

**PENGARUH THIOUREA SEBAGAI SUMBER DOPING SULFUR
TERHADAP SINTESIS NANOTITANIA**

(Skripsi)

Oleh

Nabilah Rafidiyah



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2017**

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF THIOUREA AS A SOURCE OF SULFUR DOPING TOWARDS SYNTHESIS OF NANOTITANIA

By

NABILAH RAFIDIYAH

Sulfur-doped TiO₂ samples were prepared by sol gel method using thiourea as sulfur source. The amount of thiourea solutions are 0; 0.5; 1.0; 1.5 and 2 ml, respectively. Sulfur-doped TiO₂ was calcinated at 450 °C. Sulfur-doped TiO₂ and pure TiO₂ were characterized by X-Ray Diffraction (XRD), Transmission Electron Microscopy (TEM). Photocatalyst tests were carried out under sunlight and UV lamp. Based on XRD characterization, the samples are anatase phase. Particle size was calculated using Scherrer equation and results of 8.94 and 12.98 nm, respectiely for TBT-1.5 and TBT-0.5. TEM characterization showed that particle size of sulfur-doped TiO₂ and pure TiO₂ are 8.6 and 12.5 nm. Compared to undoped TiO₂, sulfur-doped TiO₂ has a better photocatalyst activity for degradation of remazol golden yellow under visible light.

Key words: *TiO₂, sulfur-doped, thiourea, photocatalyst, sol gel.*

ABSTRAK

PENGARUH THIOUREA SEBAGAI SUMBER DOPING SULFUR TERHADAP SINTESIS NANOTITANIA

Oleh

NABILAH RAFIDIYAH

S-doping TiO₂ telah dipreparasi melalui metode sol gel menggunakan thiourea sebagai sumber sulfur. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari pengaruh penambahan sulfur yang berasal dari larutan thiourea terhadap TiO₂ yang dipreparasi dengan menggunakan titanium butoksida, butanol dan HCl. Jumlah larutan thiourea yang diberikan pada masing-masing sampel yang dibuat adalah 0; 0,5; 1,0; 1,5 dan 2,0 ml. S-doping TiO₂ dikalsinasi pada suhu 450 °C. TiO₂ murni dan S-doping TiO₂ dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Transmission Electron Microscopy (TEM)* dan uji fotokatalis menggunakan sinar matahari dan lampu UV. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa fasa yang terbentuk adalah fasa anatase murni dan tidak terdapat perbedaan puncak pola XRD antara TiO₂ dan S-doping TiO₂. Ukuran partikel TiO₂ murni dan S-doping TiO₂ yang dihitung dari persamaan Scherrer masing-masing adalah 12,98 dan 8,94 nm. Hasil karakterisasi TEM menunjukkan bahwa ukuran partikel TiO₂ murni dan S-doping TiO₂ masing-masing adalah (12,5 ± 0,8) nm dan (8,6 ± 0,3) nm.

Kata kunci. TiO₂, doping sulfur, thiourea, fotokatalis, sol gel.

**PENGARUH THIOUREA SEBAGAI SUMBER DOPING SULFUR
TERHADAP SINTESIS NANOTITANIA**

Oleh

NABILAH RAFIDIYAH

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

**Judul : PENGARUH THIOUREA SEBAGAI SUMBER DOPING
SULFUR TERHADAP SINTESIS NANOTITANIA**

Nama : Nabilah Rafidiyah

NPM : 1317041026


Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Prof. Posman Manurung, Ph.D
NIP. 19590308 199103 1 001


Drs. Pulung Karo-Karo, M.Si.
NIP. 19610723 198603 1 003

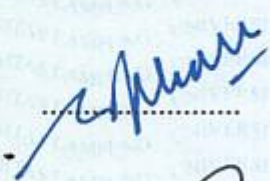
2. Ketua Jurusan Fisika


Arif Surtono, S. Si., M. Si., M. Eng.
NIP. 19710909 200012 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Prof. Posman Manurung, Ph. D. 

Sekretaris : Drs. Pulung Karo Karo, M. Si 

Penguji
Bukan Pembimbing : Prof. Simon Sembiring, Ph. D 

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




Prof. Dr. Warsito, S.Si., D.E.A
NIP 19710212 199512 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 6 Desember 2017

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini telah dibuat sendiri dengan sebenar-benarnya. Isi karyanya berasal dari hasil penelitian yang dikaitkan dengan literatur tertentu dan bimbingan penelitian. Sepanjang pengetahuan saya, skripsi ini tidak pernah menyalin suatu pernyataan yang sama dari berbagai sumber karya tertulis, kecuali pernyataan tersebut digunakan sebagai bahan kutipan bacaan yang kemudian disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini belum pernah dipublikasikan dengan orang lain.

Apabila pernyataan saya tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandarlampung, Desember 2017



Nabilah Rafidiyah
NPM. 1317041026

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kota Serang pada tanggal 1 Juni 1995, sebagai anak kelima dari lima bersaudara, dari pasangan Roosach Irsan Fadlullah dan Nining Mulyaningsih.

Penulis memulai pendidikan pada Taman Kanak-kanak (TK) di TK Kartini Bandarlampung pada tahun 2001. Kemudian melanjutkan ke Sekolah Dasar Kartika II-5 Bandarlampung dan diselesaikan pada tahun 2007. Kemudian melanjutkan sekolah ke Sekolah Menengah Pertama Negeri 2 Bandarlampung dan diselesaikan pada tahun 2010. Lalu melanjutkan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 10 Bandarlampung pada tahun 2013.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) pada tahun 2013. Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi asisten praktikum Sains Dasar Fisika, Fisika Dasar I dan Fisika Dasar II. Pada tahun 2016 penulis melaksanakan Praktikum Kerja Lapangan (PKL) di PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk. Penulis juga ikut serta dalam Seminar Nasional Fisika tahun 2015 yang diselenggarakan oleh Universitas Lampung dengan judul “Perkembangan Teknologi Nuklir”. Dalam bidang organisasi yang pernah diikuti penulis sebagai anggota Kominfo Himafi FMIPA Unila.

MOTTO

Even the darkest night will end and
sun will rise.

-Victor Hugo-

Even if I turn to ashes, I'll find a
way to be born again.

-Unknown-

If it's possible to turn fear into
courage, such courage will multiply
exponentially.

-Admiral Yi Sun Sin-

We all have our own handwritings.

-Nabilah Rafidiyah-

*Untuk kedua orangtuaku, kakak-kakaku dan sahabat-sahabatku
yang senantiasa mengerti diriku dan membuatku bahagia.*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas kasih, sayang dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Pengaruh Thiourea sebagai Sumber Doping Sulfur terhadap Sintesis Nanotitania**”. Tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar S1 dan melatih mahasiswa untuk berfikir cerdas dan kreatif dalam menulis karya ilmiah.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun penyempurnaan skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua.

Bandarlampung, Desember 2017

Penulis

SANWACANA

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan karunia, rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul **“Pengaruh Thiourea sebagai Sumber Doping Sulfur terhadap Sintesis Nanotitania”**. Terwujudnya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak yang telah membantu penulis. Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis menghaturkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Posman Manurung, Ph.D. sebagai Dosen Pembimbing I dan Pembimbing Akademik, yang telah memberikan banyak bimbingan serta ilmunya.
2. Bapak Drs. Pulung Karo Karo, M.Si. sebagai Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan banyak bimbingan dan motivasi sehingga skripsi ini menjadi lebih baik.
3. Bapak Prof. Simon Sembiring, Ph.D. sebagai Dosen Penguji, yang telah banyak memberikan kritik dan sarannya dalam penyempurnaan skripsi ini.
4. Bapak Prof. Dr. Warsito, S. Si., D. E. A. sebagai Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
5. Bapak Arif Surtono, S. Si., M. Si., M. Eng. sebagai Ketua Jurusan Fisika.
6. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S. Si., M. T. sebagai Sekertaris Jurusan Fisika.

7. Seluruh dosen jurusan Fisika atas waktu dan bimbingan yang telah diberikan dalam proses perkuliahan.
8. Untuk Ayah dan Umi tersayang, terimakasih untuk selalu menyayangi, mengasihi, menjaga, memberi semangat, selalu mendoakan serta selalu mendukung dan mengawasi setiap langkah sehingga penulis dapat melalui seluruh proses pembelajaran dan menyelesaikan skripsi ini.
9. Untuk kakak-kakakku, Imam Husein Fadlullah, Zhahra Fadilla, Farah Aqielah dan Fathimah Fitri Alawiyah, terimakasih atas doa, dukungan serta perhatiannya.
10. Teruntuk Ibu Neng Rosyati, S.Pd., Bapak Drs. Soleh Suaedi, S.Pd. dan Ibu Dra. Siti Fatimah atas segala ilmu, doa serta dukungannya dari penulis kecil hingga dewasa.
11. Untuk sahabat-sahabatku, Aisyah A. A., Aulia Maysita, Dhia Fauziah, Fibrina Manda, Intan Deslinatika P., Intan Elvira, Muhammad Al-Gazza dan Rani P. P. L. yang selalu menjadi teman terdekat dalam segala hal suka maupun duka.
12. Untuk teman-temanku, Ayu Tiara Meriza, Christian Paul, Dessi Triyani, Eko Damarulloh, Megafhit, Renita Susanti dan Retno Safitri atas dukungan, bantuan dan doa yang telah diberikan.
13. Teman-teman Fisika 2013 serta kakak dan adik tingkat yang membantu dan memberikan semangat dalam proses menyelesaikan tugas akhir.
14. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu yang telah memberikan bantuan dalam penulisan skripsi ini.

