013).

Metode CBD telah digunakan secara luas untuk pengendapan sulfida dan selenida, oksida, dan senyawa terner (Eze and Okeke, 1997). CBD merupakan teknik pembuatan lapisan tipis pada substrat dengan mencelupkan substrat ke dalam larutan kimia (Nadeem and Waqas, 1999). Kelebihan metode CBD adalah memiliki biaya pemrosesan yang relatif murah, dapat menghasilkan lapisan senyawa oksidalogam pada suhu yang rendah, ramah lingkungan, dan mampu dideposisikan pada permukaan substrat dengan ukuran yang luas (More *et al.*, 2008).

Lapisan tipis TiO₂ yang terbentuk dengan menggunakan metode CBD dapat dipengaruhi oleh pH larutan (Selman *et al.*, 2014), frekuensi pelapisan (Manurung *et al.*, 2013) dan waktu pelapisan (Firman, 2016). Selain itu, lapisan tipis TiO₂ yang terbentuk juga dipengaruhi oleh suhu kalsinasi yang digunakan. Waktu pelapisan yang digunakan pada metode CBD mempengaruhi struktur mikro, struktur kristal, dan juga nilai resistivitas dari lapisan tipis TiO₂ yang terbentuk. Pada penelitian yang dilakukan oleh Firman (2016) dalam pembuatan lapisan tipis TiO₂ menggunakan metode CBD pada substrat FTO dengan prekursor TiCl₃ diperoleh lapisan tipis dengan fasa anatase-rutil pada waktu pencelupan 1 dan 2 jam. Pada penelitian yang dilakukan oleh Mayabadi *et al.* (2014) untuk pembuatan lapisan tipis TiO₂ menggunakan metode CBD pada substrat kaca dengan prekursor TiCl₃ dengan memvariasikan waktu pelapisan menunjukkan bahwa semakin lama pelapisan maka didapatkan lapisan tipis TiO₂ dengan fasa rutil murni.

Berdasarkan paparan diatas, maka dilakukan penelitian mengenai proses pembuatan lapisan tipis TiO₂ berbasis ilmenit Lampung menggunakan metode CBD dengan variasi waktu pelapisan yaitu 2, 3, 4, dan 5 jam. Lapisan tipis TiO₂ yang dihasilkan akan dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui struktur mikro dan dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur kristal. Kemudian akan dicari nilai reistivitas dari lapisan tipis TiO₂ yang terbentuk menggunakan metode empat titik (*four probe*) untuk mengetahui sifat bahan lapisan tipis TiO₂ yang dihasilkan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- 1. Bagaimana struktur kristal dari serbuk hasil ekstraksi TiO₂ dari ilmenit Lampung dan juga lapisan tipis TiO₂ yang terbentuk?
- 2. Bagaimana morfologi dan ketebalan dari lapisan tipis TiO₂ yang terbentuk?
- 3. Berapakah nilai resistivitas lapisan tipis TiO₂ yang diperoleh?
- 4. Bagaimana pengaruh waktu pelapisan terhadap nilai resistivitas lapisan tipis TiO₂ yang terbentuk?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- 1. Mengetahui struktur kristal dari serbuk hasil ekstraksi TiO_2 dari ilmenit Lampung dan juga lapisan tipis TiO_2 yang terbentuk.
- 2. Mengetahui morfologi dan ketebalan dari lapisan tipis TiO₂ yang terbentuk.
- 3. Mengetahui besar nilai resistivitas lapisan tipis TiO₂ yang diperoleh.
- Mengetahui pengaruh waktu pelapisan terhadap nilai resistivitas lapisan tipis
 TiO₂ yang terbentuk.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Lapisan tipis TiO₂ akan dibuat pada substrat kaca.

- 2. Waktu pelapisan lapisan tipis TiO₂ dilakukan pada variasi 2, 3, 4 dan 5 jam.
- 3. Lapisan TiO₂ akan dikalsinasi pada suhu 500°C selama 4 jam.
- 4. Lapisan TiO₂ akan diakarakterisasi menggunakan SEM dan XRD.
- 5. Lapisan TiO₂ akan dihitung nilai resistivitasnya menggunakan metode empat titik.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- 1. Memberikan informasi tentang pembuatan lapisan tipis TiO_2 dengan menggunakan prekursor serbuk hasil ekstraksi TiO_2 dari ilmenit Lampung yang diperoleh dari alam.
- Memberikan alternatif mengenai cara pembuatan lapisan tipis TiO₂ dengan menggunakan metode CBD yang ekonomis.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ilmenit

Ilmenit ditemukan tahun 1827 dan diberi nama sesuai lokasi pertama ditemukan mineral ini yaitu di danau Ilmen, pegunungan Miask, selatan Ural Rusia. Ilmenit dapat digunakan langsung untuk membuat pigmen atau logam titanium. Ilmenit merupakan unsur terpenting dalam ekstraksi unsur titanium. Secara komposisi ilmenit terdiri atas 36,80% Fe, 31,57% Ti, dan 31,63% O atau 52,66% TiO₂ dan 47,33% FeO. Batuan maupun pasir ilmenit terbentuk karena kejadian alam, sehingga sering terjadi kerusakan pada susunan kristalnya dan mengakibatkan persentase massa yang ada tidak sama dengan teori. Oleh karena itu, umumnya kandungan TiO₂ dalam ilmenit adalah antara 33-65% (Graha, 1987).

llmenit (FeTiO₃) ditemukan berupa bijih atau berupa pasir yang mengandung mineral logam berat (Setiawati, 2013). Ilmenit merupakan bentuk spinel dari besi oksida dan titanium oksida, sehingga tidak memungkinkan untuk memisahkan besi dari titanium pada ilmenit menggunakan pemisahan fisika. Besi dipisahkan dari permukaan ilmenit untuk mendapatkan TiO₂ dalam jumlah besar. Proses yang dilakukan untuk meningkatkan kadar kemurnian TiO₂ dalam ilmenit melibatkan teknologi pirometalurgi, hidrometalurgi dan elektrometalurgi (Zhang *et al.*, 2011).

Cukup banyak penelitian yang dilakukan untuk meningkatkan kadar TiO₂ hasil ekstraksi dari ilmenit (Li *et al.*, 2007), semua berpusat pada usaha untuk menghilangkan unsur Fe dalam FeTiO₃. Pada penelitan yang dilakuan oleh Said (2016), serbuk TiO₂ yang diekstraksi dari ilmenit digunakan sebagai prekursor pembuatan lapisan tipis TiO₂.

2.2 Titanium Dioksida (TiO₂)

Titanium dioksida adalah jenis logam oksida disebut juga sebagai titanium (IV) oksida atau titania. Material ini merupakan material oksida alami dari titanium, dengan rumus kimia TiO₂. Bahan ini merupakan padatan berwarna putih dengan indeks bias sangat tinggi dan titik lebur 1855°C. Titanium dioksida tidak larut dalam air, HCl (asam klorida), HNO₃, asam sulfat encer, dan alkohol, namun larut dalam asam sulfat pekat membentuk titanium sulfat (TiSO₄) dan asam florida (Cutton and Wilkinson, 1988). TiO₂ merupakan suatu material yang memiliki beberapa keunggulan diantaranya tidak beracun, inert, memiliki aktivitas fotokatalis yang baik, tidak larut dalam air, semikonduktor dengan *band gap* yang lebar, dan memiliki sifat optik yang baik (Wei *et al.*, 2013).

