

Pengaruh Variasi Jumlah Doping Urea Terhadap Karakteristik Komposit ZnO/*Graphene Oxide* Sebagai Kandidat Katalis Solar Cell

Kiki Yuliza Noerman¹, Riri Jonuarti^{2*}, Gusnedi³, Ratnawulan⁴, Fadhila Ulfa Jhora⁵

¹²³⁴Program Studi Fisika, Universitas Negeri Padang
e-mail: kikiyuliza10@gmail.com

Abstrak

ZnO dan *Graphene Oxide* merupakan material yang sangat menjanjikan dalam aplikasi *solar cell*. Kombinasi antara ZnO/*Graphene Oxide* memiliki kemampuan dalam mentranspor elektron dengan baik dibandingkan dengan ZnO atau *Graphene Oxide* saja. Namun, *solar cell* berbasis ZnO mudah terjadi rekombinasi pembawa muatan secara cepat karena energi band gap yang besar. Oleh karena itu, pembuatan komposit ZnO/*Graphene Oxide* yang diberi pengotor (*doped*) berupa urea dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah doping urea pada komposit ZnO/*Graphene Oxide* terhadap karakteristik berupa struktur dan ukuran pada kristal dan partikel serta energi band gap yang nantinya akan dijadikan sebagai katalis *solar cell*. Tiga variasi jumlah doping yang diselidiki dalam penelitian ini: 0,11 gr, 0,22 gr, dan 0,33 gr dengan metode yang digunakan adalah metode sol-gel. Dari hasil analisis dapat dilihat bahwa dengan bertambahnya jumlah doping urea menunjukkan peningkatan pada ukuran partikel dari 107,86 nm menjadi 121,18 nm sedangkan pada ukuran kristal mengalami penurunan dari 46,39 nm menjadi 43 nm. Variasi jumlah doping urea juga mempengaruhi nilai energi band gap komposit ZnO/*Graphene Oxide* dengan nilai yang semakin menurun seiring bertambahnya jumlah doping yaitu dari 2,63 eV menjadi 2,57 eV, mengindikasikan peningkatan konduktivitas elektronik. Hasil ini menunjukkan bahwa komposit ZnO/*Graphene Oxide* dengan doping urea berpotensi sebagai katalis dalam aplikasi *solar cell*.

Kata kunci: *Solar Cell, Komposit ZnO/Graphene Oxide, Urea, Doping*

Abstract

ZnO and *Graphene Oxide* are highly promising materials for solar cell applications. The combination of ZnO/*Graphene Oxide* has better electron transport capabilities compared to ZnO or *Graphene Oxide* alone. However, ZnO-based solar cells are prone to rapid charge carrier recombination due to their large band gap energy. Therefore, the fabrication of ZnO/*Graphene Oxide* composites doped with urea has been carried out. The aim of this study is to investigate the effect of varying urea doping levels in

ZnO/Graphene Oxide composites on their structure and size of crystal and particle also the band gap energy, for use as solar cell catalysts. The three doping levels investigated in this study are 0,11 g, 0,22 g and 0,33 g. The method used in this research is the sol-gel method. The analysis results show that as the amount of urea doping increases, the particle size increases from 107,86 nm to 121,18 nm, while the crystal size decreases from 46,39 nm to 43 nm. The variation in urea doping levels also affects the band gap energy of the ZnO/Graphene Oxide composites, with the value decreasing as the doping amount increases, from 2,63 eV to 2,57 eV, indicating an increase in electronic conductivity. These results suggest that ZnO/Graphene Oxide composites doped with urea have potential as catalysts in solar cell applications.

Keywords : *Solar Cell, ZnO/Graphene Oxide composites, Urea, Doping*

PENDAHULUAN

Krisis energi baru-baru ini menyebar ke seluruh dunia, mempengaruhi hampir semua wilayah. Karena ekspansi populasi global yang tidak terkendali, terjadi peningkatan yang sangat besar dalam kebutuhan energi untuk kebutuhan dasar. Untuk mengurangi dan mencegah penggunaan energi yang berlebihan, pengembangan energi saat ini mendorong penelitian mencari sumber energi alternatif yang terbarukan dan bermanfaat secara ekologis.

Energi matahari memiliki potensi besar sebagai alternatif yang menjanjikan untuk menggantikan bahan bakar fosil dalam mengatasi masalah energi global. Jumlah keseluruhan energi matahari yang dapat diserap oleh planet ini adalah sekitar 3×10^{24} joule, yang berarti sekitar 10^4 kali lebih tinggi dari kebutuhan energi dunia saat ini. Solar cell, atau yang lebih dikenal sebagai sel surya, adalah perangkat yang digunakan untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik, sehingga energi matahari dapat dimanfaatkan secara maksimal (Dewi et al., 2012). Energi matahari yang mencapai permukaan bumi setiap tahun sangat besar, diperkirakan sekitar 1.74×10^{17} watt. Jika seandainya mampu menangkap dan memanfaatkan sebagian kecil saja dari energi ini, kebutuhan energi global dapat dipenuhi secara berkelanjutan. Potensi besar ini menjadikan energi matahari sebagai fokus utama dalam penelitian dan pengembangan teknologi energi terbarukan (Lewis & Nocera, 2006).

