

## Karakteristik energi gap ( $E_g$ ) komposit ZnO/karbon aktif dari tandan sawit (*Elaeis guineensis* Jack)) untuk aplikasi sel surya

Rahmawati<sup>1</sup>, Teuku Andi Fadly<sup>1✉</sup>, Tisna Harmawan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Prodi Fisika, Universitas Samudra, Jalan Prof. Syarif Thayeb, Meurandeh, Langsa, Aceh

<sup>2</sup>Prodi Kimia, Universitas Samudra, Jalan Prof. Syarif Thayeb, Meurandeh, Langsa, Aceh

### Info Artikel

Sejarah Artikel:  
Diterima:  
25 November 2019  
Disetujui:  
02 Desember 2019  
Dipublikasikan:  
27 Desember 2019

Keywords:  
Composite, ZnO,  
*Elaeis guineensis* Jack,  
gap energy

### ABSTRAK

Karakteristik energi gap ( $E_g$ ) komposit ZnO/karbon aktif dari Tandan Sawit (*Elaeis guineensis* Jack) untuk aplikasi sel surya telah dilakukan. Zinc Oxide atau ZnO merupakan semikonduktor tipe-n memiliki  $E_g$  sebesar 3,37 eV. Hal tersebut menjadi material alternatif yang menarik perhatian untuk di aplikasikan pada perangkat sel surya. Serbuk ZnO komersil digunakan dan karbon aktif dari Tandan Kosong Sawit (TKS). Pembentukan karbon aktif dari TKS tersebut dilakukan dengan metode aktivasi kimia dan karbonisasi pada temperatur 600 °C selama 1 jam. Komposit ZnO/karbon aktif dari TKS akan dilakukan dengan metode *solid state*. Variasi karbon aktif dari TKS tersebut divariasikan 0, 15, 30, 45 wt.%. Komposit tersebut dilakukan uji UV-Vis untuk menghasilkan grafik  $(h\nu a)^{1/2}$  vs  $h\nu$ . Grafik tersebut memberikan karakteristik  $E_g$  komposit ZnO/karbon aktif dengan metode Tauc, s plot. Hasil tersebut menghasilkan  $E_g$  terendah pada komposit ZnO/C 45 wt.%, yaitu 3,20 eV. Semakin meningkatnya karbon aktif pada komposit ZnO/karbon aktif menurunkan nilai  $E_g$ .

### ABSTRACT

Characteristics energy gap ( $E_g$ ) composite ZnO/activated carbon from palm bunches (*Elaeis guineensis* Jack) for solar cell applications have been made. Zinc Oxide or ZnO is an n-type semiconductor having an  $E_g$  of 3.37 eV. This is an alternative material that attracts attention to be applied to solar cell devices. Commercial ZnO powder is used and activated carbon from Empty Fruit Bunch (TKS). The formation of activated carbon from the TKS was carried out by chemical activation and carbonization methods at 600 °C for 1 hour. Composite ZnO / activated carbon from TKS will be done by the method of solid state. Variations in activated carbon from the TKS varied 0, 15, 30, 45 wt.%. The composite was tested by UV-Vis to produce a graph  $(h\nu a)^{1/2}$  vs  $h\nu$  (eV). The graph gives the characteristics of  $E_g$  ZnO / activated carbon composite by Tauc, s plot method. The results produced the lowest  $E_g$  in the ZnO / C 45 wt.% Composite, which was 3.20 eV. Increasing activated carbon in ZnO / activated carbon composites decreases the value of  $E_g$ .

## PENDAHULUAN

Material semikonduktor dicirikan oleh struktur pita elektron. Pada temperatur ruang pita valensi terisi penuh oleh elektron dan pita konduksi kosong yang dipisahkan oleh energi *gap* yang relatif sempit, umumnya sebesar  $\pm 1-2$  eV. Energi *gap* yang dimiliki material semikonduktor berada di antara material konduktor dan isolator. Hingga sekarang material semikonduktor digunakan pada perangkat elektronik dan sel surya. Fotovoltaik berbasis material oksida merupakan generasi material yang menjanjikan untuk sel surya, seperti logam oksida (Rühle dkk., 2012). *Zinc oxide* atau ZnO merupakan salah satu material logam oksida yang digunakan pada penelitian sel surya, seperti peningkatan arus dan efisiensi sel surya CdTe dengan menahan refleksi kontak depan menggunakan lapisan penyangga ZnO yang sangat resistif, hubungan photoanoda *network* ZrO<sub>2</sub> didoping ZnO/TiO<sub>2</sub> untuk sel surya tersensitasi warna (DSSC), dan pengembangan sel surya thin film CdTe berbasis kawat nano ZnO (Kartopu dkk., 2019; Hussein dkk., 2018; Major dkk., 2017). Metode rekayasa material tersebut membutuhkan investasi yang cukup besar. ZnO merupakan material semikonduktor tipe-n (Tenailleau dkk., 2017). Selain itu, memiliki energi *gap* 3,4 eV dengan koefisien penyerapan tinggi dan mobilitas pembawa yang baik (Bi dkk., 2018). Hal tersebut menjadi material alternatif yang menarik perhatian untuk perangkat sel surya, selain itu ramah lingkungan, tidak beracun, biaya rendah, dan mudah dalam proses produksinya (Baltakesmez dkk., 2018). ZnO dapat diproduksi dari oksidasi termal lembaran seng. Dewasa ini material komposit banyak dikembangkan dalam teknologi rekayasa material berkaitan dengan sifat optik dan elektriknya. Material komposit mampu mengkombinasikan beberapa karakteristik material yang berbeda-beda untuk dimodifikasi menjadi karakteristik baru yang lebih unggul dari material penyusunnya, seperti pada penelitian ini karbon aktif yang lebih konduktif akan mereduksi energi *gap* material ZnO.

