

# Analisis Pemilihan Dopan dalam Menurunkan Energi *Band Gap* pada Sintesis Lapisan TiO<sub>2</sub>

E D Rokhmawati<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Pendidikan Fisika Universitas PGRI Semarang, Jl. Lontar No. 1 Semarang

<sup>2</sup>E-mail: endang.rokhma@gmail.com

**Abstrak.** Dalam upaya menjaga kelestarian lingkungan hidup, dilakukan berbagai upaya untuk pengolahan limbah salah satunya melalui fotokatalis lapisan tipis TiO<sub>2</sub>. Lapisan tipis TiO<sub>2</sub> murni memiliki energi *band gap* 3,2 eV yang menyebabkan mampu bekerja pada sinar UV. Oleh karena itu, dilakukan berbagai penelitian untuk menurunkan energi *band gap* TiO<sub>2</sub>, sehingga mampu bekerja di daerah spektrum cahaya tampak. Salah satu metode penurunan energi band gap TiO<sub>2</sub> adalah dengan penambahan dopan tertentu. Penelitian ini bertujuan menganalisis pemilihan dopan dalam menurunkan energi *band gap* pada sintesis lapisan TiO<sub>2</sub>. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan pendekatan kualitatif. Teknik pengumpulan data dilakukan dengan observasi pada beberapa artikel. Analisis difokuskan pada tingkat keberhasilan dopan dalam menurunkan energi *band gap* dan ketersediaan dopan di alam. Hasil analisis yang didapat menunjukkan bahwa logam magnesium (Mg) mampu menurunkan energi *band gap* paling efektif menjadi 1.78 eV. Hal ini juga didukung oleh data penelitian yang menunjukkan melimpahnya ketersediaan magnesium di alam.

Kata kunci: Dopan, Sintesis TiO<sub>2</sub>, *Band gap*.

**Abstract.** In an effort to preserve the environment, various efforts were made to treat waste, one of which was through a photocatalyst of a thin layer of TiO<sub>2</sub>. A thin layer of pure TiO<sub>2</sub> has a band gap energy of 3.2 eV which causes only able to work on UV light. Therefore, various studies have been carried out to reduce the band gap energy of TiO<sub>2</sub>, so that it is able to work in areas of the visible light spectrum. One method of reducing TiO<sub>2</sub> band gap energy is by adding certain dopants. This study aims to analyze various dopants in the synthesis of thin phase TiO<sub>2</sub> layers. Data collection techniques were carried out with observations in 25 journals and articles. The analysis focused on the success rate of dopants in reducing band gap energy and the availability of dopants in nature. The results of the analysis showed that magnesium metal (Mg) was able to reduce the band's most effective energy gap to 1.78 eV. This is also supported by research data that show an abundance of magnesium availability in nature.

*Keywords:* Dopant, Synthesis of TiO<sub>2</sub>, Band gap.

## 1. Pendahuluan

Memasuki era industri, pengolahan limbah oleh para pelaksana industri harus dilaksanakan secara tepat. Pada saat ini, masih banyak ditemui pencemaran lingkungan disekitar daerah kegiatan industri yang menyebabkan masalah serius terhadap masyarakat disekitar lingkungan pabrik industri, seperti rusaknya lahan pertanian, sumber air bersih, dan polusi udara. Atas dasar itulah, kini tengah dikembangkan metode pendegredasian limbah yang ramah lingkungan. Baru-baru ini, aplikasi semikonduktor fotokatalis untuk penanggulangan masalah limbah industri dan lingkungan merupakan suatu kajian yang menarik. Adapun fotokatalis yang banyak digunakan dalam penanggulangan limbah salah satunya adalah TiO<sub>2</sub> [1].