Perkembangan teknologi sel surya sendiri sudah mengalami perkembangan yang sangat signifikan sebagai hasil upaya untuk meningkatkan efisiensi, mempercepat prosedur sintesis, dan mengurangi biaya produksi (Green et al., 2018). Salah satu sel surya yang sekarang sedang dikembangkan yaitu sel surya tersensitisasi pewarna atau *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC). DSSC mulai berkembang karena biaya yang tidak terlalu tinggi dan bahan baku yang relatif mudah didapat karena banyak tersedia disekitar. Struktur dasar DSSC mencakup fotoanoda yang biasanya terbuat dari bahan semikonduktor, pewarna *sensitizer*, elektrolit, dan elektroda pembanding. Elektroda pembanding dalam DSSC berfungsi sebagai katalis untuk memfasilitasi transfer elektron yang berperan untuk

meningkatkan kinerjanya. Bahan yang digunakan biasanya berasal dari semikonduktor oksida seperti ZnO (Rini, 2020).

Zinc Oxide (ZnO) merupakan bahan semikonduktor tipe-n jenis logam yang terdapat pada golongan IIB-IVA. ZnO dikenal memiliki band gap lebar sebesar 3,37 eV dan energi ikat eksiton yang tinggi sebesar 60 meV, yang membuatnya cocok untuk berbagai aplikasi elektronik dan optoelektronik. ZnO memiliki sifat transparansi dan mobilitas elektron yang sangat baik, serta luminesensi yang kuat, menjadikannya pilihan populer dalam perangkat seperti *light-emitting diodes* (LEDs), sel surya, dan sensor gas (Bauer et al., 2001; Özgür et al., 2005). Akan tetapi solar sel berbasis ZnO ditemukan mudah terjadinya rekombinasi pembawa muatan secara cepat (Jia et al., 2013). Salah satu sebab juga karena semikonduktor ZnO memiliki band gap besar sehingga kurang untuk memberi respon terhadap sinar matahari.

Untuk mengatasi masalah ini perlu dilakukan modifikasi yang mencakup penggunaan bahan organik dalam pembuatan nanopartikel dan nanokomposit, penggabungan dengan semikonduktor lain, serta teknik doping atau pemberian sejumlah kecil bahan pengotor (*impurity*). Untuk penggabungan dengan semikonduktor lain ini dapat menggunakan berbagai macam karbon seperti karbon aktivasi dan karbon nanotube. Salah satunya yaitu material *Graphene* yang memiliki luas permukaan yang tinggi, fleksibilitas, sifat elektronik, konduktivitas yang sangat baik, dispersi dan stabilitas termal yang baik (Fauzi & Dwandaru, 2021; Prasetyo, 2018). Kemudian dilakukan modifikasi melalui pemberian sejumlah kecil bahan pengotor (*impurity*) atau doping ke dalam semikonduktor komposit ZnO/GO berupa unsur logam maupun non logam. Namun, dikatakan doping dengan unsur logam sering menyebabkan terjadinya ketidakstabilan termal sehingga dengan mudah menjadi pusat rekombinasi pembawa muatan. Maka doping dengan bahan non logam merupakan langkah efektif untuk mengatasi masalah ini karena dianggap efisien dalam menekan pemisahan pembawa muatan (Qin et al., 2011).

Doping yang digunakan adalah urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$), karena urea terdapat unsur nitrogen yang memiliki kemiripan dengan oksigen yang mampu mempersempit energi gap secara signifikan. Hal ini dikarenakan elektron-elektron pada urea lebih bebas bergerak dari satu atom ke atom yang lain (Karim et al., 2016; Qin et al., 2011). Efek gabungan dari nitrogen dan *graphene oxide* (GO) pada ZnO ini diharapkan dapat meningkatkan kapasitas fotokatalitik ZnO dengan memperluas penyerapan cahayanya ke dalam rentang cahaya tampak sambil menekan rekombinasi elektron dan lubang pada permukaan semikonduktor (Peter et al., 2019)

Pada penelitian ini, peneliti memfokuskan dalam memvariasikan jumlah doping urea pada komposit ZnO/GO. Variasi ini dilakukan untuk melihat pengaruh jumlah doping urea terhadap karakteristik komposit dengan menggunakan metode sol-gel. Kemudian hasil diuji menggunakan X-RD (*X-Ray Diffraction*) untuk melihat ukuran kristal, SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk melihat ukuran partikel dan Spektrofotometri UV-Vis (*UltraViolet-Visible*) untuk mengetahui energi band gap berdasarkan data absorbansi menggunakan metode *Tauc Plot* (Daniyati et al., 2013).

