

DOI: doi.org/10.21009/03.1301.FA22

STUDI STRUKTUR KRISTAL DAN CELAH PITA ENERGI NANOPARTIKEL ZnO MENGGUNAKAN METODE *TAUC PLOT* DARI KURVA ABSORBANSI

Annete Gabriella Nuraliya^{1,a)}, Iwan Sugihartono^{1,b)}, Osi Arutanti²⁾, Maykel Manawan³⁾

¹ *Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Jakarta, Jalan Rawamangun Muka, Rawamangun, Jakarta Timur 13320, Indonesia*

² *Research Center for Chemistry National Research and Innovation Agency, Banten 15314, Indonesia*

³ *Center for Advance Material, National Research and Innovation Agency, Serpong, Tangerang, Banten 153134, Indonesia*

Email : ^{a)} annetgabrielle16@gmail.com, ^{b)} iwan-sugihartono@unj.ac.id

ABSTRAK

Nanopartikel ZnO telah berhasil disintesis menggunakan metode presipitasi dengan derajat keasaman rendah (pH 9) dengan proses *annealing* pada suhu 400 °C selama 2 jam. Nanopartikel ZnO dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffractometer* (XRD) dan UV-Vis Spectrofotometer untuk menganalisis struktur kristal dan kemampuan serapan (absorbansi) dari nanopartikel ZnO pada rentang panjang gelombang 200-700 nm. Berdasarkan *Inorganic Crystal Structure Database* (ICSD) nomor #01-079-0207, pola *X-Ray Diffraction* (XRD) dari nanopartikel ZnO memiliki struktur Hexagonal Wurtzite dengan *space group* p6₃mc. Hasil karakterisasi UV-Vis menunjukkan adanya absorbansi dengan intensitas tertinggi pada panjang gelombang ~340 nm. Selanjutnya, penentuan celah energi nanopartikel ZnO dilakukan menggunakan metode *Tauc Plot* dari kurva absorbansi. Berdasarkan hasil *Tauc Plot* besar celah pita energi dari nanopartikel ZnO adalah 3.07 eV.

Kata-Kata kunci: nanopartikel ZnO, presipitasi, struktur kristal, absorbansi, celah pita energi

ABSTRACT

ZnO nanoparticles have been successfully synthesized using the precipitation method with a low acidity level (pH 9) with an annealing process at 400 °C for 2 hours. ZnO nanoparticles were characterized using an X-Ray Diffractometer (XRD) and a UV-Vis Spectrophotometer to analyze the crystal structure and absorbance capability of the ZnO nanoparticles in the wavelength range of 200-700 nm. Based on the Inorganic Crystal Structure Database (ICSD) number #01-079-0207, the X-Ray Diffraction (XRD) pattern of ZnO nanoparticles has a Hexagonal Wurtzite structure with the space group p6₃mc. The results of the UV-Vis characterization show the presence of absorbance with the highest intensity at a wavelength of ~340 nm. Next, the determination of the energy gap of ZnO nanoparticles was carried out using the Tauc Plot method from the absorbance curve. Based on the Tauc Plot results, the energy band gap of ZnO nanoparticles is 3.07 eV.

keyword: ZnO nanoparticles, precipitation, crystal structure, absorbance, energy band gap

PENDAHULUAN

Nanoteknologi adalah teknologi inovatif dengan membawa revolusi di segala bidang pengetahuan. Teknologi ini digunakan untuk mengembangkan berbagai aplikasi dalam optik, elektronik, ilmu biomedis, dan material [1]. Keunikan nanomaterial yaitu memiliki luas permukaan tinggi, fotosensitifitas, elektrokimia, sifat optik, dan magnetic [2]. Nanopartikel (NPs) adalah kelas material satu dimensi dengan ukuran kurang dari 100 nm, Ukuran dapat mempengaruhi sifat fisikomia, seperti sifat optik dari material [3]. Minat terhadap nanopartikel logam semakin tinggi seperti Ag, Au, ZnO, TiO₂, CuO, dan Fe₂O₃ [4]. Seng Oksida (ZnO) adalah salah satu dari material semikonduktor tipe-n [5]. ZnO sebagai bahan semikonduktor II-VI dengan celah pita lebar (3.37 eV) dan energi eksitasi pengikatan yang besar (60 meV) [6].