Senyawa TiO<sub>2</sub> (Titanium (IV) Oksida) anatas merupakan semikonduktor yang memiliki stabilitas kimia dalam jangka waktu yang panjang, ramah lingkungan, stabilitas terhadap foton yang baik, dan aktifitas fotokatalis yang tinggi [2]. Lapisan tipis TiO<sub>2</sub> memiliki keunggulan dalam mendegredasikan limbah, dimana memiliki sifat nontoksik dan redoks yang mana mampu

mengoksidasi polutan organik dan mereduksi sejumlah ion logam dalam larutan.  $\text{TiO}_2$  juga memiliki sifat inert, stabil terhadap korosi yang disebabkan cahaya ataupun bahan kimia [3], dan tersedia melimpah di alam [4].  $\text{TiO}_2$  memiliki beberapa keunggulan diantaranya bersifat non toksik, dapat menggunakan cahaya matahari sebagai sumber energi, dapat dipakai ulang dan metoda penggunaannya dapat disederhanakan [1]. Selain itu, Znaidi (2001), juga berpendapat bahwa penggunaan  $\text{TiO}_2$  dalam proses fotokatalis sangat tepat, dikarenakan fungsinya yang dapat mendegradasikan polutan organik pada air yang terkontaminasi oleh bahan yang tercemar zat warna, hidrokarbon, peptisida, dan sel mikroba patogen [5].

$\text{TiO}_2$  memiliki *band gap* sebesar 3,2 eV yang hanya dapat aktif pada radiasi sinar UV [6], Lebarnya energi band gap ini akan mempengaruhi proses eksitasi elektron dari pita valensi menuju ke pita konduksi [7]. Agar proses fotokatalis  $\text{TiO}_2$  mampu bekerja pada cahaya tampak, perlu dilakukan penambahan suatu dopan yang menyebabkan matriks pada  $\text{TiO}_2$  dapat memperkecil *band gap* nya, sehingga terjadi pergeseran spektrum sinar UV ke cahaya tampak [8].

Dopan non logam sering digunakan pada fotokatalis  $\text{TiO}_2$  karena dianggap lebih aman dan tidak membahayakan. Doping non logam yang sering dipakai pada lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  biasanya N, C, S, P, dan F [9]. Selain itu, ada juga yang mencampurkan dopan logam dan non logam seperti yang dilakukan oleh Dolat (2014), dengan mencampurkan Ni dan N pada lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  [10]. Namun, penggunaan dopan logam sekarang mulai banyak digunakan karena dinilai mampu menurunkan energi *band gap* lebih efektif daripada dopan non logam. Berbagai penelitian mengenai dopan logam pada lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  telah dilakukan. Pemilihan unsur logam yang berbeda-beda sebagai dopan pada proses fotokatalis  $\text{TiO}_2$  dilakukan oleh peneliti guna mencari dopan terbaik yang mampu memperkecil *band gap* paling optimal. Selain itu, pertimbangan dalam pemilihan dopan yaitu jumlah ketersediannya di alam.

Berdasarkan permasalahan tersebut, yang menjadi tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis dopan yang efektif dalam sintesis lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  pada fase anatas.

## 2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan pendekatan kualitatif. Teknik pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan teknik observasi artikel tentang dopan  $\text{TiO}_2$  pada beberapa artikel. Beberapa data pada artikel yang digunakan sebagai fokus dalam penelitian ini diantaranya yaitu: elemen dopan, konsentrasi dan atau perbandingan molar dopan, rentang *band gap*, serta referensi artikel.

Setelah didapatkan data, selanjutnya dilakukan analisis sehingga diketahui dopan mana yang mampu menurunkan *band gap* paling besar agar mampu bekerja paling optimal pada cahaya tampak.

Penelitian ini berlangsung selama satu bulan, dimulai pada pertengahan bulan April 2019 yang mulai mengumpulkan berbagai jurnal dan literatur lain baik itu jurnal nasional maupun jurnal internasional pada 20 tahun terakhir, bulan Mei mulai mengumpulkan data, dan membuat analisisnya.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dan Pembahasan dari analisis beberapa jurnal dan artikel tentang pen-dopan-an pada lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  dituliskan sebagai berikut:

**Tabel 1.** Hasil Observasi Doping  $\text{TiO}_2$  pada artikel

Elemen Dopan	Konsentrasi dan atau perbandingan molar	Rentang <i>band gap</i>	Ref. Jurnal/Artikel
Al	0.58 %	2.92 eV	[11]
Ca	3.67 %	2.986 eV	[12]
Cu	96:4	2.35 eV	[13]
Fe	5 %	2.83 eV	[14]
Co	2.0 %	1.93 eV	[15]
V	0.9 %	2.40 eV	[16]
Al	5 %	3.54 eV	[17]
V	0.9 %	3.126 eV	[11]
Mg	1:1	1.78 eV	[18]