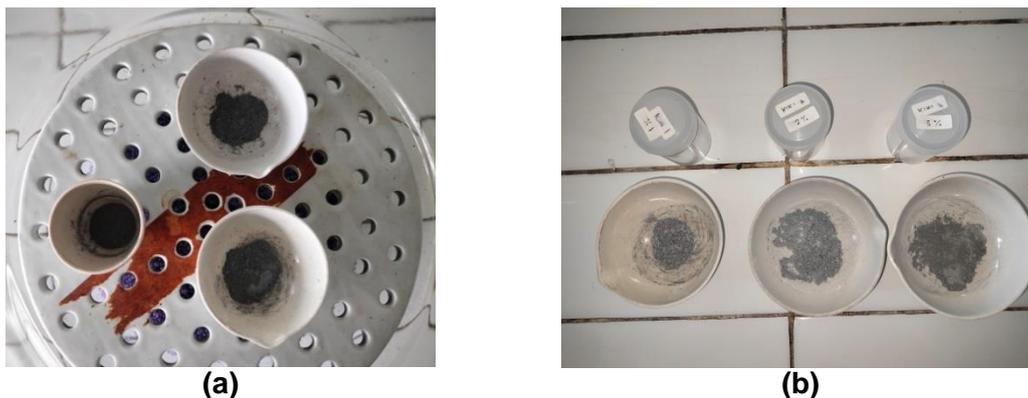
METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen. Penelitian dilakukan di tiga laboratorium yaitu Laboratorium di LLDIKTI Wilayah X Padang untuk membuat komposit ZnO/GO doping Urea; Laboratorium Material dan Biofisika untuk mempersiapkan bahan serta melakukan penggilingan pada ZnO serta melakukan pengujian sampel dengan alat X-RD; dan Laboratorium Kimia untuk pengujian dengan alat spektrofotometri UV-Vis. Untuk pengujian sampel dengan alat SEM, sampel yang telah selesai dikirim ke Laboratorium Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (PPPGL) yang terletak di Bandung.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah X-RD (*X-Ray Diffraction*), Spektrofotometri UV-Vis, SEM (*Scanning Electron Microscope*), HEM (*High Energy Milling*), oven, timbangan digital, *magnetic stirrer*, *ultrasonic bath*, *sentrifuge*, *furnace*, gelas beaker, gelas ukur, kaca arloji, pipet tetes, batang pengaduk, spatula lab, lumpang alu, tabung sampel, *aluminium foil*. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah ZnO, *Graphene Oxide*, Urea, NaOH, *aquades*, metanol, *n-hexane*. Bahan ini didapatkan pada PT. Kisbiokim Medika Laboratori Padang.

Penelitian ini terdapat tiga tahap, yaitu tahap pertama preparasi sampel untuk material ZnO yang dilakukan penggilingan (*milling*) selama 2 jam untuk memperkecil ukuran ZnO tersebut. Langkah pertama, material ZnO sebanyak 6 gr dimasukkan kedalam tabung HEM yang didalamnya terdapat bola-bola besi dengan berat 60 gr yang kemudian di-*milling* selama 2 jam. Pada proses ini menghasilkan material ZnO dengan ukuran partikel sebesar 79,54 nm.

Tahap kedua yaitu proses sintesis komposit ZnO/*Graphene Oxide*. Menurut (Ghina A et al., 2020) ZnO (79,54 nm) sebanyak 1 gr dilarutkan ke dalam 42 ml metanol dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit sampai temperatur berubah menjadi 65°C. Di lain sisi, sebanyak 0,28 gr NaOH dilarutkan ke dalam 23 ml metanol dengan menggunakan *ultrasonic bath* selama 15 menit pada temperatur 27°C. Kemudian larutan NaOH ditambahkan ke dalam larutan ZnO dan diaduk selama ± 150 menit atau hingga larutan surut setengah bagian. Setelah itu, larutan yang telah selesai di simpan dalam suhu ruang (*aging process*) selama 3 hari. Larutan akan berubah bentuk menjadi gel yang selanjutnya dicuci dengan *n-hexane* dan metanol (1:1) sebanyak 3 kali kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 3000 rpm selama 15 menit. Gel kemudian dicampur dengan 0,1 gr GO dan diaduk sampai homogen. Campuran gel selanjutnya dikeringkan menggunakan oven dengan temperatur 150°C selama 8 jam hingga menjadi *xerogel*. *Xerogel* tersebut dihaluskan menggunakan lumpang alu hingga menjadi serbuk komposit ZnO/GO dengan berat rata-rata pada masing-masing sampel 0,9 gr. Hasil dari proses sintesis komposit ZnO/GO dapat dilihat pada gambar 1(a).



Gambar 1. Hasil sintesis (a) Komposit ZnO/GO, (b) Komposit ZnO/GO Doping Urea

Tahap ketiga atau terakhir yaitu penambahan doping Urea ke dalam komposit ZnO/GO. Menurut (Rosanti et al., 2020) komposit ZnO/GO dicampurkan Urea dengan variasi jumlah doping 0,11 gr, 0,22 gr, 0,33 gr dan diaduk dengan 10 ml *aquades* selama 2 jam menggunakan *magnetic stirrer*. Larutan yang telah tercampur didiamkan selama 24 jam. Kemudian larutan dipisahkan menggunakan *sentrifuge* selama 1 jam dengan kecepatan 2000 rpm dan diamkan kembali selama 24 jam. Padatan yang terbentuk dioven pada suhu 80°C selama 8 jam yang disetiap 1 jam dilakukan penggerusan. Dan terakhir dimasukkan kedalam *furnace* selama 4 jam pada temperatur 500°C hingga terbentuk kembali serbuk komposit ZnO/GO doping Urea, yang dapat dilihat pada gambar 1(b).

