



Sintesis dan Karakterisasi Semikonduktor TiO₂ Doping Magnesium dengan Metode Hidrotermal

[Synthesis and Characterization of Magnesium Doped TiO₂ Semiconductor by Hydrothermal Method]

Tika Paramitha^{1,2✉}, Khoirunnisa Utami¹, Yuki Martha Anggraini¹, Tifa Paramitha³

¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

²Pusat Unggulan IPTEK-Perguruan Tinggi Teknologi Penyimpanan Energi Listrik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

³Jurusan Teknik Kimia Produksi Bersih, Departemen Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia

Abstract. Semiconductors are materials that range between insulators and conductors in terms of conductivity value. Titanium Dioxide (TiO₂) is a semiconductor that is widely applied to various things. TiO₂ has the benefits, such as being environmentally stable and inexpensive. TiO₂ is photoactive in the range of ultraviolet radiation due to the band gap value of 3.2 eV. However, ultraviolet is only produced from 5% of sunlight. The research aimed to narrow the band gap energy so as to maximize light absorption. This is done by modification with the addition of Mg elements to TiO₂ materials at different mass variations of Mg (1%, 1.5%, 2%) to the mass of TiO₂ which is often referred to as doping. TiO₂ was doped by Mg using a hydrothermal method for 24 hours with a temperature of 180°C, followed by 2 hours of calcination at 400°C. Then, TiO₂ and Mg-doped TiO₂ particles were characterized by SEM-EDX, FTIR, and UV-Vis. Based on the results of TiO₂ and Mg-doped TiO₂ particle characterization using SEM, both particles are spherical in shape. The success of Mg doping was identified from the data of EDX characterization, which revealed that the mass % of the Mg component increased with the greater Mg doping concentration on TiO₂ particles. There was no structural change following Mg doping on TiO₂ particles, as evidenced by the same peak based on the results of FTIR characterization of TiO₂ and Mg-doped TiO₂ particles. Moreover, a 2% Mg mass doping on pure TiO₂ resulted in a decrease in band gap energy to 3.16 eV, in which the pure TiO₂ was 3.39 eV. The mass doping of Mg on TiO₂ required further optimization to obtain the maximum band gap energy reduction for photocatalytic applications.

Keywords: TiO₂, Mg-doped TiO₂, band gap energy

Abstrak. Semikonduktor adalah material yang berkisar antara isolator dan konduktor dalam hal nilai konduktivitas. Titanium Dioksida (TiO₂) adalah semikonduktor yang banyak diaplikasikan untuk berbagai hal. TiO₂ memiliki keunggulan, seperti stabil di lingkungan dan tidak mahal. TiO₂ bersifat fotoaktif dalam kisaran radiasi sinar ultraviolet (UV) karena nilai celah pita sebesar 3,2 eV. Namun, sinar ultraviolet hanya dihasilkan dari 5% sinar matahari. Penelitian ini bertujuan untuk mempersempit energi celah pita sehingga dapat memaksimalkan penyerapan cahaya. Hal ini dilakukan dengan modifikasi dengan penambahan unsur Mg pada material TiO₂ pada variasi massa Mg yang berbeda (1%, 1,5%, 2%) terhadap massa TiO₂ yang sering disebut dengan doping. TiO₂ didoping dengan Mg menggunakan metode hidrotermal selama 24 jam dengan suhu 180°C, diikuti oleh kalsinasi 2 jam pada suhu 400°C. Kemudian, partikel TiO₂ dan TiO₂ doping Mg dikarakterisasi dengan SEM-EDX, FTIR, dan UV-Vis. Berdasarkan hasil karakterisasi partikel TiO₂ dan TiO₂ doping Mg menggunakan SEM, kedua partikel tersebut berbentuk bulat. Keberhasilan doping Mg diidentifikasi dari data karakterisasi EDX, yang menunjukkan bahwa % massa komponen Mg meningkat dengan semakin besar konsentrasi doping Mg pada partikel TiO₂. Tidak ada perubahan struktur setelah doping Mg pada partikel TiO₂, sebagaimana dibuktikan oleh puncak yang sama berdasarkan hasil karakterisasi FTIR partikel TiO₂ dan TiO₂ doping Mg. Selain itu, doping 2% massa Mg pada TiO₂ murni menghasilkan penurunan energi celah pita menjadi 3,16 eV, yang mana TiO₂ murni sebesar 3,39 eV. Doping massa Mg pada TiO₂ memerlukan optimasi lebih lanjut untuk mendapatkan penurunan nilai energi celah pita yang maksimal untuk aplikasi fotokatalitik.

Kata kunci: TiO₂, TiO₂ doping Mg, energi celah pita

Diterima: 1 Februari 2023, Disetujui: 2 Maret 2023

Sitasi: Paramitha, T., Utami, K., Anggraini, Y.M., dan Paramitha, T. (2023). Sintesis dan Karakterisasi Semikonduktor TiO₂ Doping Magnesium dengan Metode Hidrotermal. KOVALEN: Jurnal Riset Kimia, 9(1): 33-42.