Pada penelitian sebelumnya komposit ZnO telah dianalisis dengan melakukan sintesis dan karakterisasi struktur nano komposit ZnO dan ZnO/Graphene untuk aplikasi dalam sel surya hibrida serta sintesis dan karakteristik arus-tegangan struktur komposit bola karbon/ZnO dengan potensi aplikasinya sebagai pemancar electron (Abbasi dkk., 2017; Alfarisa dkk., 2018). Kajian energi *gap* komposit ZnO/karbon aktif berbasis bahan lokal belum dianalisis.

Belum ada kajian terkait hal tersebut maka penelitian ini dilakukan untuk mengkaji energi *gap* komposit ZnO dengan karbon aktif bahan lokal, yaitu Tandan Kelapa Sawit (TKS). Tujuan pencampuran ini yaitu untuk mereduksi energi *gap* material ZnO murni. Hal tersebut akan memperluas analisis untuk penelitian selanjutnya, yaitu pengaruh variasi energi *gap* terhadap efisiensi sel surya ZnO/karbon aktif dari Tandan Kelapa Sawit sebagai tipe-n dan CuO sebagai tipe-p. Selain itu, penambahan karbon aktif dari Tandan Kelapa Sawit pada ZnO diharapkan mobilitas elektron lebih cepat tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi untuk penelitian selanjutnya, karena tereduksinya energi *gap* pada ZnO murni.

## METODE

Tandan Kelapa Sawit yang digunakan diperoleh dari Pabrik Kelapa Sawit Aramiah, Aceh Timur, Indonesia. Karbon aktif dihasilkan dari Tandan Kelapa Sawit dengan metode aktivasi kimia dengan asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 2 M dan selanjutnya dikarbonisasi pada temperatur 600 °C selama 1 jam (Wahyuningsih dkk., 2018). ZnO analisis (Merck) berupa serbuk yang berada di pasaran. Sintesis komposit ZnO/karbon aktif dari Tandan Kelapa Sawit dilakukan dengan metode *solid state*. Komposit tersebut dilakukan variasi 0, 15, 30, 45 %wt karbon aktif terhadap serbuk ZnO. Untuk mengetahui tidak ada terbentuknya unsur baru antara ZnO dan karbon aktif dari Tandan Kelapa Sawit dilakukan uji *X-Ray Diffraction* (XRD) Merk Shimadzu, Type: MAXima\_X XRD-7000 dalam bentuk serbuk. Kemudian diuji Spektrometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) Merk Shimadzu, Type: IRPrestige 21 untuk mengetahui keberhasilan terbentuknya komposit sebagai pendukung data XRD.

Analisis karakteristik  $E_g$  akan dilakukan dengan melakukan *Tauc's plot* dari grafik hubungan  $h\nu$  dan  $(h\nu\alpha)^n$  hasil uji UV-Vis. Nilai  $n$  adalah tipe transisi elektronik, untuk transisi *indirect* nilai  $n$  adalah  $3/2$ , sedangkan untuk transisi *direct* nilai  $n$  adalah  $1/2$  dan  $2$ . Persamaan untuk metode *Tauc's plot* ditunjukkan pada Persamaan 1 (Listanti dkk., 2018).