Bandarlampung, Desember 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRACT	i
ABSTRAK	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Batasan Masalah	5
E. Manfaat Penelitian	5

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Nanoteknologi.....	6
B. Titanium Dioksida	7
C. Fotokatalis.....	10
D. Fotokatalis Semikonduktor	12
E. Titania Sebagai Fotokatalis.....	13
F. Doping Sulfur.....	17
G. Sol-gel.....	18

III. PROSEDUR PERCOBAAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	21
B. Alat dan Bahan.....	21
C. Prosedur Percobaan.....	22
D. Diagram Alir	27

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Sintesis S-doping TiO ₂	28
B. Hasil Karakterisasi XRD Sampel TBT-0 dan TBT-1.5	32
C. Hasil Analisis TEM Sampel TBT-0 dan TBT-1.5	40
D. Hasil Uji Fotokatalis S-doping TiO ₂	43

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	52
B. Saran	53

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Tingkatan ukuran nano dan contohnya	7
2.2 Struktur kristal rutile menggunakan PowerCell. Warna biru menunjukkan atom Ti dan warna merah menunjukkan atom O	8
2.3 Struktur kristal anatase menggunakan PowerCell. Warna biru menunjukkan atom Ti dan warna merah menunjukkan atom O	9
2.4 Struktur kristal brookite. Warna merah menunjukkan atom Ti dan warna merah muda menunjukkan O	9
2.5 Skema fotokatalis TiO ₂	10
2.6 Diagram reaksi fotokatalis semikonduktor	12
2.7 Skema proses yang terjadi pada semikonduktor TiO ₂ : (a) absorpsi foton dan perpindahan elektron dan lubang dan (b) absorpsi energi foton <i>hν</i>	15
2.8 Lapisan tipis TiO ₂ yang digunakan untuk inaktivasi bakteri E. Coli..	17
2.9 Skema untuk semikonduktor dan dopan tipe-n (a) dan dopan tipe-p (b).....	18
2.10 Tahapan proses sol-gel.....	19
3.1 Skema difraksi sinar-X.....	24
3.2 Skema peralatan TEM.....	26
3.3 Diagram alir sintesis S-TiO ₂	27
4.1 Proses pembuatan larutan thiourea (a) penimbangan serbuk thiourea, (b) 7,612 gr thiourea di dalam gelas beker, (c) penambahan akuabides dan pengadukan larutan thiourea, dan (d) larutan thiourea (1M).....	28

4.2 Proses sintesis nanotitania: (a) pengukuran butanol, (b) penambahan titanium butoksida, HCl dan larutan thiourea, (c) gel S-doping TiO ₂ , (d) S-doping TiO ₂ setelah dikalsinasi pada suhu 450°C	30
4.3. Hasil kalsinasi sampel: (a) TBT-0, (b) TBT-0.5, (c) TBT-1.0, (d) TBT-1.5 dan (e) TBT-2.0	31
4.4 Difraktogram hasil analisis XRD untuk sampel TBT-0 dan TBT-1.5	32
4.5 Plot keluaran penghalusan sampel TBT-0. Warna hitam menunjukkan data pengamatan, warna merah menunjukkan hasil perhitungan, warna hijau menunjukkan selisih antara data pengamatan dan hasil perhitungan dan warna biru menunjukkan titik puncak hkl	35
4.6 Plot keluaran penghalusan sampel TBT-1.5. Warna hitam menunjukkan data pengamatan, warna merah menunjukkan hasil perhitungan, warna hijau menunjukkan selisih antara data pengamatan dan hasil perhitungan dan warna biru menunjukkan titik puncak hkl	38
4.7 Hasil TEM (a) TiO ₂ murni dan (b) S-doping TiO ₂	41
4.8 Proses uji fotokatalis S-doping TiO ₂ :(a) menggunakan sinar matahari (b) menggunakan lampu UV	43
4.9 Hasil uji fotokatalis pendegradasian remazol <i>golden yellow</i> menggunakan sinar matahari: (a) TBT-0, (b) TBT-0.5, (c) TBT-1.0, (d) TBT-1.5 dan (e) TBT-2.0	44
4.10 Hasil uji fotokatalis pendegradasian remazol <i>golden yellow</i> menggunakan lampu UV: (a) TBT-0, (b) TBT-0.5, (c) TBT-1.0, (d) TBT-1.5 dan (e) TBT-2.0	44
4.11 Hasil pengulasan spektrofotometri UV-Vis: (a) TBT-0; (b) TBT-0.5; (c) TBT-1.0; (d) TBT-1.5 dan (e) TBT-2.0 terhadap absorbansi di bawah lampu UV	45
4.12 Nilai absorbansi larutan remazol <i>golden yellow</i> di bawah lampu UV: (a) TBT-0; (b) TBT-0.5; (c) TBT-1.0; (d) TBT-1.5, dan (e) TBT-2.0 pada panjang gelombang maksimum	47
4.13 Hasil pengulasan spektrofotometri UV-Vis: (a) TBT-0; (b) TBT-0.5; (c) TBT-1.0; (d) TBT-1.5 dan (e) TBT-2.0 terhadap absorbansi di bawah sinar matahari	48

4.14 Nilai absorbansi larutan remazol <i>golden yellow</i> di bawah sinar matahari: (a) TBT-0; (b) TBT-0.5; (c) TBT-1.0; (d) TBT-1.5, dan (e) TBT-2.0 pada panjang gelombang maksimum	50
---	----

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Karakteristik struktur kristal TiO ₂	9
3.1 Variasi komposisi sampel	22
4.1 Selisih nilai d (Å) antara data XRD sampel TBT-0 dengan data standar JCPDS 21-1272	34
4.2 Perhitungan ukuran partikel sampel TBT-0 menggunakan persamaan Scherrer	36
4.3 Selisih nilai d (Å) antara data XRD sampel TBT-1.5 dengan data standar JCPDS 21-1272	37
4.4 Perbandingan nilai parameter sel antara TBT-0 dengan TBT-1.5	39
4.5 Perhitungan ukuran partikel sampel TBT-1.5 menggunakan persamaan Scherrer	40
4.6 Nilai absorbansi setiap sampel dari masing-masing panjang gelombang maksimum di bawah lampu UV.....	46
4.7 Nilai absorbansi setiap sampel dari masing-masing panjang gelombang maksimum di bawah sinar matahari.....	49

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Nanoteknologi didefinisikan sebagai teknologi pada benda berskala nanometer (nm) yang dapat diaplikasikan pada berbagai jenis industri (Lauterwasser, 2006). Istilah nano berasal dari bahasa Yunani yaitu *nanos* yang berarti kurcaci. Secara harfiah, kata nano berarti sangat kecil atau ukuran mini. Sesuai dengan namanya, nanoteknologi adalah pembelajaran pada struktur yang sangat kecil dengan kisaran ukuran 0,1 sampai 100 nm.

Teknik memanipulasi atom, molekul atau unsur untuk menghasilkan bahan dan peralatan dengan sifat-sifat yang baru yang juga dapat diartikan sebagai nanoteknologi (Nikalje, 2015). Peranan nanoteknologi penting terhadap revolusi pada bahan sains dan teknik untuk mendapatkan material baru dengan sifat listrik, optik, magnetik dan mekanik yang ulung. Besarnya peran nanoteknologi ini digambarkan dengan cakupannya yang luas, seperti nanokimia (nanokoloid, sol-gel dan kimia kuantum), nanofisika (fisika kuantum dan photonik), sains nanomaterial (teknologi bubuk nano, unsur keramik nano, dan nanosintering), nanoelektronik (nanomotor, nanorobot dan rangkaian terintegrasi), nanobionik (*nanobiochips* dan *nanobiorobots*) dan nanometrologi (peralatan nano, instrumentasi dan sistem informasi) (Pokropivny *et al.*, 2007).

Salah satu diantara cakupan nanoteknologi yang sedang berkembang pesat adalah nanomaterial. Nanomaterial memiliki beberapa jenis, yaitu nanologam, bubuk nano, keramik nano dan polimer nano (Morris dan Willis, 2005). Nanomaterial yang telah banyak diproduksi secara pasaran adalah nanosilika, nanotitania, nanoaluminia, fullerenes dan tabung nano berbasis karbon atau *carbon nanotubes* (CNTs) (Lauterwasser, 2006).

Diantara berbagai jenis nanomaterial, titanium dioksida (TiO_2) atau nanotitania merupakan salah satu bahan yang sedang dikembangkan. Nanotitania telah banyak diterapkan dalam berbagai bidang sebagai pemurnian air (You *et al.*, 2014), anti bakteri (Wong *et al.*, 2010), sel surya (You *et al.*, 2014; Chen dan Mao, 2007) dan yang paling banyak digunakan sebagai fotokatalis (Nakata dan Fujishima, 2012; Chen dan Mao, 2007; Fujishima dan Zhang, 2006). Titanium dioksida memiliki tiga bentuk polimorf yaitu rutil, anatase dan brookite. Fasa rutil secara termodinamik lebih stabil daripada anatase, struktur rutil terlihat menjadi stabil secara termodinamik di bawah kondisi pelet, walaupun dalam eksperimen termodinamik menunjukkan bahwa anatase dapat menjadi lebih stabil daripada rutil ketika kristalnya hanya beberapa nanometer. Fasa anatase adalah bentuk metastabil dan apabila diberi perlakuan pemanasan dapat bertransformasi menjadi rutil. Pada tekanan dan temperatur ruangan untuk sistem makrokristalin, fasa rutil secara termodinamik lebih stabil apabila dibandingkan dengan anatase dan brookite, tetapi kestabilan termodinamik bergantung pada ukuran partikel yang berkontribusi terhadap energi bebas permukaan (Agustin dkk, 2013). Sebagai fotokatalis, nanotitania banyak dipakai karena harganya murah, stabil dan tidak beracun. Saat ini, fotokatalis nanotitania telah digunakan untuk pembersihan

udara (*air cleaning*), penjernihan air (*water purification*), anti tumor, material pembersih-diri (*self-cleaning*) (Fujishima *et al.*, 2000), sel surya peka warna atau *dye-sensitized solar cells* (DSSC) (Huberty dan Xu, 2008; Natullah dan Yudoyono, 2013; Fahyuan dkk, 2012), pewarna putih (Hashimoto *et al.*, 2005) dan anti pengaburan (Sinha *et al.*, 2009).

Dalam pemanfaatan nanotitania dengan fase anatase, khususnya sebagai fotokatalis, sinar matahari yang dapat berperan hanya sekitar 4%. Hal ini dikarenakan celah energi anatase adalah 3,2 eV (Binitha *et al.*, 2010). Untuk memanfaatkan nanotitania sebaik mungkin, dapat dilakukan berbagai metode untuk mengecilkan celah pita, salah satunya adalah doping. Doping merupakan suatu proses yang digunakan untuk memodifikasi konduktivitas suatu bahan. Terdapat berbagai macam bahan dopan dalam nanoteknologi dan semikonduktor antara lain nitrogen (Lie *et al.*, 2015; Darzi *et al.*, 2012; Yang *et al.*, 2010), karbon (Valentin *et al.*, 2005; Palanivelu *et al.*, 2007; Mai *et al.*, 2009), sulfur (Ohno *et al.*, 2004; Park *et al.*, 2013; Hamadani *et al.*, 2009) dan flour (Zhao *et al.*, 2010; Fakhrutdinova *et al.*, 2015).

