



KARAKTERISTIK SIFAT OPTIK NANOPARTIKEL KARBON (CARBON DOTS) DENGAN METODE UV-VIS DRS (ULTRA VIOLET-VISIBLE DIFFUSE REFLECTANCE SPECTROSCOPY)

Jumardin¹, Akhiruddin Maddu², Koekoeh Santoso³, Isnaeni⁴

¹*Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar*

²*Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB University*

³*Departemen Anatomi, Fisiologi dan Farmakologi, Fakultas kedokteran Hewan, IPB University*

⁴*Laboratorium Fisika Laser, Pusat Riset Fotonik, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Indonesia*

email: jumardin.jumardin@uin-alauddin.ac.id

INFO ARTIKEL

Status artikel:

Diterima: 16 Mei 2022

Disetujui: 11 Juli 2022

Tersedia online: 31 Juli 2022

Keywords: Carbon Dots, Energy, Nanoparticles, Spectroscopy.

ABSTRACT

Research on the synthesis of Carbon Dots using the laser ablation method has been carried out at a time duration of 1, 2, and 3 hours (energy 60 mJ, wavelength 1064 nm and frequency 10 Hz). This research uses organic material from Tea and Toluene as the carbon solvent. The characterization method uses a UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS) spectrum to measure the reflectance value and uses the Kubelka-Munk equation to determine the relationship between the absorbance coefficient parameter (s) and the scattering reflectance coefficient (k). The size and morphological characterization methods used Particle Size Analyzer (PSA) and Transmission Electron Microscopy, while the functional group characteristics used the Fourier Transform InfraRed (FTIR) tool. FTIR spectra show the O-H group which is a hydroxyl bond and N-H is a carboxylic acid. The results of measurement and analysis of bandgap energy at different time durations for direct transition (n=2) were 1 hour (3.62 eV, 342.49 nm), 2 hours (3.24 eV, 380.61 nm) and 3 hours (2.74, 451.82 nm). Indirect transitions (n=1/2) were 1 hour (3.17 eV, 391.02 nm), 2 hours (2.50 eV, 495.36 nm) and 3 hours (2.21 eV, 559.04).

1. PENDAHULUAN

Karbon merupakan salah satu material yang memiliki manfaat dan keunggulan dari aspek fisika, kimia, biologi dan bidang ilmu yang lain. Kualitas karbon sangat dipengaruhi oleh morfologi dan sifat optik seperti *carbon nanotube* (Antonov & Johnson, 1999), *fullerene* (Golden et al., 1995), *graphene* (Qosim & Santoso, 2015), *colloidal sphere* (Baskoutas & Terzis, 2006), *nanofiber* (Wei et al., 2020), dan nanopartikel karbon atau *carbon dots* (CDs) (Das et al., 2021) yang disintesis dengan metode tertentu. *Carbon Dots* (CDs) merupakan material karbon dalam bentuk titik (*dot*) yang memiliki sifat berpendar dan dapat disintesis dari berbagai sumber karbon. CDs dapat disintesis dari bahan dasar daun bambu (Putro & Maddu, 2019), ubi jalar (Shen et al., 2017), susu (Bajpai et al., 2019), limbah industri tebu (Pandiyan et al., 2020), limbah dapur rumah tangga (Himaja et al., 2014), limbah bawang (Bandi et al., 2016), daun tembakau (Dewi et al., 2016) dan sabut kelapa (Chunduri et al., 2016).

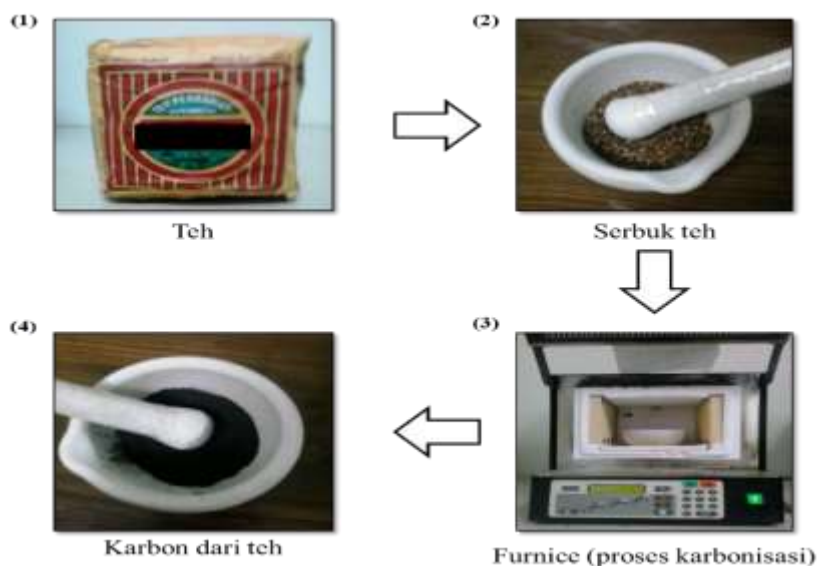
Metode sintesis CDs menggunakan teknik fisika yang merupakan pengaplikasian tekanan mekanik, radiasi dengan energi yang tinggi, serta energi panas dan listrik untuk membuat material *bulk* menjadi abrasi, meleleh, menguap atau terkondensasi (Trisnayanti, 2020). Ablasi laser merupakan salah satu metode dengan teknik fisika untuk mensintesis CDs dengan penambahan energi, durasi waktu paparan radiasi terhadap material karbon dan panjang gelombang laser pulsa yang digunakan. Ablasi laser dikenal sebagai metode yang mudah, ramah lingkungan dan menghasilkan kemurnian nanopartikel yang tinggi. Berkas laser yang berinteraksi dengan material karbon akan menghasilkan panas dan dapat menginduksi terjadinya *photoionization* pada sampel CDs (Jumardin et al., 2021). Sifat optik CDs berupa absorpsi dan luminisensi dengan metode ablasi laser akan mengindikasikan karakteristik berupa warna, spektrum absorpsi serta diperoleh energi *band gap* atau nilai lebar celah pita energi (Hussein et al., 2019). Sifat fisis warna CDs akan diketahui dengan menggunakan lampu UV, sifat absorpsi menggunakan spektroskopi *UV-Vis Diffuse Reflectance* pada panjang gelombang (200-800) nm serta karakteristik luminisensi menggunakan spektroskopi fotoluminisensi.

