

**KARAKTERISTIK KONSTANTA DIELEKTRIK DAN  
KONDUKTIVITAS OPTIK MATERIAL KARBON BERBAHAN  
DASAR AMPAS TEH SETELAH DI SINTESIS MENGGUNAKAN  
ABLASI LASER**

**Jumardin<sup>1,a\*</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Fisika, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar

<sup>a</sup>[jumardin.jumardin@uin-alauddin.ac.id](mailto:jumardin.jumardin@uin-alauddin.ac.id)

---

**ABSTRACT:** Research on carbon materials synthesized by laser ablation method to determine the value of the refractive index ( $n$ ), extension coefficient ( $k$ ), urbach energy ( $E_u$ ), band gap energy ( $E_g$ ), real dielectric constant ( $\epsilon_r$ ), imaginary dielectric constant ( $\epsilon_i$ ) and optical conductivity ( $\sigma_{opt}$ ). The value of the light absorption coefficient on carbon material is obtained based on optical characteristics using UV-Vis spectroscopy. Changes in the time (1, 2, and 3 hours) of laser ablation will show different values for parameters ( $n$ ), ( $k$ ), ( $E_u$ ), ( $E_g$ ), ( $\epsilon_r$ ), ( $\epsilon_i$ ), and ( $\sigma_{opt}$ ). The longer the laser ablation exposure during the synthesis process, the greater the optical conductivity ( $\sigma_{opt}$ ) value. The increase in the duration of laser ablation time shows a decrease in the energy value so that the value of the optical conductivity increases. The dielectric constant indicates the ability to store, transmit and reflect electromagnetic wave energy at imaginary numbers and real dielectrics.

**ABSTRAK:** Penelitian material karbon yang di sintesis dengan metode ablasi laser untuk menentukan nilai indeks refraktif ( $n$ ), koefisien ekstension ( $k$ ), energi urbach ( $E_u$ ), energi band gap ( $E_g$ ), konstanta dielektrik real ( $\epsilon_r$ ), konstanta dielektrik imajiner ( $\epsilon_i$ ) dan konduktivitas optik ( $\sigma_{opt}$ ). Nilai koefisien absorpsi cahaya pada material karbon didapatkan berdasarkan karakteristik optik menggunakan spektroskopi UV-Vis. Perubahan waktu (1, 2, dan 3 jam) ablasi laser akan menunjukkan nilai yang berbeda pada parameter ( $n$ ), ( $k$ ), ( $E_u$ ), ( $E_g$ ), ( $\epsilon_r$ ), ( $\epsilon_i$ ), dan ( $\sigma_{opt}$ ). Semakin lama paparan ablasi laser dalam proses sintesis maka nilai konduktivitas optik ( $\sigma_{opt}$ ) semakin besar. Penambahan durasi waktu ablasi laser menunjukkan nilai energi yang menurun sehingga nilai konduktivitas optik semakin bertambah. Konstanta dielektrik mengindikasikan kemampuan untuk menyimpan, mentransmisikan dan memantulkan energi gelombang elektromagnetik pada bilangan imajiner dan dielektrik real.

**Kata Kunci:** Ablasi, Dielektrik, Karbon, Laser, Optik

---

---

*\*corresponding author*

*email: [jumardin.jumardin@uin-alauddin.ac.id](mailto:jumardin.jumardin@uin-alauddin.ac.id)*

DOI:

## PENDAHULUAN

Bahan berbasis karbon memainkan peranan penting dalam pengembangan ilmu material. Dari industri tradisional karbon (misalnya karbon aktif dan karbon hitam) ke industri baru karbon (misalnya serat karbon dan grafit) dan karbon baru nanomaterial seperti *graphene* (Liao et al., 2018) dan karbon *nanotube* (CNTs) (Soares & Jorio, 2012). Penelitian dasar dan aplikasi bahan berbasis karbon selalu populer di bidang kimia, material, dan interdisiplin ilmu yang lain karena karbon mudah ditemukan pada lingkungan tertentu. Namun bahan karbon makroskopis tidak memiliki celah pita yang stabil (Tang, 2022), sehingga sulit untuk bertindak sebagai material baru yang efektif.

Sifat optik material karbon merupakan jenis bahan baru nano material yang berbasis bahan dasar karbon. Material karbon menarik dan diminati oleh peneliti selama bertahun-tahun karena memiliki sifat fisiko-kimia yang beragam serta memiliki sifat dan struktur yang menguntungkan seperti biokompatibilitas yang baik (Tungare et al., 2020), sifat optik yang unik (Das et al., 2022), rendah biaya (Gregorsson, 2022), ramah lingkungan (Fatimah et al., 2018), gugus fungsi yang melimpah seperti asam amino (Sari et al., 2020), hidroksil (Hulupi et al., 2022) dan karboksil (Wardana et al., 2018), stabilitas tinggi (Wu et al., 2020), dan mobilitas elektron yang baik (Mewada et al., 2022). Sifat dan karakteristik material karbon telah menarik banyak perhatian karena memiliki sifat fotoluminesensi yang luar biasa (Guo et al., 2019), nilai kuantitas (kuantum, QY) tinggi (Lin et al., 2019), toksisitas rendah (Liu et al., 2021), ukuran kecil (Cui et al., 2021), sumber melimpah (Dinc & Kara, 2018) dan dapat diaplikasikan diberbagai bidang termasuk biomedis (Adam et al., 2022), katalisis (Domingo-Tafalla et al., 2022) dan perangkat optoelektronik (Stepanidenko et al., 2021).

Ablasi laser merupakan metode sintesis material karbon dengan cara melepaskan energi dan memfokuskan sinar laser ke sampel karbon (Kaczmarek et al., 2021). Metode ablasi laser menawarkan cara sederhana mensintesis material berbasis karbon. Sinar laser difokuskan ke target (material karbon), target berada di dalam cairan tertentu, suhu tertentu, meleleh, menguap dan terionisasi sehingga akan menghasilkan plasma (partikel yang terionisasi dalam bentuk gas) (Fazio et al., 2020). Salah satu kelebihan menggunakan ablasi laser adalah proses pembiayaan yang rendah dan memudahkan untuk mengumpulkan partikel karbon yang dihasilkan oleh proses sintesis tersebut (D. Zhang et al., 2021). Beberapa penelitian telah menggunakan ablasi laser sebagai metode sintesis nanopartikel dengan tujuan oksidasi logam (John, 2020), perak (Alhamid et al., 2019), emas (Gentile et al., 2021) dan semikonduktor (Semaltianos et al., 2009).