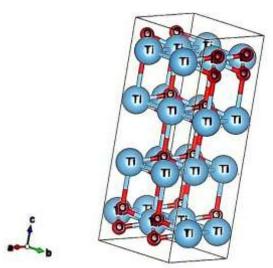
Titania memiliki tiga fasa yaitu anatase, rutil, dan brukit. Berdasarkan bentuk kristalnya yang paling umum, kristal TiO₂ memiliki bentuk tetragonal pada struktur anatse dan rutil, dan orthorombik pada struktur brukit. Massa jenis fasa anatase adalah 3,830 g/cm³, massa jenis fasa rutil adalah 4,240 g/cm³ dan massa jenis fasa brukit adalah 4,170 g/cm³. TiO₂ memiliki bandgap 3,2 eV untuk fasa anatase dan

untuk fasa rutil memiliki bandgap 3 eV (Linsebigler, 1995). Parameter kisi dari ketiga fasa titanium dioksida ditampilkan pada Tabel 2.1.

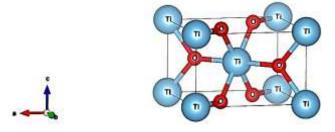
Tabel 2.1. Paramater kisi fasa rutil, anatase dan brukit (Khataee *et al.*, 2012)

Struktur	Sistem	P	(nm)	
Kristal	Kristal	а	b	\boldsymbol{c}
Rutil	Tetragonal	0,4594	0,4594	0,2959
Anatase	Tetragonal	0,3796	0,3796	0,9444
Brukit	Ortorombik	0,9174	0,5449	0,5138

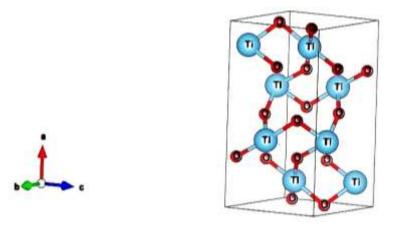
Struktur kristal TiO₂ dapat digambarkan menggunakan software VESTA seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.1, 2.2, dan 2.3.



Gambar 2.1. Struktur kristal TiO₂ (anatase). Model TiO₂ yang digunakan adalah TiO₂ sistem tetragonal dengan parameter kisi a=b=3,796 Å dan c=9,444 Å (Djerdj dan Tonejc, 2006). Software yang digunakan untuk membuat permodelan adalah VESTA.



Gambar 2.2. Struktur kristal TiO₂ (rutil). Model TiO₂ yang digunakan adalah TiO₂ sistem tetragonal dengan parameter kisi a = b = 4,594 Å dan c = 2,959 Å (Howard *et al.*, 1991). Software yang digunakan untuk membuat permodelan adalah VESTA.



Gambar 2.3. Struktur kristal TiO_2 (brukit). Model TiO_2 yang digunakan adalah TiO_2 sistem orthorombik dengan parameter kisi a=9,174; b=5,449 Å dan c= 5,138 Å. Software yang digunakan untuk membuat permodelan adalah VESTA.

Gambar 2.1, 2.2, dan 2.3 menunjukkan struktur kristal fasa anatase, rutil, dan brukit dari TiO₂. Ti⁺⁴ ditunjukkan pada bulatan besar yang berwarna biru dan O⁻² ditunjukkan pada bulatan kecil yang berwarna merah. Fasa anatase dan brukit bersifat metastabil, fasa tersebut dapat berubah menjadi rutil ketika mendapat perlakuan suhu lebih tinggi. Anatase lebih fotoaktif dibanding dengan rutil, hal ini dikarenakan anatase memiliki luas permukaan yang lebih besar dari pada rutil sehingga sisi aktif anatase lebih besar (Su *et al.*, 2004). Rutil dan anatase memiliki

struktur tetragonal dan brukit memiliki strukrur kristal orthohombic. Struktur anatase-brukit berubah menjadi fasa rutil setelah mencapai ukuran partikel yang sesuai. Pertumbuhan fasa rutil lebih cepat dari anatase (Carp *et al.*, 2004). Untuk beberapa aplikasi, rutil paling banyak digunakan karena memiliki sifat fisik yang unik, misalnya berkilau dan tahan terhadap korosi.

Titanium dioksida (TiO₂) merupakan material yang banyak diteliti karena pengaplikasinya yang luas yaitu pada sel surya (Grätzel, 2003), bahan pembatas dalam sensor inframerah (Yusrianto *et al.*, 2010), sensor gas (Sotter *et al.*, 2005), *self cleaning* pada cat, dan fotokatalis (Jitputti *et al.*, 2008).

2.3 Lapisan Tipis

Lapisan tipis adalah suatu lapisan bahan organik, anorganik, metal maupun campuran metal-organik dengan ketebalan dalam orde nm (nanometer) hingga μm (mikrometer) yang dapat memiliki sifat-sifat sebagai konduktor, semikonduktor, maupun isolator. Lapisan tipis juga dapat didefinisikan sebagai bahan material dengan dimensi rendah yang dibentuk oleh kondensasi partikel jenis atom, molekul atau ion dengan ketebalan berkisar antara 10⁻⁶ hingga 10⁻⁹ meter. Bila dibandingkan dengan substratnya, ketebalan ini tergolong sangat tipis (Ohya *et al.*, 1996).

Proses pembentukan lapisan tipis pada substrat secara garis besar terdiri dari empat tahap, yaitu sumber, transportasi material ke substrat, deposisi lapisan di atas substrat dan analisis. Sumber material dapat berbentuk padat, cair, uap atau gas yang ditransportasikan ke substrat. Tahap transport menentukan keseragaman yang bergantung pada medium transport (dalam vakum tinggi atau fluida). Tahap berikutnya dalam proses pembentukan lapisan tipis adalah deposisi/kondensasi yang membentuk lapisan padat pada permukaan substrat. Nukleasi dan pertumbuhan lapisan tipis bergantung pada berbagai kondisi deposisi. Kondisi deposisi ditentukan oleh sumber, transport dan permukaan substrat. Analisis merupakan tahap terakhir dalam proses deposisi yang meliputi pengukuran sifat-sifat lapisan tipis yang penting untuk aplikasinya (Sutanto and Nurhasanah, 2012).

Dari segi aplikasi secara umum, lapisan tipis telah menjangkau berbagai bidang ilmu. Dalam bidang konstruksi terutama yang berkaitan dengan bahan logam, lapisan tipis digunakan sebagai bahan untuk meningkatkan daya tahan bahan terhadap korosi. Pada bidang elektronika, lapisan tipis digunakan untuk membuat kapasitor, semikonduktor dan sensor (Iftimie *et al.*, 2009).

Lapisan tipis semikonduktor banyak digunakan sebagai piranti alat elektronik dan optoelektronik. Salah satu material lapisan tipis yang digunakan dalam piranti optoelektronik adalah semikonduktor lapisan tipis silikon amorf terhidrogenisasi. Material tersebut memiliki sifat listrik, optik dan struktur yang unik yang dapat memberikan solusi pada hampir semua persoalan elektronika. Salah satu bahan lapisan tipis yang popular saat ini adalah lapisan tipis titanium dioksida. Lapisan tipis TiO₂ memiliki daya tarik tersendiri di bidang industri dan penelitian, karena lapisan TiO₂ memiliki potensi besar dalam hal aplikasi elektronika dan memiliki efisiensi yang baik pada fotokatalis (Fujhisima *et al.*, 2000).