✉ Corresponding author

E-mail: tikparamitha@staff.uns.ac.id

<https://doi.org/10.22487/kovalen.2023.v9.i1.16275>



LATAR BELAKANG

Semikonduktor adalah bahan yang memiliki nilai konduktivitas diantara isolator dan konduktor. Konduktivitas listrik mempunyai peran penting dalam transpor elektron atau *hole* dalam suatu material (D. Indriani & Fahyuan, 2018). Material semikonduktor yang banyak diaplikasikan adalah titanium dioksida (TiO_2). Hal ini karena TiO_2 memiliki banyak kelebihan diantaranya, yaitu harga relatif murah, ketersediaan melimpah, tidak beracun, biokompatibilitas, berukuran nano (Dissanayake et al., 2017). Selain itu, TiO_2 memiliki potensi besar dalam penelitian energi dan lingkungan, seperti penggunaan baterai lithium-ion, pelapis pembersih, pemurnian air atau sebagai katalis untuk reaksi fotokatalitik, *gas sensing*, dan lainnya (Gao et al., 2017; Kavaliunas et al., 2020; Kumar et al., 2016).

Energi celah pita TiO_2 adalah 3,2 eV, yang sesuai dengan panjang gelombang serapan maksimum dalam kisaran sinar ultraviolet (UV) 350-400 nm. Dalam penerapannya, penggunaan sinar matahari masih kurang optimal, karena hanya sekitar 4-5% spektrum sinar matahari yang berada dalam rentang UV, sedangkan 45% spektrum berada dalam rentang sinar tampak. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan penambahan unsur lain untuk mempersempit energi celah pita dan memperbesar penyerapan cahaya. Penambahan unsur lain terhadap material TiO_2 dapat dilakukan untuk memodifikasi material yang sering disebut dengan doping (Rosanti et al., 2020).

Beberapa penelitian telah dilakukan dengan doping logam transisi pada TiO_2 , yaitu Perak (Ag) (Dong et al., 2019), Nikel (Ni) (Rajaramanan et al., 2021), Mangan (Mn) (Bharati et al., 2020), Zinc (Zn) (Rajaramanan

et al., 2021), Kromium (Cr) (Chen et al., 2021), Tembaga (Cu) (Raguram & Rajni, 2022), dan Magnesium (Mg) (Q. Liu, 2014). Mg menjadi kandidat yang baik untuk doping logam pada TiO_2 . Hal ini dikarenakan Mg adalah logam alkali tanah yang dapat meningkatkan aktivitas penyerapan cahaya. Selain itu, kation Mg (0,72 Å) memiliki jari-jari atom yang sedikit lebih besar dibandingkan dengan kation Ti (0,64 Å) yang menjanjikan untuk doping (Arshad et al., 2021).

TiO_2 yang didoping dengan logam dapat disintesis dengan berbagai metode yaitu sol gel (Kumar et al., 2016; Arshad et al., 2021), *aerosol assisted chemical vapor deposition* (Shakir et al., 2018), *solvothermal microwave irradiation* (Manju & Jawhar, 2018), dan hidrotermal (Q. Liu, 2014). Namun, dalam metode hidrotermal, kristalisasi terjadi dalam larutan pada suhu yang relatif rendah, waktu yang lebih singkat, dan tekanan tinggi. Reaksi hidrotermal juga memungkinkan sintesis kristal dengan kemurnian tinggi (Dong et al., 2019). Pada penelitian Q. Liu (2014) telah dilakukan doping Mg pada TiO_2 yang diaplikasikan untuk *dye-sensitized solar cells* (DSSC) dengan metode hidrotermal (240°C dan 6 jam), variasi % mol Mg (0,5, 1, 2), dan sumber TiO_2 dari *tetrabutyl titanate*. Doping 1% mol Mg menghasilkan transpor elektron lebih cepat dibandingkan TiO_2 tanpa doping, sehingga diperoleh peningkatan *photocurrent density*. Penggunaan sumber TiO_2 dari *tetrabutyl titanate* dinilai cukup mahal, sehingga biaya sintesis cukup tinggi. Salah satu sumber TiO_2 yang lebih murah yaitu padatan titanium dioksida. Penelitian mengenai TiO_2 doping Mg dengan sumber TiO_2 dari padatan titanium dioksida sudah pernah dilakukan oleh Devi & Panigrahi (2015). Namun, penelitian tersebut

menggunakan metode sol gel dan sumber Mg dari MgO. Pada penelitian ini akan dilakukan sintesis TiO_2 doping Mg dengan metode hidrotermal (180°C dan 24 jam), variasi % massa Mg (1%, 1,5%, 2%) terhadap massa TiO_2 , dan sumber TiO_2 dari padatan titanium dioksida. Selain itu, penambahan dopan Mg dari $\text{MgNO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ini diharapkan akan memperkecil energi celah pita yang dapat diketahui berdasarkan hasil karakterisasi UV-Vis spektrometer. Karakterisasi lain yang akan dilakukan adalah partikel hasil sintesis diidentifikasi morfologi dan komposisi menggunakan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) serta diidentifikasi gugus fungsi dengan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR).