Pada penelitian ini dilakukan doping terhadap nanotitania dengan menggunakan sulfur. Sulfur adalah unsur kimia non logam yang memiliki simbol S dan nomor atom 16. Sulfur telah banyak digunakan sebagai dopan nanotitania seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Wang *et al.* (2008) yang menggunakan tetrabutyl titanate (98%) sebagai bahan prekursor dan alkohol (99,7%) sebagai bahan pelarut. Nanotitania dengan kadar sulfur sebesar 1,21 % menunjukkan sifat fotoabsorpsi yang lebih baik dibandingkan dengan titania murni. Selain itu, rata-rata ukuran nanotitania yang didoping sulfur lebih kecil dibandingkan dengan

titania tanpa doping, yaitu sebesar 9,73 nm dibandingkan dengan nanotitania murni yang berukuran 17,36 nm, hal ini menjelaskan bahwa aktivitas fotokatalisis nanotitania yang didoping sulfur untuk fotodegradasi *L-acid* lebih baik dibandingkan dengan nanotitania murni. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mempelajari bagaimana pengaruh thiourea sebagai sumber doping sulfur untuk sintesis nanotitania yang dengan bahan dasar titanium butoksida terhadap aktivitas fotokatalis nanotitania.

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penambahan thiourea terhadap struktur nanotitania?
2. Bagaimana pengaruh penambahan thiourea terhadap aktivitas fotokatalis nanotitania?
3. Apakah nanotitania yang didoping sulfur menggunakan thiourea efektif digunakan sebagai fotokatalis?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mensintesis nanotitanina berukuran nano dari bahan titanium butoksida yang didoping sulfur.
2. Untuk mengetahui pengaruh thiourea terhadap karakteristik struktur dan nanostruktur nanotitania.
3. Untuk memanfaatkan kemampuan S-doping nanotitania sebagai fotokatalis.

D. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah titanium butoksida, butanol, HCl dan thiourea.
2. Variasi komposisi thiourea yang diberikan sebesar 0; 0,5; 1; 1,5 dan 2 ml.
3. Proses sintesis S-doping nanotitania dilakukan dengan menggunakan metode sol-gel.
4. Kalsinasi dilakukan pada suhu 450 °C selama 10 jam untuk mendapatkan fasa anatase.
5. Pengujian yang dilakukan adalah uji karakteristik *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Transmission Electron Microscopy* (TEM), dan uji fotokatalis dengan menggunakan remazol *golden yellow* sebagai polutan.

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapatkan melalui penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui struktur dan nanostruktur S-doping nanotitania.
2. Dapat mengetahui pengaruh penambahan thiourea terhadap karakteristik nanostruktur S-doping nanotitania.
3. Dapat memanfaatkan S-doping nanotitania sebagai fotokatalis.
4. Dapat mengetahui kelayakan penambahan thiourea terhadap pembuatan S-doping nanotitania sehingga dapat dimanfaatkan untuk penelitian selanjutnya.

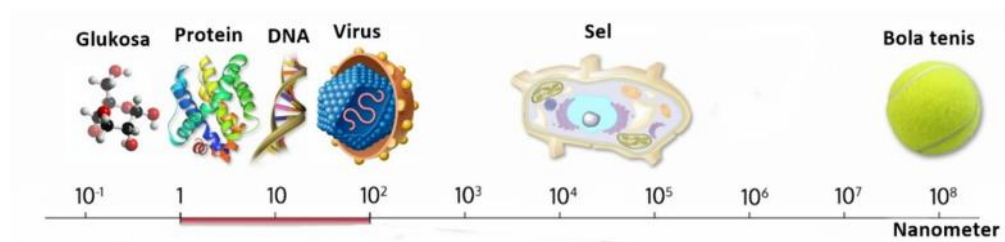
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Nanoteknologi

Nanoteknologi pertama kali dikenalkan oleh Richard Feynman pada dalam kuliahnya pada tahun 1959. Kemudian K. Eric Drexler yang telah terinspirasi oleh Feynman mencetuskan kata nanoteknologi pada bukunya yang mencakup ide-ide dan keunggulan dalam menggunakan material berukuran nano (Bera dan Belhaj, 2016).

Kata nanoteknologi berasal dari dua kata, yaitu nano yang berasal dari bahasa Yunani yang berarti sangat kecil berukuran satu per miliar (10^{-9}) dan kata teknologi (Logothetidis, 2012). Nanoteknologi adalah pembelajaran gabungan dari sains, medik, teknik dan teknologi pada skala nano. Skala nano tersebut menyebabkan munculnya struktur baru yang memiliki sifat fisika, kimia dan biologi dengan karakteristik yang berbeda dibandingkan ukuran yang lebih besar atau ukuran yang lebih besar (bulk) (Ramsden, 2011). Nanoteknologi memanipulasi suatu bahan pada tingkat atomik, molekul dan molekul makro untuk memperoleh pemahaman dasar terhadap gejala dan bahan-bahan pada ukuran nano dan untuk menciptakan dan menggunakan struktur, peralatan dan sistem-sistem yang mempunyai sifat dan fungsi yang baru karena ukurannya yang kecil (Filipponi dan Sutherland, 2007).

Bahan nano yang dihasilkan dapat mempunyai sifat-sifat yang sangat berbeda dengan sifat-sifatnya dalam bentuk limpahan, seperti kekuatan, bobot, penghantaran listrik, bersifat magnetik, ukuran pori, memiliki isolasi termal dan daya ketahanan terhadap korosi (Anggraita, 2006). Gambar 2.1 menunjukkan tingkat ukuran nano dan contohnya.



Gambar 2.1. Tingkatan ukuran nano dan contohnya (Wich, 2016).

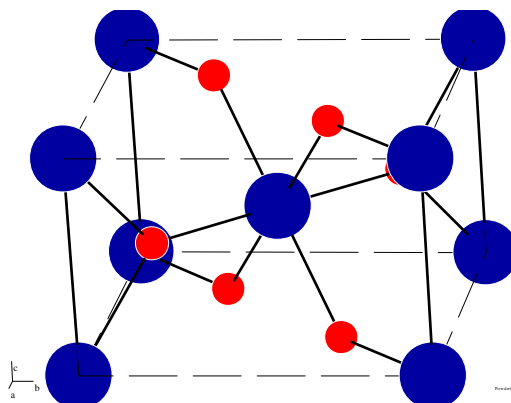
Penerapan nanoteknologi dalam berbagai bidang memberikan banyak manfaat dan keuntungan, salah satunya adalah untuk mengurangi jumlah pelarut dan bahan kimia berbahaya dalam produksi, meningkatkan efisiensi energi, memperbesar kemampuan penyimpanan energi. Di samping itu dikembangkan pula cara menghilangkan polutan yang sulit dihilangkan dari sumber air dan tanah sehingga hal ini sangat bermanfaat bagi lingkungan berkelanjutan (Riwayati, 2007). Pada saat ini nanoteknologi telah banyak digunakan di berbagai bidang industri seperti teknologi informasi dan komunikasi, biologi dan bioteknologi, obat-obatan dan teknologi kedokteran dan metrologi (Logothetidis, 2012).

B. Titanium Dioksida

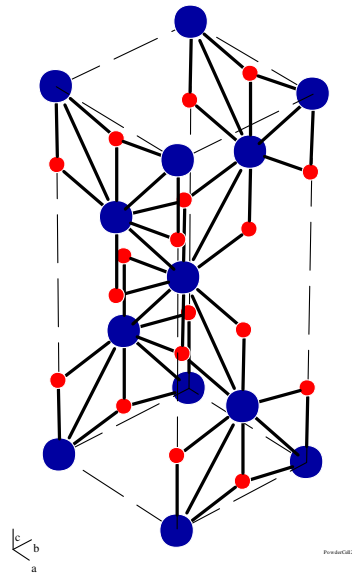
Senyawa titanium (IV) dioksida atau titania (TiO_2) merupakan material semikonduktor organik yang memiliki celah energi yang lebar, transmitansi yang

tinggi, indeks bias, sifat listrik yang baik (Ichzan dkk, 2015), tidak beracun, memiliki aktivitas fotokatalis yang baik dan fotosensitif. Dengan berbagai keunggulan tersebut, TiO_2 banyak diaplikasikan sebagai pewarna, penjernih air, material yang dapat meregenerasi diri, degradasi senyawa organik dan senyawa tidak beracun, antibakteri dan fotokatalis (Rahman dkk, 2014).

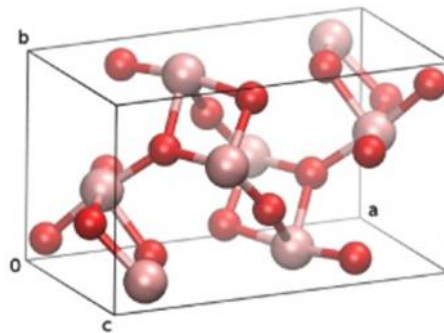
Diantara berbagai jenis kristalin TiO_2 yang dapat disintesis, tiga jenis kristal utamanya adalah rutile (tetragonal), anatase (tetragonal) dan brookite (ortorhombik) (Landmann *et al.*, 2012). Ketiga struktur kristal dapat didefinisikan sebagai oktahedral (TiO_2^{6-}) dimana masing-masing fasa dibedakan dengan cara penyusunan distorsi tiap-tiap oktahedral (Kurtoglu, 2011). Rutile merupakan bentuk kristal yang stabil, sedangkan anatase dan brookite merupakan bentuk kristal yang metastabil dan akan berubah menjadi rutile apabila dipanaskan pada suhu tertentu (Paola *et al.*, 2008). Struktur kristal TiO_2 rutile, anatase dan brookite ditunjukkan pada Gambar 2.2, Gambar 2.3 dan Gambar 2.4 sedangkan karakteristiknya ditunjukkan pada Tabel 2.1.



Gambar 2.2. Model struktur kristal rutile menggunakan PowerCell. Warna biru menunjukkan atom Ti dan warna merah menunjukkan atom O.



Gambar 2.3. Model struktur kristal anatase menggunakan PowerCell. Warna biru menunjukkan atom Ti dan warna merah menunjukkan atom O.



Gambar 2.4. Struktur kristal brookite. Warna merah menunjukkan atom Ti dan warna merah muda menunjukkan O (Sumber: Moellmann *et al.*, 2012).

Tabel 2.1. Karakteristik struktur kristal TiO₂.

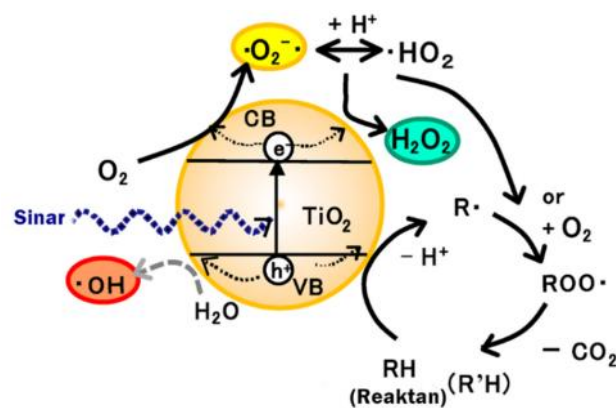
Karakteristik	Rutile	Anatase	Brookite
Bentuk kristal	Tetragonal	Tetragonal	Ortorhombik
Massa jenis (kg/m ³)	4240	3830	4170
Konstanta kisi (nm)	0,644	2,51	0,944
Celah pita (eV)	3,0	3,2	-
Indeks refraksi	2,6506	2,6584	2,677

(Sumber: Carp *et al.*, 2004).