Setelah terbentuknya komposit ZnO/GO dengan variasi jumlah doping urea, sampel di karakterisasi menggunakan X-RD, SEM, dan Spektrofotometri UV-Vis. Pada hasil karakterisasi X-RD, analisis data dilakukan pada aplikasi *High Score Plus* dengan memilih kurva puncak difraksi yang memiliki intensitas tertinggi pada posisi 2 θ , kemudian melihat nilai pelebaran kurva setengah puncak difraksi atau *Full Width Half Maximum* (FWHM) (Sinaga & Joniwarta, 2020). Dengan nilai tersebut ditentukan besar ukuran kristal menggunakan persamaan *Debye-Scherrer*, yaitu sebagai berikut:

$$d = \frac{k \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos \theta}$$

- k : Tetapan *Scherrer* (0,9)
- λ : Panjang gelombang sinar-X (1,54 Å)
- β : *Full Width at Half Maximum* (FWHM) (rad)
- θ : Sudut difraksi *Bragg* (°)

Untuk analisis SEM (*Scanning Electron Microscopy*) berupa gambar digital yang diolah pada aplikasi *ImageJ* untuk mengetahui struktur serta ukuran partikel yang kemudian diplot menggunakan aplikasi *Origin* untuk melihat distribusi partikel yaitu *R-square* atau *coefficient of determination* (COD) untuk melihat seberapa baik pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen dalam memprediksi suatu hasil. Dari data karakterisasi menggunakan spektrofotometri UV-Vis diketahui besar energi band

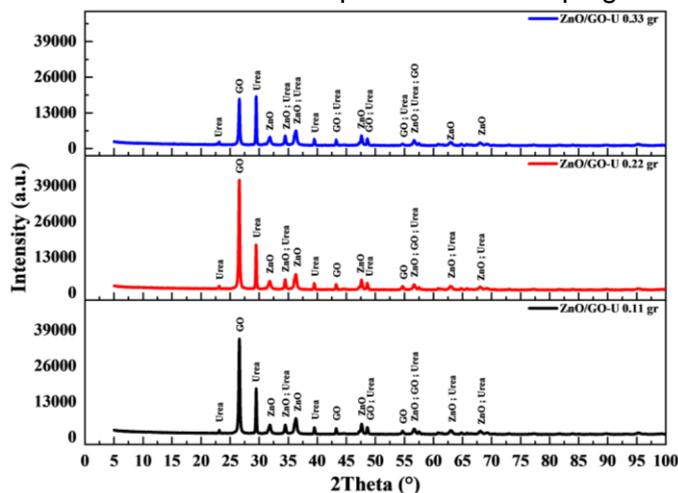
gap dari data absorbansi yang dihitung menggunakan metode *tauc plot* di aplikasi *Origin*, dengan persamaan (Daniyati et al., 2013; Maulana, 2021) :

$$(\alpha hc/\lambda)^\gamma = A - (hc/\lambda - E_g)$$

- h : Konstanta *Planck* ($6,63 \times 10^{-34} J.s$)
- α : Koefisien Absorbansi
- A : Konstanta Proporsional
- c : Kecepatan Cahaya ($3 \times 10^8 m/s^2$)
- λ : Panjang Gelombang
- E_g : Energi Gap
- γ : Transisi *Indirect type* (2), Transisi *Direct type* (1/2)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini berhasil dalam membuat komposit *ZnO/Graphene Oxide* doping Urea dengan variasi jumlah doping: 0,11 gr; 0,22 gr; 0,33 gr. Beberapa karakterisasi dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan doping urea pada komposit *ZnO/GO* sebagai katalis *solar cell*. Uji *X-Ray Diffraction* (X-RD) dilakukan untuk mengetahui struktur dan ukuran kristal komposit *ZnO/GO* doping Urea.



Gambar 2. Pola difraksi analisis X-RD komposit *ZnO/GO-Urea* dengan variasi jumlah doping: 0,11 gr; 0,22 gr; 0,33 gr

Berdasarkan gambar 2, dapat dilihat pola difraksi komposit *ZnO/GO-Urea* dengan 3 variasi jumlah doping yang digunakan. Pada setiap variasi terdapat puncak-puncak tertinggi dengan 14 puncak yang selalu muncul. Puncak ini menandakan ketinggian intensitas dari tiap material yaitu *ZnO*, *Graphene Oxide* dan Urea. Dilihat pada gambar 2, kristal *Graphene Oxide* memiliki puncak tertinggi di dua variasi jumlah doping pertama yaitu dengan nilai intensitas 35.875 pada sudut 2θ $26,57^\circ$ dan intensitas 41.138 pada sudut 2θ $26,57^\circ$ pada orientasi [006], sedangkan pada variasi jumlah doping 0,33 gr, puncak tertinggi di isi oleh Urea dengan nilai intensitas 18.956 pada sudut 2θ $29,48^\circ$ pada orientasi [110]. Kemudian data dari 2θ ini yang akan digunakan

sebagai parameter dalam perhitungan ukuran kristal. Lebih detailnya dapat dilihat pada table 1.