Hasil karakteristik UV-Vis DRS (*UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy*) menghasilkan informasi berupa spektrum panjang gelombang terhadap reflektansi R (%). Energi celah pita diperoleh dengan mengubah besaran R (%) kedalam faktor Kubelka-Munk $F(R)$ yang merupakan instrumentasi spektrometer-difusi dengan menggunakan metode sederhana berdasarkan teori Kubelka-Munk (Kang, 2018) dan metode *Tauc Plot* (Jumardin et al., 2021). Pada penelitian ini menggunakan metode *UV-Vis Diffuse Reflectance* dengan memberikan energi dari panjang gelombang (200-800) nm dan akan dikaji penentuan energi *band gap* CDs yang disintesis masing-masing dengan menggunakan metode ablasi laser pada variasi waktu 1, 2, dan 3 jam. Metode *UV-Vis Diffuse Reflectance* didasarkan pada pengukuran UV-Vis yang direfleksikan oleh sampel. Ketika foton mengenai bahan (material karbon) maka sebagian akan diserap, dipantulkan dan ditransmisikan energi celah pita (*band gap*) merupakan hal yang penting bagi material karena energi tersebut merupakan salah satu

faktor CDs yang mempengaruhi kinerja piranti semikonduktor dalam perpindahan elektron dan *hole* (Abdullahi et al., 2016).

2. METODE PENELITIAN

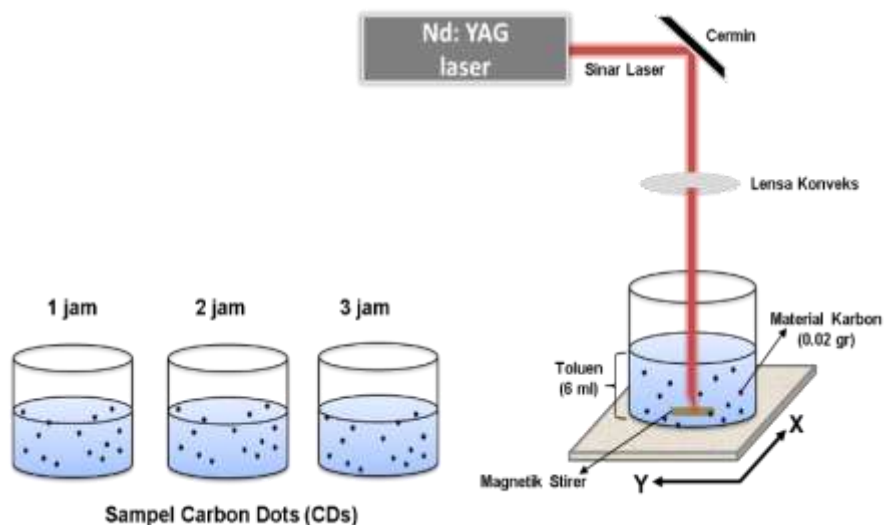
Tahapan dan sintesis dilakukan dengan mempersiapkan bahan-bahan dan peralatan yang dibutuhkan di laboratorium Fisika Laser, Pusat Penelitian Fisika Indonesia (LIPI) dan Laboratorium Spektroskopi Optik dan Laboratorium Karakterisasi Material, Departemen Fisika IPB. Peralatan yang digunakan adalah Laser Pulsa tipe *Q Swicth Nd:YAG Laser Model Q Smart 850*, Spektrofotometer *UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy (Ocean OpticTM.4000)*, Particle Size Analyzer (*Vasco Particulate System, PSA*), FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) Horizon MB 3000, TEM (*Transmission Electron Microscope*, FEI Tecnai G2 20S-Twin) 200 kV, Timbangan digital, Mikropipet, *Magnetic stirrer*, *Stopwatch*, *Furnace Thermal*, Gelas ukur, *Hot plate*, Lampu UV, Lampu Halogen, Mortar, Botol kuvet (*Quartz Cuvvete 3,8 ml*), dan Botol ukur. Bahan-bahan yang digunakan adalah Teh serbuk merk Goalpara, *Aquabides*, dan *Toluene* (CH_3 , M.W 92.14 gr/mol).



Gambar 1. Skema pembuatan material karbon CDs.

Pembuatan material karbon (CDs) dari 250 gram (Teh) dimasukkan ke dalam *Furnace* pada temperatur awal 250°C sampai temperatur akhir 900°C dengan laju kenaikan temperatur 600°C/jam selama 3 jam (Suharman & Vinsiah, 2015). Karbon dihancurkan menggunakan mortar sampai menjadi serbuk sebelum diberikan perlakuan ablasi laser. Karbon dalam bentuk serbuk atau padatan tersebut didiamkan beberapa jam sampai suhu karbon menjadi normal. Serbuk karbon tersebut dihancurkan (gerus) dengan menggunakan mortar kemudian dilakukan karakterisasi ukuran partikel dengan menggunakan alat *Particle Size Analyzer* (PSA) untuk mengetahui distribusi ukuran partikel tersebut sebelum diberikan perlakuan ablasi laser.

Metode ablasi laser pada sintesis CDs menggunakan laser pulsa dengan tipe *Q Switch Nd YAG laser Model Q Smart 850* pada panjang gelombang 1064 nm dan frekuensi 10 Hz (Kim et al., 2017). Lebar pulsa yang digunakan adalah ± 6 nsec pada tingkatan energi 60 mJ. Metode sintesis menggunakan pengontrolan durasi waktu (1, 2, 3) jam dengan pajang gelombang laser 1064 nm. Sinar laser difokuskan pada material karbon dalam koloid dengan berat karbon 0.02 gram dalam 6 ml pelarut toluen (CH_3). Lensa dan cermin digunakan untuk memfokuskan cahaya laser tepat pada material karbon yang berada dalam botol dan *magnetic stirrer* sebagai pengaduk untuk melarutkan partikel-partikel karbon dengan molekul toluen (CH_3) selama proses interaksi laser dengan material karbon.



Gambar 2. Skema metode sintesis CDs menggunakan ablasi laser.

Pengukuran sifat optik menggunakan spektrofotometer *UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy* melalui kabel *fiber optic*. Sebanyak 2 ml CDs yang terlarut dalam toluen (CH_3) dimasukkan ke kuvet yang dihubungkan langsung dengan spektrofotometer dengan memfokuskan sumber cahaya (lampu halogen) ke kuvet tersebut dan diteruskan oleh serat optik dan diterima oleh spektrofotometer sehingga terbaca pada konektor monitor PC. Penentuan energi *band gap* dengan *UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy* dihasilkan dengan menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis Difusi Reflektansi (Haris et al, 2014). Reflektansi yang terukur merupakan nilai yang dinyatakan dalam persamaan (1) dan digunakan untuk mengetahui persamaan Kubelka-Munk (persamaan (2)). Persamaan (2) memiliki hubungan dengan parameter k (koefisien absorptansi) dan s (koefisien hamburan reflektansi difusi) persamaan (3). Sehingga menghasilkan persamaan (4). (Morales et al., 2007)

$$R'_{\infty} = \frac{R_{\infty}(\text{sampel})}{R_{\infty}(\text{standar})} \quad (1)$$