ZnO memiliki keunggulan dalam stabilitas termal, karakteristik optik superior, dan ketahanan terhadap radiasi. Selain itu, ZnO juga dapat dibentuk dalam berbagai struktur nano, menjadikannya platform sangat berguna dalam pengembangan nanoteknologi [7]. ZnO dapat digunakan pada beberapa aplikasi seperti elektronik, optoelektronik, sensor, perangkat fotonik, fotokatalis, detektor sinar ultraviolet, dan *Light Emitting Diode* (LED) [8, 9]. ZnO memiliki tiga fasa kristal yaitu *wurtzite* (Heksagonal), *rock salt*, dan *Zinc Blende* (kubik). Di antara ketiga fase tersebut, fase *wurtzite* heksagonal stabil pada suhu ruang dan menawarkan pertumbuhan morfologi optimal bagi ZnO [10].

Nanopartikel ZnO memiliki luas permukaan relatif besar, sehingga nanopartikel ZnO menunjukkan efisiensi katalitik tinggi, sifat optik unggul, dan fitur listrik yang baik [11]. Nanopartikel ZnO menjadi material multifungsi dengan sifat optik juga listrik secara optimal untuk aplikasi elektronik, optoelektronik, dan teknologi laser [12]. Nanopartikel ZnO menunjukkan sifat khas seperti konduktivitas Listrik, piezo-listrik, transparansi optik, dan emisi dekat pada ultra violet (UV) [13]. Metode sintesis nanopartikel ZnO yaitu hidrotermal, sol-gel, presipitasi, solvotermal, proses pengendapan elektrokimia, dan metode kimia basah [14]. Dari berbagai metode tersebut, Metode presipitasi menawarkan sejumlah keuntungan, seperti reproduktibilitas dan kemampuan untuk mengontrol ukuran partikel dengan mudah [15]. Metode presipitasi dapat mengontrol berbagai parameter seperti waktu reaksi, konsentrasi larutan, dan pH [16].

Dalam penelitian ini telah dilakukan sintesis nanopartikel ZnO menggunakan metode presipitasi. Selanjutnya, hasil sintesis dikarakterisasi *X-ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur kristal dari nanopartikel ZnO. Selanjutnya, nanopartikel diuji menggunakan UV-Vis Spektrofotometer dan nilai absorbansi diolah menggunakan perhitungan *Tauc Plot* untuk mendapatkan nilai celah pita energi.

METODOLOGI

Sintesis nanopartikel ZnO dengan menggunakan metode presipitasi dilaksanakan di Laboratorium Pusat Riset Kimia Maju Badan Riset dan Inovasi Nasional. Tahapan sintesis dilakukan yaitu: pembuatan larutan prekursor, pengadukan larutan dengan *magnetic stirrer* diikuti suhu pemanasan dan penambahan *Sodium hydroxide* [NaOH], pencucian menggunakan aqua bidest dan etanol, pengeringan endapan, dan *annealing* sampel dengan *muffle furnace* serta karakterisasi sampel dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan spektrofotometer UV-Vis.

Sintesis Nanopartikel ZnO

Dalam metode ini, 4.176 gram seng nitrat tetrahidrat dilarutkan ke dalam 80 ml aqua bidest dan diaduk konstan pada suhu 70 °C untuk mencapai larutan yang homogen. Setelah 10 menit, *Sodium hydroxide* [NaOH] ditambahkan ke dalam larutan secara perlahan hingga pH-9 untuk mendapatkan endapan ZnO. Setelah mencapai pH-9, diaduk secara konstan selama 2 jam. Selanjutnya, endapan di cuci menggunakan aqua-bidest dan etanol sebanyak 2-3 kali. Endapan dikeringkan dengan temperature 80 °C selama 12 jam. Setelah proses pengeringan, sampel di *annealing* selama 2 jam pada temperatur 400 °C agar terbentuk nanopartikel ZnO.