Tabel 1. Struktur dan ukuran kristal variasi jumlah doping

No	Senyawa	Struktur Kristal	Ukuran Kristal (nm)	Rata-rata
1	ZnO	Hexagonal	29.82363585	46.39347469
	Graphene Oxide	Hexagonal	48.34919518	
	Urea	Orthorhombic	61.00759304	
2	ZnO	Hexagonal	33.83289103	42.44896625
	Graphene Oxide	Hexagonal	40.01723587	
	Urea	Orthorhombic	53.49677186	
3	ZnO	Hexagonal	34.20973963	43.00777867
	Graphene Oxide	Hexagonal	41.68220507	
	Urea	Orthorhombic	53.13139132	

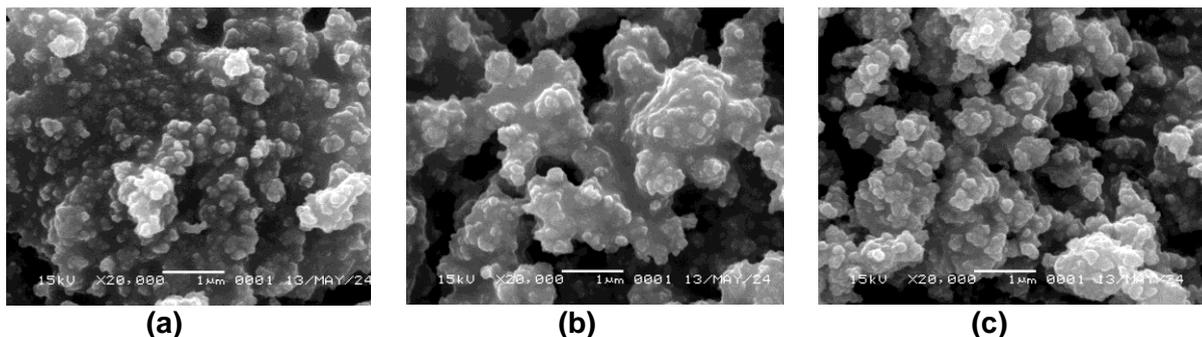
Dalam tabel 1, struktur dan ukuran kristal dari masing-masing material ditampilkan. Terlihat bahwa untuk ukuran kristal mengalami penurunan pada variasi 0,22 gr dan peningkatan pada variasi 0,33 gr. Hal ini terjadi akibat dari pengumpulan pada sampel, sehingga partikel menyatu dan ukurannya menjadi lebih besar. Ukuran kristal yang dihasilkan berada dalam ukuran <100 nm. Ukuran kristal ini mampu memperluas permukaan katalis sehingga menjadikan kinerja katalis lebih efektif (Mutiara & Rais, 2023).

Selanjutnya uji Scanning Electron Microscope (SEM) dilakukan dengan perbesaran 20000x dengan tujuan untuk mengetahui struktur atau bentuk morfologi serta ukuran partikel. Untuk hasil dari uji SEM, lebih detailnya dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Data hasil rata-rata ukuran partikel variasi jumlah doping

Variasi Jumlah Doping Urea	Ukuran Partikel	R-Square (COD)
0,11 gr	107,86 nm	0,91492
0,22 gr	121,18 nm	0,91266
0,33 gr	112,58 nm	0,89278

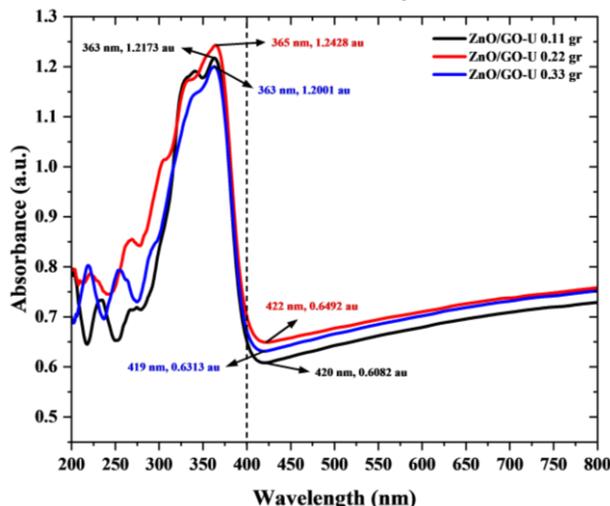
Dari tabel 2, tampak bahwa pengaruh doping urea terhadap komposit ZnO/GO menjadikan ukuran partikel semakin bertambah besar dengan ukuran partikel >100 nm, akibat dari material selain ZnO tidak dilakukan proses penggilingan. Selain itu juga ada terjadi proses aglomerasi partikel yang diartikan sebagai penempelan partikel satu sama lain akibat proses sintesis yang tidak sempurna atau belum homogen (Kadarisman & Nurhasanah, 2020).