METODE PENELITIAN

Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan yaitu kaca transparan, akuades, etanol ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$) (SMART-LAB), titanium dioksida (TiO_2) (Merck), natrium hidroksida (NaOH) (Merck), asam klorida (HCl) (Merck), magnesium nitrat ($\text{MgNO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (Merck), urea ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$) (Merck), asam asetat (CH_3COOH) (Merck), dan triton x-100 (Merck).

Peralatan yang digunakan meliputi gelas beaker, pengaduk kaca, spatula, *magnetic stirrer*, cawan petri, erlenmeyer, corong kaca, pipet tetes, *hotplate* (Thermo Scientific Cimarec), timbangan digital (Constant), *hydrothermal autoclave reactor* dengan PTFE liner, oven (maskot), dan *furnace*.

Prosedur Penelitian

Sintesis material TiO_2 doping Mg

Bubuk TiO_2 dilarutkan dengan NaOH 10 M dengan bantuan pengadukan selama 30 menit. Setelah itu, campuran ditambahkan dengan urea dan dilanjutkan penambahan

$\text{MgNO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dengan variasi rasio massa yang berbeda (1%, 1,5%, 2%). Proses hidrotermal dilakukan terhadap larutan hasil pencampuran dengan menggunakan *hydrothermal autoclave reactor* pada suhu 180°C selama 24 jam. Hasil proses hidrotermal berupa padatan dicuci dengan HCl untuk menjaga pH larutan. Setelah itu, larutan difiltrasi untuk diambil endapannya dan dikeringkan. Suhu pengeringan adalah 80°C selama 12 jam. Setelah proses pengeringan, dilakukan kalsinasi pada suhu 400°C selama 2 jam sehingga menghasilkan partikel TiO_2 doping Mg.

Pembuatan film tipis TiO_2 doping Mg

Pembuatan pasta dilakukan dengan melarutkan campuran partikel TiO_2 doping Mg dengan bahan lain yaitu etanol, asam asetat dan triton x-100. Pasta yang terbentuk kemudian dilapiskan pada substrat kaca transparan dengan metode *doctor blade* dan dikeringkan pada 70°C selama 20 menit. Langkah selanjutnya yaitu pemanasan pada suhu 460°C selama 30 menit, sehingga menghasilkan film tipis TiO_2 doping Mg pada substrat kaca transparan.

Karakterisasi film tipis TiO_2 doping Mg

Film tipis TiO_2 doping Mg diidentifikasi morfologi permukaan sampel dan komposisi sampel dengan SEM-EDX (JEOL, Japan), diidentifikasi gugus fungsi sampel dengan FTIR (Shimadzu, Japan), dan diidentifikasi nilai absorbansi sampel pada panjang gelombang tertentu dengan spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu).

Perhitungan energi celah pita

Persamaan Swanepoel dan metode Tauc Plot merupakan persamaan dan metode untuk menentukan energi celah pita. Persamaan Swanepoel digunakan untuk memperkirakan

ketebalan lapisan (d) berdasarkan pola interferensi respon transmitansinya. Untuk menentukan ketebalan lapisan menggunakan persamaan Swanepoel, dibutuhkan nilai indeks bias lapisan (n) untuk dua puncak gelombang yang bersebelahan (maksimum atau minimum) yang dapat dihitung menggunakan persamaan (1) dan (2) (Efelina, 2017):

$$n = \left[N + (N^2 - n_s^2)^{1/2} \right]^{1/2} \quad \dots(1)$$

$$N = 2n_s \left(\frac{T_M - T_m}{T_M T_m} \right) + \frac{n_s^2 + 1}{2} \quad \dots(2)$$

Keterangan :

n : indeks bias lapisan

n_s : indeks bias substrat (kaca=1,51)

T_M : nilai transmitansi maksimum

T_m : nilai transmitansi minimum

Jika n_1 dan n_2 merupakan indeks bias lapisan di dua puncak gelombang pada λ_1 dan λ_2 , maka mengikuti hal tersebut ketebalan lapisan (d) dapat diketahui menggunakan persamaan (3). Nilai ketebalan lapisan yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung koefisien absorpsi (α) dengan persamaan (4) (Efelina, 2017).

$$d = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(\lambda_1 n_2 - \lambda_2 n_1)} \quad \dots(3)$$

$$\alpha = -\frac{1}{d} \ln T \quad \dots(4)$$

Selanjutnya, energi celah pita ditentukan berdasarkan grafik hubungan sumbu-x berupa (hv) dan sumbu-y berupa $(\alpha hv)^2$ (Efelina, 2017).