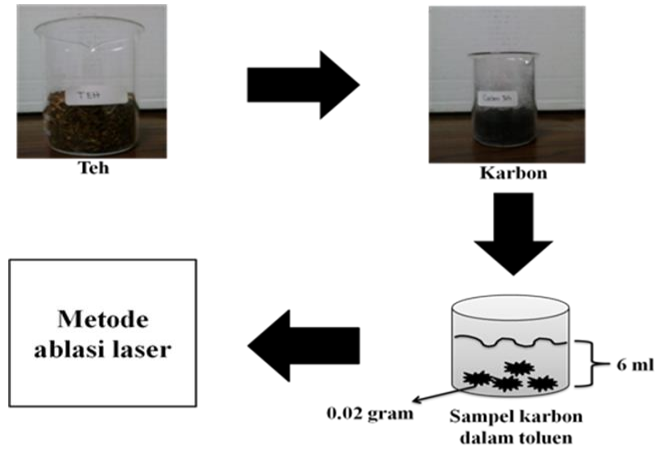
Pada penelitian ini, material karbon yang disintesis dengan metode ablasi laser menggunakan terget yang tersuspensi dalam toluen (Jumardin et al., 2021). Pengaruh waktu sintesis ablasi laser terhadap sifat optik dan dielektrik merupakan hal yang akan di analisis. Sifat optik dan dielektrik dilakukan dengan metode karakterisasi menggunakan

spektrometer UV-Vis (*Ultra Violet-Visible*) (Matysiak et al., 2020). Studi optik pada material karbon dilakukan untuk menghitung celah pita optik atau energi band gap ( $E_g$ ) (Kasmiarno et al., 2021), koefisien penyerapan ( $\alpha$ ) (Castro et al., 2017), koefisien extinction ( $k$ ) (Tripathi et al., 2021), indeks refraktif ( $n$ ) (X. Zhang et al., 2019), konstanta dielektrik ( $\epsilon$ ) (Ait Hssi et al., 2020), energi urbach ( $E_u$ ) (Rambadey et al., 2021) dan konduktivitas optik ( $\sigma_{opt}$ ) (Bourguiba et al., 2016) menggunakan spektrum transmitansi dan serapan pada rentang panjang gelombang 280-800 nm.

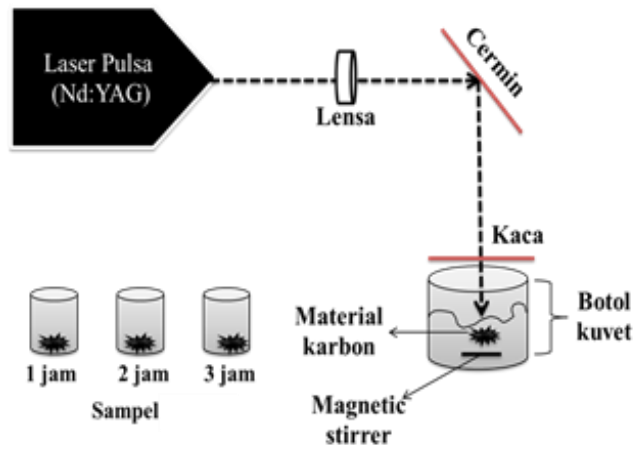
Konstanta dielektrik merupakan kemampuan suatu bahan dalam menyimpan energi listrik, mentransmisikan dan memantulkan energi gelombang elektromagnetik (Al-Fikri & Nurawan, 2017). Konstanta dielektrik termasuk permitivitas relatif ( $\epsilon_r$ ). Konduktivitas optik adalah sifat material yang memberikan hubungan antara kerapatan arus induksi dalam material. Konduktivitas optik muncul di bawah eksitasi optik tanpa adanya medan listrik terapan. Konduktivitas optik muncul sebagai akibat adanya gradien konsentrasi pembawa pada berbagai bahan semikonduktor. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis sifat optik, konstanta dielektrik dan konduktivitas optik ( $\sigma_{opt}$ ) material karbon yang telah di sintesis dengan metode ablasi laser pada variasi waktu 1, 2, dan 3 jam. Kepolaran suatu pelarut pada material karbon dapat di lihat dari besarnya nilai konstanta dielektrik ( $\epsilon$ ) pelarut tersebut, sehingga hasil akhir pada penelitian ini adalah karakteristik hubungan koefisien konstanta dielektrik terhadap nilai koefisien absorpsi serta hubungannya dengan konduktivitas optik ( $\sigma_{opt}$ ).

## METODE PENELITIAN

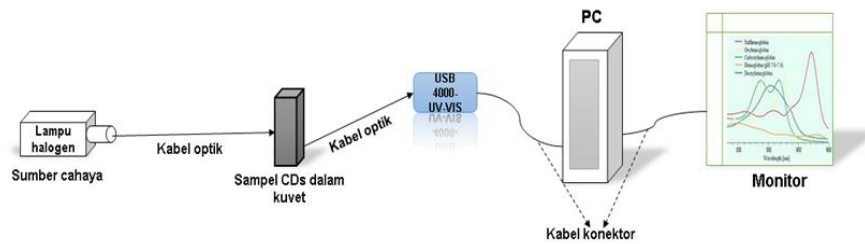
Material karbon disintesis dengan metode ablasi laser (Gambar 1 dan 2). Metode ablasi laser menggunakan laser pulsa dengan tipe *Q Switch Nd:YAG laser Model Q Smart 850* pada panjang gelombang 1064 nm dan frekuensi 10 Hz. Gambar 1 menjelaskan metode pembuatan karbon dari bahan organik (Teh). Pembuatan material karbon sebanyak 250 gram (Teh) dimasukkan kedalam alat *furnice*. Setelah pemanasan dengan suhu 900 °C maka bahan tersebut berada dalam bentuk serbuk hitam (gambar 1). Kemudian dihancurkan menggunakan mortar sampai ukurannya berbentuk serbuk sebelum diberikan perlakuan ablasi laser. Gambar 2 menjelaskan metode sintesis ablasi laser dengan waktu pengontrolan 1, 2, dan 3 jam. Sinar laser difokuskan pada lensa, kemudian menuju cermin dan dipantulkan menuju kaca pada permukaan kuvet sampel sehingga menembus material karbon dalam koloid dengan konsentrasi berat karbon 0,02 gram dalam 6 mL pelarut toluen ( $CH_3$ ). Gambar 3 merupakan metode pengukuran nilai absorbansi menggunakan alat spektroskopi UV Vis (*Ocean Optics<sup>TM</sup> 4000*) dengan. 2 mL partikel karbon yang larut dalam toluen ( $CH_3$ ) dimasukkan ke dalam kuvet yang telah dihubungkan langsung dengan alat spektroskopi UV-Vis dengan memfokuskan sumber cahaya (lampu Halogen) ke kuvet tersebut. Hasil akhir adalah hubungan panjang gelombang terhadap absorbansi.