Na	1:1	3.16 eV	[19]
N	1.07 %	2.79 eV	[20]
N	1:2	3.0982 eV	[21]
Pb	1 : 0.03	2.76 eV	[22]
P	0.10 %	3.13 eV	[23]
Ag	2 mmol	3.1 eV	[24]
Cl	2.7 %	2.95 eV	[25]
Cl & Br	0.9% Cl dan 1.8% Br	2.85 eV	[25]
F	20 %	2.3 eV	[26]
B	1 : 0.036	3.28 eV	[27]
Cr	97% TiO <sub>2</sub> : 70% Cr	2.5 eV	[28]
Ce	97% TiO <sub>2</sub> : 65% Co	3.13 eV	[28]
Co	97% TiO <sub>2</sub> : 65% Co	2.54 eV	[28]
Cr	97% TiO <sub>2</sub> : 70% Cr	2.82 eV	[28]
Cu	97% TiO <sub>2</sub> : 16% Cu	2.86 eV	[28]
Fe	97% TiO <sub>2</sub> : 80% Fe	2.69 eV	[28]
Mn	97% TiO <sub>2</sub> : 56% Mn	2.86 eV	[28]
Mo	97% TiO <sub>2</sub> : 15% Mo	3.19 eV	[28]
Ni	97% TiO <sub>2</sub> : 60% Ni	2.37 eV	[28]
V	97% TiO <sub>2</sub> : 98% V	2.63 eV	[28]
Y	97% TiO <sub>2</sub> : 60% Y	3.20 eV	[28]
Zr	97% TiO <sub>2</sub> : 6% Zr	3.21 eV	[28]

Sesuai hasil observasi pada tabel di atas, diketahui bahwa sintesis TiO<sub>2</sub> dengan dopan Al yang dilakukan oleh Murashkina, berhasil menurunkan energi *band gap* menjadi 2,9 eV pada konsentrasi 0,58% [11]. Penelitian serupa juga dilakukan oleh Aziz, dengan menggunakan dopan yang sama namun pada konsentrasi 5% justru membuat energy *band gap* meningkat menjadi 3,52 eV [17]. Sintesis dengan dopan Ca yang dilakukan Liu, pada konsentrasi 3,67% mampu menurunkan energy *band gap* menjadi 2.986 eV [12]. Penelitian menggunakan dopan Cu dalam sintesis TiO<sub>2</sub> oleh Riyani, menggunakan perbandingan 96 molar senyawa TiO<sub>2</sub> dan 4 molar dari senyawa CuCl<sub>2</sub> mampu menurunkan energy *band gap* yang lumayan signifikan menjadi 2,35 eV [13], sedangkan Inturi, mencoba penelitian dengan dopan yang sama namun dengan konsentrasi 97% senyawa murni TiO<sub>2</sub> dan 16% unsur Cu mampu menurunkan energy *band gap* lebih sedikit menjadi 2,86 eV [28]. Variasi dopan logam besi (Fe) pada sintesis TiO<sub>2</sub> oleh Nasaralla, mampu menurunkan energy *band gap* cukup efektif menjadi 2,83 eV pada konsentrasi 5% [14], sedangkan Inturi, 2014 menggunakan dopan yang sama mampu menurunkan energy *band gap* lebih baik menjadi 2.65 eV dengan perbandingan konsentrasi 97% TiO<sub>2</sub> dan 80% logam besi (Fe) [28]. Penelitian serupa oleh Khurana, dengan dopan Co pada sintesis TiO<sub>2</sub> mampu menurunkan energy *band gap* menjadi 1,93 eV pada konsentrasi 2% [15] dan sebesar 2,54 eV dengan perbandingan konsentrasi 97% TiO<sub>2</sub> dan 65% Co [28]. Sintesis TiO<sub>2</sub> dengan dopan Vanadium (V) oleh Aini, mampu menurunkan energi *band gap* menjadi 2,40 eV pada konsentrasi 0,9% [16], sedangkan penelitian oleh Murashkina, dopan vanadium dengan konsentrasi 0.9% hanya menurunkan energi *band gap* sangat kecil yaitu 3.126 eV [11], dengan dopan yang sama perbandingan konsentrasi 97% TiO<sub>2</sub> dan 98% V mampu menurunkan energy *band gap* menjadi 2,63 eV [28]. Selanjutnya, Devi menggunakan dopan Magnesium (Mg) pada penelelitiannya dengan perbandingan molar 1:1, didapatkan hasil penurunan energy *band gap* yang signifikan menjadi 1,78 eV [18]. Penelitian lainnya, dengan dopan Natrium (Na) oleh Masae, menunjukkan penurunan energi *band gap* yang relatif kecil pada titik 3,16 eV dengan perbandingan mol 1:1 [19]. Penelitian dengan dopan nitrogen (N) oleh Afrozi, menunjukan penurunan energi *band gap* pada titik 2,79 eV dengan konsentrasi 1,07% [20] dan penurunan energi *band gap* yang relatif kecil dengan perbandingan molar 1:2 pada titik 3,0982 eV [21]. Penelitian dengan dopan timbal (Pb) oleh Yu, dengan konsentrasi 1:0,03 mampu menurunkan energi *band gap* pada titik 2,76 eV [22]. Selain itu, sintesis TiO<sub>2</sub> dengan dopan non logam fosfat juga dilakukan oleh Korosi, dengan konsentrasi 0,10% mampu menurunkan energi *band gap* yang sangat kecil pada 3,13 eV [23]. Penelitian lain oleh Lee, dengan dopan emas

