

# PENGARUH DOPING CUO DAN ZAT ADITIF MONOETHANOLAMINE (MEA) PADA SINTESIS TiO<sub>2</sub> MENGGUNAKAN METODE SOL-GEL TERHADAP BAND GAP ENERGY

\*Atifaturahmah<sup>1</sup>, Hary Sanjaya<sup>2</sup>, Trisna Kumala Sari<sup>3</sup>, Fajriah Azra<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Program Studi Kimia, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang, Jalan Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Barat, Kota Padang, Sumatera Barat, Indonesia, 25132

\*E-mail: atifaturahmah1904@gmail.com, hary.s@fmipa.unp.ac.id

Riwayat Article

Received: 02 February 2026; Received in Revision: 12 March 2026; Accepted: 18 arch 2026

## Abstract

Titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>) is a semiconductor material that is widely used for photocatalytic applications, but it has a relatively large band gap value so that its activity in the visible light region is limited. This study aims to analyze the effect of CuO doping and the addition of monoethanolamine (MEA) additives on the band gap value of TiO<sub>2</sub> synthesized by the sol-gel method. CuO doping was carried out using CuCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O precursor with concentration variations of 5%, 10%, 15%, 20%, and 25%. The optimum concentration was then combined with variations in MEA volume of 1 mL, 2 mL, and 3 mL. The synthesized material was characterized using UV-DRS and the band gap value was calculated using the Kubelka-Munk approach. The results of the study showed that the addition of CuO doping caused a decrease in the band gap value of TiO<sub>2</sub> from 3.33 eV to 3.29 eV at an optimum concentration of 15%. The addition of MEA further reduced the band gap, with the lowest value being 3.27 eV at 3 mL MEA volume. This decrease indicates that CuO doping and MEA additives play a role in modifying the electronic structure of TiO<sub>2</sub>, thereby narrowing the energy band gap. Thus, the combination of CuO and MEA doping has the potential to enhance the optical response of TiO<sub>2</sub> in the visible light region, namely the range 400 – 800 nm.

Keywords: TiO<sub>2</sub>, CuO, *Monoethanolamine*, Sol-Gel Method, Band Gap

## Abstrak

Titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) merupakan material semikonduktor yang secara luas digunakan untuk aplikasi fotokatalitik, namun memiliki nilai celah pita (band gap) yang relatif besar sehingga aktivitasnya di wilayah cahaya tampak terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh doping CuO serta penambahan aditif *monoethanolamine* (MEA) terhadap nilai *band gap* TiO<sub>2</sub> yang disintesis dengan metode sol-gel. Doping CuO dilakukan menggunakan prekursor CuCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O dengan variasi konsentrasi 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Konsentrasi optimum kemudian dikombinasikan dengan variasi volume MEA 1 mL, 2 mL, dan 3 mL. Material hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan UV-DRS dan nilai *band gap* dihitung dengan pendekatan Kubelka-Munk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan doping CuO menyebabkan penurunan nilai celah pita (band gap) TiO<sub>2</sub> dari 3,33 eV menjadi 3,29 eV pada konsentrasi optimum sebesar 15%. Penambahan MEA kembali menurunkan band gap, dengan nilai terendah 3,27 eV pada volume MEA 3 mL. Penurunan ini menunjukkan bahwa doping CuO dan aditif MEA berperan dalam memodifikasi struktur elektronik TiO<sub>2</sub> sehingga mempersempit celah pita energi. Dengan demikian, kombinasi doping CuO dan MEA berpotensi meningkatkan respons optik TiO<sub>2</sub> pada wilayah cahaya tampak yaitu rentang 400 – 800 nm.

Keywords: TiO<sub>2</sub>, CuO, *Monoethanolamine*, Metode Sol-Gel, Band Gap

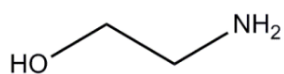
## 1. Introduction

Nanomaterial menjadi perhatian industri dan peneliti saat ini karena merupakan teknologi dengan orde 10<sup>-9</sup> m dengan materi berukuran 1-100 nanometer. Meningkatnya perkembangan ilmu dan teknologi menyebabkan tingginya minat terhadap semikonduktor pada skala nano terutama pada material titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) yang mampu diaplikasikan dalam skala yang lebih luas seperti dalam bidang sel surya, fotokatalis, sensor gas dan sebagai pembersih polutan (Aristanti dkk, 2019). Semikonduktor merupakan material setengah penghantar listrik dengan sifat konduktivitas antara isolator dan konduktor. Semikonduktor dapat dibedakan menjadi intrinsik

dan ekstrinsik, dimana ekstrinsik dibagi lagi menjadi tipe-N dan tipe-P. Semikonduktor tipe P memiliki sedikit elektron dan cenderung bermuatan positif. Sedangkan semikonduktor tipe N memiliki jumlah elektron yang lebih dominan dan bermuatan negatif (Zhao dkk, 2020).

Titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) merupakan material semikonduktor tipe-n bersifat polimorfik (Astuti, 2018; Yohan, 2018). Titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) murni memiliki celah pita energi (*band gap*) yang berada di wilayah ultraviolet yaitu 3,0 – 3,3 eV.  $\text{TiO}_2$  merupakan salah satu bentuk oksida dari Titanium yang stabil secara termodinamika. Struktur kristal  $\text{TiO}_2$  ada empat yaitu anatase, rutil, brookite dan  $\text{TiO}_2$ -B (Alsheheri, 2021). Struktur kristal  $\text{TiO}_2$  rutil dan anatase banyak digunakan dalam proses fotokatalitik alami. Sementara itu, brookite jarang ditemukan karena sifatnya yang kurang stabil (Priatmoko & Wahyuni, 2021).

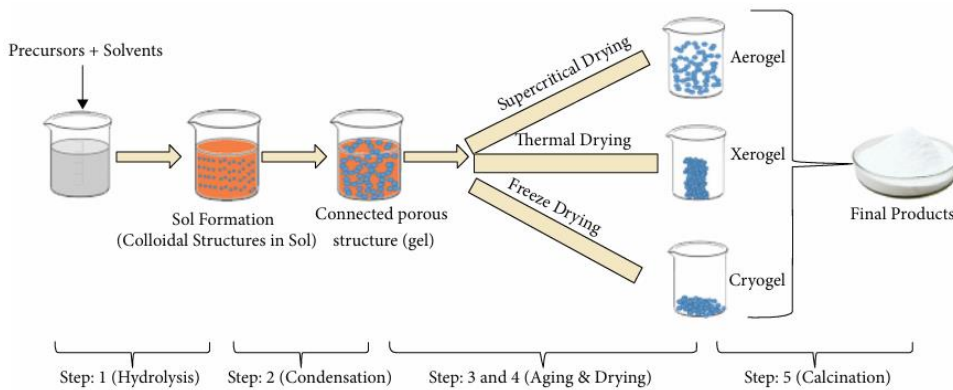
Doping merupakan proses penambahan unsur atau atom lain ke dalam struktur semikonduktor dengan tujuan memodifikasi sifat listrik maupun optiknya. Keberadaan dopan dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap konduktivitas material semikonduktor. Tembaga (II) oksida ( $\text{CuO}$ ) termasuk dalam kategori semikonduktor tipe-p yang memiliki energi celah pita yang tergolong sempit, yakni berada pada kisaran 1,2 hingga 1,8 eV. Oleh karena itu,  $\text{CuO}$  sering dimanfaatkan sebagai dopan untuk menurunkan nilai band gap pada  $\text{TiO}_2$ . Keberadaan  $\text{CuO}$  juga dapat memengaruhi proses degradasi zat warna karena variasi konsentrasi doping dapat mengubah ukuran partikel serta menghasilkan tingkat energi baru pada celah pita. Perubahan tersebut berpotensi meningkatkan maupun menurunkan aktivitas fotokatalitik material yang dihasilkan (Sanjaya, 2018).



**Gambar 1.** Struktur *Monoethanolamine* (MEA)

Penambahan bahan aditif seperti *monoethanolamine* (MEA) dalam proses sintesis nanomaterial bertujuan untuk meningkatkan rasio luas permukaan terhadap volume dari material yang dihasilkan. Kondisi tersebut memungkinkan terbentuknya partikel berukuran lebih kecil dengan luas permukaan yang lebih besar, sehingga berpotensi meningkatkan homogenitas material (Sanjaya, 2024). *Monoethanolamine* (MEA) merupakan senyawa turunan amonia, di mana salah satu atom hidrogen pada molekul amonia digantikan oleh gugus  $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$ . Dalam reaksi kimia, MEA memiliki fungsi ganda, yaitu sebagai pelarut sekaligus agen penstabil yang membantu menjaga kestabilan sistem selama proses sintesis berlangsung (Ningsih, 2016).