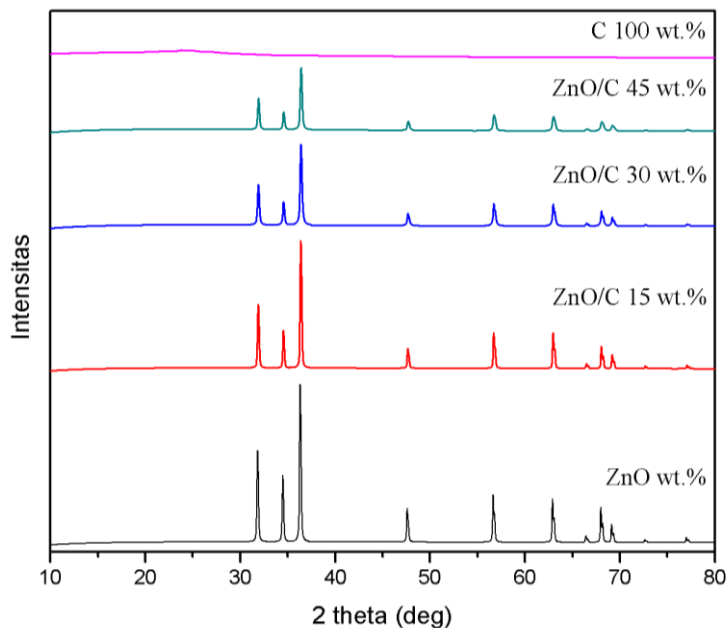
$$(h\nu\alpha)^n = A(h\nu - E_g) \quad (1)$$

dengan  $\alpha$  adalah koefisien absorpsi,  $\nu$  adalah frekuensi,  $h$  adalah konstanta planck,  $A$  adalah konstanta proporsional, dan  $E_g$  adalah energi gap.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis pola difraksi komposit ZnO/karbon aktif ditunjukkan pada Gambar 1. Hasil menunjukkan bahwa tidak terbentuk fasa baru pada komposit ZnO/karbon aktif. Serbuk ZnO memiliki pola difraksi dengan puncak-puncak kristalin yang cukup tajam dan teridentifikasi fasa *zincite* (nomor PDF 96-9011663). Berdasarkan analisis tersebut, serbuk karbon aktif teridentifikasi berbentuk amorf.

Gambar 1 juga menunjukkan bahwa meningkatnya jumlah karbon aktif pada setiap komposit berbanding lurus dengan penurunan puncak-puncak kristalin ZnO. ZnO tanpa pencampuran karbon aktif mempunyai intensitas paling tinggi. Namun dengan bertambahnya jumlah karbon aktif sebesar 15 wt.% intensitas yang dimiliki semakin turun. Penurunan puncak kristalin ZnO tampak jelas pada karbon aktif 30 %.wt dibandingkan karbon aktif 15 %.wt. Penambahan 45 %.wt karbon aktif menurunkan puncak kristalin ZnO dibandingkan 30 %.wt dan 15 %.wt. Penurunan puncak kristalin ZnO dipengaruhi meningkatnya amorf dari karbon aktif..