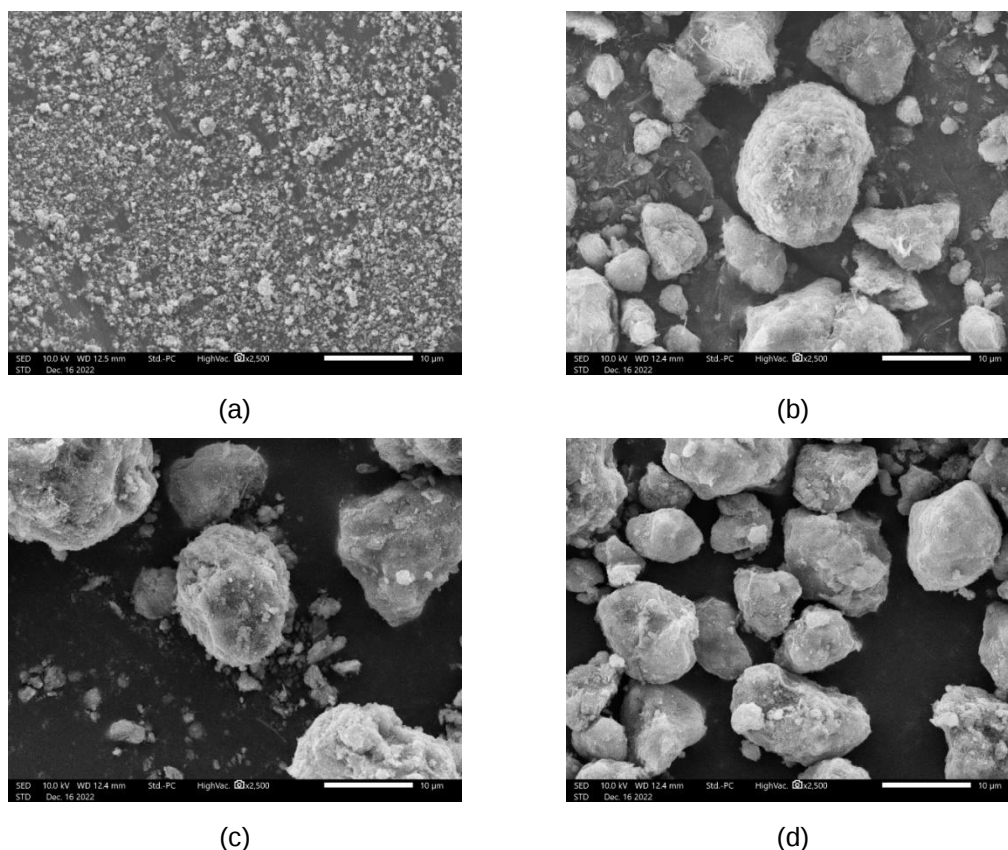
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Karakterisasi *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray*

Partikel TiO_2 murni dan TiO_2 hasil doping logam Magnesium (Mg) dikarakterisasi secara

morfologi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Gambar SEM dengan perbesaran 2500 kali ditunjukkan pada Gambar 1 yang mengkonfirmasi keberhasilan sintesis partikel TiO_2 berbentuk bulat. Partikel TiO_2 doping Mg beraglomerasi membentuk partikel yang lebih besar dengan ukuran mikron. Morfologi partikel sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Athira et al., (2020) bahwa peningkatan konsentrasi doping Mg tidak memberikan perubahan yang signifikan pada morfologi partikel.

Komposisi kimia partikel TiO_2 dan TiO_2 doping Mg pada tingkat mikroskopis yang dianalisis dengan *Energy Dispersive X-Ray* (EDX) dan dirangkum pada Tabel 1. Analisis EDX untuk partikel TiO_2 murni menunjukkan komponen Ti dan O, sedangkan partikel TiO_2 doping Mg menunjukkan komponen Ti, O, Na, dan Mg. Dapat diamati bahwa % massa komponen Mg meningkat dengan peningkatan konsentrasi doping Mg pada partikel TiO_2 , sehingga menurunkan komposisi Ti dalam kisi TiO_2 . Hasil ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Shakir et al., (2018) yaitu peningkatan konsentrasi Mg dan penurunan komposisi Ti menunjukkan keberhasilan doping pada tingkat atom dengan penggantian kation Ti oleh Mg^{2+} . Namun, terdapat perbedaan kecenderungan hasil pada sampel TiO_2 1,5% Mg. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan adanya pengotor komponen Na yang dihasilkan dari larutan NaOH dan pencucian partikel yang kurang optimal, sehingga mempengaruhi hasil % massa komponen akhir.