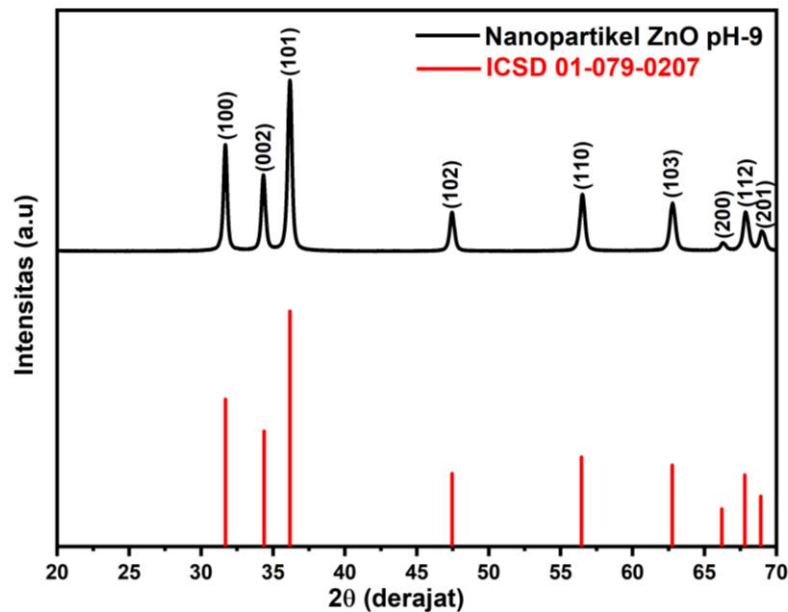
Karakterisasi Nanopartikel ZnO

Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) pada struktur kristal nanopartikel ZnO dilakukan menggunakan tipe Bruker D8-Advance dengan radiasi monokromatik Cu K α ($\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$) pada sudut 2θ dari 20°-70°. Karakterisasi nanopartikel ZnO menggunakan spektrofotometer UV-Vis *Agilent*

Tehnologies Cary60 dengan sumber cahaya *Xenon flash lamp (80Hz)*. Sampel dianalisis UV-Vis pada rentang panjang gelombang 200-700 nm. Analisis spektrofotometer UV-Vis untuk mengidentifikasi absorbansi dari kemampuan serapan nanopartikel ZnO. Data yang diperoleh kemudian diolah menggunakan metode *Tauc Plot*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, nanopartikel ZnO yang menunjukkan pola difraksi pada puncak tertentu dikarakterisasi dengan menggunakan X-Ray Diffractometer (XRD). Dengan menggunakan aplikasi HighScore Plus, pola difraksi nanopartikel ZnO dengan struktur nano dianalisis lebih lanjut. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 1.



GAMBAR 1. Pola difraksi nanopartikel ZnO dengan pH-9

Dapat dilihat pada GAMBAR 1, didapatkan bidang kristal (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112), dan (201) sesuai dengan posisi 2θ di sudut 31.68° , 34.33° , 36.17° , 47.45° , 56.49° , 62.76° , 66.23° , 67.85° , dan 69.17° . Ukuran kristalit pada bidang (100), (002), dan (101) berturut-turut yaitu 32.72 nm, 30.59 nm, dan 30.74 nm. Berdasarkan *Inorganic Crystal Structure Database (ICSD)* nomor #01-079-0207, pola *X-Ray Diffraction (XRD)* dari nanopartikel ZnO memiliki struktur kristal *hexagonal wurtzite*.

Mengacu pada nilai FWHM, ukuran kristalit (D) dari nanopartikel ZnO berdasarkan analisis dihitung menggunakan persamaan Debye-Scherrer:

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

Sedangkan nilai *microstrain* telah dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\beta}{4 \tan \theta} \quad (2)$$

Dengan nilai k adalah konstanta Scherrer (0.9), dan panjang gelombang (λ) XRD sebesar 0.154056 nm, θ adalah sudut difraksi, β adalah *Full Width at Half Maximum (FWHM)*, D adalah ukuran kristalit dan ε adalah *microstrain* [17] [18].

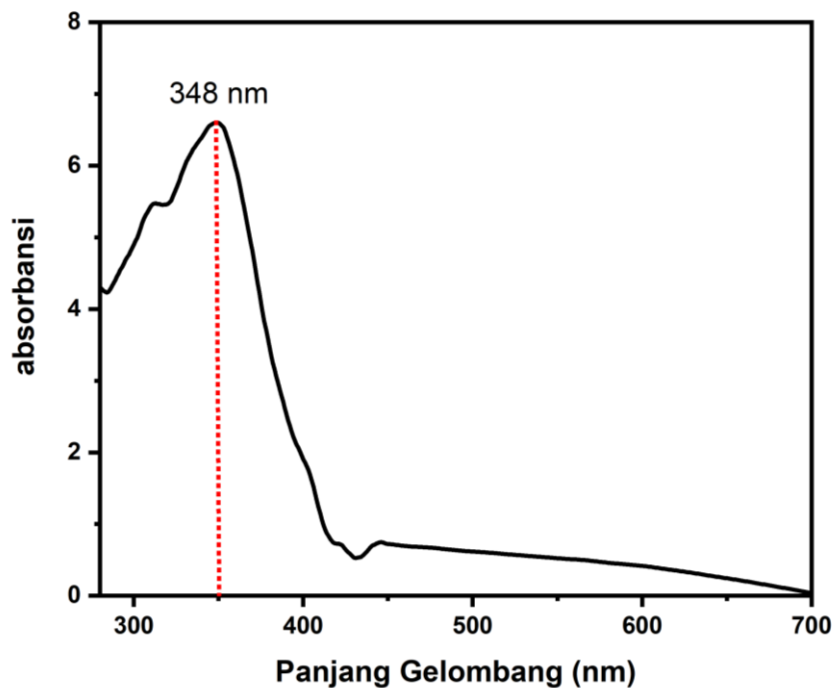
TABEL 1. Parameter struktur sampel nanopartikel ZnO dengan pH-9