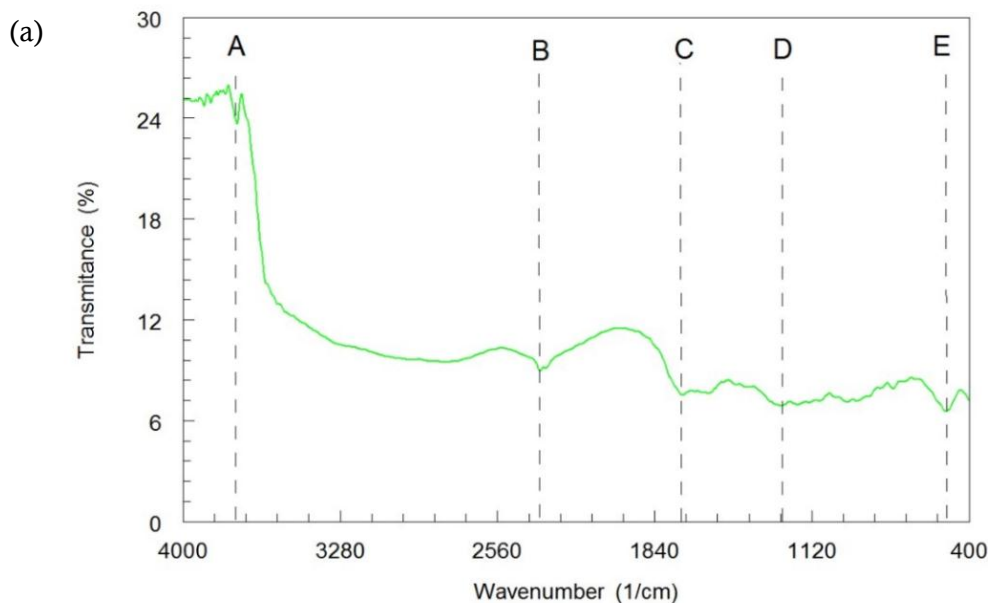


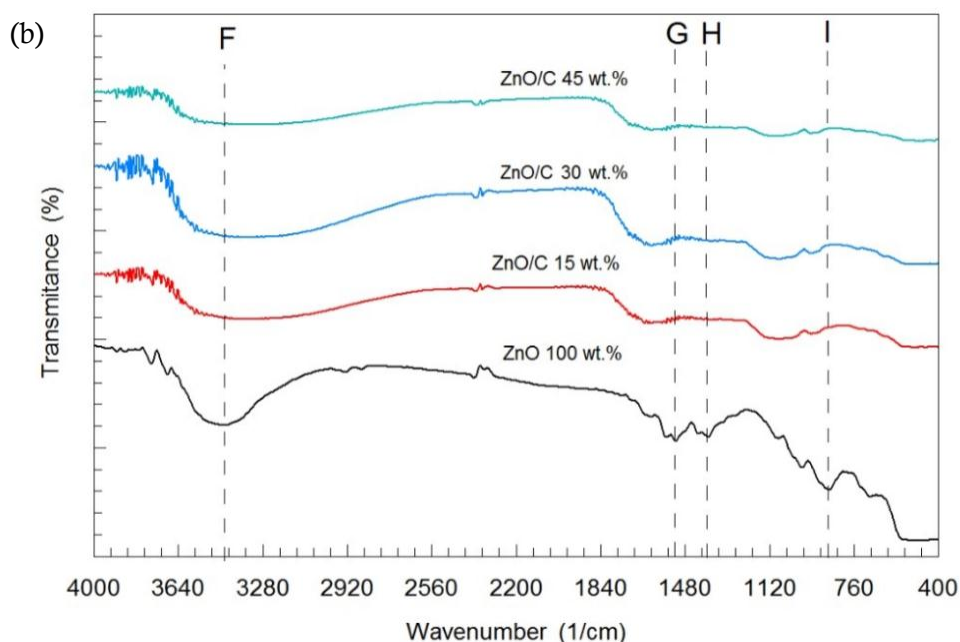
Gambar 1. Pola difraksi karbon aktif, ZnO, dan komposit ZnO/karbon aktif berbagai komposisi.

Analisis FTIR untuk menentukan gugus fungsi yang terbentuk pada karbon aktif, ZnO, dan komposit ZnO/karbon aktif ditunjukkan pada Gambar 2. Data FTIR dari karbon aktif, ZnO, dan komposit ZnO/karbon aktif dianalisis secara kualitatif dengan membandingkan data bilangan gelombang inframerah yang terbentuk dengan data yang diberikan referensi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Secara fisika gugus fungsi yang dihasilkan dari FTIR dalam penelitian ini bertujuan untuk mengkonfirmasi tidak adanya keberadaan gugus-gugus fungsi karbon aktif berikatan dengan gugus fungsi ZnO. Gugus fungsi ZnO terdeteksi pada bilangan gelombang 1384  $\text{cm}^{-1}$  dan 867  $\text{cm}^{-1}$ , yaitu regangan Zn-O-Zn dan regangan Zn-O. Pada bilangan gelombang yang muncul di 3456  $\text{cm}^{-1}$  adalah karakteristik gugus regangan O-H, sedangkan sekitar 1519  $\text{cm}^{-1}$  adalah gugus getaran H-O-H (Anbuselvan dkk, 2015). Pada karbon aktif juga memiliki regangan O-H yang muncul sekitar 3757  $\text{cm}^{-1}$ . Hal tersebut disebabkan karena permukaan pada ZnO dan karbon aktif terdapat sejumlah kecil  $\text{H}_2\text{O}$  akibat kelembaban material (Gharagozlou dkk., 2016). Selain itu, gugus hidroksil yang dihasilkan pada karbon aktif dan ZnO kemungkinan akibat dari cacat permukaan material sehingga terjadi adsorpsi air (Belkhaoui dkk., 2019). Gugus fungsi yang dihasilkan pada karbon aktif dari Tandan Kelapa Sawit dari FTIR adalah gugus getaran C-H dan C-O, yaitu pada bilangan gelombang 2372  $\text{cm}^{-1}$  dan 501  $\text{cm}^{-1}$  untuk gugus getaran C-H, sedangkan gugus getaran C-O pada bilangan gelombang 1720  $\text{cm}^{-1}$  dan 1280  $\text{cm}^{-1}$ .

Puncak ZnO berkurang seiring dengan penambahan karbon aktif, yaitu 15 %wt, 30 %wt, dan 45 %wt. Hal ini mungkin disebabkan oleh ikatan hidrogen yang efektif, sehingga memiliki puncak yang semakin melebar pada komposit seiring dengan penambahan persentase karbon aktif (Dhanalakshmi dkk., 2020). Selain itu, meningkatnya persentase berat karbon aktif meningkatkan absorpsi spektrum inframerah karbon aktif pada komposit. Tidak adanya gugus fungsi terhadap variasi karbon aktif disebabkan karena karbon aktif tidak bereaksi secara kimia dengan ZnO. Gugus fungsi ZnO dan karbon aktif tidak saling mengikat pada komposit, yaitu Zn-O, Zn-O-Zn, C-H, dan C-O. Gabungan kedua material tersebut tidak membentuk gugus fungsi atau puncak spektrum baru, sehingga terbentuknya komposit ZnO/karbon aktif untuk mendukung data XRD.