Gambar 1. Morfologi partikel (a) TiO_2 murni, (b) TiO_2 1% Mg, (c) TiO_2 1,5% Mg, dan (d) TiO_2 2% Mg dengan perbesaran 2500 kali

Tabel 1. Hasil analisis EDX

Sampel	% Massa				Referensi
	Ti	O	Mg	Na	
TiO_2 murni	55,6	45,4	0,00	-	(Shakir et al., 2018)
TiO_2 1% mol Mg	55,4	45,4	0,15	-	
TiO_2 2% mol Mg	55,3	45,0	0,21	-	
TiO_2 murni	53,97	46,03	-	-	penelitian ini
TiO_2 1% massa Mg	52,68	41,80	0,21	5,31	
TiO_2 1,5% massa Mg	55,42	39,46	0,33	4,80	
TiO_2 2% massa Mg	51,64	41,98	0,46	5,92	
Sampel	% Atom				Referensi
	Ti	O	Mg	Na	
TiO_2 murni	26,07	73,93	-	-	(Athira et al., 2020)
0,3 M Mg	20,59	74,48	4,93	-	
0,4 M Mg	18,89	72,51	8,60	-	

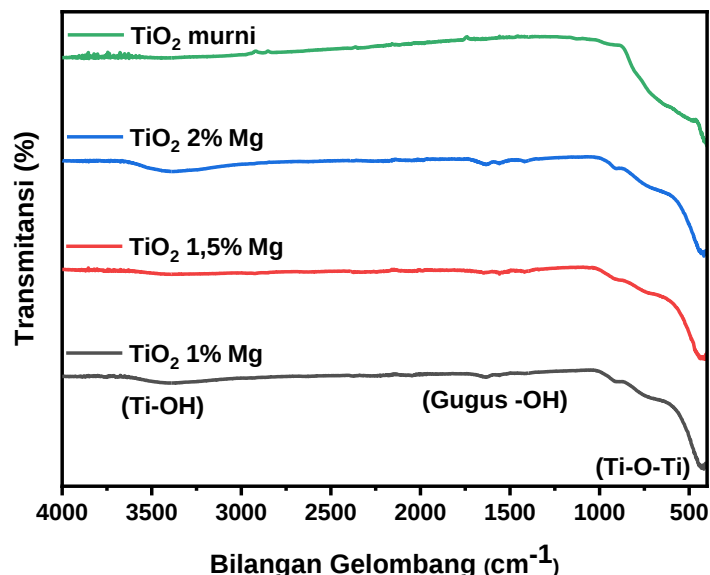
Hasil Karakterisasi *Fourier Transform Infra-Red*

Spektrum IR TiO_2 murni dan TiO_2 doping Mg yang dilakukan untuk menganalisis gugus fungsi sampel. Semua gugus fungsi berhubungan dengan partikel TiO_2 yang ditunjukkan pada Gambar 2. Puncak yang

diamati pada partikel TiO_2 murni dan TiO_2 doping Mg menunjukkan puncak yang sama, yaitu 450, 1630, dan 3400 cm^{-1} . Hal tersebut membuktikan struktur partikel TiO_2 tidak mengalami perubahan setelah dilakukan doping Mg. Vibrasi ulur ikatan simetris Ti-O-Ti ditunjukkan dari adanya puncak di 450 cm^{-1} .

Puncak panjang gelombang pada daerah 3400 cm^{-1} dan 1630 cm^{-1} masing-masing menunjukkan adanya vibrasi ulur O-H yang terikat pada Ti membentuk Ti-OH dan vibrasi

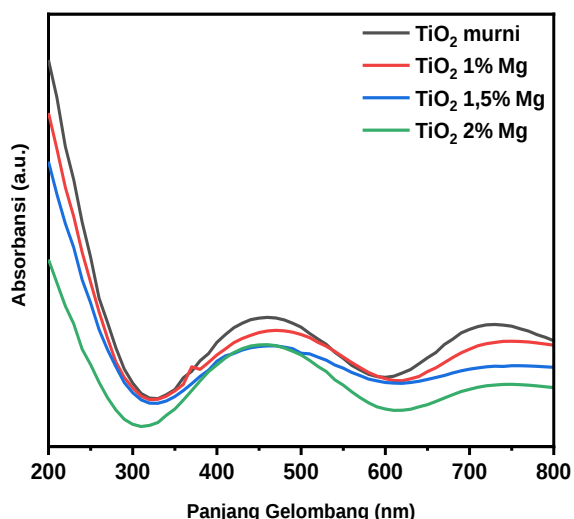
tekuk O-H dari molekul H_2O yang terserap pada permukaan material (Sadewo et al., 2018; Arshad et al., 2021).