$$F(R'_{\infty}) = \frac{(1-R'_{\infty})^2}{2R'_{\infty}} \quad (2)$$

$$F(R'\infty) = \frac{k}{s} \quad (3)$$

$$\frac{k}{s} = \frac{(1-R'\infty)^2}{2R'\infty} \quad (4)$$

Spektrum *UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy* berupa kurva hubungan antara k/s melawan panjang gelombang (λ) atau absorbansi (A) melawan panjang gelombang (λ). Perhitungan dilakukan pada setiap sampel dengan menggunakan metode Kubelka Munk dimana energi *band gap* diperoleh dari grafik hubungan antara hv (eV) vs $(F(R'\infty) hv)^n$ (Abdullahi, 2016). Energi *band gap* CDs adalah besarnya hv pada saat $(F(R'\infty) hv)^n = 0$, yang diperoleh dari persamaan regresi linier kurva tersebut. Pengukuran energi *band gap* dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu penyerapan langsung dan tidak langsung. Penyerapan secara langsung (*direct*), elektron mengabsorpsi foton dan langsung loncat ke dalam pita konduksi. Secara matematis dapat diperlihatkan pada persamaan (5). Penyerapan tidak langsung (*indirect*), elektron mengabsorpsi foton (partikel dalam gelombang elektromagnetik) dan fonon (partikel dalam gelombang elastik). Secara matematis dapat dilihat pada persamaan (6). Dimana v adalah frekuensi anguler dari foton. Penentuan energi *band gap* CDs, grafik $(F(R'\infty) hv)^n$ terhadap hv diplotkan dengan mensubstitusi $n = 1/m$ dimana $n = 2$ untuk transisi langsung yang dibolehkan, $n = 1/2$ untuk transisi yang tak dibolehkan (Pankove, 1972). Energi *band gap* CDs di hitung menggunakan persamaan *Tauc plot* $(F(R'\infty) hv)^n$ terhadap hv menunjukkan daerah linier intermendiet.

$$E_g = \hbar v = E_g \quad (5)$$

$$E_g \pm \hbar v = \hbar v \quad (6)$$

Karakterisasi dan analisis gugus fungsi senyawa kimia CDs menggunakan alat *Fourier Transform InfraRed* (FTIR) pada suhu ruang dengan mengukur dan menentukan serapan bilangan gelombang pelarut (toluen). Identifikasi gugus fungsi CDs pada rentang panjang bilangan gelombang ($450-4000$) cm^{-1} , kemudian sampel CDs yang di uji adalah hasil ablasi laser yang memiliki nilai intensitas serapan optik lebih besar dari yang lain. Kurva analisis dan data pengukuran bilangan gelombang dibuatkan perbandingan antara pelarut (tolouen) dan CDs yang terlarut. Analisis morfologi permukaan CDs menggunakan TEM (*Transmission Electron Microscopy, FEI Tecnai G2 20S-Twin*) 200 kV (Jumardin et al, 2021).

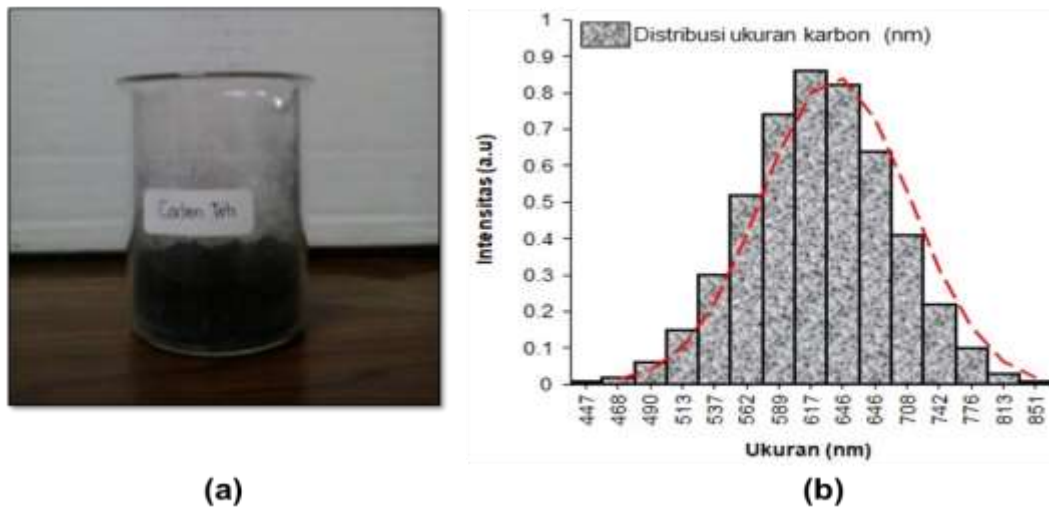
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Cahaya berinteraksi dengan material karbon di dalam koloid terdeteksi oleh detektor dan menghasilkan data ukuran partikel. Karakteristik karbon dengan alat *Particle Size Analyzer* menunjukkan distribusi pada ukuran rata-rata sebesar 616.76 nm. Hasil dapat dilihat Tabel 1. Pada tabel 1 menunjukkan karbon berukuran rata-rata 616.76 nm (50%). Distribusi ukuran karbon tersebut dihitung menggunakan metode dispersi ukuran berdasarkan intensitas cahaya (a.u).

Tabel 1. Hasil Karakterisasi ukuran karbon

Parameter Pengukuran	Diameter (10%) nm	Diameter (50%) nm	Diameter (90%) nm
Rata-rata	562.49	616.76	708.13

Pada ukuran 616.76 (50%) nm dapat disimpulkan bahwa ukuran partikel karbon tersebut masih sangat jauh lebih besar untuk standar CDs, sehingga dilakukan metode ablasi laser untuk membuat material karbon dalam bentuk nano partikel yang berukuran lebih kecil. Pada ukuran 562.49 nm mengindikasikan bahwa dispersi cahaya hanya mampu mengidentifikasi 10% material karbon, sedangkan pada ukuran karbon 708.13 nm sebanyak 90% di dalam koloid.