Material oksida logam dapat disintesis melalui beberapa metode, seperti kopresipitasi, chemical vapor deposition, metode sol-gel, iradiasi gelombang mikro, serta impregnasi basah (Dwiputri, 2025). Di antara berbagai metode tersebut, metode sol-gel merupakan salah satu teknik yang banyak digunakan dalam sintesis material padat berbasis larutan. Proses ini melibatkan reaksi hidrolisis dan kondensasi yang menghasilkan jaringan makromolekul tiga dimensi. Setelah terbentuk gel dan pelarut dipisahkan, struktur material yang dihasilkan umumnya masih mempertahankan kemiripan dengan struktur awalnya. Oleh karena itu, sifat fisik maupun kimia dari material dapat dikontrol dengan mengatur kondisi selama proses pembentukan gel. Selain itu, metode sol-gel memungkinkan diperolehnya material katalis berukuran nano dengan distribusi logam yang lebih merata serta luas permukaan spesifik yang tinggi (Kusuma dkk., 2010). Metode ini juga cukup banyak digunakan karena relatif ekonomis dan mampu menghasilkan material yang homogen, meskipun proses pembentukan gel biasanya membutuhkan waktu yang lebih lama.



**Gambar 2.** Proses Sol-gel (Bokov, 2021)

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan dengan mensintesis material  $\text{TiO}_2$  menggunakan metode sol-gel untuk mengetahui pengaruh penambahan dopan dan zat aditif terhadap sifat optik  $\text{TiO}_2$ . Pada penelitian ini digunakan variasi konsentrasi  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  sebagai dopan, yaitu sebesar 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%, dengan tujuan memperoleh nilai *band gap* optimum. Setelah konsentrasi dopan optimum diperoleh, dilakukan penambahan zat aditif *monoethanolamine* (MEA) dengan variasi volume 1 mL, 2 mL, dan 3 mL. Serbuk (powder) yang dihasilkan dari proses sintesis kemudian dikarakterisasi menggunakan teknik UV-DRS (Ultraviolet Diffuse Reflectance Spectroscopy) untuk menganalisis sifat optiknya.

## 2. Methodology

Penelitian ini menerapkan pendekatan eksperimental yang bersifat eksploratif, dengan metode sintesis yang dilakukan melalui sistem berbasis larutan yaitu metode sol-gel. Proses sol-gel tersebut meliputi beberapa tahapan utama, yaitu hidrolisis, kondensasi, proses *aging* atau pematangan, *drying* atau pengeringan, serta tahap kalsinasi sebagai tahap akhir (Liza dkk., 2018). Selain itu, penelitian ini juga memanfaatkan perangkat lunak OriginPro untuk pengolahan dan analisis data. Perhitungan nilai energi celah pita (*band gap*) dilakukan menggunakan teori *Kubelka-Munk*, yang dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$E_g = hv = \frac{hc}{\lambda}$$

Dimana,  $E_g$  adalah energi celah pita (eV),  $h$  merupakan konstanta planck ( $6,624 \times 10^{-34}$  Js),  $c$  merupakan kecepatan cahaya ( $1,872452 \times 10^8$  m/s), dan  $\lambda$  merupakan panjang gelombang (nm). Besarnya  $hv$  ketika celah pita semikonduktor adalah  $(F(R')hv)^{1/2} = 0$ , yang didapatkan dari persamaan regresi linier kurva (Sanjaya, 2018).

### 2.3 Prosedur Penelitian

#### 2.3.1 Sintesis material $\text{TiO}_2$ doping CuO

$\text{TiO}_2$  powder dicampurkan dengan prekursor  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  dengan variasi konsentrasi sebesar 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%, kemudian dilarutkan dalam 50 mL metanol (p.a.) sebagai pelarut. Larutan tersebut selanjutnya ditutup menggunakan *plastic wrap* dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 60 menit. Setelah proses pengadukan, larutan disonikasi selama 30 menit pada daya 50 W untuk memperoleh campuran yang homogen sehingga terbentuk sol. Untuk meningkatkan kestabilan sol, sampel selanjutnya, campuran tersebut dibiarkan selama 24 jam. Setelah itu, sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 85 °C selama kurang lebih satu jam. Proses kemudian dilanjutkan dengan kalsinasi menggunakan furnace pada suhu 500 °C selama sekitar 3 jam untuk memperoleh material  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  (Irsyad & Sanjaya, 2025).