2.4 Chemical Bath Deposition (CBD)

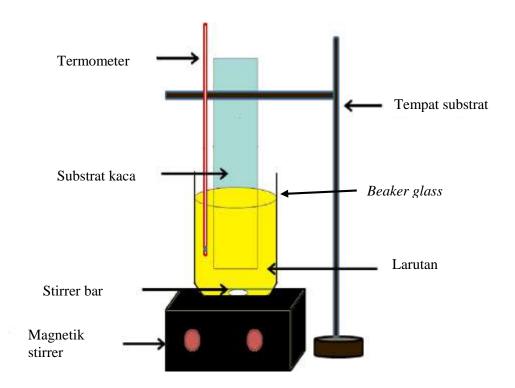
CBD merupakan salah satu dari berbagai macam jenis teknik deposisi yang sudah lazim digunakan. CBD merupakan teknik pendeposisian lapisan tipis pada substrat yang dicelupkan dalam larutan kimia(Nadeem and Waqas, 1999).

Metode CBD diperkenalkan pertama kali pada tahun 1980 oleh R.L Call. Saat itu R.L Call membuat lapisan tipis ZnO. Metode ini kemudian dikembangkan oleh peneliti lain dan menggunakan material lain. Metode CBD merupakan salah satu cara fabrikasi lapisan tipis, metode ini memanfaatkan reaksi kimia untuk mendeposisikan prekursor kesubstrat. Metode CBD merupakan metode yang sederhana dan murah serta dilakukan pada suhu yang rendah (25°C-90°C). Dengan metode ini juga berbagai lapisan dapat dibuat. Pada tahun 1991 dilaporkan bahwa lebih dari 35 bahan senyawa dapat dibuat dengan metode ini (Nadeem and Waqas, 1999). Lapisan tipis yang telah berhasil dibuat dengan metode CBD adalah lapisan tipis dari ZnO (Wang et al., 2012), IrO₂ (Chen et al., 2014), CdS (Robin et al., 2013), PbS (Tohidi et al., 2014), ZnS (Luque et al., 2015), dan TiO₂ (Manurung et al., 2013). Teknik deposisi kimia pada metode CBD memberikan cakupan pendeposisian pada permukaan substrat dengan ukuran yang luas, sehingga dipilih untuk membuat lapisan tipis dengan keberhasilan yang tinggi.

Pembentukan lapisan tipis dengan metode CBD yaitu melalui proses kondensasi ion-ion prekursor pada substrat atau dengan adsorpsi partikel koloid pada substrat (Lokhande *et al.*, 2004). Lapisan tipis akan terdeposisi pada substrat melalui proses hidrolisis yang lambat. Pertumbuhan dengan metode CBD merupakan jenis

pertumbuhan dengan proses nukleasi heterogen pada permukaan substrat atau proses nukleasi yang homogen pada larutan (Wang *et al.*, 2013).

Deposisi pertumbuhan lapisan tipis dibagi menjadi dua, yaitu pertumbuhan secara epitaksial dan difusi. Pertumbuhan epitaksial merupakan pertumbuhan dengan arah ke atas, terjadi ketika atom-atom terdeposisi saling bertumpukan selama proses deposisi. Sedangkan pertumbuhan difusi yaitu pertumbuhan dengan arah pertumbuhan ke atas maupun ke bawah. Pada proses CBD dalam proses deposisinya pertumbuhan lapisan tipis secara epitaksial. Laju pertumbuhan dengan laju linier dan parabolik. Adapun skema metode CBD dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Skema metode CBD (Hamid et al., 2019).

Gambar 2.4 menunjukkan proses CBD, pada proses tersebut substrat kaca yang akan dideposisi dicelupkan secara vertikal ke dalam larutan kompleks. Substrat

direndam pada larutan yang diaduk dan suhu pada larutan dikontrol. Pertumbuhan lapisan tipis TiO₂ dipengaruhi oleh pH larutan (Selman *et al.*, 2014), frekuensi pelapisan (Manurung *et al.*, 2013) dan waktu pelapisan (Firman, 2016).

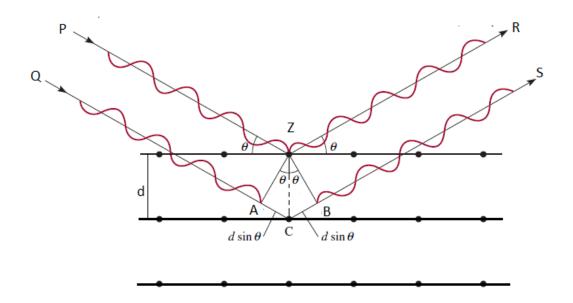
Dibandingkan dengan metode *physical deposition* (*sputtering* DC atau *radio* frequency, Pulsed Laser Deposition (PLD)), metode CBD mempunyai kelebihan yaitu memiliki biaya pemrosesan yang rendah dan lapisan tipis yang terbentuk memiliki kualitas yang sama dengan metode *physical deposition*. Selain itu, dengan CBD dapat diproduksi lapisan tipis dengan suhu pemerosesan yang rendah, mampu mendeposisikan pada substrat dengan ukuran yang luas (More *et al.*, 2008), dan ramah lingkungan.

2.5 X-Ray Diffraction (XRD)

Sinar-X pertama kali ditemukan oleh Wilhelm Rontgen pada tahun 1895. Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang ($\lambda=0.1$ nm) yang lebih pendek dibandingkan dengan gelombang cahaya ($\lambda=400$ -800 nm) (Smallman dan Bishop, 2000). Panjang gelombang sinar-X hampir sama dengan jarak antara atom dalam kristal, menyebabkan sinar-X menjadi salah satu teknik dalam analisis mineral (Suryanarayana and Norton, 1998).

XRD merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Difraksi sinar-X digunakan untuk menentukan struktur kristal dari bahan yang tidak diketahui (Smallman and Bishop, 2000).

Syarat agar sinar-X yang dihamburkan merupakan berkas difraksi, yaitu sinar tersebut harus sesuai dengan Hukum Bragg. Berdasarkan Hukum Bragg, jika seberkas sinar-X dijatuhkan pada bahan kristal, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antarkisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi (Cullity, 1978). Skema difraksi sinar-X berdasarkan Hukum Bragg ditampilkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Skema difraksi sinar-X (Cullity, 1978).

Pada Gambar 2.5, sinar datang P akan menumbuk titik Z dan kemudian sinar dibelokkan. Begitu juga pada sinar datang Q akan menumbuk titik C dengan panjang gelombang AC+CB. Dengan jarak tempuh sinar PZR sama dengan jarak tempuh sinar QCS, maka diperoleh:

$$\lambda = AC + CB \tag{2.1}$$

$$\sin \theta = \frac{AC}{ZC} = \frac{AC}{d} \tag{2.2}$$

$$d\sin\theta = AC \tag{2.3}$$

Karena AC=CB, maka diperoleh:

$$\lambda = 2AC \tag{2.4}$$

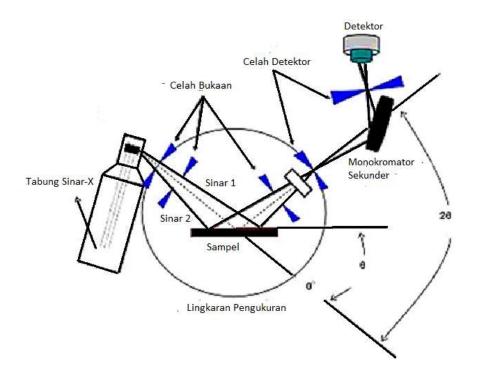
Kemudian persamaan (2.4) disubstitusikan ke persamaan (2.3), sehingga diperoleh:

$$d\sin\theta = \frac{1}{2}\lambda$$

$$2d\sin\theta = \lambda \tag{2.5}$$

dengan λ adalah panjang gelombang (Å), d adalah jarak antar bidang (m) dan θ adalah sudut difraksi (Cullity, 1978).