**Gambar 1.** Skema persiapan material karbon untuk perlakuan ablasi laser.



**Gambar 2.** Skema metode sintesis material karbon menggunakan ablasi laser (Nd: YAG).



**Gambar 3.** Skema pengambilan data absorpsi (absorbansi) panjang gelombang dengan spektroskopi UV-Vis.

Energi serapan cahaya pada material karbon dihitung berdasarkan panjang gelombang absorpsi menggunakan persamaan (1). Perbedaan nilai energi menandakan metode ablasi laser pada durasi 1, 2 dan 3 jam yang berbeda. Komponen  $h$  merupakan konstanta Planck dengan nilai  $6,62 \times 10^{-34}$  J.s,  $c$  merupakan kecepatan cahaya dengan nilai  $3 \times 10^8$  m/s dan  $\lambda$  merupakan panjang gelombang (nm) serapan cahaya. Koefisien absorpsi ( $\alpha$ ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2) (Ait Hssi et al., 2020), dimana nilai  $d$  adalah ketebalan kuvet (cm) dan  $T$  merupakan nilai transmitansi serapan cahaya pada material karbon yang terlarut dalam toluen. Energi band gap ( $E_g$ ) dihitung secara fundamental dengan mengambil nilai transisi elektron dari absorpsi atau transmitansi. Transisi secara langsung dan tidak langsung dapat digunakan hubungan persamaan (3).  $A$  adalah konstanta optik,  $\alpha$  adalah koefisien absorpsi,  $h\nu$  adalah energi foton,  $E_g$  adalah energi band gap ( $E_g$ ), dan  $n$  adalah nilai transisi yang bergantung pada jenis transisi (Ali, 2011).

$$E = \frac{h \cdot \nu}{\lambda} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \ln\left(\frac{1}{T}\right) \quad (2)$$

$$(\alpha h\nu)^{\frac{1}{n}} = A(h\nu - E_g) \quad (3)$$

Koefisien serapan ( $\alpha$ ) digunakan untuk menentukan parameter energi urbach ( $E_u$ ) yang sesuai dengan transisi antara keadaan pita valensi yang diperpanjang dan keadaan pita konduksi yang terlokalisasi. Koefisien penyerapan terkait dengan parameter urbach menggunakan persamaan (4). Energi urbach ( $E_u$ ) ditentukan dengan memplot  $\ln(\alpha)$  versus energi foton ( $h\nu$ ). Indeks refraktif ( $n$ ) pada sampel dihitung menggunakan persamaan (5). Teknik pengukuran dan penjumlahan nilai transmitansi memberikan informasi tentang indeks refraktif ( $n$ ). Koefisien ekstensi ( $k$ ) merupakan perbandingan nilai serapan absorpsi ( $\alpha$ ) terhadap panjang gelombang ( $\lambda$ ) serapan cahaya pada sampel material karbon tersebut. Nilai koefisien ekstensi dapat dihitung menggunakan persamaan (6).

$$\ln \alpha = \ln \alpha_0 + \left( \frac{h\nu}{E_u} \right) \quad (4)$$

$$n = \frac{1}{T} + \sqrt{\frac{1}{T-1}} \quad (5)$$

$$k = \frac{\alpha \lambda}{4\pi} \quad (6)$$

Nilai indeks refraktif ( $n$ ) dan koefisien ekstensi ( $k$ ) yang ditentukan sebelumnya dari material karbon dalam larutan toluen digunakan untuk menghitung bagian konstanta dielektrik. Penentuan nilai konstanta dielektrik terbagi atas dua bagian,  $\epsilon_r$  (*real dielectric constant*) merupakan rasio permeabilitas listrik pada material terhadap permeabilitas listrik ruang bebas (vakum) dan nilainya dapat diturunkan dari model kapasitor yang disederhanakan. Nilai  $\epsilon_r$  dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (7).  $\epsilon_i$  (*imaginary dielectric constant*) merupakan bagian imajiner yang dikaitkan dengan kerusakan dielektrik dan bagian  $\epsilon_r$  merupakan indikasi tingkat polarisasi. Nilai  $\epsilon_i$  ditentukan menggunakan persamaan (8), dimana nilai  $\epsilon_i$  berbanding lurus dengan kuadrat nilai indeks refraktif ( $n$ ) di kurang kuadrat nilai koefisien ekstension ( $k$ ) (Miqdad, 2018).

$$\epsilon_r = n^2 - k^2 \quad (7)$$

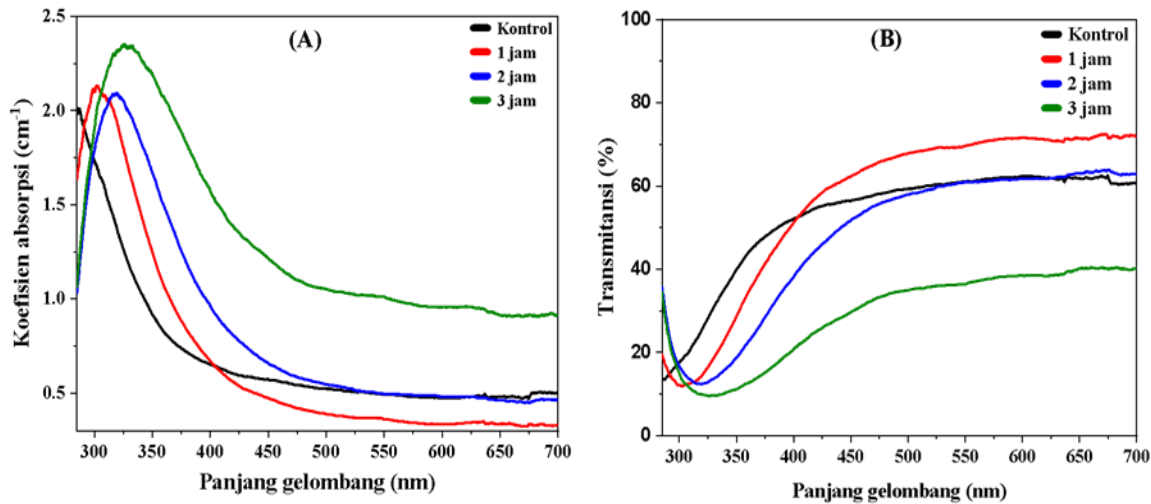
$$\epsilon_i = 2nk \quad (8)$$

$$\sigma_{opt} = \frac{\alpha nc}{4\pi} \quad (9)$$

Konduktivitas optik merupakan sifat optik material yang diklasifikasikan berdasarkan respon terhadap cahaya. Respon terhadap cahaya yang datang dalam bentuk pantulan, serapan, transmisi ( $T$ ), dan pembiasan (refraktif). Persamaan (9) merupakan formulasi konduktivitas optik ( $\sigma_{opt}$ ) untuk material karbon pada sampel 1, 2, dan 3 jam. Hubungan antara koefisien absorpsi terhadap konstanta dielektrik serta konduktivitas optik diplotkan dalam bentuk grafik ( $\epsilon-\alpha$ ) dan ( $\sigma_{opt}-\alpha$ ) setiap sampel tersebut.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat optik material karbon berdasarkan pengamatan eksperimen spektroskopi UV-Vis yang telah di sintesis dengan metode ablasi laser untuk sampel 1, 2 dan 3 jam terlihat pada gambar 4 (A) dan (B). Hasil pengukuran dapat menyerap spektrum UV pada masing-masing puncak panjang gelombang dengan koefisien absorpsi ( $\alpha$ ) dan nilai transmitansi ( $T$ ) yang berbeda. Gambar 4 (A) mempresentasikan nilai panjang gelombang berdasarkan koefisien absorpsi. Pengaruh lama sintesis dengan metode ablasi laser menunjukkan nilai panjang gelombang dan koefisien absorpsi semakain bertambah, sehingga cahaya UV yang ditransmisikan (gambar 4 B) berubah berdasarkan koefisien absorpsi ( $\alpha$ ). Perubahan nilai puncak panjang gelombang dapat di lihat pada tabel 1 berdasarkan parameter waktu ablasi laser.