Gambar 2. Spektrum IR partikel TiO_2 murni dan TiO_2 doping Mg

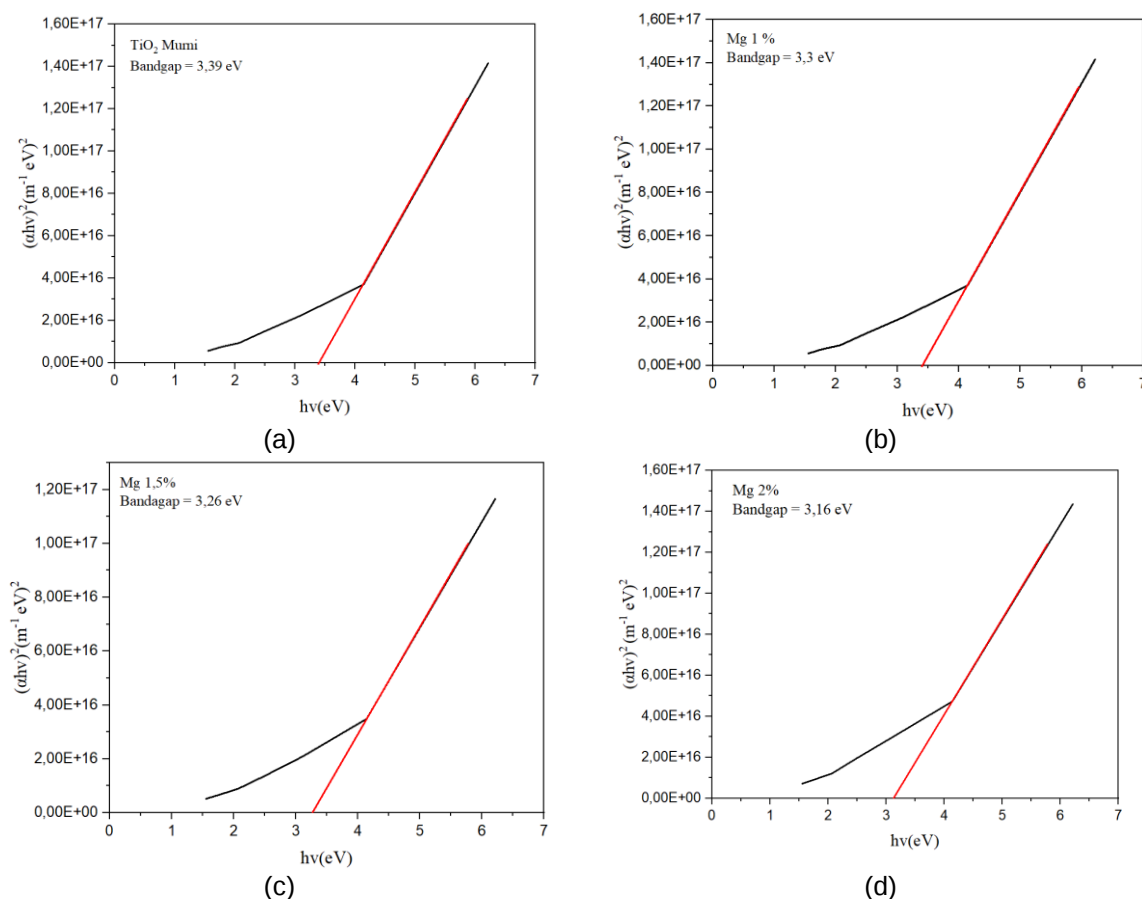
Hasil Karakterisasi Ultraviolet-Visible Spectrophotometer

Spektrum serapan *ultraviolet-visible* untuk film tipis TiO_2 murni dan TiO_2 doping Mg (1%, 1,5%, 2%) ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Spektra serapan uv-vis partikel TiO_2 murni dan TiO_2 doping Mg

Koefisien absorpsi partikel TiO_2 yang didoping Mg lebih rendah daripada TiO_2 yang tidak didoping dari panjang gelombang 200 hingga 800 nm. Doping Mg menggeser tepi absorpsi dari daerah tampak ke daerah ultraviolet dengan meningkatnya konsentrasi Mg. Fenomena ini telah dijelaskan oleh Manju & Jawhar (2018) bahwa pergeseran absorpsi disebabkan oleh substitusi Mg di situs Ti, yang dapat memodifikasi struktur pita, sehingga tepi absorpsi bergeser ke energi foton ($h\nu$) yang lebih tinggi untuk TiO_2 doping Mg. Namun, transmisi TiO_2 doping Mg sedikit lebih rendah daripada film TiO_2 murni. Hal ini dapat dikaitkan dengan energi celah pita yang lebih sempit dari TiO_2 doping Mg dibandingkan dengan TiO_2 murni seperti yang dirangkum pada Tabel 2, sejalan dengan laporan sebelumnya (X. Liu et al., 2018).



Gambar 4. Energi celah pita (a) TiO₂ murni, (b) TiO₂ 1% Mg, (c) TiO₂ 1,5% Mg, dan (d) TiO₂ 2% Mg

Tabel 2. Perbandingan energi celah pita TiO₂ doping Mg pada berbagai metode sintesis

Sumber TiO ₂	Metode	Doping	Energi celah pita (eV)	Referensi
Titanium tetra isopropoxide (TTIP)	Sol Gel	tanpa Mg	3,37	(Arshad <i>et al.</i> , 2021)
		1% massa Mg	3,3	
		2% massa Mg	3,2	
		3% massa Mg	2,9	
Titanium isopropoxide (TIP)	% = (massa Mg/volume ethanol)	tanpa Mg	3,60	(Kumar <i>et al.</i> , 2016)
		1%	3,57	
		3%	3,41	
		5%	3,28	
		7%	3,37	
Titanium dioxide (Merck)	Sol Gel	tanpa Mg	2,66	(Devi & Panigrahi, 2015)
		Mg : TiO ₂ (0,01 M:0,99 M)	1,79	
Titanium tetra isopropoxide (TTIP)	Aerosol Assisted Chemical Vapor Deposition (AACVD)	tanpa Mg	3,2	(Shakir <i>et al.</i> , 2018)
		1% mol Mg	2,9	
		2% mol Mg	2,8	
Titanium tetra chloride (TiCl ₄)	Solvothermal microwave irradiation	tanpa Mg	3,450	(Manju & Jawhar, 2018)
		3% mol Mg	3,638	
		6% mol Mg	3,787	
		9% mol Mg	3,911	
Titanium dioxide (Merck)	Hidrotermal	tanpa Mg	3,39	Penelitian ini
		1% massa Mg	3,30	
		2% massa Mg	3,26	
		3% massa Mg	3,26	