Apabila suatu berkas sinar-X dilewatkan pada suatu bahan maka akan terjadi penyerapan dan penghamburan berkas sinar oleh atom-atom dalam bahan tersebut. Berkas sinar-X yang jatuh dihamburkan ke segala arah, tetapi karena keteraturan letak atom-atom pada arah-arah tertentu gelombang hambur itu akan mengalami interferensi konstruktif (mengalami penguatan), sedangkan yang lain akan mengalami interferensi deskruktif (mengalami penghilangan) (Cullity, 1978). Adapun skema mesin XRD ditampilkan pada Gambar 2.6.



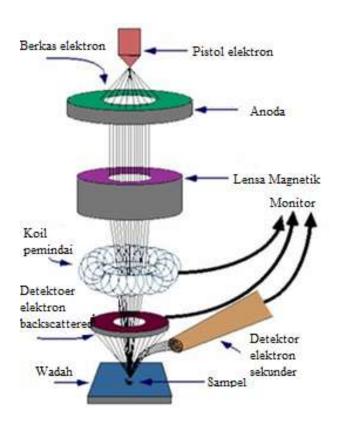
Gambar 2.6. Skema mesin XRD (Cullity, 1978).

Pada Gambar 2.6 ditampilkan skema mesin XRD yang terdiri dari tabung, celah, sampel dan detekor. Sinar-X dihasilkan oleh tabung sinar-X, kemudian sinar-X melewati celah yang berfungsi untuk mengarahkan sinar-X kesampel. Pada saat seberkas sinar-X yang terarah jatuh pada sampel dengan sudut θ , maka sebuah detektor diletakkan untuk mencatat sinar yang sudut hamburnya juga θ . Setiap sinar-X yang sampai ke detektor memenuhi syarat pertama Bragg. Ketika sudut diubah, detektor akan mencatat puncak intensitas yang bersesuaian dengan orde yang dituliskan dalam persamaan (2.5), jika jarak antar bidang Bragg yang berdekatan dalam kristal diketahui, maka panjang gelombang sinar-X akan diketahui. Lingkaran pengukur digunakan untuk mengukur sudut kemiringan sampel terhadap sinar-X, sehingga setiap kemiringan sampel memiliki intensitas yang berbeda. Data yang diperoleh dari XRD berupa intensitas difraksi sinar-X

yang terdifraksi dan sudut-sudut 2θ . Tiap pola yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu (Cullity, 1978).

2.6 Scanning Electron Microscopy (SEM)

SEM digunakan untuk mengamati dan menganalisis struktur mikro dan morfologi berbagai material. Hasil yang diperoleh berupa *scanning electron micrograph* yang menyajikan bentuk tiga dimensi berupa gambar atau foto. Keunggulan SEM dibandingkan dengan mikroskop optik adalah tingkat perbesaran yang tinggi 25-25.000 kali atau sampai ukuran partikel 1-5 nm dan memiliki fokus kedalaman yang lebih besar (Griffin and Nix, 1991). Skema dasar SEM ditampilkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Skema SEM (Griffin and Nix, 1991).

Pada Gambar 2.7 ditampilkan skema SEM. Pistol elektron merupakan sumber elektron dari bahan material yang menggunakan energi tegangan tinggi sekitar 10-40 kV. Material yang biasa digunakan yaitu tungsten dan Lantanum atau Hexaboride cerium (LaB₆ atau CeB₆). Tungsten merupakan material yang biasa digunakan sebagai pistol elektron dalam SEM. Energi panas pada bahan material akan diubah menjadi energi kinetik oleh elektron sehingga ada pergerakan elektron. Semakin besar panas yang diterima maka energi kinetiknya akan semakin besar sehingga pergerakan elektron semakin cepat dan tidak menentu yang mengakibatkan elektron tersebut terlepas dari permukaan bahan material (Griffin and Nix, 1991).

Bahan yang digunakan sebagai sumber elektron disebut sebagai emitter atau lebih sering disebut katoda sedangkan bahan yang menerima elektron disebut sebagai anoda atau plate dalam instrument SEM. Lensa magnetik terdiri dari dua buah kodensator yang berfungsi untuk menfokuskan arah elektron. Selain itu, lensa magnetik juga berfungsi untuk menguatkan elektron sehingga informasi gambar yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik. Koil pemindai berfungsi untuk mengumpulkan berkas sinar elektron, karena pada dasarnya elektron yang dipancarkan ke sampel tidak terjadi secara kontinu melainkan berupa paket-paket energi. Setelah terjadi tumbukan antara elektron dan sampel, detektor akan merekam interaksi yang terjadi pada sampel. Detektor *secondary electron* (SE) merupakan sintilator yang akan menghasilkan cahaya jika mengenai elektron, cahaya tersebut akan dikonversi menjadi sinyal elektrik oleh photomultipler. Pada sintilator terdapat potensial positif yang digunakan untuk mempercepat aliran SE, sehingga SE yang memiliki energi rendah (beberapa volt) dapat ditangkap oleh

detektor dengan baik. Sementara detektor *backscatered electron* (BSE) yang juga terdapat sintilator dapat menerima sinyal BSE tanpa adanya beda potensial, karena pada dasarnya BSE sudah memiliki energi yang cukup tingi untuk diterima oleh detekor BSE (Griffin and Nix, 1991).

SE adalah sebuah pancaran elektron yang dihasilkan akibat interaksi elektron dengan sampel. SE berasal dari interaksi elektron yang energinya rendah (kurang dari 50 eV) dan hanya mampu berinteraksi pada permukaan sampel, maka informasi yang dapat diambil dari SE yaitu mencakup bentuk permukaan sampel (topografi). BSE dihasilkan oleh interaksi elektron yang memiliki energi tinggi sebagai akibat adanya hamburan elastik. Energi yang dimiliki elektron ini mampu berinteraksi dengan sampel hingga menembus lapisan permukaan sampel. Informasi yang diperoleh dari elektron BSE mencakup morfologi struktur pada bahan material (Griffin and Nix, 1991).

Untuk mengetahui ketebalan lapisan tipis dengan menggunakan SEM, sampel dipotong secara melintang dan kemudian diikat dengan epoxy dan dipoles dengan hati-hati. Pengukuran dilakukan dengan mengatur sudut pengamat secara hati-hati sehingga dapat dilihat secara tepat penampang melintangnya.

2.7 Pengukuran Resistivitas

Resistivitas adalah suatu nilai tahanan jenis yang ada pada suatu material. Konsep dasar pengukuran resistivitas adalah hukum ohm. Hukum ohm dapat dituliskan seperti pada persamaan dibawah ini:

$$R = \frac{V}{I} \tag{2.6}$$

dengan R adalah resistansi bahan (ohm), I adalah besar kuat arus (ampere), dan V adalah besar tegangan (volt). Hukum Ohm menyatakan bahwa potensial atau tegangan antara ujung-ujung penghantar adalah sama dengan hasil kali resistansi dan kuat arus. Hal ini diasumsikan bahwa R tidak tergantung I, bahwa R adalah konstan (tetap). Hubungan antara besar arus listrik dan resistivitas penghantar dapat dituliskan seperti pada persamaan berikut:

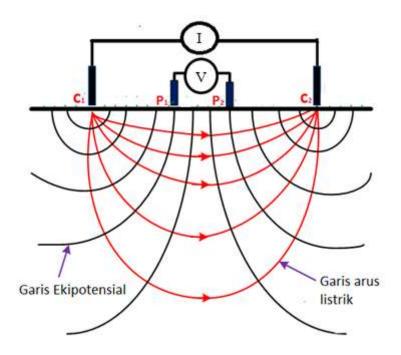
$$I = \frac{A}{\rho l} \Delta V \tag{2.7}$$

Dari persamaan 2.7 dengan mengacu pada persamaan hukum ohm, maka dapat diketahui nilai tahanan dari penghantar yaitu:

$$R = \rho \, \frac{l}{A} \text{ atau } \rho = R \frac{A}{l} \tag{2.8}$$

dengan R adalah resistansi (ohm), ρ adalah resistivitas penghantar (ohmmeter), adalah panjang penghantar (meter) dan A adalah luas penampang penghantar (m²) (Jati and Priyambodo, 2010). Resistivitas (ρ) dan konduktivitas (σ) adalah besaranbesaran yang menjelaskan mengenai baik atau buruknya bahan-bahan atau material-material dalam menghantar listrik (Suyoso, 2003).