Gambar 4. (A) Grafik hubungan koefisien absorpsi ( $\alpha$ ) dan (B) transmitansi (T) terhadap panjang gelombang ( $\lambda$ ).

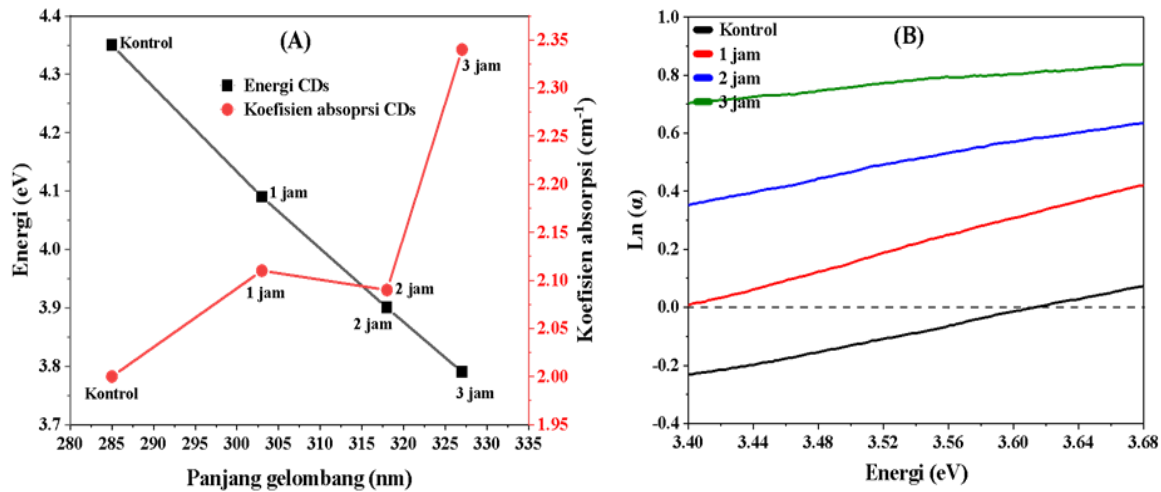
Ketiga puncak serapan absorpsi tersebut menunjukkan adanya nilai transisi elektronik dari  $\pi \rightarrow \pi^*$  serta adanya konjugasi dalam struktur material karbon tersebut. Gambar 4 (A) dan (B) menunjukkan adanya kestabilan partikel sebelum jatuh dari level energi yang lebih tinggi. Tabel 1 adalah daerah koefisien absorpsi ( $\alpha$ ), transmitansi (T) serta nilai energi pada kisaran panjang gelombang *Ultra Violet* (UV) bergeser pada setiap kenaikan perubahan waktu parameter ablasi laser 1, 2 dan 3 jam.

**Tabel 1.** Nilai koefisien absorpsi ( $\alpha$ ), transmitansi (T) dan energi (eV).

Parameter waktu (jam)	Absorpsi panjang gelombang (nm)	Nilai		
		Koefisien absorpsi ( $\text{cm}^{-1}$ )	Transmitansi (%)	Energi ( $h\nu$ ) (eV)
Kontrol	285	2,00	13,49	4,35
1	303	2,11	12,02	4,09
2	318	2,07	12,59	3,90
3	327	2,32	9,77	3,79

Nilai energi didapatkan dengan menggunakan persamaan (1) sedangkan koefisien absorpsi di hitung menggunakan persamaan (2). Perbedaan daerah serapan tersebut mengindikasikan adanya gugus molekul yang berbeda. Molekul akan tereksitasi dari keadaan HOMO (*Highest occupied Molecular Orbital*) menuju keadaan LUMO (*Lowest*

*Unoccupeid Molecular Orbital*) ketika berinteraksi dengan foton. HOMO merupakan orbital tertinggi pada pita valensi yang ditempati elektron, sedangkan LUMO merupakan orbital terendah pada pita konduksi yang tidak ditempati elektron.



**Gambar 5.** (A) Grafik hubungan panjang gelombang ( $\lambda$ ) terhadap energi ( $h\nu$ ) dan koefisien absorpsi ( $\alpha$ ). (B) Grafik energi urbach ( $E_u$ ) (hubungan energi ( $h\nu$ ) terhadap  $\ln(\alpha)$ ) pada parameter waktu yang berbeda.

Gambar 5 (A) merupakan keterkaitan antara kontrol, 1, 2 dan 3 jam pada variabel panjang gelombang ( $\lambda$ ), energi ( $h\nu$ ) dan koefisien absorpsi ( $\alpha$ ). Pengaruh waktu ablasi laser merubah nilai masing-masing variabel. Puncak panjang gelombang semakin bertambah dengan bertambahnya waktu ablasi laser, sedangkan nilai energi semakin berkurang karena panjang gelombang cahaya yang diserap oleh material karbon berbanding terbalik dengan energi foton ( $h\nu$ ). Koefisien penyerapan ( $\alpha$ ) terkait dengan parameter urbach menggunakan persamaan (4). Energi urbach ( $E_u$ ) ditentukan dengan memplot energi foton ( $h\nu$ ) terhadap  $\ln(\alpha)$  seperti ditunjukkan pada gambar 5 (B). Hasilnya diringkas dalam tabel 2. Energi urbach ( $E_u$ ) bertambah dengan bertambahnya waktu ablasi laser sedangkan energi celah pita valensi (*band gap*) berkurang seiring bertambahnya waktu ablasi laser. Energi urbach ( $E_u$ ) ditentukan dari kemiringan linear kurva absorpsi ( $\ln(\alpha)$  terhadap ( $h\nu$ )). Energi urbach ( $E_u$ ) dihitung sebagai kebalikan dari kemiringan bagian linear dari grafik antara  $\ln[\alpha(\nu)]$  vs  $h\nu$  (Gambar 5 B). Energi band gap ( $E_g$ ) ditentukan berdasarkan metode *Tauc Plot* menggunakan persamaan (3).