**Tabel 1.** Variasi konsentrasi  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Konsentrasi $\text{TiO}_2$	Konsentrasi Prekursor	Volume pelarut
95%	5% $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	50 mL
90%	10% $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	50 mL
85%	15% $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	50 mL
80%	20% $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	50 mL
75%	25% $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	50 mL

### 2.3.2 Sintesis $\text{TiO}_2/\text{CuO}$ dengan penambahan aditif *Monoethanolamine* (MEA)

$\text{TiO}_2$  powder ditambahkan prekursor  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  dengan konsentrasi optimum terlebih dahulu dilarutkan ke dalam 50 mL metanol (p.a.) sebagai pelarut. Campuran tersebut kemudian ditutup menggunakan *plastic wrap* dan dihomogenkan dengan *magnetic stirrer* selama 60 menit. Selanjutnya, *monoethanolamine* (MEA) ditambahkan ke dalam larutan dengan variasi volume 1 mL, 2 mL, dan 3 mL, kemudian campuran kembali diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 60 menit hingga homogen. Setelah proses pengadukan, larutan disonikasi selama 30 menit pada daya 50 W untuk memperoleh campuran yang homogen sehingga terbentuk sol. Untuk meningkatkan kestabilan sol. Untuk meningkatkan stabilitas, sol tersebut kemudian didiamkan selama 24 jam. Tahap berikutnya, sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 85 °C selama kurang lebih satu jam, kemudian dilanjutkan dengan proses kalsinasi menggunakan furnace pada suhu 500 °C selama kurang lebih 3 jam sehingga diperoleh material  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  + MEA (Irsyad & Sanjaya, 2025).

**Tabel 2.** Variasi volume *monoethanolamine* (MEA)

Konsentrasi CuO (%)	Volume Zat Aditif	Volume pelarut
Optimum	1 mL MEA	50 mL
Optimum	2 mL MEA	50 mL
Optimum	3 mL MEA	50 mL