Hasil Analisis Energi Celah Pita

Energi celah pita atau *bandgap* dianalisis dengan persamaan Swanepoel dan metode Tauc Plot untuk TiO₂ murni dan TiO₂ yang didoping Mg dari tiga konsentrasi berbeda (1, 1,5, dan 2%) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Pada penelitian ini, telah dianalisis perubahan energi celah pita dengan transisi langsung TiO₂ seperti yang telah dilaporkan pada penelitian sebelumnya (D. Indriani & Fahyuan, 2018; Manju & Jawhar, 2018). Energi celah pita langsung dari sampel semikonduktor ditentukan dengan memplot $(\alpha h\nu)^2$ versus $h\nu$ dan energi celah pita (E_g) langsung diperoleh dari titik ekstrapolasi bagian linier yang memenuhi absis Tauc Plot. E_g partikel TiO₂ murni, TiO₂ dengan doping Mg 1%, 1,5%, dan 2% adalah 3,39; 3,30; 3,26; dan 3,16 eV. Hasil tersebut menunjukkan bahwa terjadi penurunan E_g menjadi 3,16 eV dengan doping Mg, dimana sebelum doping sebesar 3,39 eV.

Perbandingan energi celah pita untuk TiO₂ doping Mg pada berbagai metode sintesis ditunjukkan di Tabel 2. Penurunan energi celah pita dengan doping Mg ini sesuai dengan penelitian Kumar *et al.* (2016). Elektron akan semakin mudah untuk eksitasi dari pita valensi ke pita konduksi dengan semakin kecilnya E_g (Rosanti *et al.*, 2020). Penurunan energi celah pita ini disebabkan oleh empat interaksi yang berbeda (i) interaksi pertukaran, (ii) interaksi pengotor yang mempengaruhi energi celah pita pembawa mayoritas, (iii) interaksi *electron-hole* dan (iv) interaksi pengotor yang memengaruhi energi celah pita pembawa minoritas (Devi & Panigrahi, 2015).

KESIMPULAN

Semikonduktor titanium dioksida (TiO₂) doping magnesium (Mg) berhasil disintesis

dengan metode hidrotermal. Berdasarkan hasil SEM, morfologi partikel hasil sintesis doping Mg menunjukkan bentuk seperti bola. Keberhasilan doping magnesium ditunjukkan dengan hasil EDX, yaitu komposisi Mg yang meningkat dengan peningkatan % massa Mg yang ditambahkan ke material TiO₂. Spektra FTIR menunjukkan partikel TiO₂ dan TiO₂ doping Mg memiliki puncak yang sama, sehingga tidak ada perubahan struktur dengan doping Mg. Selain itu, doping Mg dapat mempersempit nilai energi celah pita. Massa Mg 2% yang didoping pada TiO₂ murni menghasilkan penurunan energi celah pita menjadi 3,16 eV, yang mana sebelum doping sebesar 3,39 eV. Doping massa Mg 2% belum menghasilkan penurunan nilai energi celah pita yang optimum, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan doping massa Mg yang lebih besar daripada 2%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Prodi Teknik Kimia Universitas Sebelas Maret yang telah menyediakan fasilitas laboratorium dan PUI-PT Teknologi Pengembangan Energi Listrik Universitas Sebelas Maret yang telah menyediakan pengujian sampel berupa *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* dan *Fourier Transform Infra-Red*.

DAFTAR PUSTAKA

- Arshad, Z., A.H. Khoja, S. Shakir, A. Afzal, M.A. Mujtaba, M.E.M. Soudagar, H. Fayaz, A. Saleel C, S. Farukh, M. S. (2021). Magnesium doped TiO₂ as an efficient electron transport layer in perovskite solar cells. *Case Studies in Thermal Engineering*, 26, 101101.
- Athira, K., Merin, K. T., Raguram, T., & Rajni, K. S. (2020). Synthesis and characterization of Mg doped TiO₂ nanoparticles for