**Tabel 2.** Nilai kemiringan kurva , energi urbach (Eu) dan energi band gap (Eg).

<b>Parameter waktu (jam)</b>	<b>Kemiringan (slope) kurva energi (hv) vs Ln (<math>\alpha</math>)</b>	<b>Energi urbach (Eu) (eV)</b>	<b>Energi band gap (Eg) (eV)</b>
Kontrol	1,15	0,87	3,53
1	1,39	0,72	3,40
2	1,20	0,83	3,15
3	0,83	1,20	2,85

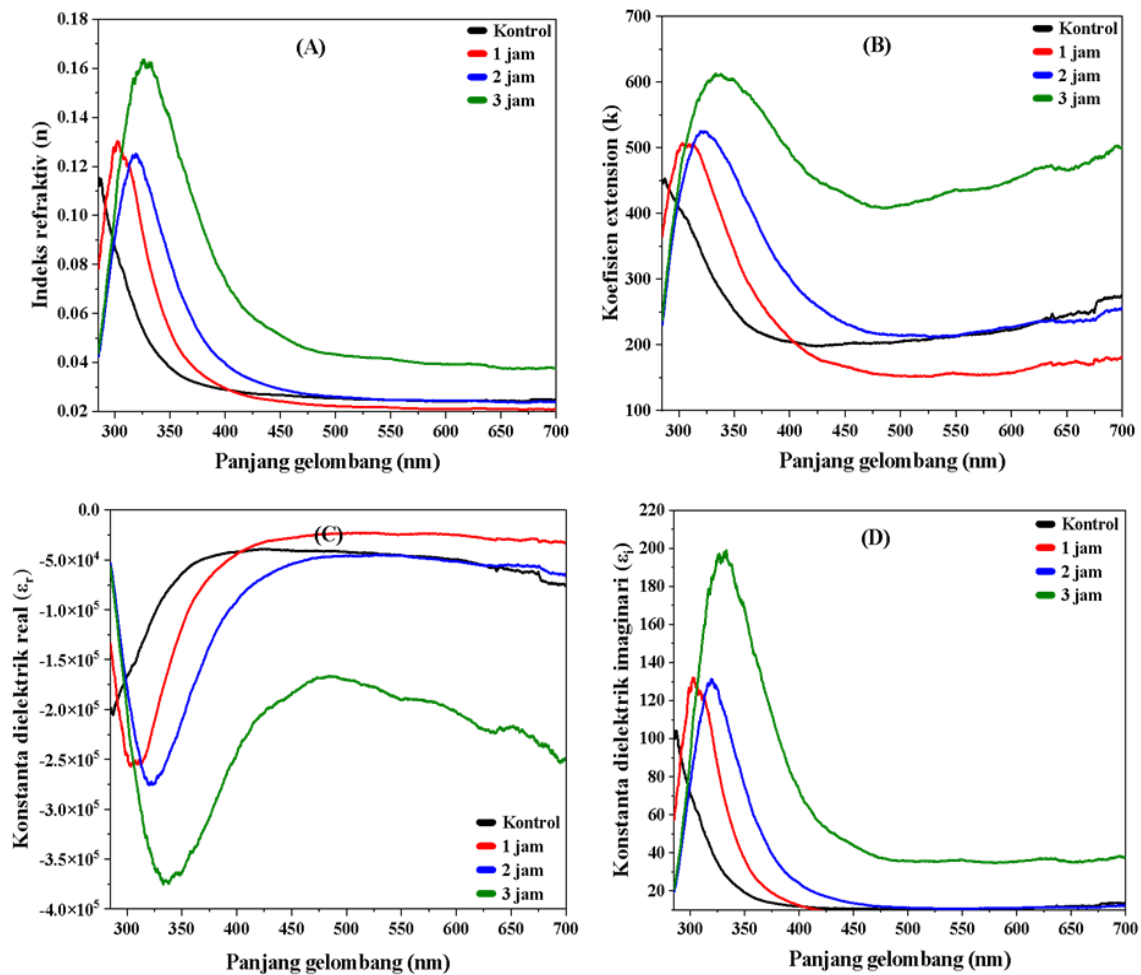
**Tabel 3.** Nilai indeks refraktif (n), koefisien ekstension (k), konstanta dielektrik real ( $\epsilon_r$ ), konstanta dielektrik imaginari ( $\epsilon_i$ ) dan konduktivitas optik ( $\sigma_{opt}$ ).

<b>Parameter waktu (jam)</b>	<b>n</b>	<b>k</b>	<b><math>\epsilon_r</math></b>	<b><math>\epsilon_i</math></b>	<b><math>\sigma_{opt}</math></b>
0	0,36	726,11	-527242,35	518,57	$2,1 \times 10^{10}$
1	0,38	814,43	-663301,16	626,19	$2,4 \times 10^{10}$
2	0,37	846,65	-716815,54	631,88	$2,3 \times 10^{10}$
3	0,44	974,75	-950140,47	857,84	$3,0 \times 10^{10}$

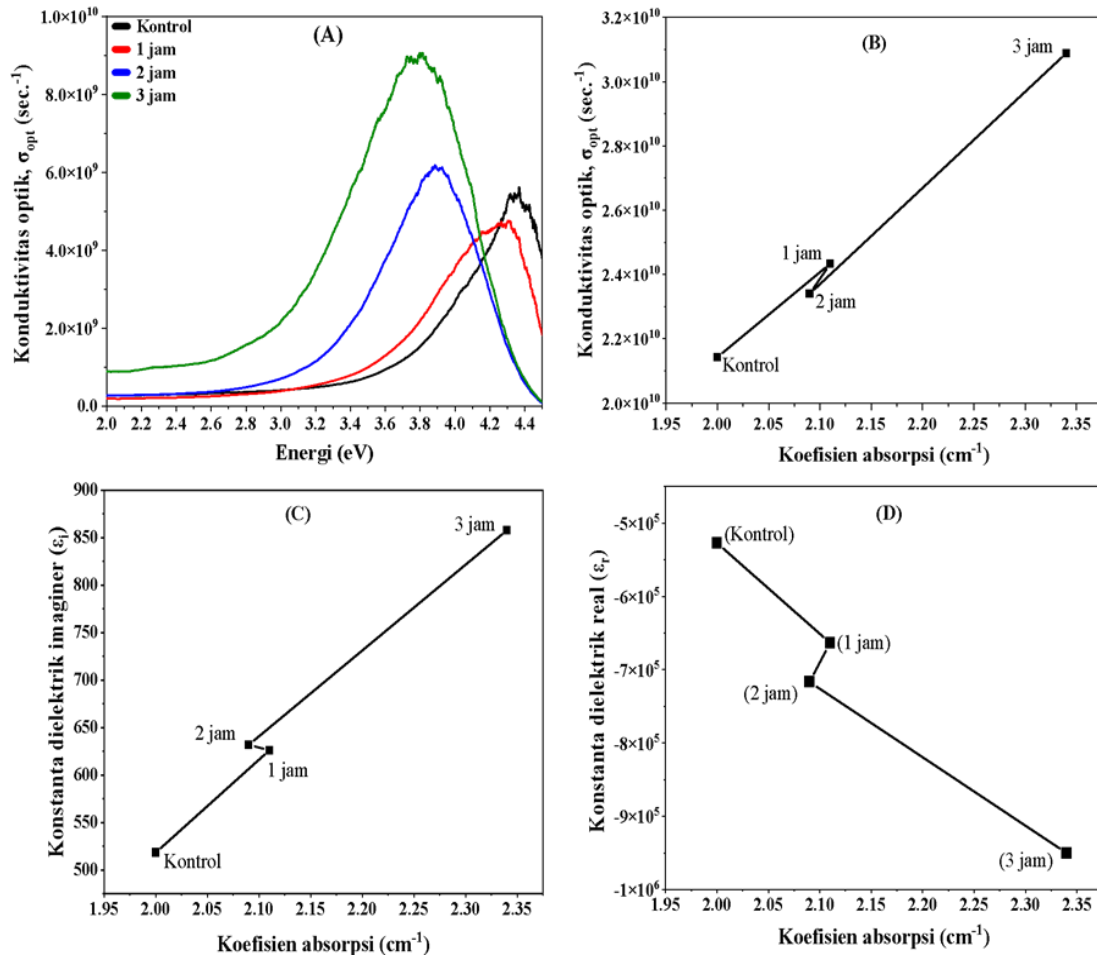
Tabel 3 merupakan pengaruh ablasi laser berdasarkan waktu sintesis untuk nilai indeks refraktif (n), koefisien ekstension (k), konstanta dielektrik real ( $\epsilon_r$ ), konstanta dielektrik imaginari ( $\epsilon_i$ ) dan konduktivitas optik ( $\sigma_{opt}$ ). Nilai indeks refraktif (n) memeperlihatkan hubungan parameter waktu berdasarkan panjang gelombang transmisi (persamaan 5). Grafik hubungan indeks refraktif (n) terhadap panjang gelombang absorpsi pada gambar 3 (A). Koefisien ekstension (k) merupakan hubungan koefisien absorpsi terhadap panjang gelombang. Tabel 3 untuk nilai koefisien ekstension memperlihatkan nilai linier bersarkan pengaruh ablasi laser. Gambar 3 (B) merupakan data spektrum grafik hubungan koefisien ekstension berdasarkan panjang gelombang cahaya yang terserap pada material karbon.