Ukuran partikel TiO_2 merupakan salah satu faktor penting dalam menentukan karakteristiknya dan potensial penerapannya. Semakin kecil partikelnya, semakin beragam potensial penerapannya (Mahmoud *et al.*, 2013).

C. Fotokatalis

Fotokatalis merupakan suatu kombinasi antara proses fotokimia dan katalisis. Proses fotokimia adalah proses sintesis (transformasi) secara kimiawi dengan melibatkan cahaya sebagai pemicunya. Sedangkan katalis adalah substansi yang dapat mempercepat jalannya reaksi dengan merubah jalur reaksi tanpa ikut dikonsumsi pada reaksi tersebut. Bahan-bahan yang dapat dimanfaatkan sebagai fotokatalis ialah bahan-bahan yang memiliki celah pita energi (*energy band gap*) seperti logam transisi dan saat dikenai cahaya maka energi cahaya tersebut dapat mengeksitasi elektron dari pita valensi menuju pita konduksi. Ini terjadi jika cahaya yang diberikan sama atau lebih besar daripada celah pita energi dari bahan tersebut. Proses umum suatu fotokatalis diilustrasikan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Skema fotokatalis TiO_2 (Sumber: Nosaka *et al.*, 2014)

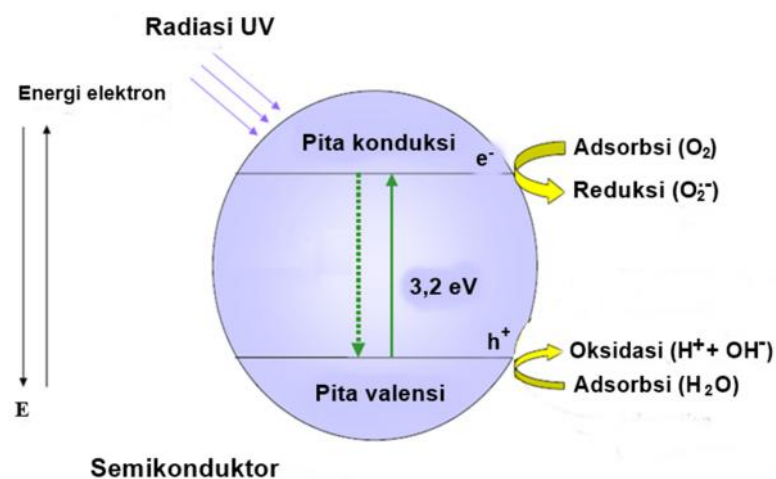
Proses fotokatalis dapat dibagi menjadi dua berdasarkan jenis katalisnya, yaitu fotokatalis homogen dan heterogen. Fotokatalitik homogen adalah proses fotokatalitik yang terjadi pada fasa yang sama dan dengan bantuan oksidator, sedangkan fotokatalitik heterogen adalah proses fotokatalisis yang terjadi antara dua fasa atau lebih dan biasanya dibantu oleh cahaya atau katalis padat (Alwi, 2008). Fotokatalis heterogen melibatkan percepatan fotoreaksi karena adanya katalis semikonduktor (Colmenares *et al.*, 2009). Fotokatalisis heterogen bisa terjadi pada berbagai medium, baik fasa gas, cairan organik murni ataupun larutan. Proses keseluruhan yang terjadi pada fotokatalisis heterogen dibagi menjadi lima tahap:

1. Difusi reaktan dari fasa fluida ke permukaan katalis,
2. Adsorpsi reaktan (paling sedikit satu),
3. Reaksi dalam fasa teradsorpsi,
4. Desorpsi produk,
5. Pemisahan produk dari daerah interfasa.

Reaksi fotokatalitik terjadi pada tahap ketiga. Satu-satunya perbedaan fotokatalis heterogen dengan katalis konvensional adalah cara aktivasi katalis dimana pada fotokatalis digunakan aktivasi fotonik (Herrmann, 1999). Fotokatalisis heterogen dimanfaatkan di berbagai aplikasi dan reaksi antara lain pada penjernihan udara dan air, pelapisan pembersih-diri, permukaan mensterilkan-diri, dehidrogenasi, transfer hidrogen dan endapan logam (Kurtoglu, 2011).

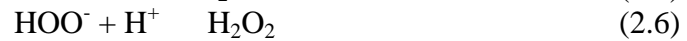
D. Fotokatalis Semikonduktor

Fotokatalisis heterogen merupakan suatu proses yang mencakupi berbagai reaksi, yaitu sintesis organik, pemisahan air (*water splitting*), fotoreduksi, pemindahan hidrogen, deposisi logam, disinfeksi, terapi anti-kanker, detoksifikasi air dan pembersihan polusi udara. Reaksi fotokatalitik dipicu saat elektron terfotoeksitasi diangkat dari pita valensi fotokatalis semikonduktor yang terisi menuju pita konduksi yang kosong sebagai energi foton terabsorpsi, $h\nu$, sama dengan atau melebihi pita valensi fotokatalis semikonduktor, meninggalkan suatu lubang (*hole*) di pita valensi. Gambar rantai reaksi fotokatalis semikonduktor yang terjadi ditunjukkan pada Gambar 2.6. Sedangkan reaksi kimianya ditunjukkan pada persamaan di bawah ini.



Gambar 2.6. Diagram reaksi fotokatalis semikonduktor (R ileanu *et al.*, 2013).

Radikal hidroperoksil yang dibentuk di (2.4) juga mempunyai sifat-sifat yang mirip dengan O_2 , jadi:



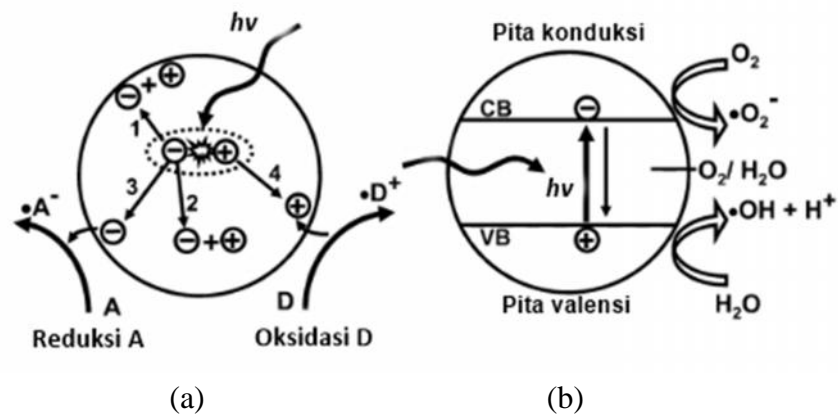
Oksidasi dan reduksi dapat terjadi di permukaan fotokatalis semikonduktor yang terfotoeksitasi. Kombinasi antara elektron dan lubang terjadi kecuali oksigen tersedia untuk mencari elektron untuk membentuk superoksida (O_2^-) (Colmenares *et al.*, 2009).

E. Titania sebagai Fotokatalis

Selama beberapa dekade terakhir semikonduktor seperti TiO_2 , ZnO dan SnO_2 telah banyak digunakan untuk pemisahan air dan degradasi fotokatalik polutan organik. Di antara semikonduktor ini, TiO_2 lebih unggul dibandingkan dengan semikonduktor yang lain dikarenakan lebih murah (Yang *et al.*, 2012), tidak beracun (Hayle dan Gonfa, 2014), stabilitas yang lama dan penyerapan sinar yang baik (Chai *et al.*, 2007). Semikonduktor TiO_2 telah digunakan secara luas sebagai fotokatalis karena memiliki aktivitas fotokatalitik yang tinggi, stabil dan tidak beracun. Pada perkembangan penelitian awal, TiO_2 digunakan sebagai fotokatalisis dalam sistem suspensi. Seiring berjalannya waktu, fotokatalis TiO_2 digunakan sebagai antibakteri pada pasta gigi, bahan kosmetik dan desinfeksi bakteri (Supriyanto dkk, 2014).

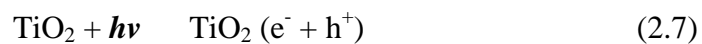
Beberapa faktor akan mempengaruhi aktivitas fotokatalis TiO_2 , salah satu yang terpenting adalah bentuk kristalnya. Di antara tiga bentuk kristal TiO_2 , anatase

memiliki aktivitas fotokatalis yang terbaik. Bentuk kristal anatase diamati terjadi pada pemanasan bubuk TiO_2 mulai dari suhu $120\text{ }^\circ\text{C}$ dan mencapai sempurna pada suhu $500\text{ }^\circ\text{C}$. Pada suhu $700\text{ }^\circ\text{C}$ mulai terbentuk kristal rutil dan terjadi penurunan luas permukaan serta pelemahan aktivitas fotokatalis secara drastis (Tjahjanto dan Gunlazuardi, 2001). Nilai celah pita untuk anatase adalah $3,2\text{ eV}$, rutil adalah $3,0\text{ eV}$ dan brookite adalah $2,96\text{ eV}$. Jadi, saat disinari dengan panjang gelombang $< 385\text{ nm}$, TiO_2 akan mengeksitasi e^- dari pita valensi ke pita konduksi dan menghasilkan pasangan $e^- - h^+$. Suatu fotokatalis dikarakterisasi dengan kemampuannya untuk menyerap dua reaktan secara bersamaan, direduksi dan dioksidasi oleh penyerapan cahaya ($h\nu > E_g$) dan juga dengan kemampuan untuk mentransfer elektron dari pita konduksi ke partikel terserap (penerima), yang diatur oleh posisi pita energi semikonduktor dan potensial redoks adsorbat. Berdasarkan pandangan termodinamika, potensial redoks adsorbat seharusnya di bawah pita konduksi semikonduktor. Apabila adsorbat adalah pendonor, maka tingkat potensial adsorbat seharusnya berada di bawah posisi pita valensi semikonduktor agar dapat memberikan elektron ke lubang kosong dalam pita valensi. Proses pemindahan elektron dari semikonduktor ke adsorbat disebut mekanisme reduksi dan proses pemindahan elektron dari adsorbat ke semikonduktor disebut mekanisme oksidasi. Kedua proses ini ditunjukkan pada Gambar 2.7.