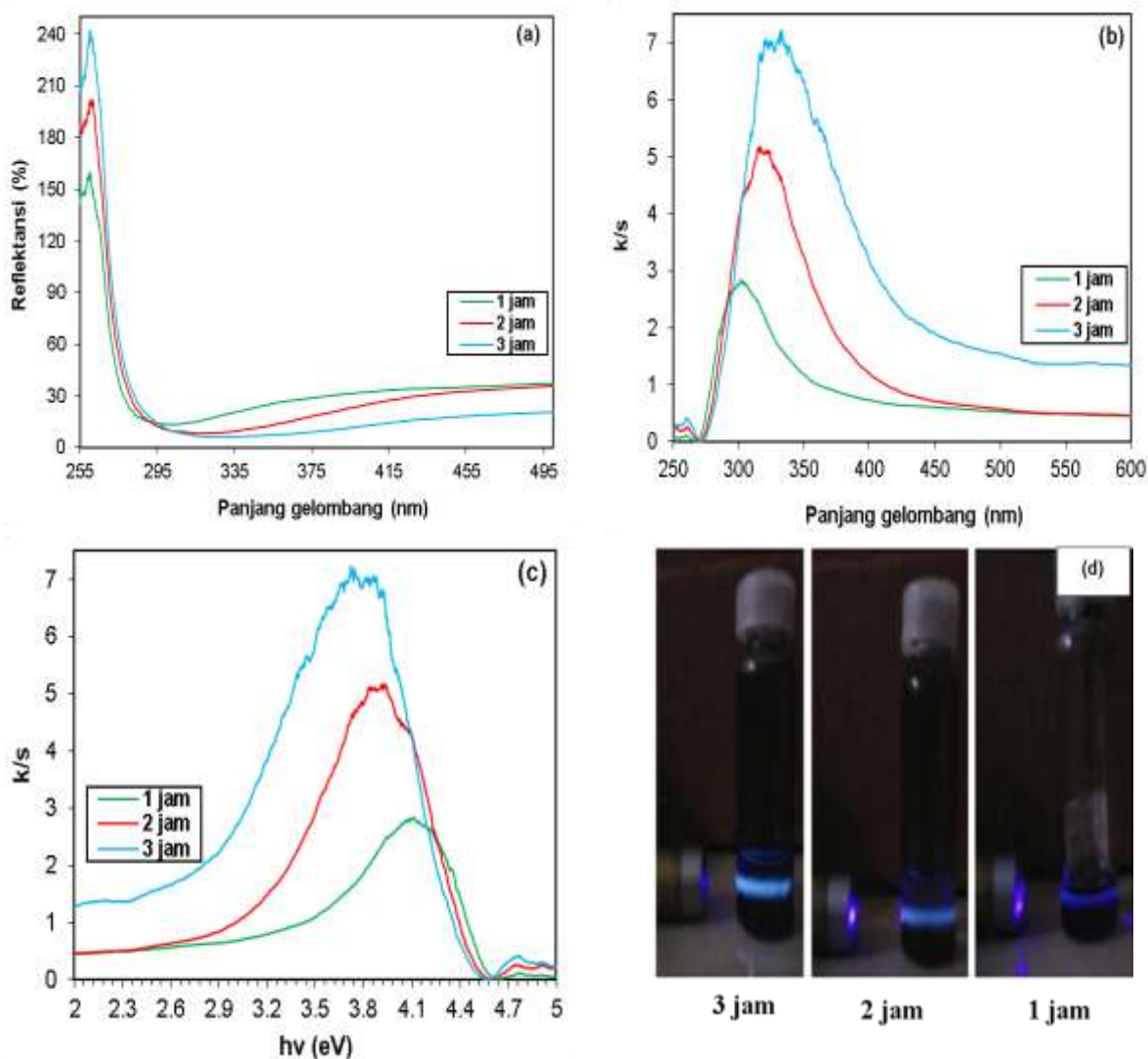


Gambar 3. (a) Karbon dari Teh dan (b) Distribusi ukuran karbon.

Gambar 3 (a) merupakan material karbon yang telah dikarbonisasi dengan menggunakan *furnice*, sedangkan gamba 3 (b) merupakan grafik distribusi ukuran partikel karbon dalam skala nano meter (nm). Ukuran partikel karbon terdistribusi pada rentang 426-891 nm yang memiliki perbedaan tingkat intensitas pada skala dispersi cahaya.

Berdasarkan gambar 4 (a) dapat diketahui daerah UV terjadi perubahan intensitas refleksi antara CDs yang disintesis dengan variasi waktu berbeda. Perubahan nilai reflektansi teramati pada daerah sinar UV rentang pengukuran 255-258 nm dengan kecenderungan semakin besar durasi waktu ablasi laser maka semakin tinggi intensitas reflektansi yang dihasilkan. Sehingga dapat diasumsikan cahaya yang terabsorpsi akan semakin besar dengan semakin bertambahnya nilai intensitas yang direfleksikan. Berdasarkan teori Kubelka-Munk, koefisien absorpsi diturunkan hubungannya secara matematis dengan persamaan (4) k/s merupakan fungsi Kubelka-Munk. Gambar 4 (b) menunjukkan bahwa fungsi Kubelka-Munk (sumbu y) memiliki koefisien absorpsi akan semakin meningkat dengan adanya penambahan waktu pada metode sintesis CDs dengan ablasi laser pada daerah serapan sinar UV dan *visible* (cahaya tampak). Hal tersebut mempresentasikan efektifitas metode ablasi laser dengan

penambahan durasi waktu 1, 2, 3 jam dalam meningkatkan intensitas absorpsi cahaya pada daerah UV dan cahaya tampak. Gambar 4 (c) memperlihatkan hubungan fungsi Kubelka-Munk terhadap energi (eV) CDs.



Gambar 4. (a) Spektra *UV-Vis DRS* (%) terhadap panjang gelombang. (b) Grafik hubungan Kubelka-Munk terhadap panjang gelombang. (c) Grafik hubungan Kubelka-Munk terhadap energi. (d) Luminisensi CDs 1, 2 dan 3 jam oleh yang telah disintesis dengan metode ablasi laser.

Gambar 4 (c) memperlihatkan hubungan fungsi Kubelka-Munk terhadap energi (eV) CDs. Terjadi penurunan energi CDs berdasarkan lama paparan ablasi laser terhadap material karbon. Semakin lama ablasi laser berinteraksi dengan karbon dalam koloid (toluen) maka semakin kecil energi CDs yang dihasilkan. Energi tersebut diformulasikan berdasarkan tetapan *Planck* dikalikan dengan frekuensi kuantum radiasi atau hubungan panjang

gelombang dan frekuensi berbanding terbalik. Sehingga semakin besar panjang gelombang, maka semakin kecil energi yang dihasilkan. Hubungan fungsi Kubelka-Munk terhadap energi merupakan perbandingan parameter k (koefisien absorpsi) terhadap s (koefisien hamburan reflektansi difusi). Nilai puncak panjang gelombang, reflektansi, fungsi Kubelka-Munk dan energi CDs yang diperoleh dieprlihatkan pada tabel 2.