Hasil pengukuran nilai konstanta dielektrik real dan imajiner terlihat pada tabel 3 dan spketrum konstanta tersebut terdapat pada gambar 6 (C) dan (D). Sifat dielektrik merupakan suatu bilangan yang kompleks yang dinyatakan dalam dua bagian terdiri dari kelompok real dan imajiner. Dimana bagian real adalah konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) dan bagian imajiner adalah faktor kehilangan dielektrik ( $\epsilon_i$ ). Tetapan dielektrik menunjukkan kemampuan bahan untuk menyimpan energi listrik sedangkan faktor kehilangan dielektrik

menunjukkan kemampuan bahan untuk melepaskan energi yang nilainya selalu positif. Konstanta dielektrik real didapatkan dengan menggunakan persamaan (7). Nilai tersebut adalah hasil kuadrat indeks refraktif ( $n$ ) (gambar 6 (A)) dikurangkan terhadap nilai kuadrat koefisien ekstension ( $k$ ) (gambar 6 (B)). Nilai konstanta dielektrik real berubah secara linier yang terlihat pada tabel 3 dan gambar 6 (C). Semakin lama paparan radiasi ablasi laser maka semakin kecil nilai konstanta dielektrik real. Nilai konstanta dielektrik imajiner menunjukkan perubahan secara linier oleh pengaruh waktu ablasi laser. Semakin lama ablasi laser yang digunakan maka semakin tinggi nilai konstanta dielektrik imajiner. Hasil tersebut menunjukkan bahwa material karbon dalam pelarut toluen melepaskan (kehilangan) energi dengan bertambahnya waktu ablasi laser (1, 2 dan 3) jam.



**Gambar 6.** Grafik hubungan panjang gelombang ( $\lambda$ ) terhadap (A) indeks refraktif ( $n$ ), (B) koefisien ekstension ( $k$ ), (C) konstanta dielektrik real ( $\epsilon_r$ ), (D) konstanta dielektrik imajinari ( $\epsilon_i$ ).



**Gambar 7.** Grafik hubungan (A) energi ( $h\nu$ )-konduktivitas optik ( $\sigma_{opt}$ ), (B) koefisien absorpsi ( $\alpha$ )-konduktivitas optik ( $\sigma_{opt}$ ), (C) koefisien absorpsi ( $\alpha$ )-konstanta dielektrik imajiner  $\epsilon_i$ , dan (D) koefisien absorpsi ( $\alpha$ )-konstanta dielektrik real ( $\epsilon_r$ ).

Variasi konstanta dielektrik real dan imajiner sebagai fungsi koefisien absorpsi terlihat pada waktu ablasi laser yang berbeda disajikan dalam gambar 7 (D) dan (C). Terlihat bahwa bagian real dan imajiner mengikuti pola yang sama, sebaliknya nilai real lebih rendah dari nilai imajiner dan kedua nilai tersebut meningkat sedikit dengan waktu paparan ablasi laser. Konduktivitas optik (gambar 7 (A)) memungkinkan untuk melihat dengan mudah dari respon optik. Konduktivitas optik ( $\sigma_{opt}$ ) ditentukan berdasarkan persamaan (9). Grafik konduktivitas optik ( $\sigma_{opt}$ ) sebagai fungsi energi foton untuk material karbon diperlihatkan pada gambar 7 (A). Dapat disimpulkan bahwa konduktivitas optik meningkat

dengan penurunan energi foton ( $h\nu$ ) dan waktu ablasi laser. Peningkatan konduktivitas optik ( $\sigma_{opt}$ ) dapat dikaitkan dengan peningkatan koefisien penyerapan ( $\alpha$ ) dan indeks bias ( $n$ ). Peningkatan energi foton meningkatkan pergerakan elektron, sehingga konduktivitas optik mencapai nilai yang tertinggi.

Gambar 7 (B), (C) dan (D) merupakan fungsi koefisien absorpsi ( $\alpha$ ) terhadap nilai konduktivitas optik ( $\sigma_{opt}$ ), konstanta dielektrik real ( $\epsilon_r$ ) dan konstanta dielektrik imajiner ( $\epsilon_i$ ). Pengaruh nilai koefisien absorpsi pada gambar 7 untuk masing-masing waktu sintesis ablasi laser (1, 2, dan 3) adalah  $\sigma_{opt}$ : (Kontrol):  $2,1 \times 10^{10} \text{ sec}^{-1}$ , (1 jam):  $2,4 \times 10^{10} \text{ sec}^{-1}$ , (2 jam):  $2,3 \times 10^{10}$ , dan (3 jam):  $3,0 \times 10^{10} \text{ sec}^{-1}$ . Konstanta dielektrik imajiner: (Kontrol): 518,57, (1 jam): 626,19, (2 jam): 631,88, dan (3 jam): 857,84. Konstanta dielektrik real: (Kontrol): -527242,35, (1 jam): -663301,16, (2 jam): -716815,54, dan (3 jam): -950140,47. Perilaku sampel material karbon yang di sintesis dengan metode ablasi laser menunjukkan koefisien penyerapan dan konduktivitas yang lebih tinggi. Selain hal tersebut, celah energi pita (band gap) yang lebih sempit dan indeks bias (refraktif) yang lebih kecil dibandingkan dengan kontrol. Hasil yang diperoleh sesuai dengan hubungan teoretis (Waleed. B. Abdala, 2018). Konduktivitas optik ( $\sigma_{opt}$ ) disebabkan oleh arus difusi dalam material. Nilai konduktivitas optik ( $\sigma_{opt}$ ) tergantung pada energi cahaya yang tereksitasi. Konduktivitas optik ( $\sigma_{opt}$ ) terkait erat dengan fungsi dielektrik, generalisasi konstanta dielektrik ke frekuensi arbitrari (Schuster & Brune, 2005).