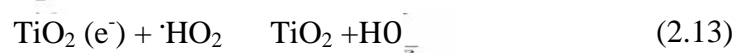
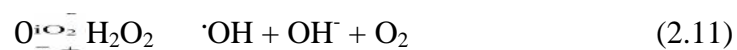
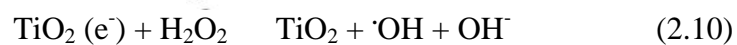


Gambar 2.7. Skema proses yang terjadi pada semikonduktor TiO_2 : (a) absorpsi foton dan perpindahan elektron dan lubang dan (b) absorpsi energi foton $h\nu$ (Sumber: Banerjee *et al.*, 2006).

Tingkat energi di bawah pita konduksi menentukan kemampuan reduksi fotoelektron dan tingkat energi di atas pita valensi menentukan kemampuan oksidasi lubang-foton. Jika pasangan teradsorpsi dianggap air dan oksigen terlarut (H_2O/O_2), lalu air akan dioksidasi oleh lubang positif dan terpisah menjadi $\bullet OH$ dan H^+ . Karena oksigen merupakan substansi yang mudah tereduksi, reduksi oksigen oleh fotoelektron pita konduksi menghasilkan superoksida ($\bullet O_2^-$) yang akan bereaksi dengan H^+ untuk menghasilkan hidroperoksil. Reaksi fotokatalitik di atas dijelaskan sebagai berikut:

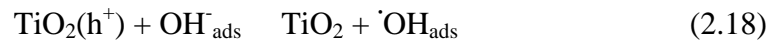
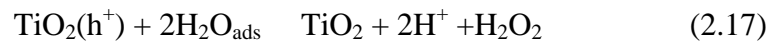
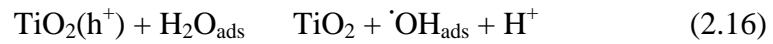


Reaksi yang mencakupi pita konduksi e^-



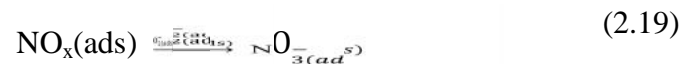


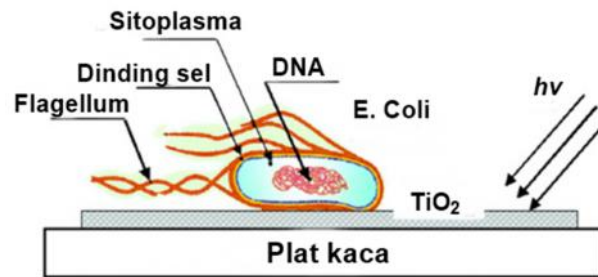
Reaksi yang mencakupi pita valensi h^+



Radikal bebas hidroksil $\cdot\text{OH}$ sangat reaktif, berumur pendek dan merugikan. Superoksida O_2^- lebih berumur panjang dan tidak bisa menembus dinding sel karena muatan negatif sedangkan hidrogen peroksida dapat menembus dinding sel (Banerjee *et al.*, 2006).

Fotokatalis TiO_2 digunakan dalam reaksi fotodegradasi oksidatif seperti yang dilakukan oleh Su *et al.* (2013) yang telah melakukan penelitian untuk meningkatkan fotodegradasi dari metil jingga. Selain digunakan untuk fotodegradasi, fotokatalis TiO_2 dalam bentuk lapisan tipis juga digunakan untuk inaktivasi bakteri E. Coli (Pulgarin *et al.*, 2012) yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 dan pada reaksi oksidatif (Dalton *et al.*, 2002) seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.19)



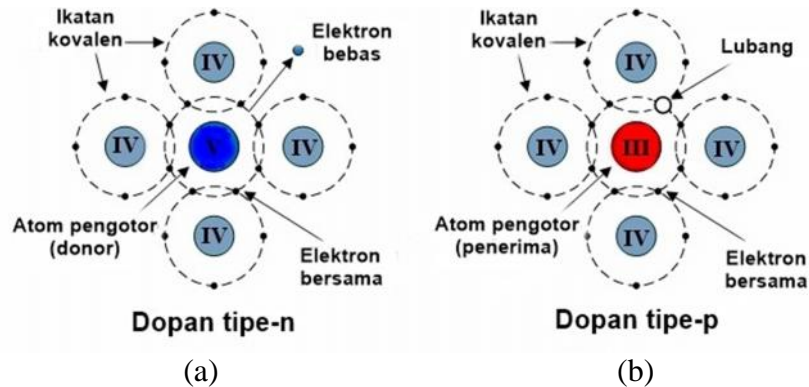


Gambar 2.8. Lapisan tipis TiO_2 yang digunakan untuk inaktivasi bakteri *E. coli* (Pulgarin *et al.*, 2012).

Dengan reaksi-reaksi yang disebutkan di atas, fotokatalis TiO_2 dapat digunakan sebagai material pembersih-diri, antibakteri, anti pengaburan, dekomposisi polutan dan evaporasi air dari permukaan hidrofilik (Hashimoto *et al.*, 2006). Material yang dilapisi TiO_2 telah banyak digunakan untuk penyaringan air dan udara (Sinha *et al.*, 2009).

F. Doping Sulfur

Doping semikonduktor merupakan suatu proses yang dilakukan untuk memodifikasi konduktivitas semikonduktor. Bahan yang digunakan sebagai doping disebut dopan. Dopan ini akan bergabung ke dalam kisi-kisi semikonduktor. Dopan dibagi menjadi dua tipe, yaitu tipe-n dan tipe-p. Dopan tipe-n merupakan dopan yang memberikan elektron tambahan sebagai muatan negatif bebas ke pita konduksi. Sedangkan dopan tipe-p merupakan dopan yang menerima elektron tambahan dari atom-atom sekitarnya agar terjadi hubungan kovalen yang sempurna dan membuat lubang muatan positif sebagai pembawa muatan pada pita valensi semikonduktor (Chen *et al.*, 2009). Kedua dopan ini ditunjukkan pada Gambar 2.9.



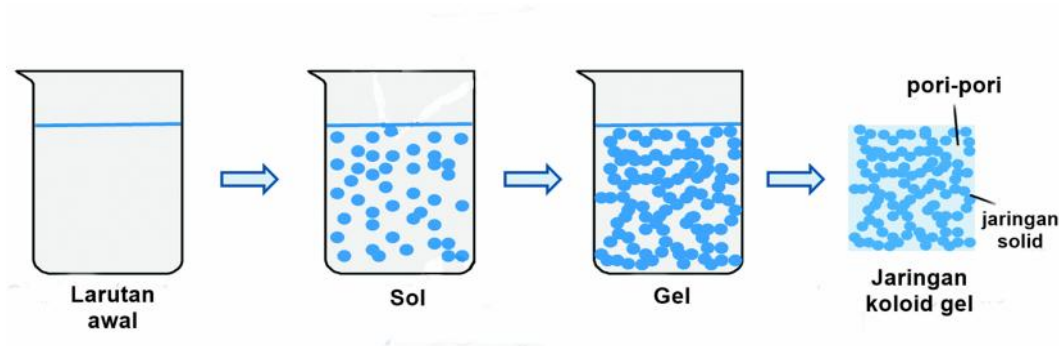
Gambar 2.9. Skema untuk semikonduktor dan dopan tipe-n (a) dan dopan tipe-p (b) (Sumber: Chen *et al.*, 2009).

Nam *et al.* (2012) melakukan penelitian untuk mensintesis nanotitania yang didoping sulfur dengan menggunakan metode hidrolisis termal dan menggunakan bahan prekursor titanium hydroxide oxide ($\text{Ti}(\text{OH})_2\text{O}$), etanol sebagai pelarut, HCl sebagai katalis dan thiourea sebagai sumber doping sulfur. Berdasarkan penelitiannya, fotokatalis titania yang didoping sulfur 0,56% mempunyai aktivitas fotokatalitik di bawah sinar tampak lebih tinggi daripada aktivitas fotokatalitik Degussa p-25. Penelitian ini akan dilakukan doping sulfur pada TiO_2 dengan menggunakan thiourea sebagai sumber doping sulfur karena menurut Shnidman (1933) dalam 1 gram thiourea memiliki konsentrasi sulfur 42,10 %.

G. Sol-gel

Sol adalah padatan yang tersuspensi atau tersebar dalam larutan membentuk partikel koloid dari molekul polimer (Hench dan West, 1990; Brinker dan Scherer, 1990). Gel adalah jaringan kaku yang saling berhubungan yang memiliki pori-pori dan rantai polimer. Metode sol-gel adalah proses berubahnya sol

menjadi gel melalui tahap hidrolisis, gelasi, penuaan dan pengeringan (Hench dan West, 1990). Metode sol-gel ditunjukkan pada Gambar 2.10.

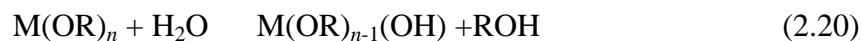


Gambar 2.10. Tahapan proses sol-gel (Feinle *et al.*, 2015).

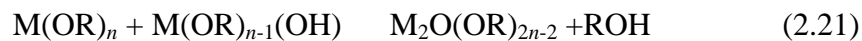
Tahapan pertama dalam metode sol-gel adalah pencampuran. Pada tahap ini, suspensi bubuk koloid atau sol dibentuk dengan mencampurkan partikel koloid ke dalam pelarut, atau yang dikenal sebagai hidrolisis. Dalam hal ini prekursor alkoksida dihidrolisis dengan mencampurkannya dengan air. Tahap kedua, partikel koloid berinteraksi dengan prekursor dan membentuk jaringan tiga dimensi berupa gel. Perubahan bentuk menjadi gel ini menunjukkan peningkatan viskositas yang tinggi. Tahap ini disebut dengan gelasi atau *gelation*. Tahap ke tiga merupakan penuaan gel atau *aging*. Pada tahap ini gel dibiarkan selama beberapa jam atau hari agar ketebalan gel meningkat. Proses penuaan gel ini juga akan menurunkan porositas. Tahap keempat, yaitu pengeringan merupakan tahap dimana zat cair dihilangkan dari jaringan yang mengikat antar pori-pori (Hench dan West, 1990).

Dengan menggunakan proses sol-gel, TiO_2 biasanya dipreparasi melalui reaksi hidrolisis dan polikondensasi titanium alkoksida ($\text{Ti}(\text{OR})_n$) menjadi bentuk okso polimer, yang akan berubah bentuk menjadi jaringan oksida. Skema reaksinya ditunjukkan sebagai berikut:

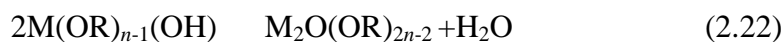
1. Hidrolisis



2. Kondensasi



3. Dealkoholisasi



Untuk mendapatkan titanium oksida yang homogen, penting dilakukan pengaturan pada tahap hidrolisis. Oleh karena itu, penambahan pada prekursor untuk sumber titania, beberapa bahan reaksi *chelating*, asam karboksilat atau senyawa diketonate ditambahkan. Kondensasi biasanya dicapai melalui tahap gelasi dan kalsinasi. Kondensasi menyatukan partikel-partikel penyusun gel menjadi padatan, hingga membentuk kristal logam oksida. Suhu kalsinasi sangat penting untuk membersihkan molekul organik dari hasil akhir dan menyempurnakan kristalisasi. Akan tetapi, suhu kalsinasi yang sangat tinggi akan menyebabkan pengumpulan dan/atau perubahan fasa dan mempengaruhi mikrostruktur dan juga sifat nanopartikel TiO₂ (Su *et al.*, 2004).