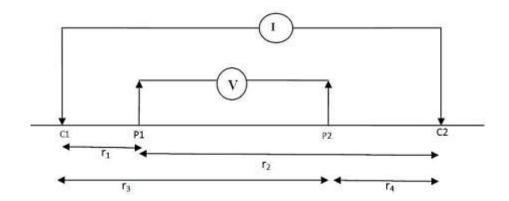
Pengukuran resistivitas pada sampel dilakukukan dengan metode empat titik. Metode uji empat titik adalah salah satu metode yang digunakan untuk menghitung nilai resistivitas dari suatu bahan konduktor maupun semikonduktor. Pada metode ini arus listrik diinjeksikan melalui elektroda arus yang menghasilkan garis-garis aliran arus listrik dan permukaan ekipotensial, seperti pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Gambaran sederhana garis-garis arus listrik dan permukaan ekipotensial.

Pada Gambar 2.8, arus lisrik yang diinjeksikan berarah radial keluar dari elektroda dan membangkitkan permukaan ekipotensial yang arahnya tegak lurus dengan garis-garis arus listrik dan berbentuk setengah bola. Garis-garis permukaan ekipotensial inilah yang menyebabkan terjadinya perbedaan potensial di permukaan bahan yang dapat terukur oleh voltmeter (William, 2007).

Teknik pengukuran reistivitas dengan metode empat titik ini menggunakan empat buah elektroda, 2 elektroda diujung sebagai sumber arus masuk dan 2 elektroda didalam sebagai nilai tegangan keluar, seperti Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Skema dua elektroda arus dan potensial yang terletak pada suatu permukaan.

Dari Gambar 2.9, arus listrik diinjeksikan melalui elektroda arus yaitu C_1 dan C_2 . Sedangkan pengukuran tegangan yang terjadi diukur melalui elektroda beda potensial yaitu P_1 dan P_2 . Pada elektroda P_1 , potensial listrik yang dihasilkan oleh elektroda P_1 bernilai positif yaitu sebesar $\rho \frac{I}{2\pi r_1}$. Sedangkan potensial listrik pada elektroda P_1 yang dihasilkan oleh elektroda P_2 benilai negatif yaitu sebesar P_3 , sehingga besar potensial listrik pada elektroda P_3 sebesar:

$$V_{P_1} = \rho \frac{I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \tag{2.9}$$

Demikian pula pada elektroda P_2 , potensial listrik dihasilkan oleh elektroda arus listrik C_1 dan C_2 , sehingga besar potensial listrik pada elektroda P_2 adalah sebesar:

$$V_{P_2} = \rho \frac{I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \tag{2.10}$$

Setelah diperoleh nilai potensial listrik pada elektroda P_1 dan elektroda P_2 , beda potensial listrik antara elektroda P_1 dan P_2 adalah sebesar:

$$\Delta V = \rho \frac{I}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]$$
 (2.11)

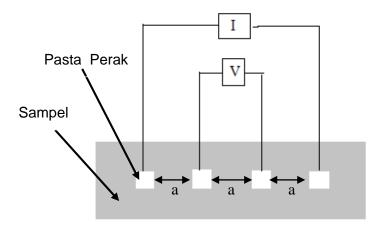
Merujuk pada persamaan (2.7) hubungan antara beda potensial dan tahanan jenis dapat ditulis sebagai berikut:

$$\rho = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]} \frac{\Delta V}{I}$$
 (2.12)

atau

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I}, \operatorname{dengan} K = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]}$$
 (2.13)

dengan ρ adalah resistivitas (Ω m), K adalah faktor geometri (cm), V adalah beda potensial listrik (Volt) dan I adalah kuat arus (Ampere) (Kearey et~al., 2002). Adapun diagram pengukuran resistivitas sampel pada penelitian ini ditampilkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Diagram pengukuran resistivitas sampel.

Berdasarkan salah satu konfigurasi pada pengukuran nilai resistivitas sampel yaitu konfigurasi Wanner, jika nilai a atau jarak antar kawat tembaga yang diletakkan diatas sampel sama panjang, maka didapatkan nilai faktor geometri K yaitu sebesar (Telford $et\ al.$, 1990):

$$K = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)\right]} = 2\pi a \tag{2.14}$$

Kegunaan dari pengukuran nilai resistivitas suatu bahan adalah untuk dapat mengetahui nilai konduktivitasnya yang merupakan kebalikan dari resistivitas. Setelah konduktivitas suatu bahan diketahui, maka sifat dari bahan atau sampel yang kita amati juga dapat diketahui. Sifat bahan yang dimaksud adalah konduktor, semikonduktor, isolator ataupun superkonduktor (Sze, 1985).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret 2021 sampai dengan Mei 2021 yang bertempat di Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Karakterisasi SEM dilakukan di Laboratorium Terpadu Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung, karakterisasi XRD dilakukan di Balai Penelitian Teknologi Mineral (BPTM) Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Tanjung Bintang, dan pengujian resistivitas sampel dilakukan di Laboratorium Fisika Inti Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu pipet tetes, gelas beker, labu ukur, erlenmeyer, *ultrasonic cleaner*, spatula, magnetik stirrer, stirrer bar, kertas pH, neraca digital, oven listrik, statif, multimeter, kabel penghubung, catu daya, XRD dan SEM. Adapun bahan yang digunakan pada penelitian yaitu serbuk TiO₂ hasil ekstraksi TiO₂ dari ilmenit Lampung, NaHCO₃, substrat kaca, etanol, HNO₃, aquades dan sabun teepol.

3.3 Prosedur Percobaan

1. Preparasi Substrat Kaca

Substrat kaca dicuci terlebih dahulu dengan sabun teepol dan dibilas dengan air. Kemudian aquades dipanaskan hingga mendidih dan substrat kaca dimasukkan lalu didiamkan selama 15 menit. Setelah itu substrat kaca dipindahkan ke gelas beker yang berisi aquades lalu diletakkan di dalam pembersih *ultrasonic cleaner* selama 15 menit. Dengan langkah yang sama, substrat kaca dipindahkan ke dalam gelas beker yang berisi etanol dan diletakkan kembali ke *ultrasonic cleaner* selama 15 menit. Substrat kaca diambil dan dibilas menggunakan aquades kemudian dikeringkan.

2. Pembuatan Larutan

Sebanyak 0,3 gram serbuk TiO₂ dilarutkan dalam 10 ml etanol dan 20 ml HNO₃. Kemudian diaduk menggunakan magnetik stirrer selama 24 jam. Setelah itu dibuat larutan NaHCO₃ 7% dengan sebanyak 7 g NaHCO₃ ditimbang kemudian dicampurkan kedalam labu ukur yang berisi 100 ml aquades. Larutan NaHCO₃ diteteskan kedalam larutan yang telah distir selama 24 jam hingga mencapai pH 3-4 yaitu pH asam.