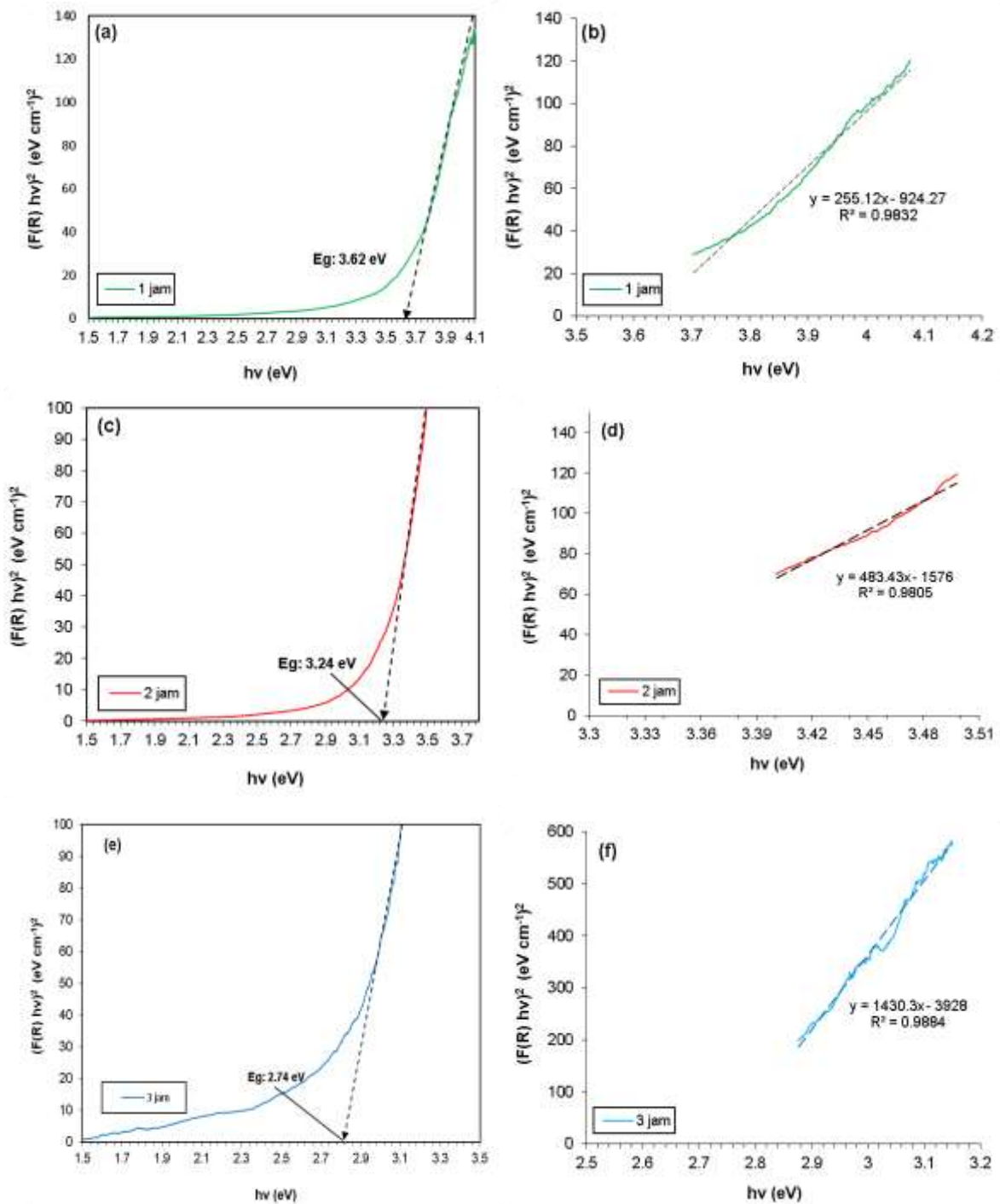
Tabel 2. Hasil nilai puncak panjang gelombang, reflektansi, energi dan fungsi Kubelka-Munk terhadap waktu ablasi laser.

Nilai	Waktu ablasi laser (jam)		
	1	2	3
Panjang gelombang , λ (nm)	304.57	314.64	332.43
Reflektansi, R (%)	13.51	8.18	6.199
Energi (hv), E (eV)	4.07	3.94	3.73
Fungsi Kubelka-Munk (k/s)	2.76	5.15	7.09

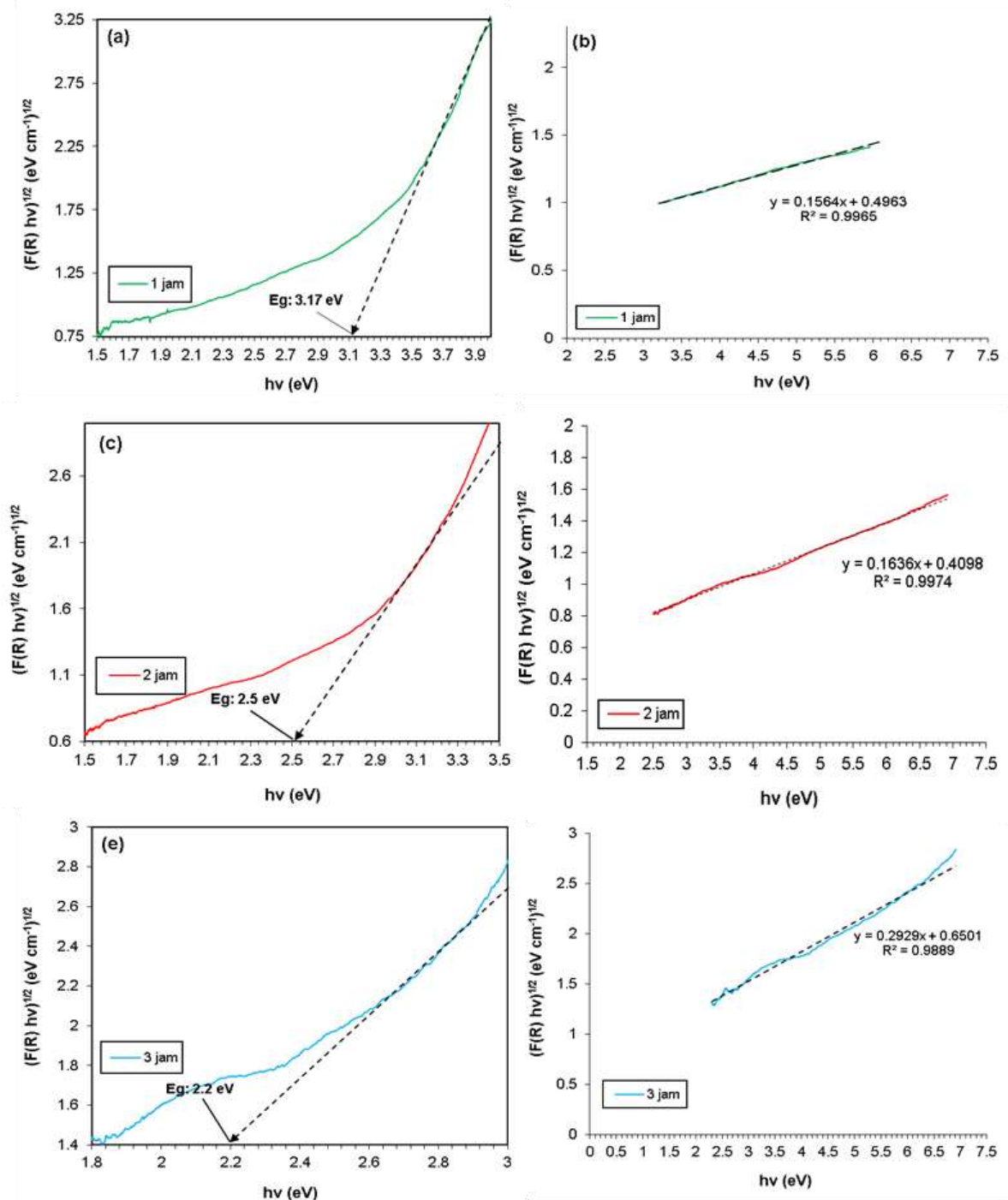
Hasil karakterisasi daerah serapan sinar dan penentuan energi *band gap* masing-masing sampel CDs menggunakan pengukuran *UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy* yang telah di ukur pada rentang panjang gelombang reflektansinya 200-800 nm. Perhitungan energi *band gap* dilakukan dengan menggunakan pendekatan teori Kubelka-Munk. Berdasarkan teori Kubelka-Munk, lapisan material dengan ketebalan x , diradiasikan dengan sejumlah energi radiasi foton, maka material tersebut akan menyerap dan menghamburkan foton. Plot nilai $F(R)$ terhadap $h\nu$ dan ekstrapolasi daerah liniernya maka dapat ditentukan nilai $h\nu$ pada $F(R)=0$ yang merupakan nilai energi *band gap* dari CDs.