- photocatalytic applications. In *Materials Today: Proceedings*, 33, 2321–2327.
- Bharati, B., Mishra, N. C., Sinha, A. S. K., & Rath, C. (2020). Unusual structural transformation and photocatalytic activity of Mn doped TiO₂ nanoparticles under sunlight. *Materials Research Bulletin*, 123(August), 110710.
- Chen, A., Chen, W. F., Majidi, T., Pudadera, B., Atanacio, A., Manohar, M., Sheppard, L. R., Liu, R., Sorrell, C. C., & Koshy, P. (2021). Mo-doped, Cr-Doped, and Mo–Cr codoped TiO₂ thin-film photocatalysts by comparative sol-gel spin coating and ion implantation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(24), 12961–12980.
- D. Indriani, H.D., dan Fahyuan, N. (2018). Uji UV-Vis Lapisan TiO₂/N₂ untuk Menentukan Band Gap Energy. *Journal Online of Physics*, 3(2), 6–10.
- Devi, M., & Panigrahi, M. R. (2015). Synthesis and Characterization of Mg Doped TiO₂ Thin Film for Solar Cell Application. In *International Journal Of Engineering & Applied Sciences*, 7(2), 1–1).
- Dissanayake, M. A. K. L., Kumari, J. M. K. W., & Senadeera, G. K. R. (2017). A novel multilayered photoelectrode with nitrogen doped TiO₂ for efficiency enhancement in dye sensitized solar cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 349, 63–72.
- Dong, Y. X., Wang, X. L., Jin, E. M., Jeong, S. M., Jin, B., & Lee, S. H. (2019). One-step hydrothermal synthesis of Ag decorated TiO₂ nanoparticles for dye-sensitized solar cell application. *Renewable Energy*, 135, 1207–1212.
- Efelina, V. (2017). Preparasi Dan Penentuan Energi Gap Film Tipis TiO₂:Cu Yang Ditumbuhkan Menggunakan Spin Coating. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Keilmuan (JPFK)*, 3(1), 19–27.
- Gao, L., Li, Y., Ren, J., Wang, S., Wang, R., Fu, G., & Hu, Y. (2017). Passivation of defect states in anatase TiO₂ hollow spheres with Mg doping: Realizing efficient photocatalytic overall water splitting. *Applied Catalysis B: Environmental*, 202, 127–133.
- Kavaliunas, V., Krugly, E., Sriubas, M., Mimura, H., Laukaitis, G., & Hatanaka, Y. (2020). Influence of Mg, Cu, and Ni Dopants on Amorphous TiO₂ Thin Films Photocatalytic Activity. *Materials*, 13(4), 1–14.
- Kumar, M., Gupta, A. K., & Kumar, D. (2016). Mg-doped TiO₂ thin films deposited by low cost technique for CO gas monitoring. *Ceramics International*, 42(1), 405–410.
- Liu, Q. (2014). Photovoltaic Performance Improvement of Dye-Sensitized Solar Cells Based on Mg-Doped TiO₂ Thin Films. *Electrochimica Acta*, 129, 459–462.
- Liu, X., Liu, Z., Sun, B., Tan, X., Ye, H., Tu, Y., Shi, T., Tang, Z., & Liao, G. (2018). All low-temperature processed carbon-based planar heterojunction perovskite solar cells employing Mg-doped rutile TiO₂ as electron transport layer. In *Electrochimica Acta*, 283, 1115–1124.
- Manju, J., & Jawhar, S. M. J. (2018). Synthesis of magnesium-doped TiO₂ photoelectrodes for dye-sensitized solar cell applications by solvothermal microwave irradiation method. In *Journal of Materials Research*, 33(11), 1534–1542.
- Pandu Sadewo, R., Sigit Priatmoko Jurusan Kimia, dan, & Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, F. (2018). Indonesian Journal of Chemical Science Sintesis Fotokatalis Fe-N-TiO₂ Menggunakan Metode Sol-Gel untuk Dekomposisi Air. *J. Chem. Sci*, 7(1), 1–5.
- Raguram, T., & Rajni, K. S. (2022). Synthesis and characterisation of Cu - Doped TiO₂ nanoparticles for DSSC and photocatalytic applications. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(7), 4674–4689.
- Rajaramanan, T., Kumara, G. R. A., Velauthapillai, D., Ravirajan, P., & Senthilnathanan, M. (2021). Ni/N co-doped P25 TiO₂ photoelectrodes for efficient Dye-Sensitized Solar Cells. *Materials Science in Semiconductor*

Processing, 135(April), 106062.

- Rajaramanan, T., Shanmugaratnam, S., Gurunanthanan, V., Yohi, S., Velauthapillai, D., Ravirajan, P., & Senthilnathanan, M. (2021). Cost effective solvothermal method to synthesize zn-doped tio2 nanomaterials for photovoltaic and photocatalytic degradation applications. *Catalysts*, 11(6).
- Rosanti, A. D., Anggita, R. . W., & Herlina, A. A. (2020). Effect of Calcination Temperature on Characteristics and Activity of N/TiO2 Photocatalyst in Purification of Kediri Ikat Weaving Batik Waste. *Indonesian E-Journal of Applied Chemistry*, 8(1), 26–33.
- Shakir, S., H.M. Abd-ur-Rehman, K. Yunus, M. Iwamoto, V. P. (2018). Fabrication of undoped and magnesium doped TiO2 films by aerosol assisted chemical vapor deposition for dye sensitized solar cells. *Journal of Alloys and Compounds*, 737, 740–747.