(Ag) sebanyak 2 mmol mampu menurunkan energi *band gap* menjadi 3,1 eV [24]. Sintesis TiO<sub>2</sub> dengan dopan klorin (Cl) oleh Luo, dengan konsentrasi 2,7% mampu menurunkan energi *band gap* cukup efektif pada titik 2,95 eV [25]. Penelitian serupa dengan dopan fosfor (F) oleh Yu, mampu menurunkan energi *band gap* dengan konsentrasi 20% lumayan efektif menjadi 2,3 eV [26]. Selain itu, penelitian sintesis dengan dopan logam boron (B) yang dilakukan Zaleska, justru memperbesar energi *band gap* menjadi 3,28 eV [27]. Sedangkan Inturi, melakukan penelitian dengan berbagai dopan dengan konsentrasi yang berbeda diantaranya yaitu kromium (Cr), Serium (Ce), Mangan (Mn), Molibdenum (Mo), Nikel (Ni), Itrium (Y) dan Zr (Zirkonium) memiliki pengaruh dalam perubahan energi *band gap* secara berturut-turut 2,5 eV, 3,13 eV, 2,86 eV, 3,19 eV, 2,37 eV, 3,20 eV dan 3,21 eV [28]. Selain itu, ada juga penelitian yang menggunakan gabungan dua dopan sekaligus, salah satunya yaitu Luo, yang menggunakan dopan klorin dan bromin dengan konsentrasi masing-masing 0,9% dan 1,8% dengan hasil mampu menurunkan energi *band gap* cukup efektif menjadi 2,85 eV [25].

Selain memperhatikan faktor keberhasilan dalam menurunkan band gap, pemilihan tentu harus memperhatikan ketersediaan dopan di alam. Menurut Supriadi, unsur-unsur Ca, Mg, K, dan Na memiliki ketersediaan yang melimpah di alam [29]. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang pengalokasian dopan dengan memperhatikan keberhasilannya menurunkan energi *band gap* paling tinggi beserta ketersediannya di alam.

#### 4. Simpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, didapatkan bahwa dopan yang paling berpengaruh dalam menurunkan energi *band gap* adalah logam magnesium (Mg) dengan penurunan yang signifikan. Jika pada TiO<sub>2</sub> murni didapatkan energi *band gap* nya sebesar 3,0 eV (pada fase anatase) maka dengan doping logam magnesium energi *band gap* nya mampu turun sebesar 1,22 eV menjadi 1,78 eV.