## 3. Results and Discussion

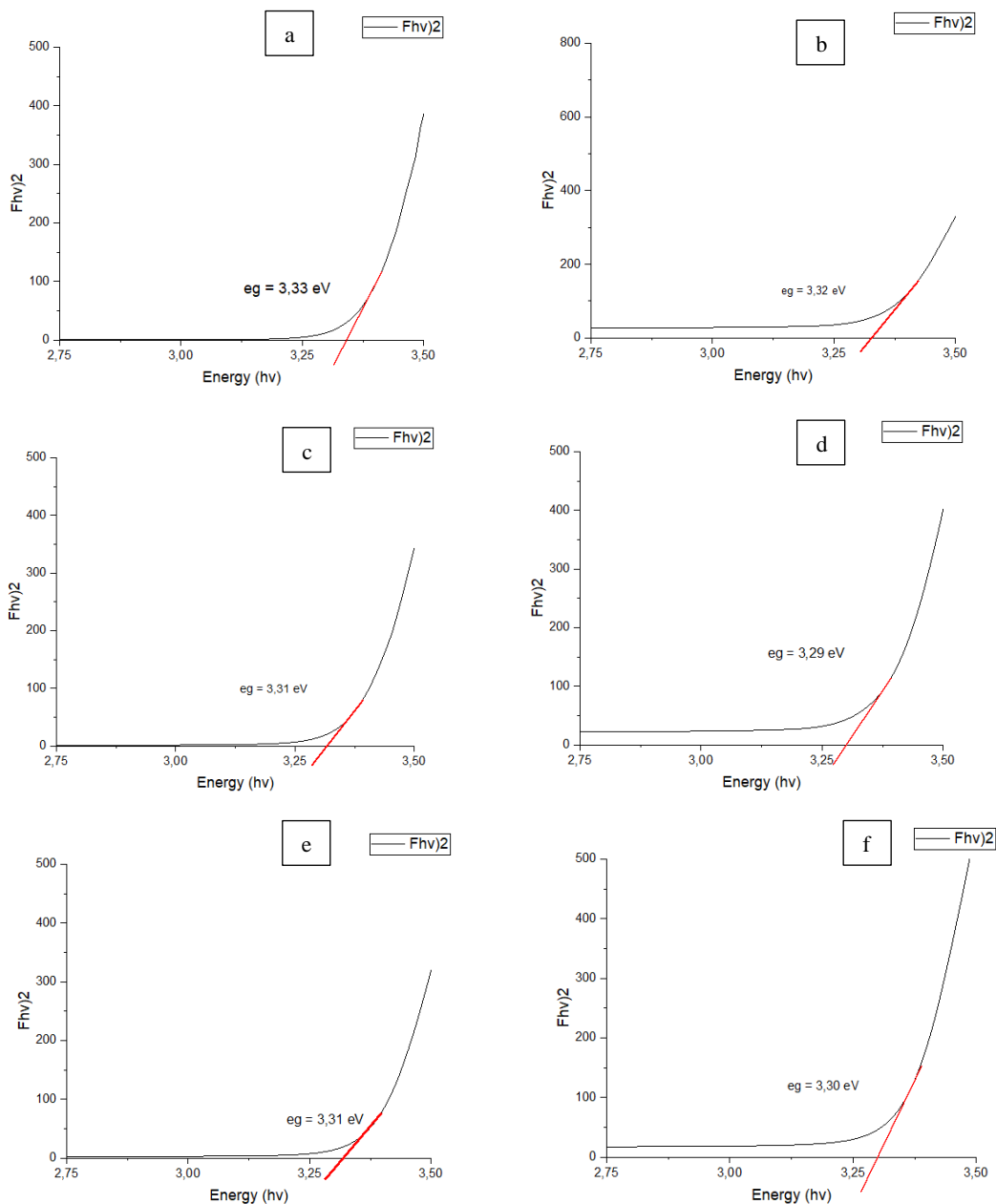
### 3.1. Pengaruh Variasi Konsentrasi Prekursor $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Pada sintesis  $\text{TiO}_2$  di doping dengan CuO dari prekursor  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  dengan variasi konsentrasi 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%. Nilai *band gap* yang optimum didapat pada sintesis  $\text{TiO}_2$  dengan konsentrasi  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  15%. Nilai *band gap* yang diperoleh paling mendekati rentang terkecil dari yang lain, sehingga dikatakan optimum. Berikut tabel hasil pengujian *band gap* pada sintesis  $\text{TiO}_2$  doping CuO.

**Tabel 3.** Energi Band gap terhadap pengaruh Konsentrasi Prekursor  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Konsentrasi Prekursor	Nilai <i>Band gap</i> (Eg)
$\text{TiO}_2$ Murni	3,33 eV
5% $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3,32 eV
10% $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3,31 eV
15% $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3,29 eV
20% $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3,31 eV
25% $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3,30 eV

Berdasarkan tabel 3 dapat dilihat bahwa nilai celah pita (band gap)  $\text{TiO}_2$  mengalami penurunan setelah di doping CuO dari prekursor  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Hal ini menunjukkan bahwa penambahan prekursor  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  mengecilkan nilai energi celah pita (band gap) pada material  $\text{TiO}_2$  hasil sintesis menunjukkan penurunan yang disebabkan oleh interaksi material  $\text{TiO}_2$  dengan prekursor  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  sehingga terjadinya penyempitan energi *band gap* (Rahayu dkk, 2019). Pada sintesis material  $\text{TiO}_2$  ini didapatkan nilai *band gap* terkecil pada konsentrasi 15% sedangkan nilai energi celah pita tertinggi didapatkan pada konsentrasi 20%.



**Gambar 3.** Grafik nilai *band gap* (a)  $\text{TiO}_2$  undoped, (b)  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  5%, (c)  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  10%, (d)  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  15%, (e)  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  20% dan (f)  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$  25%

Menurut Ningsih dkk, 2021 terjadi interaksi antara pita energi elektron dengan elektron yang terdelokalisasi pada ion logam transisi, yang kemudian memungkinkan terjadinya penggantian (substitusi) ion logam dalam struktur material yang menyebabkan penurunan nilai *band gap*. Selain itu, penurunan nilai *band gap* yang menandakan perluasan kemampuan penyerapan cahaya dari wilayah ultraviolet ke daerah tampak (visible light region) yaitu rentang 400 – 800 nm. Penurunan band gap ini meningkatkan efisiensi pemanfaatan foton dan mempermudah eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi, sehingga mempercepat terbentuknya pasangan elektron-hole ( $e^-/h^+$ ) yang aktif dalam reaksi fotokatalitik (Ahmadiasi dkk, 2022). Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai bandgap ke arah isolator, semakin besar energi foton yang diperlukan untuk mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi.