Karakterisasi dengan *UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy* dilakukan untuk penentuan besarnya energi *band gap* (E_g) CDs. Hasil karakterisasi dan perhitungan penentuan energi *band gap* selengkapnya disajikan pada gambar 5 (a, b, c, d, e, f) dengan transisi secara langsung (*direct*) dimana nilai $n=2$ dan gambar 6 (a, b, c, d, e) dengan transisi tidak langsung (*indirect*) dimana nilai $n=1/2$. Perhitungan energi *band gap* dilakukan dengan menggunakan persamaan Kubelka-Munk dan metode Tauc plot, dimana (E_g) didapatkan dari grafik hubungan antara $(F(R'\infty) h\nu)^n$ dan $h\nu$ (eV).

Gambar 5 (transisi langsung) dan gambar 6 (transisi tidak langsung) menunjukkan bahwa nilai energi *band gap* CDs menurun jika waktu ablasi laser dinaikkan. Grafik gambar 5 dan 6 menunjukkan ekstrapolasi linier yang dapat digunakan menghitung (E_g) dari perpotongan terhadap sumbu x . Dapat diketahui bahwa pengaruh waktu ablasi laser terhadap material karbon (CDs) dapat menyebabkan perubahan nilai E_g seperti terlihat pada gambar 5 dan 6.



Gambar 5. (a, c, e) kurva energi *band gap* 1, 2, 3 jam dengan metode *Tauch Plot* dan (b, d, f) grafik ilustrasi Kubelka Munk terhadap energi foton CDs 1, 2, 3 jam penyerapan secara langsung (*direct*).



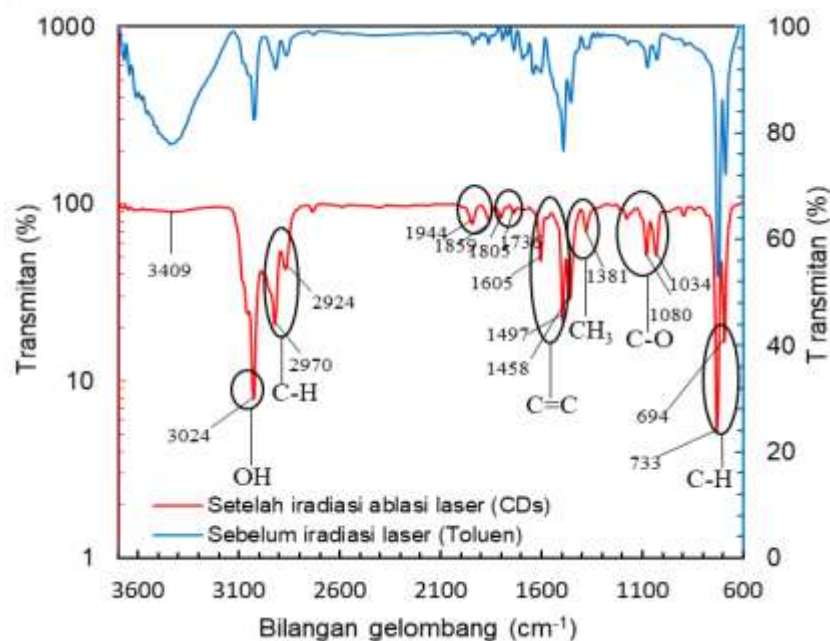
Gambar 6. (a, c, e) Kurva energi *band gap* 1, 2, 3 jam dengan metode *Tauch Plot* dan (b, d, f) grafik ilustrasi Kubelka Munk terhadap energi foton CDs 1, 2, 3 jam penyerapan secara langsung (*indirect*).

Tabel 3. Daerah energi *band gap* dan serapan panjang gelombang CDs 1, 2 dan 3 jam.

Waktu ablasi laser (jam)	Energi <i>band gap</i> (eV)		Panjang gelombang (nm)	
	Transisi langsung (n=2)	Transisi tidak langsung (n=1/2)	Transisi langsung (n=2)	Transisi tidak langsung (n=1/2)
1	3.62	3.17	342.49	391.02
2	3.24	2.50	380.61	495.36
3	2.74	2.21	451.82	559.04

Tabel 3 menjelaskan bahwa terjadi penurunan energi *band gap* CDs dari sampel yang diablasi dengan menggunakan laser. Penurunan ini terus berlanjut dengan penambahan waktu hingga 3 jam. Penurunan energi *band gap* dapat disebabkan oleh terjadinya difusi ion pelarut toluen kedalam kisi material karbon sehingga membentuk sub celah pita energi yang baru (Nikov et al., 2017). Energi *band gap* akan memberikan kemampuan CDs untuk menyerap cahaya pada energi yang lebih rendah atau panjang gelombang yang lebih besar. Energi *band gap* yang semakin kecil dapat meningkatkan aktifitas CDs karena energi yang dibutuhkan untuk mengeksitasi elektron dari vita valensi ke pita konduksi lebih kecil. Absorpsi terhadap UV-Vis DRS dengan metode sintesis ablasi laser menghasilkan energi *band gap* sebesar 3.85 eV (Singh & Gopal, 2012), 4.07 eV (Ali et al., 2016), 3.11 eV, 3.07 eV dan 3.02 eV (Siuzdak et al., 2014).

Hasil analisis spektrum gugus fungsi terlihat pada gambar 7 dan tabel 4 yang merupakan pengukuran CDs untuk sampel 3 jam berdasarkan analisis teoritik dan keperimen FTIR.



Gambar 7. Spektrum (FTIR) bilangan gelombang terhadap transmitansi CDs.