Gambar 3. (a) variasi 0,11 gr; (b) variasi 0,22 gr; (c) variasi 0,33 gr

Dapat dilihat pada gambar 3, morfologi partikel untuk tiap variasi memiliki bentuk yang tidak seragam dengan sebagian kecil ada yang berbentuk spherical (bulat) dan memiliki pori-pori. Perbedaan bentuk dan ukuran partikel ini muncul akibat dari interaksi antar partikel saat proses pembentukan komposit (Chen et al., 2016). Peristiwa ini dapat mempengaruhi sifat fisis dan kimia nanopartikel yang dapat membatasi kinerja aplikasi *solar cell* (Kadarisman & Nurhasanah, 2020).

Hasil analisis pengujian spektrofotometri UV-Vis berbentuk spektrum absorbansi cahaya terhadap 3 variasi jumlah doping urea. Spektrum absorbansi diukur pada rentang panjang gelombang 200-800 nm untuk tiap sampel, Hubungan panjang gelombang dengan absorbansi dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

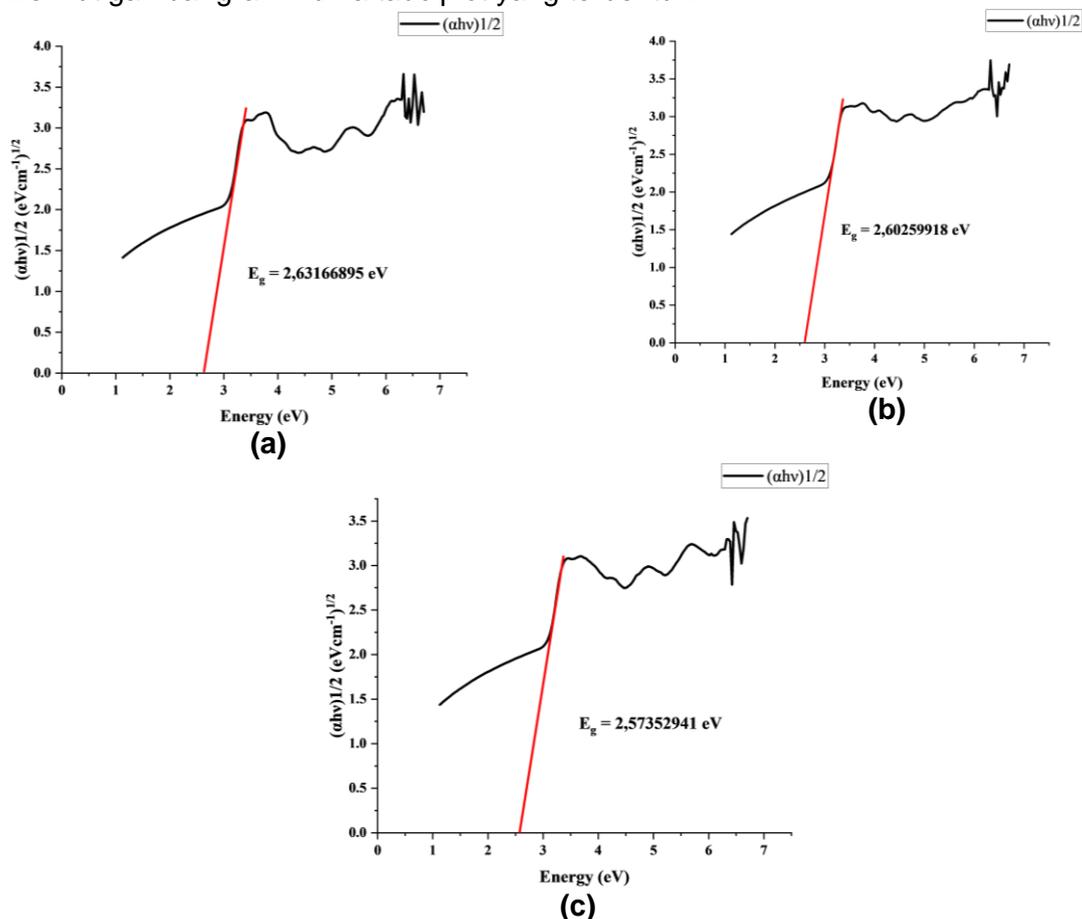


Gambar 4. Data absorbansi komposit ZnO/GO dengan 3 variasi jumlah doping Urea

Dari gambar 4 dapat dilihat hasil grafik UV-Vis untuk nilai absorbansi didapatkan puncak tertinggi pada panjang gelombang masing-masing variasi jumlah doping berurut-urut yaitu 363 nm, 365 nm dan 363 nm. Dengan nilai absorbansinya yaitu sebesar 1,2173 au, 1,2428 au dan 1,2001 au. Sedangkan puncak terendah pada panjang gelombang tiap variasi yaitu 420 nm, 422 nm, dan 419 nm. Dengan nilai

absorbansi sebesar 0,6082 au, 0,6492 au dan 0,6313 au. Pada tiap variasi jumlah doping ternyata nilai absorbansi tertinggi terdapat pada spektrum cahaya UV dengan rentang panjang gelombang pada 200 – 400 nm . Sedangkan nilai absorbansi terendah terletak pada spektrum cahaya tampak dengan rentang panjang gelombang antara 400 – 800 nm. Nilai absorbansi yang rendah menunjukkan bahwa intensitas cahaya yang terserap hanya sedikit. Ini akan berpengaruh kepada besarnya arus dan tegangan yang akan dihasilkan dari *solar cell*. Karena elektron bebas yang dihasilkan untuk mengisi pita konduksi hanya sedikit sehingga akan berpengaruh pada besar kecilnya arus yang akan didapatkan (Sunardi, 2012).