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2017 sampai September 2017 di Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung. Karakterisasi sampel dilaksanakan di Jurusan Fisika Universitas Negeri Padang (UNP), Padang dan Jurusan Kimia Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta.

B. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah neraca digital, botol kaca, gelas ukur, labu ukur, gelas beker, spatula, pengaduk magnetik, batang magnetik, pipet tetes, mikro pipet, mortar dan pastel, tungku, corong, tabung reaksi yang dilengkapi rak, tisu, lembar aluminium, tisu, plastik *press* dan oven. Sementara bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah titanium butoksida $[\text{Ti}(\text{OC}_4\text{H}_9)_4]$ 97% merek Aldrich, butanol ($\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$), HCl 37%, thiourea ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{S}$) 99% merek Merck, remazol kuning keemasan dan akuabides.

C. Prosedur Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini terdiri atas beberapa tahap antara lain sintesis S-doping nanotitania, kalsinasi, uji karakterisasi sampel menggunakan XRD dan TEM dan uji fotokatalis.

1. Sintesis S-doping nanotitania

Pembuatan bubuk S-doping nanotitania dilakukan dengan mensintesis hasil pencampuran antara butanol, titanium butoksida dan thiourea 99% dengan komposisi tertentu. Dalam hal ini titanium butoksida berfungsi sebagai prekursor, butanol berfungsi sebagai pelarut dan thiourea berfungsi sebagai sumber doping sulfur. Proses sintesis ini dilakukan dengan membuat dua larutan, yaitu larutan titania dan larutan thiourea. Larutan thiourea mengandung 7,612 gr bubuk thiourea yang dilarutkan dalam 100 ml akuabides. Dan larutan titanium dioksida mengandung 10 ml titanium butoksida yang dilarutkan setetes demi tetes ke dalam 80 ml butanol yang kemudian diaduk menggunakan pengaduk magnetik selama 30 menit. Setelah itu menambahkan HCl sebanyak 0,5 ml dan melanjutkan pengadukan selama 30 menit. Lalu menambahkan larutan thiourea dan mengaduknya semalaman. Variasi komposisi dari kelima sampel ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Variasi komposisi sampel.

Sampel	Titanium butoksida (ml)	Butanol (ml)	Thiourea (ml)	Perbandingan mol (TiO ₂ : S)
TBT-0	10	80	0	-
TBT-0.5	10	80	0,5	1:0,0178
TBT-1.0	10	80	1	1:0,0357
TBT-1.5	10	80	1,5	1:0,0536

TBT-2.0	10	80	2	1:0,0714
---------	----	----	---	----------

Pengadukan dilanjutkan selama 12 jam sehingga diketahui perbedaan dari kelima sampel. Setelah ketiga bahan tercampur dilakukan pengeringan menggunakan oven pada suhu $\sim 80^\circ\text{C}$ selama 24 jam.

2. Kalsinasi

Kalsinasi dilakukan untuk menghilangkan zat-zat yang tidak dibutuhkan dalam bubuk S-doping TiO_2 . Kalsinasi dilakukan di Laboratorium Biomassa Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Kalsinasi dilakukan pada suhu 450°C selama 10 jam dengan kecepatan suhu $\sim 2^\circ\text{C}/\text{menit}$.

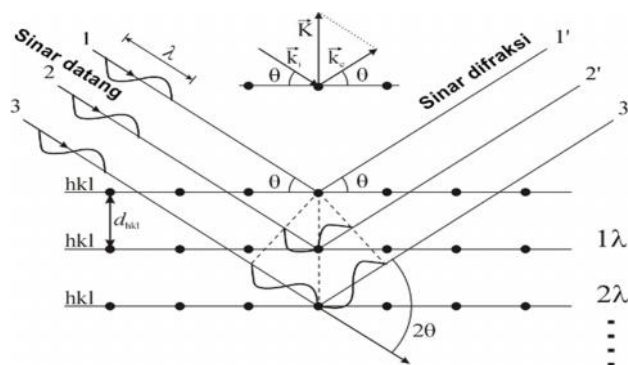
3. Karakterisasi S-doping nanotitania

Karakterisasi merupakan tahap yang digunakan untuk mengetahui sifat fisik dan kimia dari sampel hasil preparasi. Data hasil karakterisasi ini akan menjadi parameter keberhasilan preparasi fotokatalis nanotitania.

a. Karakterisasi XRD

Karakterisasi XRD dilakukan untuk mengetahui fasa dan struktur kristal dari suatu sampel. XRD menggunakan sinar-X sebagai penghantar untuk menganalisis sampel. Sinar-X dengan panjang gelombang (λ) ini diarahkan pada permukaan kristal dengan sudut θ , kemudian sinar ini akan dihamburkan oleh bidang kristal. Sinar yang sefase akan saling menguatkan dan yang tidak sefase akan saling melemahkan. Besarnya sudut difraksi tergantung pada panjang

gelombang berkas sinar-X dan jarak antara bidang penghamburan (d). Intensitas sinar-X yang terdifraksi dan mengenai permukaan sampel akan membentuk pola interferensi yang akan dianalisis untuk mengetahui struktur kristal, komposisi kimia, maupun sifat-sifat bahan (Glatzel, 2013). Skema difraksi sinar-X ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Skema difraksi sinar-X (Cullity, 1956).

Proses karakterisasi ini dilakukan menggunakan alat XRD X'PERT PRO PANalytical PW 30/40. Logam yang digunakan adalah Cu dengan panjang gelombang K- 1 sebesar $1,54060 \text{ \AA}$, K- 2 sebesar $1,54443 \text{ \AA}$ dan K- sebesar $1,39225 \text{ \AA}$. Sudut difraksi (2θ) yang digunakan mulai dari $10,0181^\circ$ sampai $99,9781^\circ$ dengan *step size* sebesar $0,0260^\circ$ dan *scan step time* selama 7,1400 detik. Alat ini dioperasikan dengan tegangan 40 kV dan kuat arus 30 mA. Hal pertama yang dilakukan dalam proses karakterisasi ini adalah meletakkan sampel di tempat sampel dan meratakannya menggunakan kaca. Setelah itu memasukan sampel ke dalam difraktometer yang akan menembakan sinar-X sehingga diperoleh data kuantitatif pada sudut-sudut tertentu. Data tersebut kemudian disimpan ke dalam bentuk *excel* untuk memudahkan dalam pengolahan data. Selanjutnya data yang diperoleh akan diolah

menggunakan Matlab R2014a. Data hasil XRD ini kemudian akan dianalisis secara kualitatif dengan menggunakan PCPDFWIN untuk mengetahui fasa apa saja yang terdapat dalam sampel dan dianalisis secara kuantitatif dengan menggunakan perangkat lunak Rietica untuk menentukan berapa banyak setiap fasa yang terdapat dalam sampel. Selain itu, hasil karakterisasi XRD juga dapat digunakan untuk menentukan ukuran partikel menggunakan persamaan Scherrer, yakni

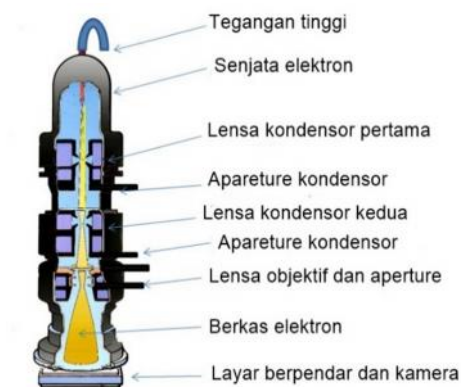
$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (3.1)$$

dengan D adalah ukuran partikel (nm), k adalah konstanta (0,9), λ adalah lebar penuh pada setengah intensitas maksimum atau *Full Width at Half Maximum* (FWHM), λ adalah panjang gelombang sinar-X dalam satuan nanometer (nm) dan θ adalah sudut hamburan pada mana puncak difraksi terjadi ($^{\circ}$) (Yu *et al*, 2009).

b. Karakterisasi TEM

Karakterisasi TEM dilakukan untuk menganalisa kristalin material. Proses karakterisasi ini dilakukan menggunakan alat JEOL JEM 1400. Proses ini diawali dengan preparasi sampel, yakni mencampurkan sampel dengan dispersan. Selanjutnya, sampel diletakkan pada *grid* atau substrat dan memasukkannya ke dalam alat. Setelah itu dilakukan pengaturan tegangan, penentuan fokus dan daerah. Kemudian dilakukan penembakan elektron dari senjata elektron yang kemudian akan difokuskan dengan lensa kondensor dan menembus sampel sehingga menghasilkan foto dengan skala pengukuran tertentu. Hasil foto ini

kemudian diolah menggunakan perangkat lunak ImageJ untuk menghitung ukuran butiran partikel. Skema peralatan TEM ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Skema peralatan TEM (UCBS, 2017).