Gugus O–H pada CDs merupakan ikatan hidroksil yang teridentifikasi pada pelarut toluen pada rentang (3000-3700) cm^{-1} . Terdapat pada bilangan gelombang 3024 cm^{-1} yang mengindikasikan senyawa O-H terikat hidrogen terdeteksi oleh absorpsi sinar inframerah pada regang pita lebar dan kuat (3000-3700) cm^{-1} serta mengandung asam karboksilat. Gugus N-H memiliki daerah penyerapan sinar inframerah pada daerah (3441-3700) cm^{-1} . Gambar 7 terlihat bahwa daerah regang O-H dan N-H pada spektrum terdeteksi adanya asam karboksilat, sedangkan N-H merupakan senyawa amina. Sifat hidrofisilitas dan kestabilan CDs dalam larutan tersebut akan semakin meningkat jika terdapat gugus O-H dan N-H (Pavia et al., 2001).

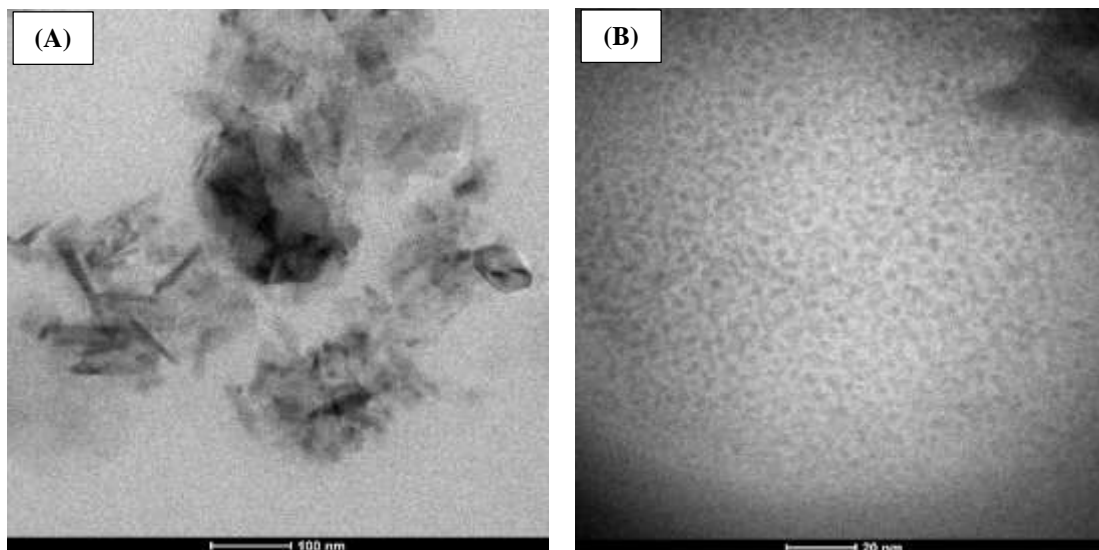
Tabel 4. Bilangan gelombang gugus fungsi berdasarkan teoritik dan hasil eksperimen FTIR.

No	Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	
		Teoritik	Hasil FTIR
1	N-H	3700-3441	3409
2	OH	3700-3000	3024.8
3	C-H Alifatik	3000-2850	2924.21
4	C-H Alifatik	3000-2850	2970.42
5	Aromatic overtones	1950-1750	1944.77
6	Aromatic overtones	1950-1750	1859.81
7			1979.84
8	C-O Ester	1750-1735	1736.88
9	C=C Alkena	1680-1600	1605.47
10	C=C Alkena	1680-1600	1497.22
12			1458.29
13	CH ₃	1400-1325	1381.69
14	C-O (karboksilat)	1300-1000	1180.82
15	C-O Ester	1300-1000	1080.51
16	C-O Ester	1300-1000	1034.51
17			895.85
18	Senyawa lain	650 -1000	733.5
19			694.16

Berdasarkan gambar 7 dan tabel 4 diperoleh spektrum gugus fungsi CDs yang menunjukkan serapan CH₃ pada regangan bilangan gelombang (1350-1450) cm^{-1} yang merupakan jenis senyawa alkana. Serapan inframerah untuk absorpsi C=O berada pada pita regang (1600-1770) cm^{-1} merupakan senyawa asam karboksilat. Penelitian yang dilakukan menggunakan bahan dasar serbuk Teh sebagai material karbon mempresentasikan hasil yang tidak jauh berbeda kandungan gugus fungsi senyawa CDs dengan menggunakan metode ablasi laser (Baruah et al., 2014).

Pengamatan morfologi CDs dilakukan pada skala 100 nm dan 20 nm. Pada dasarnya karakterisasi CDs mendistribusikan diameter rata-rata kurang dari 50 nm dan memperlihatkan struktur berbentuk bola-bola kecil yang hanya dapat dilihat dengan menggunakan skala perbesaran. Pengukuran skala 20 nm mempresentasikan jumlah CDs

secara rata-rata berdiameter 40-50 nm (Jumardin et al, 2021). Ukuran CDs tersebut merupakan hasil analisa berdasarkan pengolahan data untuk satu objek posisi gambar pada



Gambar 8. (A) Morfologi CDs skala 100 nm dan (B) morfologi CDs skala 20 nm.

skala 20 nm. Skala 20 nm mempresentasikan nilai ukuran CDs yang terdistribusi secara merata dibawa ukuran 50 nm. Penelitian yang serupa dilakukan menggunakan panjang gelombang pulsa radiasi laser 1064 nm dan 355 nm memperlihatkan ukuran diameter yang sangat kecil (± 0.229 nm) dengan menggunakan HR-TEM (Vino et al., 2014). Berdasarkan hasil tersebut, CDs merupakan nanopartikel yang berbentuk bola dan tersebar merata dengan ukuran diameter sebesar 2-7 nm (Prasanna & Imae, 2013). Metode ablasi laser untuk mensintesis material karbon dengan panjang sinar gelombang 532 nm dan energi 0.4 J Nd:YAG memperlihatkan ukuran 59 nm (Ganash et al., 2019).