## SIMPULAN

Material karbon yang di sintesis dengan metode ablasi laser (Nd:YAG) menghasilkan nilai koefisien absorpsi ( $\alpha$ ), konstanta dielektrik real ( $\epsilon_r$ ), konstanta dielektrik imajiner ( $\epsilon_i$ ) dan konduktivitas optik ( $\sigma_{opt}$ ) yang berbeda. Pengaruh waktu (1, 2, dan 3 jam) ablasi laser menunjukkan perubahan posisi puncak panjang gelombang ( $\lambda$ ), energi urbach ( $E_u$ ) dan energi band gap ( $E_g$ ). Konduktivitas optik ( $\sigma_{opt}$ ) menunjukkan pertambahan nilai semakin besar seiring dengan perubahan waktu ablasi laser dan berdasarkan energi yang berubah karena transisi elektronik. Nilai konstanta dielektrik real ( $\epsilon_r$ ) dan imajiner ( $\epsilon_i$ ) berubah berdasarkan indeks refraktif ( $n$ ) dan koefisien ekstensi ( $k$ ) dalam kurung waktu sintesis material karbon (Teh). Nilai parameter optik tersebut tergantung pada kekuatan cahaya yang tereksitasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adam, G. O., Sharker, S. Md., & Ryu, J. H. **2022**. Emerging Biomedical Applications of Carbon Dot and Polymer Composite Materials. *Applied Sciences*, 12(20), 10565. <https://doi.org/10.3390/app122010565>.
- Ait Hssi, A., Atourki, L., Labchir, N., Ouafi, M., Abouabassi, K., Elfanaoui, A., Ihlal, A., & Bouabid, K. **2020**. Optical and dielectric properties of electrochemically deposited

- p-Cu<sub>2</sub>O films. *Materials Research Express*, 7(1), 016424. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab6772>.
- Al-Fikri, A. M., & Nurawan, R. **2017**. *KONSTANTA DIELEKTRIK*.
- Alhamid, M. Z., Hadi, B. S., & Khumaeni, A. **2019**. *Synthesis of silver nanoparticles using laser ablation method utilizing Nd:YAG laser*. 020013. <https://doi.org/10.1063/1.5141626>.
- Ali, M. M. **2011**. *Characterization of ZnO thin films grown by chemical bath deposition*.
- Bourguiba, F., Dhahri, A., Tahri, T., Taibi, K., Dhahri, J., & Hlil, E. K. (2016). Structural, optical spectroscopy, optical conductivity and dielectric properties of BaTi<sub>0.5</sub>(Fe<sub>0.33</sub>W<sub>0.17</sub>)O<sub>3</sub> perovskite ceramic. *Bulletin of Materials Science*, 39(7), 1765–1774. <https://doi.org/10.1007/s12034-016-1305-9>
- Castro, H. P. S., Pereira, M. K., Ferreira, V. C., Hickmann, J. M., & Correia, R. R. B. **2017**. Optical characterization of carbon quantum dots in colloidal suspensions. *Optical Materials Express*, 7(2), 401. <https://doi.org/10.1364/OME.7.000401>.
- Cui, L., Ren, X., Sun, M., Liu, H., & Xia, L. **2021**. Carbon Dots: Synthesis, Properties and Applications. *Nanomaterials*, 11(12), 3419. <https://doi.org/10.3390/nano11123419>.
- Das, A., Kundele, E. V., Vedernikova, A. A., Cherevkov, S. A., Danilov, D. V., Koroleva, A. V., Zhizhin, E. V., Tsykin, A. N., Litvin, A. P., Baranov, A. V., Fedorov, A. V., Ushakova, E. V., & Rogach, A. L. **2022**. Revealing the nature of optical activity in carbon dots produced from different chiral precursor molecules. *Light: Science & Applications*, 11(1), 92. <https://doi.org/10.1038/s41377-022-00778-9>.
- Dinc, S., & Kara, M. **2018**. *Synthesis and Applications of Carbon Dots from Food and Natural Products: A Mini- Review Gıda ve Doğal Ürünlerden Karbon Noktaların Sentezi ve Uygulamaları: Derleme*.
- Domingo-Tafalla, B., Martínez-Ferrero, E., Franco, F., & Palomares-Gil, E. **2022**. Applications of Carbon Dots for the Photocatalytic and Electrocatalytic Reduction of CO<sub>2</sub>. *Molecules*, 27(3), 1081. <https://doi.org/10.3390/molecules27031081>.
- Fatimah, S., Isnaeni, I., & Tahir, D. **2018**. Sintesis dan Karakterisasi Fotoluminisens Carbon Dots Berbahan Dasar Organik dan Limbah Organik. *POSITRON*, 7(2), 37. <https://doi.org/10.26418/positron.v7i2.22660>.
- Fazio, E., Gökce, B., De Giacomo, A., Meneghetti, M., Compagnini, G., Tommasini, M., Waag, F., Lucotti, A., Zanchi, C. G., Ossi, P. M., Dell'Aglio, M., D'Urso, L., Condorelli, M., Scardaci, V., Biscaglia, F., Litti, L., Gobbo, M., Gallo, G., Santoro, M., Neri, F. **2020**. Nanoparticles Engineering by Pulsed Laser Ablation in Liquids: Concepts and Applications. *Nanomaterials*, 10(11), 2317. <https://doi.org/10.3390/nano10112317>.
- Gentile, L., Mateos, H., Mallardi, A., Dell'Aglio, M., De Giacomo, A., Cioffi, N., & Palazzo, G. **2021**. Gold nanoparticles obtained by ns-pulsed laser ablation in liquids