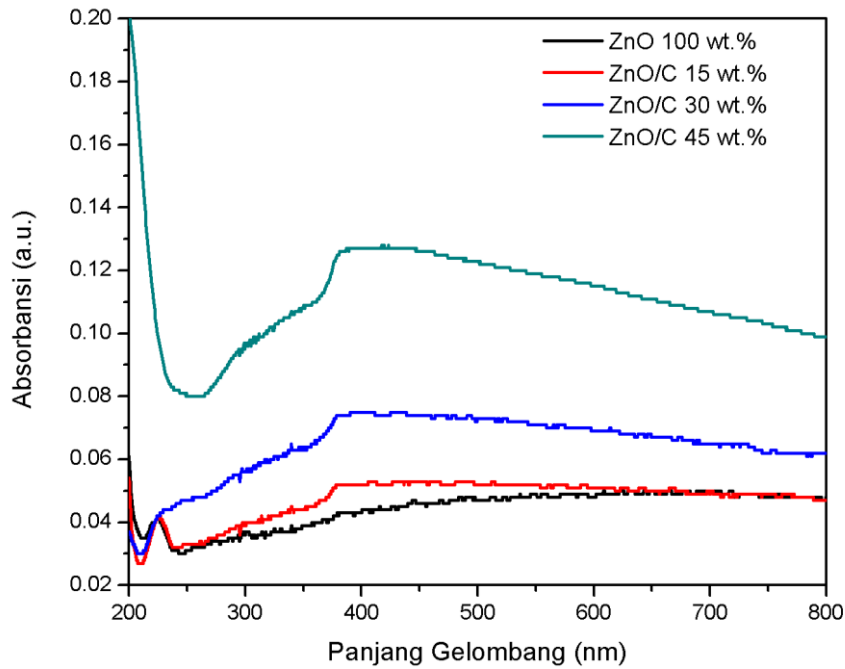
Gambar 2. Spektrum FTIR: a) karbon aktif dan b) ZnO dan komposit ZnO/karbon aktif dengan komposisi 15 wt.%, 30 wt.%, 45 wt.%

Tabel 1. Perbandingan Bilangan Gelombang Puncak Spektrum FTIR antara Referensi dengan karbon aktif, ZnO, dan komposit ZnO/karbon aktif.

Sampel	Jenis ikatan	Wavenumber (1/cm)		
		Referensi*	Karbon aktif	ZnO/karbon aktif
Karbon aktif 100 wt.%	A O-H stretching	3436	3757	-
Karbon aktif 100 wt.%	B C-H stretching	2922	2372	-
Karbon aktif 100 wt.%	C C-O stretching	1751	1720	-
Karbon aktif 100 wt.%	D C-O stretching	1400-1600	1280	-
Karbon aktif 100 wt.%	E C-H stretching	885	501	-
ZnO-100 wt.%	F O-H stretching	3400-3508	-	3456
ZnO-100 wt.%	G O-H-O bending	1637	-	1519
ZnO-100 wt.%	H Zn-O-Zn stretching	1250-1750	-	1384
ZnO-100 wt.%	I Zn-O stretching	420-1600	-	867

\*(Jurablu S dkk., 2015); (Saragi dkk., 2016); (Sorna Prema Rajendran dkk., 2017); (Upita Septiani dkk., 2014); (Anbuselvan dkk., 2015).

Peningkatan absorbansi komposit ditunjukkan pada Gambar 3 disebabkan multifungsi adsorben dari material ZnO dan sifat karbon aktif yang berpori (Wahyuningsih dkk., 2018). Selain itu, konduktivitas listrik karbon aktif dari Tandan Kosong Sawit dengan proses karbonisasi pada temperatur 500 °C lebih konduktif dibandingkan ZnO, yaitu  $1,02 \times 10^{-6}$ - $3,90 \times 10^{-5}$  S/cm (Destyorini dkk, 2019). ZnO tanpa didoping memiliki konduktivitas  $6,24 \times 10^{-7} \Omega m^{-1}$  dan transmitansi 70-80 % pada film tipis ZnO (Sugianto dkk., 2016). Hal ini yang menyebabkan intensitas ZnO lebih kecil dibandingkan komposit ZnO/karbon aktif yang multifungsi adsorben.