3. Pembuatan Lapisan Tipis

Penumbuhan lapisan tipis TiO₂ dilakukan menggunakan metode CBD. Substrat kaca digantungkan menggunakan statif lalu dimasukkan secara vertikal ke dalam beaker glass yang berisi larutan TiO₂. Proses penumbuhan lapisan tipis dilakukan

pada suhu ruang (25°C) dengan laju magnetik stirer konstan. Penumbuhan lapisan tipis TiO₂ dilakukan dengan variasi waktu pelapisan yaitu 2, 3, 4 dan 5 jam dengan 2 kali pelapisan. Kemudian substrat kaca diangkat dan ditiriskan hingga tidak ada larutan yang menetes dan dipanaskan pada suhu 100°C selama 1 jam. Setelah itu, substrat kaca dikalsinasi pada suhu 500°C selama 4 jam.

3.4 Karakterisasi Lapisan Tipis TiO₂

Lapisan tipis TiO₂ yang telah diperoleh dikarakterisasi mikro strukturnya dengan SEM, dikarakterisasi sifat strukturnya dengan XRD, dan juga dilakukan pengukuran resistivitas dengan metode pengukuran empat titik.

1. Karakterisasi dengan XRD

Karakterisasi dengan menggunakan XRD bertujuan untuk mengetahui komposisi fasa pada lapisan tipis TiO₂. Difraksi sinar-X atau XRD merupakan suatu metode analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Difraksi sinar-X digunakan untuk mengukur bentuk dan ukuran kristal, serta penentuan struktur kristal dari bahan yang tidak diketahui. XRD memberikan data-data difraksi dan kuantisasi intensitas difraksi pada sudut-sudut dari suatu bahan. Data yang diperoleh XRD adalah berupa intensitas difraksi sinar-X yang terdifraksi dan sudut-sudut 20. Adapun langkah-langkah yang dilakukan untuk memperoleh pola difraksi sampel yaitu:

- 1. Disiapkan seperangkat difraktometer sinar-X.
- 2. Diatur tegangan sebesar 30 kV dan arus 10 mA.

- 3. Sampel dipasangkan.
- 4. Diisi parameter data kedalam software yang telah terpasang pada difraktometer sinar-X yaitu rentang data difraksi (2θ) adalah 10°-90°C dengan tipe step size 0,05, waktu 1 detik per step dan full scale 0,1 kcps.
- 5. Pengolahan data difraksi dengan menggunakan software yang terpasang pada difraktometer sinar-X.
- Pola difraksi sampel dapat diperoleh secara langsung dan dapat dilihat pada komputer.

2. Karakterisasi dengan SEM

Data hasil karakterisasi yang diperoleh dari analisis morfologi permukaan dengan SEM adalah berupa citra atau foto. Tampilan gambar SEM merupakan tampilan gambar tiga dimensi. Uji SEM ini dilakukan pada sampel yang telah dikalsinasi pada suhu 500°C. Adapun langkah-langkah dalam uji SEM ini yaitu sebagai berikut:

- 1. Sampel yang akan dianalisis disiapkan dan direkatkan pada specimen holder.
- 2. Sampel yang telah dipasang pada holder dibersihkan.
- 3. Sampel dimasukkan ke dalam mesin couting.
- 4. Sampel dimasukkan ke dalam ruang cuplikan.
- 5. Diamati dan diambil gambar pada layar SEM dengan mengatur pembesaran yang diinginkan.
- 6. Pemotretan gambar mikroskopi elektron.

3. Pengukuran Resistivitas Sampel

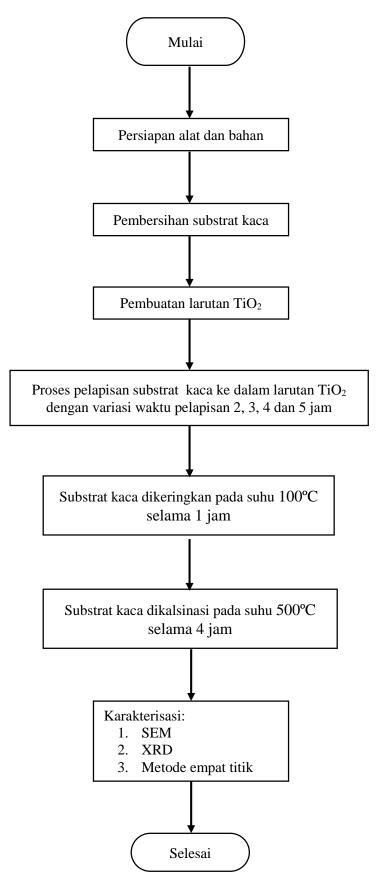
Pengukuran resistivitas pada sampel ini dilakukan untuk mengetahui besar nilai penghantar dari lapisan tipis TiO₂ sehingga bisa digunakan sebagai bahan

semikonduktor. Metode yang digunakan untuk mengetahui resistivitas pada sampel TiO₂ adalah dengan menggunakan metode pengukuran empat titik. Pada proses pengukuran ini tidak dapat secara langsung dilakukan, maka prosedurnya adalah dengan menganggap arus (I) mengalir antara kedua elektroda terluar, dan tegangan (V) diukur melalui kedua elektroda yang didalam. Adapun alat dan bahan yang digunakan untuk pengukuran resistivitas menggunaka metode empat titik yaitu pasta perak, kawat tembaga, power supply, voltmeter, amperemeter, dan penggaris. Langkah-langkah pengukuran sampel yaitu sebagai berikut:

- Diletakkan empat buah kawat tembaga dengan empat buah elektroda pada permukaan sampel menggunakan pasta perak dengan posisi sejajar dan jarak yang sama.
- Dua elektoda terluar dihubungkan dengan amperemeter untuk mengetahui arus
 (I) yang mengalir dan dua elektroda dalam dihubungkan dengan voltmeter untuk mengetahui tegangannya serta power supply untuk mengatur sumber tegangan input.
- 3. Kemudian diukur besarnya arus yang mengalir pada amperemeter dan tegangan pada voltmeter sehingga didapatkan nilai resistivitas masing-masing sampel yaitu menggunakan persamaan (2.13).

3.5 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

- Hasil XRD menunjukan bahwa serbuk hasil ekstraksi TiO₂ dari ilmenit Lampung didominasi oleh fasa rutil dan brukit. Sedangkan untuk lapisan tipis TiO₂ yang dihasilkan masih berstruktur amorf.
- Morfologi pada semua sampel menunjukkan bahwa telah terbentuk struktur berpori. Berdasarkan hasil SEM penampang melintang, pada sampel dengan waktu pelapisan 3 jam memiliki ketebalan lapisan sebesar 7,28 μm.
- 3. Hasil uji resistivitas dengan metode empat titik pada masing-masing sampel yaitu sampel dengan waktu pelapisan 2, 3, 4 dan 5 jam memiliki nilai resistivitas rata-rata sebesar 21,509; 18,808; 28,699 dan $40,161 \times 10^5 \,\Omega cm$.
- 4. Berdasarkan pengukuran resistivitas didapatkan hasil bahwa semakin lama waktu pelapisan maka semakin besar nilai resistivitas rata-ratanya.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penenlitian berikutnya yaitu sebagai berikut:

- 1. Menggunakan serbuk hasil hasil ekstraksi ${\rm TiO_2}$ dari ilmenit Lampung dengan kemurnian yang lebih tinggi.
- 2. Mengganti media penumbuhan lapisan tipis dengan substrat kaca ITO.