- (ns-PLAL) are arranged in the form of fractal clusters. *Journal of Nanoparticle Research*, 23(2), 35. <https://doi.org/10.1007/s11051-021-05140-5>.
- Gregorsson, M. **2022**. *Birch leaf carbon dots: Characterization and application in a light-emitting electrochemical cell*.
- Guo, H., Li, W., Sun, G., & You, B. **2019**. One-Pot Synthesis of Photoluminescent Self-Assembled Carbon Dot Monolayer Films. *Journal of Nanomaterials*, 2019, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2019/2769519>.
- Hulupi, M., Haryadi, Nabila Sofiyani, Rizka Amalia Nuriana, Indarti, R., & Abdilah, F. **2022**. Sintesis dan Karakterisasi Carbon Nanodots dengan Metode Microwave Assisted Extraction: Synthesis and Characterization of Carbon Nanodots with Microwave Assisted Extraction. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 8(2), 120–126. <https://doi.org/10.22487/kovalen.2022.v8.i2.15910>.
- John, M. G. **2020**. *Metal-Oxide Nanostructures Fabricated from Reactive Laser Ablation in Liquid*.
- Jumardin, J., Maddu, A., Santoso, K., & Isnaeni, I. **2021**. Synthesis Of Carbon Dots (Cds) And Determination Of Optical Gap Energy With Tauc Plot Method. *Jambura Physics Journal*, 3(2), 73–86. <https://doi.org/10.34312/jpj.v3i2.11235>.
- Kaczmarek, A., Denis, P., Krajewski, M., Mościcki, T., Małolepszy, A., & Hoffman, J. **2021**. Improved Laser Ablation Method for the Production of Luminescent Carbon Particles in Liquids. *Materials*, 14(9), 2365. <https://doi.org/10.3390/ma14092365>.
- Kasmiarno, L. D., Fikarda, A., Gunawan, R. K., & Sambudi, S. **2021**. Carbon Quantum Dots (CQDs) from Rambutan and Pandan Leaves for Cu<sup>2+</sup> Detection. *Waste Technology*, 9.
- Liao, C., Li, Y., & Tjong, S. **2018**. Graphene Nanomaterials: Synthesis, Biocompatibility, and Cytotoxicity. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(11), 3564. <https://doi.org/10.3390/ijms19113564>.
- Lin, H., Huang, J., & Ding, L. **2019**. Preparation of Carbon Dots with High-Fluorescence Quantum Yield and Their Application in Dopamine Fluorescence Probe and Cellular Imaging. *Journal of Nanomaterials*, 2019, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2019/5037243>.
- Liu, Y.-Y., Yu, N.-Y., Fang, W.-D., Tan, Q.-G., Ji, R., Yang, L.-Y., Wei, S., Zhang, X.-W., & Miao, A.-J. **2021**. Photodegradation of carbon dots cause cytotoxicity. *Nature Communications*, 12(1), 812. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21080-z>.
- Matysiak, W., Tański, T., & Smok, W. **2020**. Study of optical and dielectric constants of hybrid SnO<sub>2</sub> electrospun nanostructures. *Applied Physics A*, 126(2), 115. <https://doi.org/10.1007/s00339-020-3283-4>.

- Mewada, A., Vishwakarma, R., Zhu, R., & Umeno, M. **2022**. Carbon-dot doped, transfer-free, low-temperature, high mobility graphene using microwave plasma CVD. *RSC Advances*, *12*(32), 20610–20617. <https://doi.org/10.1039/D2RA03274K>.
- Miqdad, H. **2018**. *Effect of Carbon Black Nanoparticles on the Optical Properties of poly (ethylene oxide) Films*. *13*(6).
- Rambadey, O. V., Kumar, A., Sati, A., & Sagdeo, P. R. **2021**. Exploring the Interrelation between Urbach Energy and Dielectric Constant in Hf-Substituted BaTiO<sub>3</sub>. *ACS Omega*, *6*(47), 32231–32238. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c05057>.
- Sari, E. K., Sekartaji, D., Rahmah, A. N. A., & Dwandaru, W. S. B. **2020**. Nanomaterial Carbon-Dots Berbahan Dasar Daun Sirih (Piper Betle L.) Sebagai Antibakteri Terhadap Bakteri S. Mutans dan E. Coli. *POSITRON*, *10*(2), 26. <https://doi.org/10.26418/positron.v10i2.41731>.
- Schuster, C., & Brune, P. **2005**. *Optical conductivity of a Hubbard ring with an impurity*.
- Semaltianos, N. G., Logothetidis, S., Perrie, W., Romani, S., Potter, R. J., Sharp, M., French, P., Dearden, G., & Watkins, K. G. **2009**. II–VI semiconductor nanoparticles synthesized by laser ablation. *Applied Physics A*, *94*(3), 641–647. <https://doi.org/10.1007/s00339-008-4854-y>.
- Soares, J. S., & Jorio, A. **2012**. Study of Carbon Nanotube-Substrate Interaction. *Journal of Nanotechnology*, *2012*, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2012/512738>.
- Stepanidenko, E. A., Ushakova, E. V., Fedorov, A. V., & Rogach, A. L. **2021**. Applications of Carbon Dots in Optoelectronics. *Nanomaterials*, *11*(2), 364. <https://doi.org/10.3390/nano11020364>.
- Tang, S. **2022**. Inferring the energy sensitivity and band gap of electronic transport in a network of carbon nanotubes. *Scientific Reports*, *12*(1), 2060. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06078-x>.
- Tripathi, R. K., Panwar, O. S., Rawal, I., Dixit, C. K., Verma, A., Chaudhary, P., Srivastava, A. K., & Yadav, B. C. **2021**. Study of variable range hopping conduction mechanism in nanocrystalline carbon thin films deposited by modified anodic jet carbon arc technique: Application to light-dependent resistors. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, *32*(2), 2535–2546. <https://doi.org/10.1007/s10854-020-05020-z>.
- Tungare, K., Bhori, M., Racherla, K. S., & Sawant, S. **2020**. Synthesis, characterization and biocompatibility studies of carbon quantum dots from Phoenix dactylifera. *3 Biotech*, *10*(12), 540. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02518-5>.
- Waleed. B. Abdala\*1, R. A. E. **2018**. *Refractive Index, Energy Gap, And Optical Conductivity For Wooden Carbon Sinag Treated By Some Acids*. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.1445504>.

- Wardana, I. N. G., Wijayanti, W., & Siswanto, E. **2018**. *Sintesis nano karbon dari sekam padi menggunakan sodium hidroksida*.
- Wu, Y.-N., Li, Y., Cao, M.-J., Dai, C.-L., He, L., & Yang, Y.-P. **2020**. Preparation and stabilization mechanism of carbon dots nanofluids for drag reduction. *Petroleum Science*, *17*(6), 1717–1725. <https://doi.org/10.1007/s12182-020-00503-4>.
- Zhang, D., Li, Z., & Sugioka, K. **2021**. Laser ablation in liquids for nanomaterial synthesis: Diversities of targets and liquids. *Journal of Physics: Photonics*, *3*(4), 042002. <https://doi.org/10.1088/2515-7647/ac0bfd>.
- Zhang, X., Mao, M., & Yin, Y. **2019**. Optically effective complex refractive index of coated black carbon aerosols: From numerical aspects. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *19*(11), 7507–7518. <https://doi.org/10.5194/acp-19-7507-2019>.