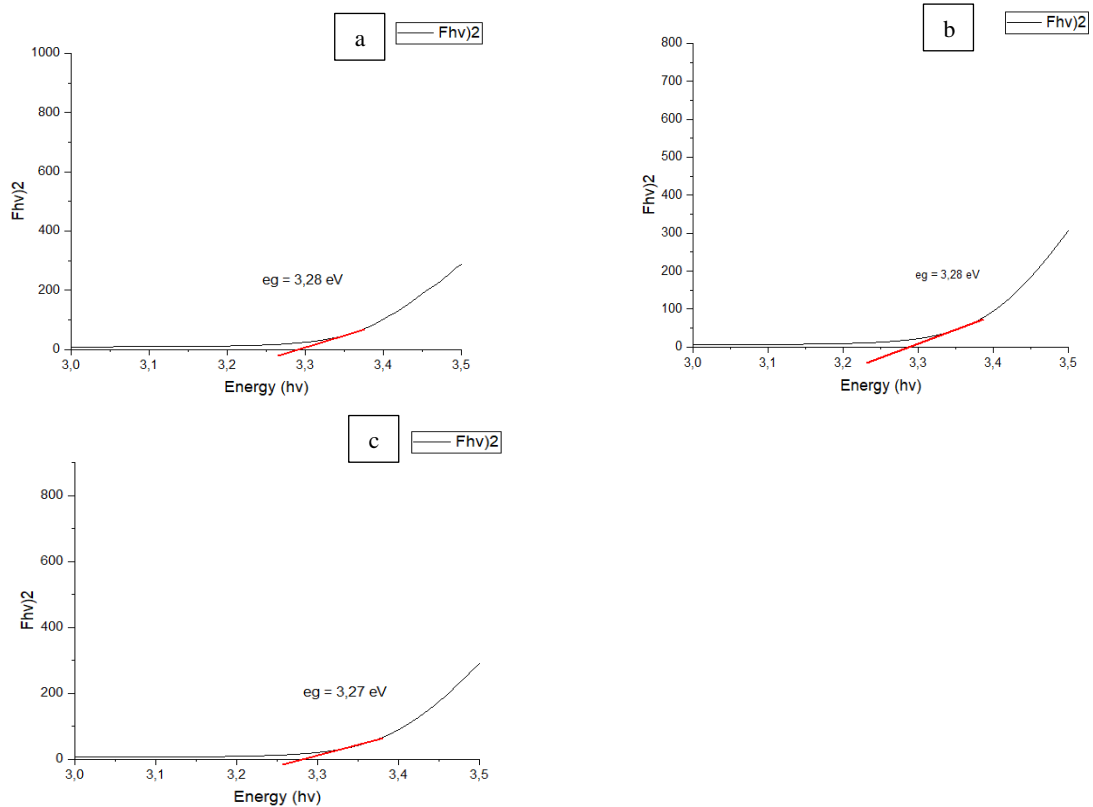
### 3.2. Pengaruh Variasi Volume Zat Aditif Monoethanolamine (MEA)

Pada sintesis  $\text{TiO}_2$  doping CuO dari prekursor  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  yang optimum yaitu 15%. Kemudian ditambah zat aditif *monoethanolamine* (MEA) dengan variasi volume 1 mL, 2 mL dan 3 mL. Nilai *band gap* yang optimum didapat pada konsentrasi volume MEA yaitu 3 mL. Berikut tabel hasil pengukuran energi *band gap* pada proses sintesis  $\text{TiO}_2$  doping CuO.