No	2θ (°)	h	k	l	FWHM	Ukuran kristalit (nm)	d-spacing (nm)	Microstrain
1	31.68	1	0	0	0.2524	32.72	0.2558	0.0037
2	34.33	0	0	2	0.2718	30.59	0.2755	0.0037
3	36.17	1	0	1	0.2718	30.74	0.2755	0.0035

Pada penelitian ini, untuk mengetahui sifat optik yang terdapat pada nanopartikel ZnO, dilakukan karakterisasi menggunakan UV-VIS spektrofotometer pada 200-700 nm untuk mendapatkan nilai absorbansi dan celah pita dari nanopartikel ZnO menggunakan metode *tauc plot* dengan persamaan sebagai berikut.

$$(\alpha hv) = B(hv - E_g)^n \tag{3}$$

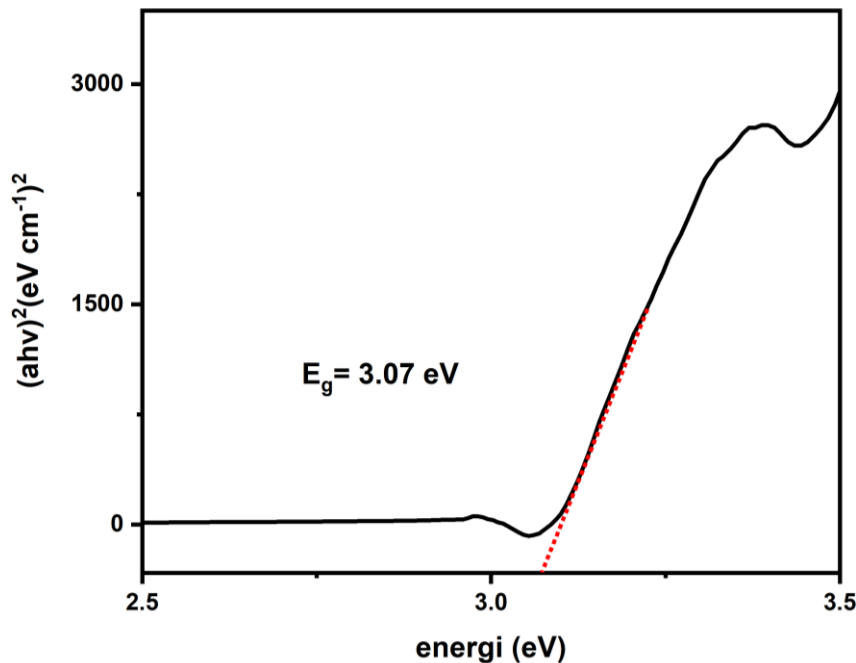
persamaan di atas, h adalah konstanta Planck (4.135×10^{-15} eV.s), v adalah frekuensi foton (s^{-1}), E_g adalah energi celah pita, B adalah konstanta, dan α adalah koefisien absorpsi. n adalah faktor yang bergantung pada transisi elektronik ($n = 1/2$ atau $n = 2$ untuk celah langsung dan celah tidak langsung) [19].



GAMBAR 2. Spektrum absorbansi UV-Vis nanopartikel ZnO pada pH-9

Karakterisasi dengan UV-Vis spektrofotometer dilakukan untuk menganalisis lebih lanjut sifat optik nanopartikel ZnO. Pada GAMBAR 2 menunjukkan spektrum absorbansi UV-Vis nanopartikel ZnO pada rentang 300 – 400 nm. Nanopartikel ZnO memiliki puncak luas pada kisaran 300 – 360 nm dengan penyerapan yang kuat pada kisaran rentang UV dan penyerapan lemah pada rentang gelombang

Visible. Ada peningkatan intensitas di rentang panjang gelombang UV dengan puncak paling kuat yaitu 348 nm. Hal ini menunjukkan karakteristik lebar celah pita ZnO [17].