#### Daftar Pustaka

- [1] Sanjaya H, Arief S, Alif A 2013 *Photochemistry* January, 2013.
- [2] Sagita F E 2018 *Sintesis dan Karakterisasi TiO<sub>2</sub>/Zeolit Variasi Komposisi dengan Metode Sol-Gel* (Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim)
- [3] Hoffmann M, Martin S, Choi W, Bahnemann D 1995 *Rev.* p 69
- [4] Redeka M, Rekas M, Trenczek Z A, Zakrzewsk K 2008 *Importence of The Band Gap Energy and Flat Band Potential for Application of Modified TiO<sub>2</sub> Photoanodes in Water Photolysis* **181** p 46
- [5] Znaidi L, Seraphimova R, Bocquet J F, Justin C C, Pommier C 2001 *Mater. Res. Bull* **45**
- [6] Kavitha S K, Palanisamy P N 2010 *International Journal of the Bioflux Society dye* **2** 2 p 189
- [7] Lestari M W 2013 *Indo J. Chem* **2**
- [8] Lestari Y D, Wardhani S, Khunur M M 2015 *Kim. student J.* **1** 1 p 592
- [9] Effendi M, Bilalodin 2012 *Pros. Pertem. Ilm. XXVI HFI Jateng DIY* p 106
- [10] Dolat 2014 *Chem. Eng. J.* **239** p 149
- [11] Murashkina A A, Murzin P D, Rudakova A V, Ryabchuk K, Emeline A V, Bahnemann D W 2015 *J. Phys. Chem. C* **119** p 24695
- [12] Liu S, Min Z, Hu D, Liu Y 2014 *International Conference on Material and Environmental Engineering* **2** 3 p 2
- [13] Riyani K, Setyaningtyas T, Dwiasi D W, 2008 *Photocatalyst* p 450
- [14] Nasralla N et al. 2013 *Sci. Iran.* **20** 3 p 1018
- [15] Khurana C, Pandey O P, Chudasama B 2015 *J. Sol-Gel Sci. Technol.* **75** 2 p 424
- [16] Aini N, Ningsih R, Maulina D, Lami F F, Chasanah S N 2018 *Mater. Sci. Eng.* **333** 1 p 3
- [17] Aziz M, Purwaningsih H 2014 "Pengaruh Penambahan Al (Doping Al) Terhadap Struktur Mikro dan Fasa Tio 2 Hasil Proses Sol-Gel," **11** p 1
- [18] Devi M, Panigrahi M R 2017 *Int. J. Eng. Appl. Sci.* **7** 2 p 1
- [19] Masae M, Pitsuwan P, Pholthawon C 2015 *J. Sci. Technol.* **20** 2 p 63
- [20] Afrozi A S, Sudaryanto 2016 *Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasi Reaktor Nuklir*

- [21] Lestari D N 2009 *Studi Preparasi Dan Karakterisasi N-Doped TiO<sub>2</sub> Dengan Metode Sol-Gel Menggunakan Prekursor Titanium Iso Propoksida (Ttip) Dan Diethylamine (Dea)* (Depok: Universitas Indonesia)
- [22] Yu J, Yu J C, Zhao X and Cheng B 2002 *J. Sol-Gel Sci. Technol.* **103** 3 p 239
- [23] Korösi L, Dékány I 2006 *Eng. Asp.* **280** 1 p 146
- [24] Lee M S, Hong S S, and Mohseni M 2005 *J. Mol. Catal. A Chem.* **242** 1 p 135
- [25] Luo H, Takata T, Lee Y, Zhao J, Domen K and Yan Y 2004 *Chem. Mater* **16** 5 p 846
- [26] Yu J C, Yu J, Ho W, Jiang Z, and Zhang L 2002 *Chem. Mater.*, **14** 9 p 3808
- [27] Zaleska A, Sobczak J W, Grabowska E, and Hupka J 2008 *Appl. Catal. B Environ.* **78** 1 p 92
- [28] Inturi S N R, Boningari T, Suidan M, and Smirniotis P G 2014 *Appl. Catal. B Environ.* **144** p 333
- [29] Supriyadi S *Agrovigor* **2** p 35