**Tabel 4.** Energi Band gap terhadap pengaruh Volume Zat Aditif *Monoethanolamine* (MEA)

Volume Zat Aditif	Nilai <i>Band gap</i> (Eg)
1 mL MEA	3,28 eV
2 mL MEA	3,28 eV
3 mL MEA	3,27 eV

Berdasarkan tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai celah pita (*band gap*) TiO<sub>2</sub> doping CuO yang optimum yaitu 15% prekursor CuCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O mengalami penurunan setelah ditambah zat aditif. Nilai *band gap* paling rendah pada volume MEA 3 mL yaitu 3,27 eV sedangkan pada volume 1 mL dan 2 mL yaitu 3,28 eV sehingga volume MEA 3 mL dianggap optimum di antara variasi yang diuji. Perubahan ini relatif kecil, tetapi konsisten menunjukkan sedikit penyempitan energi *band gap* seiring bertambahnya volume MEA (Sanjaya, 2024). Penyempitan ini menunjukkan bahwa aditif MEA memberikan efek pada struktur elektronik semikonduktor yang disintesis yang berarti MEA berpengaruh signifikan terhadap sifat optik semikonduktor (Faizah dkk, 2023).



**Gambar 4.** Grafik nilai *band gap* (a) TiO<sub>2</sub>/CuO 15% + 1 mL MEA, (b) TiO<sub>2</sub>/CuO 15% + 2 mL MEA dan (c) TiO<sub>2</sub>/CuO 15% + 3mL MEA

Meskipun penurunan band gap dari 3,28 eV menjadi 3,27 eV tergolong kecil, kecenderungan penurunan ini tetap menunjukkan bahwa volume MEA 3 mL memberikan efek yang lebih efektif dalam memodifikasi sifat optik TiO<sub>2</sub>/CuO dibandingkan volume 1 mL dan 2 mL. Berdasarkan hasil analisis, penambahan CuO sebagai dopan berperan utama dalam menurunkan nilai band gap TiO<sub>2</sub> melalui pembentukan nilai energi baru pada struktur pita. Sementara itu, penambahan aditif monoethanolamine (MEA) terutama berfungsi sebagai agen penstabil dan pengontrol morfologi dalam proses sol-gel sehingga meningkatkan homogenitas struktur material. Variasi volume MEA sebesar 3 mL memberikan kondisi optimum dengan nilai band gap terendah sebesar 3,27 eV.

Penurunan nilai *band gap* pada material TiO<sub>2</sub>/CuO terjadi akibat terbentuknya nilai energi baru yang disebabkan oleh keberadaan ion Cu<sup>2+</sup> dalam struktur TiO<sub>2</sub>. Selama proses kalsinasi, ion Cu<sup>2+</sup> dari prekursor CuCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O teroksidasi membentuk fase CuO yang berinteraksi dengan matriks TiO<sub>2</sub> sehingga membentuk heterojunction. Interaksi ini menyebabkan terbentuknya tingkat energi antara pita valensi dan pita konduksi yang menurunkan energi eksitasi elektron. Selain itu, penambahan monoethanolamine (MEA) berperan sebagai agen penstabil dan pengkelat yang mengontrol tahapan hidrolisis serta kondensasi pada metode sol-gel, sehingga menghasilkan penyebaran dopan yang merata dan struktur partikel yang lebih seragam.

#### 4. Conclusion

Penelitian ini menunjukkan bahwa sifat optik TiO<sub>2</sub> dapat ditingkatkan melalui penambahan CuO dan *monoethanolamine* (MEA). Doping CuO berperan utama dalam menurunkan nilai *band gap*, dengan hasil paling efektif pada komposisi 15%, karena adanya pembentukan tingkat energi baru di dalam struktur material. Setelah itu, penambahan MEA turut memberikan efek tambahan meskipun tidak terlalu besar, di mana volume 3 mL menghasilkan nilai *band gap* paling rendah. Secara umum, kedua perlakuan ini saling melengkapi dalam mempersempit celah energi TiO<sub>2</sub> sehingga material menjadi lebih responsif terhadap cahaya tampak dan berpotensi lebih optimal untuk aplikasi fotokatalitik.