DAFTAR PUSTAKA

- Bernardi, M. I. B., Lee, E. J. H., Lisboa-Filho, P. N., Leite, E. R., Longo, E., and Souza, A. G. 2002. Influence of the Growth Parameters of TiO₂ Thin Films Deposited by the MOCVD Method. *Cerâmica*. Vol. 48. Hal. 38–42.
- Carp, O., Huisman, C. L., and Reller, A. 2004. Photoinduced Reactivity of Titanium Dioxide. *Prog in Solid State Chem.* Vol. 32. Hal. 33–117.
- Chen, J., Chen, Y., Sun, Y., Lee, J., Chen, S., Chen, P., and Wu, P. 2014. Chemical Bath Deposition of IrO₂ Films on ITO Substrate. *Ceramics International*. Vol. 40. Hal. 14983-14990.
- Cullity, B. D. 1978. *Elemen of X-Ray Diffraction*. Addison-Wesley Publishing Company. USA.
- Cotton, F. A., and Wilkinson, G. 1988. *Advance Inorganic Chemistry*, 5th edition. John Wiley and Sons. New York.
- Djerdj, I., and Tonejc, A. M. 2006. Structural Investigations of Nanocrystaline TiO₂ Samples. *Journal of Alloys and Compounds*. Vol. 413. Hal. 159-174.
- Elfanaoi, A., Ilhal, A., Taleb, A., Boulkaddat, L., Elhamri, E., Meddah, M., Bouabid, K., and Portair, X. The Synthesis of TiO₂ Thin Film by Chemical Bath Deposition (CBD) Method. *Moroccan Journal of Condensed Matter*. Vol. 13. Hal 95-99.
- Eufinger, K., Poelman, D., Poelman, H., De Gryse, R., and Marin, G. B. 2007. Photocatalytic Activity of DC Magnetron Sputter Deposited Amorphous TiO₂ Thin Films. *Applied Surface Science*. Vol. 254. Hal. 148–152.
- Eze, F. C., and Okeke, C. E. 1997. Chemical-Bath-Deposited Cobalt Sulphide Films: Preparation Effects. *Material Chemistry and Physics*. Vol. 47. Hal. 31-36.

- Firman, A. A. 2016. Pengaruh Waktu Deposisi dalam Sintesis TiO₂ Anatase dengan Metode Chemical Bath Deposition Terhadap Karakteristik Sensor Gas Volatile Organic Compound (Metanol). *Skripsi Fakultas Teknologi Industri*. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Fujishima, A., Rao, T. N., and Tryk, D. A. 2000. Titanium Dioxide Photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*. Vol. 1. Hal 1-21.
- Graha, D. S. 1987. Batuan dan Mineral. NOVA. Bandung.
- Griffin, P., and Nix, P. 1991. *Educational Assessement and Reporting*. Harcout Brace Javanovich. Sydney.
- Grätzel, M. 2003. Review Dye-Sensitized Solar Cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*. Vol. 4. Hal. 145–153.
- Hamdani, M. 1999. Karakterisasi Sifat Listrik Film Tipis (TiO₂): Sifat-Sifat Isolator dan Semikonduktor. *Tesis Fakultas Teknik Metalurgi*. Universitas Indonesia.
- Hamid, Z. A., Hassan, H. B., Hassan, M. A., Mourad, M. A., and Anwar, S. 2019. Effect of Cadmium Sulfide Quantum Dots Prepared by Chemical Bath Deposition Technique on the Performance of Solar Cell. *Egyptian Journal of Chemistry*. Vol. 62. Hal. 1575–1585.
- Howard, C. J., Sabine, T. M., and Dickson, F. 1991. Structural and Thermal Parameters for Rutil and Anatase. *Acta Crystalographica*. Vol. 47. Hal. 462-468.
- Hunter, B. A., and Howard, C. J. 2000. A Computer Program Rietvield Analysis of X-Ray and Neutron Powder Diffraction Pattern. Australian Nuclear Science and Technology Organization. Australia.
- Iftimie, N., Luca, D., Lacomi, F., Girtan, M., and Mardare, D. 2009. Gas Sensing Materials Based on TiO₂ Thin Films. *Journal of Vacuum Science & Technology B.* Vol. 27. Hal. 538-541.
- Jati, B. M. E., and Priyambodo, T. K. 2010. Fisika Dasar. CV Andi Offset. Yogyakarta.
- Jitputti, J., Pavasupree, S., Suzuki, Y., and Yoshikawa, S. 2008. Synthesis of TiO₂ Nanotube and Its Photocatalytic Activity for H₂ Evolution. *Japanese Journal of Applied Physics*. Vol. 47. Hal. 751-756.
- Kearey, P., Brooks, M. and Hill, I. 2002. An Introduction to Geophysical Exploration, Edisi ke-3. Blackweell Science Ltd. USA.

- Khataee, Alireza, and Mansoori, G. W. 2012. *Properties, Preparation and Applications*. Word scientific. Singapore.
- Kusmahetiningsih, N., and Sawitri, D. 2012. Aplikasi TiO₂ Sebagai Self Cleaning Pada Cat Tembok dengan Dispersant Polietilen Glikol (PEG). *Jurnal Teknik Pomits*. Vol. 1. Hal. 1-5.
- Li, C., Liang, B., and Guo, L. 2007. Dissulption of Mechanically Activated Panzhihua Ilmenites in Dilute Solutions of Sulphuric Acid. *Hydrometallurgy*. Vol. 89. Hal. 1-10.
- Linsebigler, A. L., Lu, G., and Yates, J. T. 1995. Photocatalysis on TiO₂ Surfaces: Principles, Mechanism, and Selected Result. *Chemical Reviews*. Vol. 95. Hal. 735-758.
- Lokhande, C. D., Lee, E., Jung, K., and Joo, O. 2004. Room Temperature Chemical Deposition of Amorphous TiO₂ Thin Films from Ti (III) Chloride Solution. *Journal of materials science*. Vol. 39. Hal. 2915-2918.
- Lu, Z., Jiang, X., Zhou, B., Wu, X., and Lu, L. 2011. Study of Effect Annealing Temperature on the Structure, Morphology and Photocatalytic Activity of Si Doped TiO₂ Thin Films Deposited by Electron Beam Evaporation. *Applied Surface Science*. Vol. 257. Hal. 10715-10720.
- Luque, P. A., Castro-Beltran, A., Vilchis-Nestor, A. L., Quevedo-Lopez, M. A., and Olivas, A. 2015. Influence of PH on Properties of ZnS Thin Films Deposited on SiO₂ Substrate by Chemical Bath Deposition. *Materials Letters*. Vol. 140. Hal. 148-150.
- Manno, D., Micocci, G., Rella, R., Serra, A., Taurino, A., and Tepore, A. 1997. Titanium Oxide Thin Films for NH₃ Monitoring: Structural and Physical Characterizations. *Journal of Applied Physics*. Vol. 82. Hal. 54.
- Manurung, P., Putri, Y., Simanjuntak, W., and Low, I. M. 2013. Synthesis and Characterisation of Chemical Bath Deposited TiO₂ Thin-films. *Ceramics International*. Vol. 39. Hal. 255-259.
- Marjunus, R., Handayani Y. N., Stevani, A., Febriyanti, N., Firdaus, I., Manurung, P. 2021. Synthesis and Characterization of TiO₂ from Lampung's Ilmenite Using Leaching Method With Variation of Time Duration. *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1816. Hal. 1-6.
- Mayabadi, A. H., Waman, V. S., Kamble, M. M., Ghosh, S. S., Gabhale, B. B., Rondiya, S. R., and Jadkar, S. R. 2014. Evolution of Structural and Optical Properties of Rutile TiO₂ Thin Films Synthesized at Room Temperature by Chemical Bath Deposition method. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. Vol. 75. Hal. 182-187.