Kemudian dari data absorbansi dapat diketahui besar energi gap dengan menggunakan persamaan perhitungan metode *Tauc Plot* yang dilakukan pada aplikasi *Origin*. Penentuan nilai energi band gap ditentukan dengan melihat grafik linear hubungan E (eV) pada sumbu x dan $(\alpha h\nu)^{1/2}$ pada sumbu y (Daniyati et al., 2013). Berikut gambar grafik kurva tauc plot yang terbentuk.



Gambar 5. Kurva analisis UV-Vis (a) Jumlah doping 0,11 gr; (b) Jumlah doping 0,22 gr; (c) Jumlah doping 0,33 gr

Berdasarkan gambar 5, terlihat bahwa nilai energi band gap ZnO/GO-Urea menurun seiring bertambahnya jumlah doping, dengan nilai masing masing sebesar 2,63 eV (0,11 gr), 2,60 eV (0,22 gr) dan 2,57 eV (0,33 gr). Hal ini menunjukkan bahwa penambahan doping Urea mempengaruhi nilai energi band gap komposit ZnO/GO. Doping (pengotor) mengubah karakteristik semikonduktor material-material dengan cara memasukkan elektron yang berlebih atau lubang elektron yang berlebih. Sehingga jika jumlah doping urea meningkat, maka jumlah atom donor meningkat dan semakin kecil energi band gap yang dihasilkan (Indriani et al., 2018).

SIMPULAN

Penelitian ini mengeksplorasi karakteristik komposit ZnO/GO-Urea dengan variasi jumlah doping, yakni 0,11 gr, 0,22 gr dan 0,33 gr, melalui analisis pola difraksi sinar-X (X-RD), Scanning Electron Microscope (SEM), dan Spektrofotometri UV-Vis (Ultra Violet-Visible). Hasil analisis X-RD menunjukkan bahwa penambahan doping mempengaruhi ukuran kristal yang seiring bertambahnya jumlah doping, ukuran kristal semakin kecil dari 46,39 nm menjadi 43 nm dengan struktur kristal berupa hexagonal dan orthorhombic. Lain halnya yang terjadi pada analisis SEM, yang mengalami kenaikan ukuran partikel dari 107,86 nm menjadi 112,58 nm dengan struktur partikel berbentuk spherical berpori. Namun perubahan yang terjadi tidak terlalu signifikan, terlihat dari perubahan ukuran kristal dan ukuran partikel pada tiap variasi. Selanjutnya, analisis UV-Vis menunjukkan variasi jumlah doping urea mempengaruhi nilai energi band gap komposit ZnO/GO dengan nilai yang semakin menurun seiring bertambahnya jumlah doping yaitu dari 2,63 eV menjadi 2,57 eV, mengindikasikan peningkatan konduktivitas elektronik. Berdasarkan hasil ini, mengindikasikan bahwa semikonduktor dari komposit ZnO/GO doping Urea memiliki peluang untuk dijadikan sebagai katalis *solar cell*.

DAFTAR PUSTAKA

- Bauer, C., Boschloo, G., Mukhtar, E., & Hagfeldt, A. (2001). Electron Injection And Recombination in Ru(dcbpy)₂(NCS)₂ Sensitized Nanostructured ZnO. *Journal of Physical Chemistry B*, 105(24), 5585–5588. <https://doi.org/10.1021/jp004121x>
- Chen, J., Javaheri, H., Sulaiman, B. A. C., & Dahman, Y. (2016). Synthesis, Characterization And Applications Of Nanoparticles. In *Fabrication and Self-Assembly of Nanobiomaterials: Applications of Nanobiomaterials*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-41533-0.00001-5>
- Daniyati, R., Zharvan, V., Ichsan, N., Hadi Pramono, Y., & Yudoyono, G. (2013). Penentuan Energi Celah Pita Optik Film TiO₂ Menggunakan Metode Tauc Plot. *Prosiding Seminar Sains Dan Teknologi*, 1–5.
- Dewi, A. Y. K., Priatmoko, S., & Wahyuni, S. (2012). Elektroda Solar Cell Berbasis Komposit TiO₂/SiO₂ Sebagai Energi Alternatif Terbarukan. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 1(2), 1–6.
- Fauzi, F., & Dwandaru, W. S. B. (2021). Analisis Karakteristik Graphene Oxide dan Reduksinya melalui Gelombang Mikro. *Universitas Negeri Semarang*, 11(1), 9–18.