GAMBAR 3. Energi celah pita nanopartikel ZnO pada pH-9 menggunakan metode *Tauc Plot*

Pada GAMBAR 3 Besar energi celah pita nanopartikel ZnO dapat dianalisis menggunakan metode *Tauc Plot* yaitu 3.07 eV. Energi celah pita pada sampel lebih kecil dibandingkan nilai energi celah pita nanopartikel ZnO yang dilaporkan (3.37 eV) [20]. Penelitian lain melaporkan bahwa berkurangnya celah pita energi disebabkan keadaan kosong oleh elektron Co 3d yang disebabkan oleh interaksi antara orbital s dan p milik ZnO dengan elektron terlokalisasi pada orbital d yang berhubungan dengan ion Co^{2+} . Puncak spectra absorpsi ZnO terdoping Co bergeser ke panjang gelombang yang lebih rendah (*blueshift*) [21]. Sehingga kami memprediksikan bahwa adanya doping Co mengakibatkan distribusi defek mengalami perubahan. Berdasarkan laporan dari penelitian sebelumnya, distribusi dari defek mengakibatkan konsentrasi dari elektron pita konduksi meningkat dan energi Fermi bergeser ke arah pita konduksi (*Burstein-Moss Effect*) [22]. Hal ini diyakini mempengaruhi sifat absorpsi nanopartikel ZnO.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil Penelitian, nanopartikel ZnO telah berhasil disintesis menggunakan metode presipitasi pada pH-9 di *annealing* selama 2 jam pada temperatur 400 °C agar terbentuk nanopartikel ZnO. Berdasarkan hasil karakterisasi struktur kristal menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), ukuran kristalit pada bidang kristal (100), (002), dan (101) berturut-turut yaitu 32.72 nm, 30.59 nm, dan 30.74 nm. Selanjutnya, berdasarkan hasil karakterisasi UV-Vis absorpsi nanopartikel ZnO yaitu 348 nm dan besar celah pita nanopartikel ZnO menggunakan metode *Tauc Plot* yaitu 3.07 eV.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada program pemberian Bantuan Biaya Peningkatan Mutu Pendidikan yaitu Kartu Jakarta Mahasiswa Unggul (KJMU). Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Laboratorium Fisika UNJ yang telah bersedia memberikan fasilitas alat dan bahan yaitu Laboratorium material Fisika dan Laboratorium Pusat Riset Kimia Maju, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).