- More, A. M., Gujar, T. P., Gunjakar, J. L., Lokhande, C. D., and Joo, O. S. 2008. Growth of TiO₂ Nanorods by Chemical Bath Deposition Method. *Applied surface science*. Vol. 255. Hal. 2682-2687.
- Nadeem, M. Y., and Waqas, A. 1999. Optical Properties of ZnS Thin Films. *Turkish Journal of Physics*. Vol. 24. Hal. 651 659.
- Natl. Burn. Stand. 1964. Brookite Titanium Oxide (TiO₂). 25. 3. 57. US.
- Natl. Burn. Stand. 1978. Ilmenite Iron Titanium Oxide (FeTiO₃). 25. 15. 34. US.
- Natl. Burn. Stand. 1969. Rutile Titanium Oxide (TiO₂). 25. 7. 83. US.
- Ohya, Y., Saiki, H., Tanaka, T., and Takahashi, Y. 1996. Microstructure TiO₂ and ZnO Films Fabricated by the Sol-Gel Method. *Journal of American Ceramic Society*. Vol. 79. Hal. 825-830.
- Pérez-González, M., Tomas, S. A., Morales-Luna, M., Arvizu, M. A., and Tellez-Cruz, M. M. 2015. Optical, Structural, and Morphological Properties of Photocatalytic TiO₂–ZnO Thin Films Synthesized by the Sol–gel Process. *Thin Solid Films*. Vol. 594. Hal. 304-309.
- Putri, Y. W. 2011. Pembuatan Lapisan Tipis TiO₂ Sebagai Fungsi Frekuensi Pelapisan dengan Metode Chemical Bath Deposition (CBD). *Skripsi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*. Universitas Lampung.
- Robin, Y., Moret, M., Ruffenach, S., Aulombard, R., and Briot, O. 2013. Annealing Effect of CdS Thin Films Deposited by Chemical Bath Deposition on Different Substrates. *IEEE 39th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*. Hal. 1173-1177.
- Sahdan, M. Z., Nayan, N., Dahlan, S. H., Mahmoud, M. E., and Hashim, U. 2012. Sol-Gel Synthesis of TiO₂ Thin Films From In-House Nano-TiO₂ Powder. *Advances in Materials Physics and Chemistry*. Vol. 2. Hal. 16-20.
- Said, N. D. M. (2016). A Study of TiO₂ Thin Film Using Sol-Gel Method. *Politeknik & Kolej Komuniti Journal of Engineering and Technology*. Vol. 1. Hal. 77-84.
- Sanc, I. 1990. Calcium Aluminium Silicate. ICDD. Grant in AID. Czechoslovakia.
- Selman, Abbas, M., Hassan, Z., dan Husham, M. 2014. Structural and Photoluminescence Studies of Rutil TiO₂ Nanorods Prepared by Chemical Bath Deposition Method on Si Substrates at Different pH Values. *Measurement*. Vol. 56. Hal. 155-162.
- Setiawati, L. D., Tito, P. R., Dwi, W. N., Nofrizal, Radyum, I., Suryandaru, Yuswono, Siswanto dan Nurul, T. R. 2013. Extraction of Titanium Dioxide

- (TiO₂) from Iron Sand by Hydrometallurgical Method. *Proce. of Semirata. Lampung: FMIPA University of Lampung.* Hal. 467-468.
- Septina, W., Fajarisandi, D., dan Aditia, M. 2007. Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik-Inorganik. *Laporan Akhir Penelitian Bidang Energi Rekayasa Industri*. Institut Teknologi Bandung.
- Smallman, R. E., and Bishop, J. R. 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Erlangga. Jakarta.
- Sotter, E., Vilanova, X., Liobet, E., Stankova, M., and Correig. 2005. Niobium Doped Titanium Nano Powder for Gas Sensor Applications. *Journal of Optoelectronics and Advanced Material*. Vol. 7. Hal. 1395-1398.
- Su, C., Hong B. Y., and Tseng C. M. 2004. Sol-Gel Preparation and Photocatalysis of Titanium Dioxide. *Catalysist Today*. Vol. 96. Hal. 119-126.
- Suryanarayana, C., and Norton, M. G. 1998. *X-ray Diffraction*. Plenum Press. New York.
- Suyoso. 2003. Common Textbook Listik Magnet. JICA IMSTEP. Jakarta.
- Sze, S.M. 1985. Semiconductor Devices: Physics and Technology. John Wiley & Sons.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., and Sheriff, R. E. 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press. London.
- Tiwary, R., Vyas, S., Shubham. K., and Chakrabarti, P. 2014. Characterization of TiO₂ Thin Film Deposited by RF Sputtering Method. *International Conference on Devices, Circuits and Communications (ICDCCom)*. Hal. 1-3.
- Tohidi, T., Jamshidi-Ghaleh, K., Namdar, A., and Abdi-Ghaleh, R. 2014. Comparative Studies on the Structural, Morphological, Optical, and Electrical Properties of Nanocrystalline PbS Thin Films Grown by Chemical Bath Deposition Using Two Different Bath Compositions. *Materials Science in Semiconductor Processing*. Vol. 25. Hal. 197-206.
- Wang, H., Dong, S., Chang, Y., Zhou, X., and Hu, X. 2012. Microstructures and Photocatalytic Properties of Porous ZnO Films Synthesized by Chemical Bath Deposition Method. *Applied Surface Science*. Vol. 258. Hal. 4288-4293.
- Wang, M., Li, Q., Yu, H., Hur, S. H., and Kim, E. J. 2013. Phasecontrolled Preparation of TiO₂ Films and Micro (Nano) Spheres by Low-Temperature Chemical Bath Deposition. *Journal of Alloys and Compounds*. Vol. 578. Hal. 419-424.

- Wang, Z., and Hu, X. 1999. Fabrication and Electrochromic Properties of Spin-Coated TiO₂ Thin Films from Peroxo-Polytitanic Acid. *Thin Solid Films*. Vol. 352. Hal. 62.
- Wei, B. X., Zhao, L., Wang, T. J., Gao, H., Wu, H. X., and Jin, Y. 2013. Photo-Stability of TiO₂ Particles Coated With Several Transition Metal Oxides and Its Measurement by Rhodamine-B Degradation. *Advanced Powder Technology*. Vol. 24. Hal. 708–713.
- Weinberger, B. R., and Garber, R. B. 1995. Titanium Dioxide Photocatalysts Produced by Reactive Magnetron Sputtering. *Applied Physics Letter*. Vol. 66. Hal. 2409-2411.
- William, L. 2007. *Fundamentals of Gheophysics*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Young, R. A. 1993. *The Rietveld Method*. International Union of Crystallography. Oxford University Press.
- Yusrianto, E., Ibrahim, N. B., and Ibarahim, Z. 2010. The Effect Of TiO₂ Thin Films on The Sensitivity, Repeatability and Current Density of The Dielectric Bolometer Ba0.6Sr0.4TiO₃ as a Distance Sensor. *Solid State Science and Technology*. Vol. 18. Hal 52 60.
- Zhang, W., Zhu, Z., and Cheng, C.Y., 2011. A Literature Review of Titanium Metallurgical Processes. *Hydrometallurgy*. Vol. 108. Hal. 177–188.
- Zhou, L., Hoffman, R. C., Zhao, Z., Bill, J., and Aldinger, F. 2008. Chemical Bath Deposition of Thin TiO₂ Anatase Films for Dielectric Applications. *Thin Solid Films*. Vol. 516. Hal. 7661-7666.