- Ghina A, C., Mutiara, R., Suryaningsih, S., Bahtiar, A., & Aprilia, A. (2020). Pengaruh Waktu Aging Pada Sintesis Nanokomposit ZnO:GO Sebagai Fotokatalis Pada Sistem Penjernihan Air. *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, 10(02), 89–97.
- Green, M. A., Hishikawa, Y., Dunlop, E. D., Levi, D. H., Hohl-Ebinger, J., & Ho-Baillie, A. W. Y. (2018). Solar Cell Efficiency Tables (Version 52). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 26(7), 427–436. <https://doi.org/10.1002/pip.3040>
- Indriani, D., Fahyuan, H. D., & Ngatijo, N. (2018). Uji UV-Vis Lapisan TiO₂/N₂ Untuk Menentukan Band Gap Energy. *Journal Online of Physics*, 3(2), 6–10. <https://doi.org/10.22437/jop.v3i2.5142>
- Jia, W., Jia, B., Qu, F., & Wu, X. (2013). Towards A Highly Efficient Simulated Sunlight Driven Photocatalyst: A Case Of Heterostructured ZnO/ZnS Hybrid Structure. *Dalton Transactions*, 42(39), 14178–14187. <https://doi.org/10.1039/c3dt51712h>
- Kadarisman, & Nurhasanah, I. (2020). Analisis Permukaan Nanopartikel Ferit Seng Berdasarkan Adsorpsi Isoterm Gas Nitrogen. *Berkala Fisika*, 23(3), 78–82.
- Karim, S., Pardoyo, P., & Subagio, A. (2016). Sintesis dan Karakterisasi TiO₂ Terdoping Nitrogen (N-Doped TiO₂) dengan Metode Sol–Gel. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 19(2), 63–67. <https://doi.org/10.14710/jksa.19.2.63-67>
- Lewis, N. S., & Nocera, D. G. (2006). Powering The Planet: Chemical Challenges In Solar Energy Utilization. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(43), 15729–15735. <https://doi.org/10.1073/pnas.0710559104>
- Maulana, M. F. (2021). Preparasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Tersensitiser Dari Buah Jamblang (*Syzygium Cumini*). *Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta*, 126, 5–6.
- Mutiara, D., & Rais, A. (2023). Analisa Sintesis Dan Karakterisasi Sifat Komposit Menggunakan Metode Sol-Gel Sebagai Material Solar Cell. *Jurnal Hasil Penelitian Bidang Fisika*.
- Özgür, Ü., Alivov, Y. I., Liu, C., Teke, A., Reshchikov, M. A., Doğan, S., Avrutin, V., Cho, S. J., & Morkoç, H. (2005). A Comprehensive Review Of ZnO Materials And Devices. *Journal of Applied Physics*, 98(4), 1–103. <https://doi.org/10.1063/1.1992666>
- Peter, C. N., Anku, W. W., Sharma, R., Joshi, G. M., Shukla, S. K., & Govender, P. P. (2019). N-doped ZnO/Graphene Oxide: A Photostable Photocatalyst For Improved Mineralization And Photodegradation Of Organic Dye Under Visible Light. *Ionics*, 25(1), 327–339. <https://doi.org/10.1007/s11581-018-2571-x>
- Prasetyo, S. D. (2018). Kajian Produksi Nano Partikel Dari Arang Bambu Dengan Peningkatan Energi Tumbukan Bola Baja Diameter 5 / 32 Inchi. *Universitas Muhammadiyah Surakarta*.
- Qin, H., Li, W., Xia, Y., & He, T. (2011). Photocatalytic activity of heterostructures based on ZnO and N-doped ZnO. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 3(8), 3152–3156. <https://doi.org/10.1021/am200655h>
- Rini, A. S. (2020). *Sel Surya Perovskite Berbasis Semikonduktor Oksida: TiO₂, ZnO*,

- S-ZnO dan Se-ZnO* (Y. Rati (ed.)). UR Press Pekanbaru.
- Rosanti, A. D., Wardani, A. R. ., & Latifah, E. U. (2020). Pengaruh Variasi Konsentrasi Urea Terhadap Fotoaktivitas Material Fotokatalis N/TiO₂ Untuk Penjernihan Limbah Batik Tenun Ikat Kediri. *Jurnal Kimia Riset*, 5(1), 55. <https://doi.org/10.20473/jkr.v5i1.18169>
- Sinaga, Z., & Joniwarta, J. (2020). Analisis Ukuran Kristal Dan Sifat Magnetik Melalui Proses Pemesinan Milling Menggunakan Metode Karakterisasi Xrd, Mechanical Alloying, Dan Ultrasonik Tekanan Tinggi Pada Material Barium Hexaferrite (Bafe12o19). *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 5(1), 9–14. <https://doi.org/10.52447/jktm.v5i1.2372>
- Sunardi, Kartika Sari. (2012). Pengaruh Konsentrasi Larutan Ekstrak Daun Lidah Mertua Terhadap Absorbansi Dan Transmittansi Pada Lapisan Tipis. *Seminar Nasional Fisika 2012*, 0(1), 54–57.