REFERENSI

- [1] S. Kumari *et al.*, “A comprehensive review on various techniques used for synthesizing nanoparticles,” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 27, pp. 1739–1763, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.jmrt.2023.09.291.
- [2] J. O. Ighalo *et al.*, “CuO nanoparticles (CuO NPs) for water treatment: A review of recent advances,” *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, vol. 15, p. 100443, May 2021, doi: 10.1016/j.enmm.2021.100443.
- [3] I. Khan, K. Saeed, and I. Khan, “Nanoparticles: Properties, applications and toxicities,” *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 12, no. 7, pp. 908–931, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.arabjc.2017.05.011.
- [4] S. V. Gudkov, D. E. Burmistrov, D. A. Serov, M. B. Rebezov, A. A. Semenova, and A. B. Lisitsyn, “A Mini Review of Antibacterial Properties of ZnO Nanoparticles,” *Front. Phys.*, vol. 9, p. 641481, Mar. 2021, doi: 10.3389/fphy.2021.641481.
- [5] L. Roza, Y. Febrianti, S. Iwan, and V. Fauzia, “The role of cobalt doping on the photocatalytic activity enhancement of ZnO nanorods under UV light irradiation,” *Surfaces and Interfaces*, vol. 18, p. 100435, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.surfin.2020.100435.
- [6] N. A. Putri, V. Fauzia, S. Iwan, L. Roza, A. A. Umar, and S. Budi, “Mn-doping-induced photocatalytic activity enhancement of ZnO nanorods prepared on glass substrates,” *Applied Surface Science*, vol. 439, pp. 285–297, May 2018, doi: 10.1016/j.apsusc.2017.12.246.
- [7] S. Iwan, V. Fauzia, A. A. Umar, and X. W. Sun, “Room temperature photoluminescence properties of ZnO nanorods grown by hydrothermal reaction,” presented at the INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CURRENT PROGRESS IN MATHEMATICS AND SCIENCES 2015 (ISCPMS 2015): Proceedings of the 1st International Symposium on Current Progress in Mathematics and Sciences, Depok, Indonesia, 2016, p. 020031. doi: 10.1063/1.4946934.
- [8] N. Aisah, D. Gustiono, V. Fauzia, I. Sugihartono, and R. Nuryadi, “Synthesis and Enhanced Photocatalytic Activity of Ce-Doped Zinc Oxide Nanorods by Hydrothermal Method,” *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 172, p. 012037, Feb. 2017, doi: 10.1088/1757-899X/172/1/012037.
- [9] J. Marselie, V. Fauzia, and I. Sugihartono, “The effect of Cu dopant on morphological, structural and optical properties of ZnO nanorods grown on indium tin oxide substrate,” *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 817, p. 012014, Apr. 2017, doi: 10.1088/1742-6596/817/1/012014.
- [10] R. Verma, S. Pathak, A. K. Srivastava, S. Praver, and S. Tomljenovic-Hanic, “ZnO nanomaterials: Green synthesis, toxicity evaluation and new insights in biomedical applications,” *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 876, p. 160175, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.jallcom.2021.160175.
- [11] I. Musa and R. Faqi, “Structural, electrostatic force microscopy, work function, and optical characterization of pure and Al-doped ZnO nanoparticles,” *Results in Materials*, vol. 22, p. 100570, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.rinma.2024.100570.
- [12] S. Raha and Md. Ahmaruzzaman, “ZnO nanostructured materials and their potential applications: progress, challenges and perspectives,” *Nanoscale Adv.*, vol. 4, no. 8, pp. 1868–1925, 2022, doi: 10.1039/D1NA00880C.
- [13] R. Rathore and N. Kaurav, “The structural and optical properties of ZnO nanoparticles synthesized via thermal decomposition,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 54, pp. 624–627, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2021.10.207.
- [14] C. B. Ong, L. Y. Ng, and A. W. Mohammad, “A review of ZnO nanoparticles as solar photocatalysts: Synthesis, mechanisms and applications,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 536–551, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.08.020.
- [15] O. Adedokun, I. T. Bello, Y. K. Sanusi, and A. O. Awodugba, “Effect of precipitating agents on the performance of ZnO nanoparticles based photo-anodes in dye-sensitized solar cells,” *Surfaces and Interfaces*, vol. 21, p. 100656, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.surfin.2020.100656.
- [16] R. Suntako, “Effect of zinc oxide nanoparticles synthesized by a precipitation method on mechanical and morphological properties of the CR foam,” *Bull Mater Sci*, vol. 38, no. 4, pp. 1033–1038, Aug. 2015, doi: 10.1007/s12034-015-0921-0.
- [17] R. S. Mohar, S. Iwan, D. Djuhana, C. Imawan, A. Harmoko, and V. Fauzia, “Post-annealing effect on optical absorbance of hydrothermally grown zinc oxide nanorods,” presented at the

- INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CURRENT PROGRESS IN MATHEMATICS AND SCIENCES 2015 (ISCPMS 2015): Proceedings of the 1st International Symposium on Current Progress in Mathematics and Sciences, Depok, Indonesia, 2016, p. 020024. doi: 10.1063/1.4946927.
- [18] N. N. Erdoğan and A. B. Başığit, “An approach on determining micro-strain and crystallite size values of thermal spray barrier coated Inconel 601 super alloy,” 2023.
- [19] P. R. Jubu *et al.*, “Influence of the secondary absorption and the vertical axis scale of the Tauc’s plot on optical bandgap energy,” *J Opt*, vol. 52, no. 3, pp. 1426–1435, Sep. 2023, doi: 10.1007/s12596-022-00961-6.
- [20] I. Sugihartono *et al.*, “The influence of calcination temperature on optical properties of ZnO nanoparticles,” presented at the THE 8TH NATIONAL PHYSICS SEMINAR 2019, Jakarta, Indonesia, 2019, p. 060010. doi: 10.1063/1.5132688.
- [21] I. Sugihartono *et al.*, “Influence of Co incorporation on morphological, structural, and optical properties of ZnO nanorods synthesized by chemical bath deposition,” *Advances in materials Research*, vol. 12, no. 3, pp. 179–192, Sep. 2023, doi: 10.12989/AMR.2023.12.3.179.
- [22] I. Sugihartono *et al.*, “Morphological, structural, and optical properties of Co-doped ZnO NPs prepared by precipitation method” *Journal of ceramic processing research*, 2019