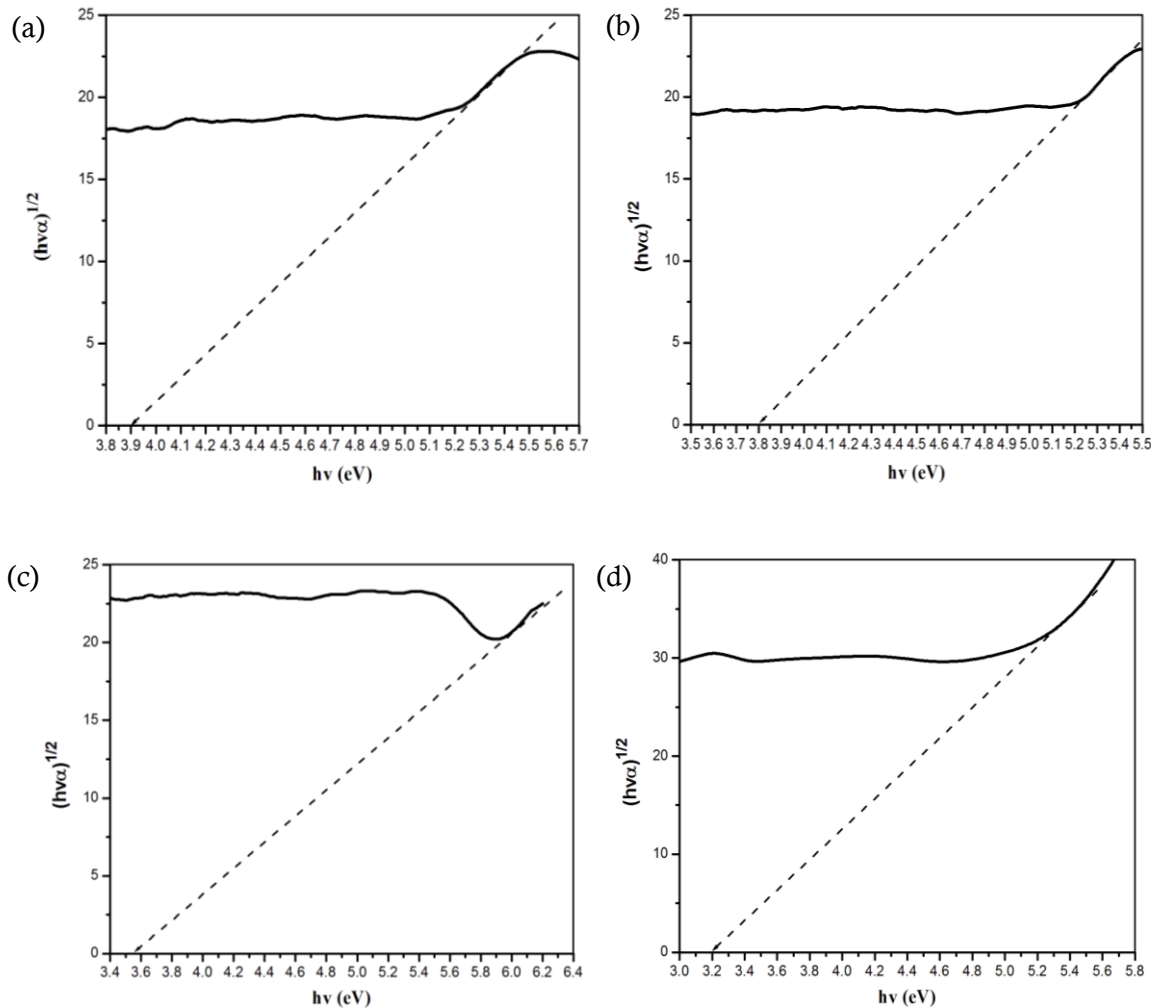
Gambar 3. UV-Vis dari ZnO dan komposit ZnO/karbon aktif berbagai komposit.

Plot  $(h\nu)^2$  vs  $h\nu$  (eV) untuk transisi *direct* dari ZnO dan komposit ZnO/karbon aktif berbagai variasi ditunjukkan pada Gambar 4. Ekstrapolasi diterapkan pada bagian linier dari grafik tersebut hingga memotong sumbu  $h\nu$  (eV) untuk memperoleh  $E_g$  (Nilavukkarasi dkk., 2020). Nilai  $E_g$  ZnO dan komposit ZnO/karbon aktif berbagai variasi secara lengkap ditunjukkan pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2, secara umum nilai  $E_g$  meningkat seiring meningkatnya karbon aktif. Hal tersebut disebabkan karbon merupakan material konduktif dan adsorben yang baik karena ukuran serta distribusi pori-pori di dalam matrik karbon (Nurhasni dkk., 2012). Selain itu, energi yang dibutuhkan kecil untuk memutuskan ikatan elektron pada atom (elektron tereksitasi). Komposit ZnO/C 45 wt.% dan 30 wt.% memiliki slope yang kurang jelas dalam menentukan plot nilai  $E_g$ , sebaliknya pada ZnO/C 15 wt.% dan ZnO 100 wt.%. Hal ini didukung dengan nilai absorsi yang meningkat signifikan dari hasil uji Uv-Vis.