4. SIMPULAN

Nanopartikel karbon (Carbon Dots atau CDs) dari bahan organik (Teh) yang disintesis dengan metode ablasi laser menghasilkan perubahan nilai energi *band gap* berdasarkan spektrum UV-Vis DRS. Perubahan energi *band gap* terjadi akibat perbedaan durasi sintesis ablasi laser (1, 2, 3) jam pada transisi langsung ($n=2$) dan transisi tidak langsung ($n=1/2$). Perubahan panjang gelombang serapan CDs terjadi akibat perbedaan nilai intensitas reflektansi (%) masing-masing sampel CDs serta durasi waktu ablasi laser. Analisis gugus fungsi menjelaskan pengaruh ablasi laser terhadap puncak bilangan gelombang yang terbentuk sehingga mengindikasikan adanya kandungan senyawa tertentu pada CDs. Ukuran partikel CDs sebelum dan setelah ablasi laser berubah berdasarkan pengamatan morfologi dan analisis distribusi dispersi cahaya terhadap material karbon dalam koloid tersebut.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Abdullahi, S. S., Güner, S., Koseoglu, Y., Musa, I. M., Adamu, B. I., & Abdulhamid, M. I. (2016). Simple Method For The Determination of Band Gap of a Nanopowdered Sample Using Kubelka Munk Theory. *Journal of the Nigerian Association of Mathematical Physics*, 35, 12.
- Ali, A. G., Dejene, B. F., & Swart, H. C. (2016). The influence of different species of gases on the luminescent and structural properties of pulsed laser-ablated $Y_2O_3:Eu^{3+}$ thin films. *Applied Physics A*, 122(5), 534. <https://doi.org/10.1007/s00339-016-0062-3>.
- Antonov, R. D., & Johnson, A. T. (1999). Subband Population in a Single-Wall Carbon Nanotube Diode. *Physical Review Letters*, 83(16), 3274–3276. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.83.3274>.
- Bajpai, S. K., D'Souza, A., & Suhail, B. (2019). Blue light-emitting carbon dots (CDs) from a milk protein and their interaction with *Spinacia oleracea* leaf cells. *International Nano Letters*, 9(3), 203–212. <https://doi.org/10.1007/s40089-019-0271-9>.
- Bandi, R., Gangapuram, B. R., Dadigala, R., Eslavath, R., Singh, S. S., & Guttena, V. (2016). Facile and green synthesis of fluorescent carbon dots from onion waste and their potential applications as sensor and multicolour imaging agents. *RSC Advances*, 6 (34), 28633–28639. <https://doi.org/10.1039/C6RA01669C>.
- Baskoutas, S., & Terzis, A. F. (2006). Size-dependent band gap of colloidal quantum dots. *Journal of Applied Physics*, 99 (1), 013708. <https://doi.org/10.1063/1.2158502>.
- Chunduri, L. A. A., Kurdekar, A., Patnaik, S., Dev, B. V., Rattan, T. M., & Kamiseti, V. (2016). Carbon Quantum Dots from Coconut Husk: Evaluation for Antioxidant and Cytotoxic Activity. 8.
- Das, S., Ngashangva, L., & Goswami, P. (2021). Carbon Dots: An Emerging Smart Material for Analytical Applications. *Micromachines*, 12 (1), 84. <https://doi.org/10.3390/mi12010084>.
- Dewi, A. R. C., Aji, M. P., & Sulhadi, S. (2016). Absorbance Spectrum Carbon Nanodots (C-Dots) Daun Tembakau. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF 2016 UNJ*, SNF 2016-MPS-129-SNF 2016-MPS-134. <https://doi.org/10.21009/0305020225>.
- Golden, M. S., Knupfer, M., Fink, J., Armbruster, J. F., Cummins, T. R., Romberg, H. A., Roth, M., Sing, M., Schmidt, M., & Sohmen, E. (1995). The electronic structure of fullerenes and fullerene compounds from high-energy spectroscopy. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 7(43), 8219–8247. <https://doi.org/10.1088/0953-8984/7/43/004>.
- Haris, A., Widodo, D., S., Nuriyanto, R. (2014). Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Fotokatalis TiO_2 dengan Doping Tembaga dan Sulfur serta Aplikasinya pada Degradasi Senyawa Fenol. *Jurnal Sains dan Matematika*. Vol. 22 (2): 48-51.
- Himaja, A. L., Karthik, P. S., Sreedhar, B., & Singh, S. P. (2014). Synthesis of Carbon Dots from Kitchen Waste: Conversion of Waste to Value Added Product. *Journal of Fluorescence*, 24(6), 1767–1773. <https://doi.org/10.1007/s10895-014-1465-1>.

- Hussein, N. L., Khashan, K. S., Rasheed, H. M., Yahaia, H., & ALHaddad, R. M. S. (2019). Simulation of Optical Energy Gap for Synthesis Carbon Quantum Dot by Laser Ablation. *Iraqi Journal of Science*, 5.
- 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>.
- Kang, X. (2018). Improving the photocatalytic activity of graphitic carbon nitride by thermal treatment in a high-pressure hydrogen atmosphere. *Progress in Natural Science*, 6.
- Kim, M., Osone, S., Kim, T., Higashi, H., & Seto, T. (2017). Synthesis of Nanoparticles by Laser Ablation: A Review. 34, 11.
- Morales, A. E., Mora, E. S., & Pal, U. (2007). Use of diffuse reflectance spectroscopy for optical characterization of un-supported nanostructures. 6.
- Nikov, R. G., Nedyalkov, N. N., Atanasov, P. A., & Karashanova, D. B. (2017). Laser-assisted fabrication and size distribution modification of colloidal gold nanostructures by nanosecond laser ablation in different liquids. *Applied Physics A*, 123(7), 490. <https://doi.org/10.1007/s00339-017-1105-0>.
- Pandiyan, S., Arumugam, L., Srirengan, S. P., Pitchan, R., Sevugan, P., Kannan, K., Pitchan, G., Hegde, T. A., & Gandhirajan, V. (2020). Biocompatible Carbon Quantum Dots Derived from Sugarcane Industrial Wastes for Effective Nonlinear Optical Behavior and Antimicrobial Activity Applications. *ACS Omega*, 5(47), 30363–30372. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c03290>.
- Putro, P. A., & Maddu, A. (2019). Sifat Optik Carbon Dots dari Daun Bambu Hasil Sintesis Hijau Berbantuan Gelombang Mikro. *Wahana Fisika*, 4 (1), 47. <https://doi.org/10.17509/wafi.v4i1.15569>.
- Qosim, M., & Santoso, I. (2015). Kajian Struktur Pita Elektronik Graphene dan Graphane Menggunakan Model Ikatan Kuat Realistik dengan Ketakteraturan. 55, 6.
- Reyes, D. (2016). Laser Ablated Carbon Nanodots for Light Emission. 11.
- Shen, J., Shang, S., Chen, X., Wang, D., & Cai, Y. (2017). Facile synthesis of fluorescence carbon dots from sweet potato for Fe³⁺ sensing and cell imaging. *Materials Science and Engineering: C*, 76, 856–864. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.03.178>.
- Singh, S. C., & Gopal, R. (2012). Drop shaped zinc oxide quantum dots and their self-assembly into dendritic nanostructures: Liquid assisted pulsed laser ablation and characterizations. *Applied Surface Science*, 258 (7), 2211–2218. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2011.05.018>.
- Siuzdak, K., Sawczak, M., Klein, M., Nowaczyk, G., Jurga, S., & Cenian, A. (2014). Preparation of platinum modified titanium dioxide nanoparticles with the use of laser ablation in water. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 16 (29), 15199–15206. <https://doi.org/10.1039/C4CP01923G>.
- Suharman, A., & Vinsiah, R. (2015). The Effect of Carbonisation Temperature Variation to the Adsorption Ability of Rubber Fruit Shell Activated Carbon. 10.
- Wei, J., Geng, S., Pitkänen, O., Järvinen, T., Kordas, K., & Oksman, K. (2020). Green Carbon Nanofiber Networks for Advanced Energy Storage. 11.