#### References

- Ahmadiasli, R., Moussavi, G., Shekoohiyan, S., & Razavian, F. (2022). Synthesis of Cu-Doped TiO<sub>2</sub> Nanocatalyst for the Enhanced Photocatalytic Degradation and Mineralization of Gabapentin under UVA/LED Irradiation: Characterization and Photocatalytic Activity. *Catalysts*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/catal12111310>
- Alsheheri, S. Z. (2021). Nanocomposites containing titanium dioxide for environmental remediation. *Designed Monomers and Polymers*, 24(1), 22–45. <https://doi.org/10.1080/15685551.2021.1876322>
- Aristanti, Y., Minandar, N., & Soepriyanto, S. (2019). Analisis Laju Degradasi Rhodamine B (RhB) pada Proses Fotokatalisis TiO<sub>2</sub>. *Ensains*, 2(3), 188–194.
- Astuti, K. Y. (2018). Pembentukan Nanopartikel TiO<sub>2</sub> dengan Metode Bervariasi. *Jurnal of Industrial Engineering and Operation Management (JIEOM)*, 1(1), 27–31.
- Bokov, D., Jalil, A. T., Chupradit, S., Suksatan, W., Ansari, M. J., Shewael, I. H., Valiev, G. H., & Kianfar, E. (2021). *Nanomaterial by Sol-Gel Method : Synthesis and Application*. 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/5102014>
- Dwiputri, Y. (2025). PENGARUH PENAMBAHAN DOPING CERIUM TERHADAP NILAI BANDGAP CUO DENGAN METODE SOL-GEL. *M A S A L I Q Jurnal Pendidikan dan Sains*, 5, 523–530.
- Faizah, S. H., Sanjaya, H., Budiman, S., & Padang, U. N. (2023). PENGARUH PENAMBAHAN MONOETANOLAMIN (MEA) PADA SIFAT LISTRIK DARI MATERIAL COPPER TIN OXIDE. 4(Ii), 308–313.
- Irsyad, A., & Sanjaya, H. (2025). PENGARUH VARIASI KONSENTRASI DOPPING CuO DAN ADITIF MONOETHANOLAMINE ( MEA ) PADA SINTESIS NANOPARTIKEL ZnO. *ournal of Research and Education Chemistry (JREC)*, 7(1), 66–74.
- Kusuma, D. S., Soegijono, B., Sarwono, R., Puspipetek, K., Salemba, J., & No, R. (2010). PENGARUH pH PADA SINTESIS KATALIS Cu-ZnO DENGAN PROSES SOL GEL UNTUK HIDROGENOLISIS GLISEROL. 209–214.
- Liza, Y. M., Yasin, R. C., Maidani, S. S., & Zainul, R. (2018). Gelation Sol- Gel Proses s Densification Ageing Drying. *Pendidikan FMIPA Universitas Negeri Padang*.
- Ningsih, S. K. W. (2016). *Sintesis Anorganik*. Padang: UNP Press.
- Ningsih, S. K. W., Sanjaya, H., Bahrizal, Nasra, E., & Yurnas, S. (2021). Synthesis of cu<sup>2+</sup> doped zno by the combination of sol-gel-sonochemical methods with duck egg albumen as additive for photocatalytic degradation of methyl orange. *Indonesian Journal of Chemistry*, 21(3), 564–574. <https://doi.org/10.22146/ijc.57077>
- Priatmoko, S., & Wahyuni, S. (2021). Fotokatalis Ni-N-TiO<sub>2</sub> untuk Degradasi Metilen Biru. *Inovasi Sains dan Kesehatan*, 5, 120–165.
- Rahayu, R., Manurung, P., & Yulianti, Y. (2019). Pengaruh Ethanolamina ( MEA ) dalam Pembentukan TIO<sub>2</sub> dari Bahan Awal Ti Butoksida. 07(02), 153–160.
- Sanjaya, H. (2018). DEGRADASI METIL VIOLET MENGGUNAKAN KATALIS ZnO-TiO<sub>2</sub> SECARA FOTOSONOLISIS. *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 19(1), 91–99. <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol19-iss1/131>
- Sanjaya, H. (2024). Pengaruh Penambahan Monoethanolamine (MEA) Sebagai Aditif Dalam Sintesis dan Karakterisasi Lapisan Tipis Tembaga (II) Oksida (CuO). *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 8, 9233–9238.
- Yohan, Y., Astuti, F., & Wicaksana, A. (2018). Pembuatan Spektrofotometer Edukasi Untuk Analisis Senyawa Pewarna Makanan. *Chimica et Natura Acta*, 6(3), 111. <https://doi.org/10.24198/cna.v6.n3.19099>
- Zhao, B., Li, Y., Wang, R., Engineering, C., & Engineering, M. (2020). Solar PV Powered Heating and Cooling. 收入 *Comprehensive Renewable Energy, 2nd edition* (2 本). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819727-1.00020-0>