Tabel 2. Hasil plot nilai  $E_g$  untuk sampel ZnO dan komposit ZnO/karbon aktif berbagai variasi dengan transisi *direct*.

Sampel	$E_g$ (eV)
ZnO	3,90
ZnO/C 15 wt.%	3,80
ZnO/C 30 wt.%	3,55
ZnO/C 45 wt.%	3,20



Gambar 4. Plot untuk menentukan nilai  $E_g$  sampel (a) ZnO, (b) komposit ZnO/karbon aktif 15 %wt, (c) komposit ZnO/karbon aktif 30 %wt, dan (d) komposit ZnO/karbon aktif 45 %wt.

## SIMPULAN

Sintesis komposit ZnO/karbon aktif dari tandan sawit telah berhasil dilakukan. Data XRD menunjukkan tidak terbentuknya puncak baru pada pola difraksi fasa ZnO. Analisis FTIR menunjukkan bahwa gugus fungsi antara karbon aktif dan ZnO terpisah. Kedua analisis tersebut menunjukkan bahwa tidak ada reaksi secara kimia antara ZnO dan karbon aktif dari tandan sawit. Nilai absorbansi komposit ZnO/karbon aktif dari tandan sawit meningkat signifikan seiring dengan penambahan karbon aktif. Variasi penambahan karbon aktif ini menurunkan besarnya energi gap yang diperoleh. Komposit ZnO/karbon aktif dengan variasi karbon aktif 15 wt.%, 30 wt.%, 45 wt.%, dan 60 wt.% mempunyai energi gap di rentang 3,20 eV – 3,80 eV. Besarnya energi gap komposit ZnO/karbon aktif lebih kecil dibandingkan dengan energi gap ZnO yaitu 3,90 eV.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi, Republik Indonesia untuk penelitian. Selain itu, penulis juga ingin mengucapkan terima

kasih kepada LPPM Universitas Samudra karena memberikan dukungan keuangan melalui Program PDM No. 360/UN54.6/LT/2019 yang diberikan kepada penulis.

## REFERENSI

- Abbasi, H. Y., Habib, A., & Tanveer, M. (2017). Synthesis and characterization of nanostructures of ZnO and ZnO/Graphene composites for the application in hybrid solar cells. *Journal of Alloys and Compounds*, 690, 21–26. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.08.161>
- Anbuselvan, D., & Muthukumaram, S. (2015). Defect related microstructure, optical and photoluminescence behaviour of Ni, Cu co-doped ZnO nanoparticles by co-precipitation method. *Optical Materials*, 42, 124–131. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2014.12.030>
- Baltakesmez, A., Biber, M., & Tüzemen, S. (2018). Inverted planar perovskite solar cells based on Al doped ZnO substrate. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 11(2), 124–129. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2017.11.002>
- Belkhaoui, C., Mzabi, N., Smaoui, H., & Daniel, P. (2019). Enhancing the structural, optical and electrical properties of ZnO nanopowders through (Al + Mn) doping. *Results in Physics*, 12, 1686–1696. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2019.01.085>
- Bi, S., Li, Y., Liu, Y., Ouyang, Z., & Jiang, C. (2018). Physical properties of 2D and 3D ZnO materials fabricated by multi-methods and their photoelectric effect on organic solar cells. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 3(4), 428–432. <https://doi.org/10.1016/j.jsamd.2018.11.003>
- Destyorini, F., & Indayaningsih, N. (2019). Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Bahan Baku Kertas Karbon. *Piston: Journal of Technical Engineering*, 1(2), Article 2. <https://doi.org/10.32493/pjte.v1i2.3184>
- Dhanalakshmi, N., Priya, T., Thennarasu, S., Sivanesan, S., & Thinakaran, N. (2020). Synthesis and electrochemical properties of environmental free l-glutathione grafted graphene oxide/ZnO nanocomposite for highly selective piroxicam sensing. *Journal of Pharmaceutical Analysis*. <https://doi.org/10.1016/j.jpha.2020.02.001>
- Gharagozlou, M., & Naghibi, S. (2016). Sensitization of ZnO nanoparticle by vitamin B12: Investigation of microstructure, FTIR and optical properties. *Materials Research Bulletin*, 84, 71–78. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2016.07.029>
- Hussein, A. M., Iefanova, A. V., Koodali, R. T., Logue, B. A., & Shende, R. V. (2018). Interconnected ZrO<sub>2</sub> doped ZnO/TiO<sub>2</sub> network photoanode for dye-sensitized solar cells. *Energy Reports*, 4, 56–64. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2018.01.007>
- Jurablu S, Farahmandjou majid, & T. P. Firoozabadi. (2015). Sol-Gel Synthesis of Zinc Oxide (ZnO) Nanoparticles: Study of Structural and Optical Properties. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran, University of Tehran*, 26(3), 281–285.
- Kartopu, G., Williams, B. L., Zardetto, V., Gürlek, A. K., Clayton, A. J., Jones, S., Kessels, W. M. M., Creatore, M., & Irvine, S. J. C. (2019). Enhancement of the photocurrent and efficiency of CdTe solar cells suppressing the front contact reflection using a highly-resistive ZnO buffer layer. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 191, 78–82. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2018.11.002>
- Listanti, A., Taufiq, A., Hidayat, A., & Sunaryono, S. (2018). Investigasi Struktur dan Energi Band Gap Partikel Nano Tio<sub>2</sub> Hasil Sintesis Menggunakan Metode Sol-Gel. *JPSE (Journal of Physical Science and Engineering)*, 3(1), 8–15.
- Major, J. D., Tena-Zaera, R., Azaceta, E., Bowen, L., & Durose, K. (2017). Development of ZnO nanowire based CdTe thin film solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 160, 107–115. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2016.10.024>