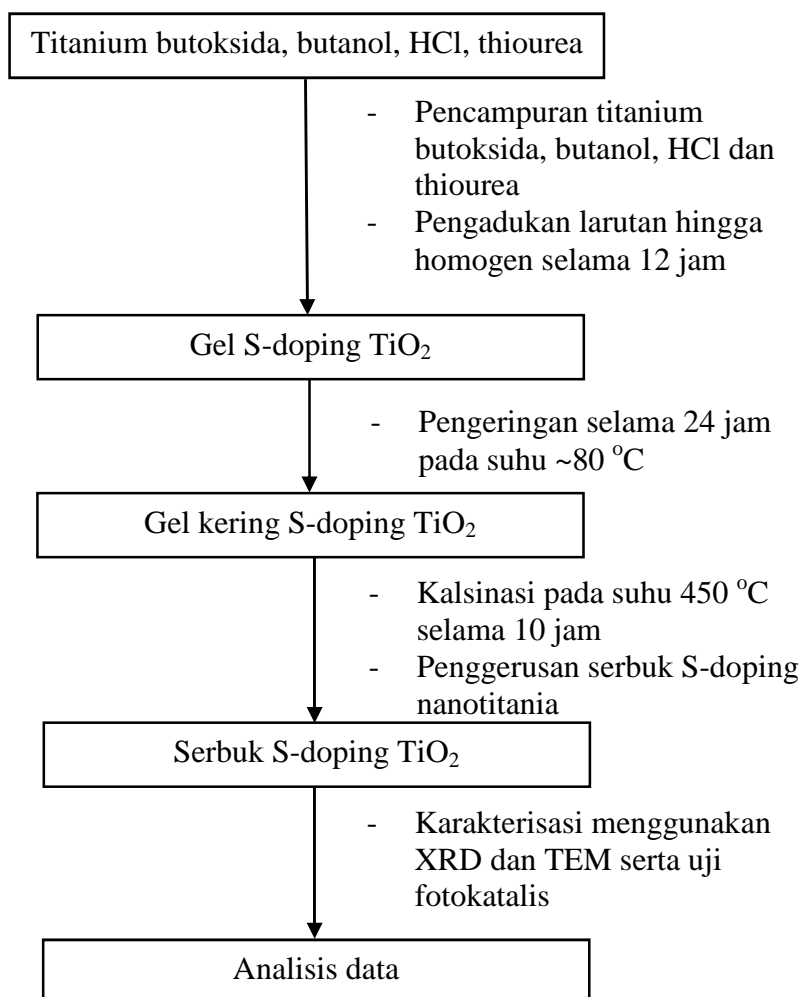
c. Uji Fotokatalis

Uji fotokatalis dilakukan untuk mengetahui sifat katalis sampel yang memerlukan bantuan energi cahaya atau foton seperti cahaya matahari dan lampu UV. Uji fotokatalis akan dilakukan di Universitas Lampung, Bandar Lampung. Uji fotokatalis dilakukan menggunakan larutan remazol kuning keemasan 10 ppm yang terdiri dari 3 ml remazol kuning keemasan yang dilarutkan ke dalam 297 ml akuabides di gelas beker. Kemudian larutan diaduk menggunakan pengaduk magnetik hingga homogen. Setelah itu menambahkan 0,25 gr S-doping TiO_2 ke dalam larutan tersebut dan melanjutkan pengadukan di bawah penyinaran lampu UV. Selanjutnya melakukan pengambilan larutan sebanyak 10 ml setiap 10 menit selama 50 menit. Hasil uji fotokatalis ini kemudian dilakukan uji spektrofotometri UV-Vis untuk mengetahui nilai absorbansi pada panjang gelombang tertentu. Uji spektrofotometri

ini dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

D. Diagram Alir

Penelitian ini diawali dengan tahap sintesis nanotitania terdoping sulfur menggunakan metode sol gel. Kemudian dilanjutkan dengan kalsinasi dan analisa data. Skema dari penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Diagram alir sintesis S-doping TiO₂.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Fasa yang terbentuk pada S-doping TiO₂ dan TiO₂ murni setelah dikalsinasi pada suhu 450 °C adalah fasa anatase.
2. Ukuran butiran partikel TiO₂ murni berdasarkan hasil uji karakterisasi XRD adalah 12,98 nm, sedangkan ukuran butiran partikel berdasarkan hasil uji karakterisasi TEM dengan menggunakan *software* ImageJ adalah 12,5 nm.
3. Ukuran butiran partikel S-doping TiO₂ berdasarkan hasil uji karakterisasi XRD adalah 9,8 nm, sedangkan ukuran butiran partikel berdasarkan hasil uji karakterisasi TEM dengan menggunakan *software* ImageJ adalah 8,6 nm.
4. Aktivitas fotokatalis maksimum terjadi pada sampel S-doping TiO₂ pada panjang gelombang maksimum sebesar 550 nm ketika disinari di bawah lampu UV.

B. Saran

Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan sintesis nanotitania yang didoping sulfur dengan metode yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, E., Kiswanti, D. dan Pratapa, S. 2013. Sintesis Titanium Dioksida Menggunakan Metode Logam-Terlarut Asam. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*. Volume 3. Nomor 2. Halaman 2337-3520.
- Alwi, C. 2008. Sintesis Nano TiO₂ dengan Prekursor TiCl₄ Menggunakan Metode Sol-Gel dan Kristalisasi Dingin untuk Aplikasi Anti Kabut. *Skripsi*. Universitas Indonesia: Depok.
- Anggraita, P. 2006. Penelitian Bahan Nano (Nanomaterial) di Badan Tenaga Nuklir Nasional. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. Halaman 6-8.
- Banerjee, S., Gopal, J., Muraleedharan, P., Tyagi, A. dan Raj, Baldev. 2006. Physics and Chemistry of Photocatalytic Titanium Dioxide: Visualization of Bactericidal Activity Using Atomic Force Microscopy. *Journal of Current Science*. Volume 90. Nomor 10. Halaman 1378-1383.
- Bera, A. dan Belhaj, H. 2016. Application of Nanotechnology by Means of Nanoparticles and Nanodispersions in Oil Recovery – A Comprehensive Review. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. Volume 34. Halaman 1-74.
- Binitha, N., Yaakob, Z. dan Resmi, R. 2010. Influence of Synthesis Methods on Zirconium Doped Titanian Photocatalysts. *Journal of Chemistry*. Volume 8. Nomor 1. Halaman 182-187.
- Brinker, C. dan Scherer, George W. 1990. *Sol-Gel Science: The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*. Academic Press, Inc.: London
- Carp, O., Huisman, C. L. dan Reller, A. 2004. Photoinduced Reactivity of Titanium Dioxide. *Journal of Progress in Solid State Chemistry*. Volume 32. Nomor 1-2. Halaman 33-117.

- Chai, L., Yu, Y., Zhang, G., Peng, B. dan Wei, S. 2007. Effect of Surfactants on Preparation of Nanometer TiO₂ by Pyrohydrolysis. *Journal of Transaction of Nonferrous Metals Society of China*. Volume 17. Nomor 1. Halaman 176-180.
- Chen, W., Qi, D., Gao, X. dan Wee, A. 2009. Surface Transfer Doping of Semiconductors. *Journal of Progres in Surface Science*. Volume 84. Nomor 9. Halaman 279-321.
- Chen, X. dan Mao, S. 2007. Titanium Dioxide Nanomaterials: Synthesis, Properties, Modifications and Applications. *Journal of Chemical Review*. Volume 107. Nomor 7. Halaman 2891-2959.
- Colmenares, J., Luque, R., Campelo, J., Colmenares, F., Karpinski, Z dan Romero, A. 2009. Nanostructured Photocatalysts and Their Application in the Photocatalytic Transformation of Lignocellulosic Biomass: An Overview. *Journal of Materials*. Volume 2. Nomor 4. Halaman 2228-2258.
- Cullity, B. 1956. *Elements of X-Ray Diffraction*. Addison-Wesley Publishing Company Inc.: Massachusetts. Halaman 84.
- Dalton, J., Janes, P., Jones, N., Nicholson, J., Hallam, K. dan Allen, G. 2002. Photocatalytic Oxidation of NO_x Gases Using TiO₂: A Surface Spectroscopic Approach. *Journal of Environmental Pollution*. Volume 120. Halaman 415-422.
- Darzi, S., Mahjoub, A. dan Sarfi, S. 2012. Visible-Light-Active Nitrogen Doped TiO₂ Nanoparticles Prepared by Sol-Gel Acid Catalyzed Reaction. *Iranian Journal of Materials Science and Engineering*. Volume 9. Nomor 2. Halaman 17-23.
- Djerdj, I. dan Tonejc, A. 2006. Structural Investigations of Nanocrystalline TiO₂ Samples. *Journal of Alloys and Compounds*. Volume 413. Nomor 1-2. Halaman 159-174.
- Fahyuan, H., Dahlan, D. dan Astuti. 2012. Pengaruh Konsentrasi CTAB dalam Sintesis Nanopartikel TiO₂ untuk Aplikasi Sel Surya Menggunakan Metode Sol Gel. *Jurnal Ilmu Fisika*. Volume 4. Nomor 1. Halaman 16-23.
- Fakhrudinova, E., Shabalina, A. dan Sudareva, E. 2015. Synthesis of TiO₂ and F-Doping TiO₂ Powders Via "Reverse" Hydrolysis of Titanium

Tetraisopropoxide. *Journal of Advanced Materials Research*. Volume 1085. Halaman 95-100.

Feinle, A., Elsaesser, M. dan Husing, N. 2015. Sol-Gel Synthesis of Monolithic Materials with Hierarchical Porosity. *Journal of Chemistry Society Reviews*. Volume 12. Halaman 3377-3399.

Filipponi, L. dan Sutherland, D. 2007. *Nanotechnology: A Brief Introduction*. Interdisciplinary Nanoscience Center: Denmark.

Fujishima, A. dan Zhang, X. 2006. Titanium Dioxide Photocatalysis: Present Situation and Future Approaches. *Journal of Comptes Rendus Chimie*. Volume 9. Nomor 5. Halaman 750-760.

Fujishima, A., Rao, T. dan Tryk, D. 2000. Titanium Dioxide Photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology*. Volume 1. Halaman 1-21.

Glatzel, T, 2013. *X-Ray Diffraction*. Universitat Basel : Raum. Halaman 1.

Hamadani, M., Reisi-Vanami, A. dan Majedi, A. 2009. Preparation and Characterization of S-Doped TiO₂ Nanoparticles, Effect of Calcination Temperature and Evaluation of Photocatalytic Activity. *Journal of Materials Chemistry and Physics*. Volume 116. Nomor 2. Halaman 376-382.

Hashimoto, K., Irie, H. dan Fujishima, A. 2005. TiO₂ Photocatalysis: A Historical Overview and Future Prospects. *Japanese Journal of Applied Physics*. Volume 44. Nomor 12. Halaman 8269-8285.

Hayle, S. dan Gonfa, G. 2014. Synthesis and Characterization of Titanium Oxide Nanomaterials Using Sol-Gel Method. *American Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. Volume 2. Nomor 1. Halaman 1-7.

Hench, L. dan West, J. 1990. The Sol-Gel Process. *Chemical Review*. Volume 90. Halaman 33-72.

Hermann, J. 1999. Heterogeneous Photocatalysis: Fundamentals and Applications to the Removal of Various Types of Aqueous Pollutants. *Journal of Catalysis Today*. Volume 53. Nomor 1. Halaman 115-129.