- Nilavukkarasi, M., Vijayakumar, S., & Prathipkumar, S. (2020). Capparis zeylanica mediated bio-synthesized ZnO nanoparticles as antimicrobial, photocatalytic and anti-cancer applications. *Materials Science for Energy Technologies*, 3, 335–343. <https://doi.org/10.1016/j.mset.2019.12.004>
- Nurhasni, N., Firdiyono, F., & Sya'ban, Q. (2012). Penyerapan Ion Aluminium dan Besi dalam Larutan Natrium Silikat Menggunakan Karbon aktif. *Jurnal Kimia Valensi*, 2(4). <https://doi.org/10.15408/jkv.v2i4.269>
- Rühle, S., Anderson, A. Y., Barad, H.-N., Kupfer, B., Bouhadana, Y., Rosh-Hodesh, E., & Zaban, A. (2012). All-Oxide Photovoltaics. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 3(24), 3755–3764. <https://doi.org/10.1021/jz3017039>
- Sahufa Alfarisa, Rika Noor Safitri, & Suriani Abu Bakar. (2018). *Sintesis Struktur Mikro—Nano ZnO Menggunakan Metode Hidrotermal Sederhana Bersuhu Rendah*. Prosiding SEMIRATA Bidang MIPA 2016, Palembang.
- Saragi, T., Purba, Y. R., U, S. A. D., Oktaviani, M., Susilawati, T., Risdiana, R., & Bahtiar, A. (2016). Karakteristik Nanopartikel ZnO: Studi Efek Pelarut pada Proses Hidrotermal. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 6(01). <https://doi.org/10.24198/jmei.v6i01.9366>
- Sorna Prema Rajendran dkk.,. (2017). Synthesis and Characterization of Zinc Oxide and Iron Oxide Nanoparticles Using Sesbania grandiflora Leaf Extract as Reducing Agent. *Journal of Nanoscience*, 2017, 7 pages. <https://doi.org/10.1155/2017/8348507>
- Sugianto, S., Zannah, R., Mahmudah, S. N., Astuti, B., D.p, N. M., Wibowo, A. A., Marwoto, P., Ariyanto, D., & Wibowo, E. (2016). Pengaruh Temperatur Annealing pada Sifat Listrik Film Tipis Zinc Oksida Doping Aluminium Oksida. *Jurnal Mipa*, 39(2), 115–122.
- Tenailleau, C., Salek, G., Le, T. L., Duployer, B., Demai, J.-J., Dufour, P., & Guillemet-Fritsch, S. (2017). Heterojunction p-Cu<sub>2</sub>O/ZnO-n solar cell fabricated by spark plasma sintering. *Materials for Renewable and Sustainable Energy*, 6(4), 18. <https://doi.org/10.1007/s40243-017-0102-8>
- Upita Septiani, Ilona Bella, & Syukri. (2014). Pembuatan dan Karakterisasi Katalis ZnO/karbon Aktif dengan Metode Solid State dan Uji Aktivitas Katalitiknya pada Degradasi Rhodamin B. *Jurnal Riset Kimia*, 7(2), 180–185. <https://doi.org/10.25077/jrk.v7i2.186>
- Wahyuningsih, P., Rahmawati, R., & Yulius, N. (2018). Apikasi Fotodegradasi Nanokomposit Arang Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit/TiO<sub>2</sub> Terhadap Limbah Cair Kelapa Sawit. *Elkawanie*, 3(2). <https://doi.org/10.22373/ekw.v3i2.2092>