- Huberty, J. dan Xu, H. 2008. Kinetics Study on Phase Transformation from Titania Polymorph Brookite to Rutile. *Journal of Solid State Chemistry*. Volume 181. Nomor 3. Halaman 508-514.
- Hunter, B. 2001. Rietica-A Visual Rietveld Program. *International Union of Crystallography Commission on Powder Diffraction Newsletter*. Volume 20. Halaman 21.
- Ichzan, N., Zharvan, V., Daniyati, R., Santoso, H., Yudoyono, G. dan Darminto. 2015. Pengaruh pH pada Pembentukan Nanopowder TiO₂ Fase Anatase dan Sifat Fotokatalisnya. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. Volume 11. Nomor 2. Halaman 60-63.
- Kurtoglu, M. 2011. Effect of Doping on the Photocatalytic, Electronic and Mechanical Properties of Sol-Gel Titanium Dioxide Films. *Thesis*. Drexel University: Philadelphia.
- Kisi, E. 1994. Rietveld Analysis of Powder Diffraction Pattern. *Material Forum*. Halaman 135-153.
- Lauterwasser, C. 2006. *Opportunities and Risks of Nanotechnologies*. Allianz AG: Munchen.
- Landmann, M., Rauls, E. dan Schimdt, W. G. 2012. The Electronic Structure and Optical Response of Rutile, Anatase and Brookite TiO₂. *Journal of Physics Condensed Matter*. Volume 24. Nomor 19. Halaman 1-6.
- Lie, X., Xue, X., Yang, H., Chen, C., Li, X., Niu, M., Gao, Y. dan Yang, Y. 2015. Effect of Calcination Temperature on the Structure and Visible-Light Photocatalytic Activities of (N, S and C) Co-Doped TiO₂ Nano-Materials. *Journal of Applied Surface Science*. Volume 332. Halaman 172-180.
- Logothetidis, S. 2012. Nanotechnology: Principles and Applications. *Nanostructured Materials and Their Applications*. Halaman 1-23.
- Mahmoud, M., Hamdi, M., Sulaiman, M. dan Paulus, W. 2013. XRD and EDXRD Analysis of Anatase Nano-TiO₂ Synthesized From Mineral Precursors. *Journal of Advanced Materials Research*. Volume 620. Halaman 179-185.

- Mai, L., Huang, C., Wang, D., Zhang, Z. dan Wang, Y. 2009. Effect of C Doping on the Structural and Optical Properties of Sol-Gel TiO₂ Thin Films. *Journal of Applied Surface Science*. Volume 255. Nomor 22. Halaman 9285-9289.
- Moellmann, J., Ehrlich, S., Tonner, R. dan Grimme, S. 2012. A DFT-D Study of Structural and Energetic Properties of TiO₂ Modifications. *Journal of Physics Condensed Matter*. Volume 24. Nomor 42. Halaman 1-8.
- Morris, J. dan Willis, J. 2005. *Nanotechnology White Paper*. United States Environmental Protection Agency: Washington.
- Nam, S., Kim, T. dan Boo, J. 2012. Physical Property and Photo-Catalytic Activity of Sulfur Doped TiO₂ Catalysts Responding to Visible Light. *Journal of Catalysis Today*. Volume 185. Nomor 1. Halaman 259-262.
- Nakata, K. dan Fujishima, A. 2012. TiO₂ Photocatalysis: Design and Applications. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*. Volume 13. Nomor 3. Halaman 169-189.
- Natullah, R. dan Yudoyono, G. 2013. Karakterisasi Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Pada TiO₂ Fase Anatase dan Rutile. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*. Volume 2. Nomor 1. Halaman 2337-3520.
- Nikalje, A. 2015. Nanotechnology and Its Applications in Medicine. *Journal of Medicinal Chemistry*. Volume 5. Nomor 2. Halaman 81-89.
- Nosaka, Y., Nishikawa, M. dan Nosaka, A. 2014. Spectroscopic Investigation of the Mechanism of Photocatalysis. *Journal of Molecules*. Volume 19. Nomor 11. Halaman 18248-18267.
- Ohno, T., Akiyoshi, M., Umebayashi, T., Asai, K., Mitsui, T. dan Matsumura, M. 2004. Preparation of S-TiO₂ Photocatalysts and Their Photocatalytic Activities under Visible Light. *Journal of Applied Catalysis*. Volume 265. Nomor 1. Halaman 115-121.
- Palanivelu, K., Im, J. dan Lee, Y. 2007. Carbon Doping of TiO₂ for Visible Light Photocatalysis – A Review. *Journal of Carbon Science*. Volume 8. Nomor 3. Halaman 214-224.

- Paola, A., Cufalo, G., Addamo, M., Bellrdita, M., Campostrini, R., Ischia, M., Ceccato, R. dan Palmisano, L. 2008. Photocatalytic of Nanocrystalline TiO₂ (Brookite, Rutile dan Brookite-Based) Powders Prepared by Thermohydrolysis of TiCl₄ in Aqueous Chloride Solutions. *Journal of Colloids and Surfaces*. Volume 317. Halaman 366-376.
- Park, C., Bangi, U. dan Park, H. 2013. Effect of Sulfur Dopants on the Porous Structure and Electrical Properties of Mesoporous TiO₂ Thin Films. *Journal of Materials Letters*. Volume 106. Halaman 401-404.
- Pokropivny, V., Lohmus, R., Hussainova, I., Pokropivny, A. dan Vlassoc, S. 2007. *Introduction to Nanomaterials and Nanotechnology*. Tartu University Press: Tartu.
- Pulgarin, C., Kiwi, J. dan Nadtochenko, V. 2012. Mechanism of Photocatalytic Bacterial Inactivation on TiO₂ Films Involving Cell-Wall Damage and Lysis. *Journal of Applied Catalysis B: Environmental*. Volume 128. Halaman 179-183.
- Rahman, T., Fadhlulloh, M., Nandiyanto, A. dan Mudzakir, A. 2014. Review: Sintesis Titanium Dioksida Nanopartikel. *Jurnal Integrasi Proses*. Volume 5. Nomor 1. Halaman 15-29.
- R ileanu, M., Crisan, M., Nitoi, I., Ianculescu, A., Oancea, P., Crisan, D. dan Todan, L. 2013. TiO₂-Based Nanomaterials with Photocatalytic Properties for the Advanced Degradation of Xenobiotic Coumpounds from Water: A Literature Survey. *Journal of Water Air Soil Pollut*. Volume 224. Nomor 6. Halaman 1548-1593.
- Ramsden, J. 2011. *Nanotechnology: An Introduction*. Elsevier. Inc.: Waltham.
- Riwayati, I. 2007. Analisis Resiko Pengaruh Partikel Nano terhadap Kesehatan Manusia. *Jurnal Momentum*. Volume 3. Nomor 2. Halaman 17-20.
- Sagadevan, S. 2013. Synthesis and Electrical Properties of TiO₂ Nanoparticles Using A Wet Chemical Technique. *American Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. Volume 1. Nomor 1. Halaman 27-30.
- Shnidman, L. 1933. The Solubility of Thiourea in Water, Methanol, and Ethanol. *Journal of Physics Chemical*. Volume 37. Nomor 6. Halaman 693-700.

- Sinha, S., Orozco, N., Ramirez, D. dan Rodriguez-Vazquez, R. 2009. Effect of Surfactant on TiO₂/UV Mediated Heterogeneous Photocatalytic Degradation of DDT in Contaminated Water. *Journal of Clean Technology*. Volume 4. Halaman 273-276.
- Su, C., Hong, B. Y. dan Tseng, C. M. 2004. Sol-Gel Preparation and Photocatalysis of Titanium Dioxide. *Journal of Catalysis Today*. Volume 96. Nomor 3. Halaman 119-126
- Su, Y., Yang, Y., Zhang, H., Xie, Y., Wu, Z., Jiang, Y., Fukata, N., Bando, Y. dan Wang, Z. 2013. Enhanced Photodegradation of Methyl Orange with TiO₂ Nanoparticles Using A Triboelectric Nanogenerator. *Journal of Nanotechnology*. Volume 24. Halaman 1-6.
- Supriyanto, E., Holikin, A. dan Suwardiyanto. 2014. Pengaruh Thermal Annealing terhadap Struktur Kristal dan Morfologi Bubuk Titanium Dioksida (TiO₂). *Jurnal Ilmu Dasar*. Volume 15. Nomor 1. Halaman 37-41.
- Tjahjanto, R. dan Gunlazuardi, J. 2001. Preparasi Lapisan Tipis TiO₂ sebagai Fotokatalis: Keterkaitan antara Ketebalan dan Aktivitas Fotokatalisis. *Jurnal Penelitian Universitas Indonesia*. Volume 5. Nomor 2. Halaman 81-91.
- UCBS, 2017. *The Transmission Electron Microscopy*. <https://www.ccber.ucsb.edu/collections-botanical-collections-plant-anatomy/transmission-electron-microscope>. 4 Oktober 2017.
- Valentin, C., Pacchioni, G. dan Selloni, A. 2005. Theory of Carbon Doping of Titanium Dioxide. *Journal of Chemical Material*. Volume 17. Nomor 26. Halaman 6656-6665
- Wang, Y., Li, J., Peng, P., Lu, T. dan Wang, L. 2008. Preparation of S-TiO₂ Photocatalyst and Photodegradation of L-Acid Under Visible Light. *Journal of Applied Surface Science*. Volume 254. Nomor 16. Halaman 5276-5280.
- Wich, P. 2016. *Nanotechnology*. <http://www.wichlab.com/research/>. 25 November 2016.
- Wong, M., Sun, D. dan Chang, H. 2010. Bactericidal Performance of Visible-Light Responsive Titania Photocatalyst with Silver Nanostructures. *Journal of Plos One*. Volume 5. Nomor 4. Halaman 1-7.

- Yang, G., Jiang, Z., Shi, H., Xiao, T. dan Yan, Z. 2010. Preparation of Highly Visible-Light Active N-Doped TiO₂ Photocatalyst. *Journal of Materials Chemistry*. Volume 20. Nomor 25. Halaman 5301-5309.
- Yang, G., Yan, Z. dan Xiao, T. 2012. Low-Temperature Solvothermal Synthesis of Visible-Light-Responsive S-Doped TiO₂ Nanocrystal. *Journal of Applied Surface Science*. Volume 258. Nomor 8. Halaman 4016-4022.
- You, Y., Xu, C., Xu, S., Cao, S., Wang, J., Huang, Y. dan Shi, S. 2014. Structural Characterization and Optical Property of TiO₂ Powders Prepared by the Sol-Gel Method. *Journal of Ceramics International*. Volume 40. Nomor 6. Halaman 8659-8666.
- Yu, J., Liu, S., Xiu, Z., Yu, W. dan Feng, G. 2009. Synthesis of Sulfur-doped TiO₂ by Solvothermal Method and Its Visible-light Photocatalytic Activity. *Journal of Alloys and Compounds*. Volume 471. Nomor 1. Halaman 23-25.
- Zhao, Y., Du, X., Wang, X., He, J., Yu, Y. dan He, H. 2010. Effect of F Doping on TiO₂ Acidic Sites and Their Application in QCM Based Gas Sensors. *Journal of Sensors and Actuators B: Chemical*. Volume 151. Nomor 1. Halaman 205-211.