

# ANALISIS SIFAT OPTIK NANO PARTIKEL KARBON BERBAHAN DAUN PANDAN WANGI (PANDANUS AMARYLLIFOLIUS) DENGAN METODE SINTESIS HIDROTERMAL

Rahmaniah Nalwi<sup>1</sup>, Akhiruddin Maddu<sup>2</sup>, Mersi Kurniati<sup>2</sup>, Jumardin Jumardin<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Departemen Gugus Penjaminan Mutu (GPM), Fakultas Pertanian dan Kehutanan, Universitas Sulawesi Barat, Jalan Prof. Dr. Baharuddin Lopa, S.H, Talumung, Kabupaten Majene, Sulawesi Barat, 91412, Indonesia

<sup>2</sup>Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB University, Jalan Raya Dramaga, Babakan, Kabupaten Bogor, Jawa Barat, 16680, Indonesia

<sup>3</sup>Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, Jalan H.M. Yasin Limpo No. 36 Romangpolong, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan, 92118, Indonesia

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

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan sifat optik, energi pergeseran Stokes, energi celah pita ( $E_g$ ), gugus fungsi senyawa kimia dan ukuran karbon nano partikel atau Carbon Nanoparticles (CNPs). Sifat optik terdiri dari absorbansi dan intensitas fluoresens yang dihasilkan oleh metode sintesis hidrotermal 150 °C, 160 °C dan 180 °C. Panjang gelombang absorbansi terdeteksi dengan metode spektroskopi UV-Vis adalah 396,31 nm, 399,61 nm dan 411,24 nm. Sedangkan panjang gelombang fluoresens dengan eksitasi laser 405 nm adalah 524,18 nm, 512,04 nm dan 510,92 nm. Energi pergeseran Stokes diperoleh berdasarkan perbedaan energi foton untuk eksitasi (absorbansi) dan emisi (fluoresens) dengan nilai 0,59 eV, 0,55 eV dan 0,69 eV. Energi celah pita ( $E_g$ ) ditentukan dengan mengekstrapolasi grafik ke rentang linier untuk memotong sumbu energi foton. Nilai  $E_g$  adalah 2,55 eV, 3,43 eV dan 2,50 eV. Spektrum dan nilai koefisien ekstensi ( $k$ ), konduktivitas optik ( $\sigma_{opt}$ ) meningkat sedangkan indeks bias ( $n$ ) menurun sering bertambahnya suhu hidrotermal. Spektrum FTIR dan ukuran CNPs dilakukan dengan menggunakan sampel suhu 180 °C. Gugus fungsi kimia yang terbentuk adalah C-H, C-N, N=C=S, O=C=O serta senyawa Nitrogen (NO<sub>2</sub>). Ukuran rata-rata nano partikel karbon adalah 11,09 nm berdasarkan intensitas (%), volume (%) dan nomor (%) partikel pada sampel CNPs.

Kata Kunci: hidrotermal; karbon; nano partikel; sifat optik

## ABSTRACT

[Title: Analysis Of The Optical Properties Of Carbon Nano Particles From Fragrant Pandan Leaf (Pandanus Amaryllifolius) Using Hydrothermal Synthesis Method] This study aims to determine the optical properties, Stokes shift energy, band gap energy ( $E_g$ ), functional groups of chemical compounds and the size of carbon nanoparticles (CNPs). Optical properties consist of absorbance and fluorescence intensity produced by the hydrothermal synthesis method at 150 °C, 160 °C and 180 °C. The absorbance wavelengths detected by UV-Vis spectroscopy were 396.31 nm, 399.61 nm and 411.24 nm. While the wavelength of fluorescence with 405 nm laser excitation is 524.18 nm, 512.04 nm and 510.92 nm. The Stokes shift energy was obtained based on the difference in photon energies for excitation (absorbance) and emission (fluorescence) with values of 0.59 eV, 0.55 eV and 0.69 eV. The band gap energy ( $E_g$ ) is determined by extrapolating the graph to the linear range for the intersection of the photon energy axis. The  $E_g$  values were 2.55 eV, 3.43 eV and 2.50 eV. Spectrum and extension coefficient ( $k$ ), optical conductivity ( $\sigma_{opt}$ ) increases while the index of refraction ( $n$ ) decreases as hydrothermal temperature increases. FTIR spectra and sizing of CNPs were performed using a 180 °C sample. The chemical functional groups that are formed are C-H, C-N, N=C=S, O=C=O and Nitrogen (NO<sub>2</sub>). The average size of the carbon nanoparticles was 11.09 nm based on the intensity (%), volume (%) and number (%) of the particles in the CNPs sample.

Keywords: carbon; hydrothermal; nanoparticles; optical properties

## PENDAHULUAN

Penelitian nano partikel karbon atau Carbon Nano Particles (CNPs) mencakup metode sintesis (Kariper et al., 2022), sumber karbon (Kotia et al., 2020), sifat optik (Mohiuddin et al., 2022) dan pengaplikasiannya (Maiti et al., 2019) terus dilakukan

sejak lima belas tahun terakhir (Jelinek, 2017). Sifat nano partikel karbon menyerupai sifat nano partikel pada semikonduktor anorganik sehingga menjadikan

material berbahan karbon tersebut berpeluang untuk menggantikan maupun digunakan secara bersama-

sama dengan semikonduktor anorganik dalam pengaplikasiannya (Khan et al., 2017). Selain itu, intensitas pendaran yang kuat dan stabilitas CNPs juga menjadi daya tarik untuk dikembangkan menjadi penelitian dan dimanfaatkan pada aplikasi sensor biokimiawi (Tuccitto et al., 2020), bioimaging (Bhunia et al., 2013), solar sel (Lazzarin et al., 2021) dan fotokatalis (Vatchalan & S., 2021).

Karbon adalah material dengan manfaat dan keunggulan dari perspektif fisika, kimia, biologi dan disiplin ilmu lainnya. Kualitas karbon membuat perbedaan besar berdasarkan morfologi (Acosta Gentoiu et al., 2017), dan sifat optik (Liu, 2020), seperti *carbon nanotube*, *fullerene* (Clancy et al., 2018) *graphene* (Ren et al., 2022) dan nano partikel karbon (Yu et al., 2022) di sintesis dengan metode tertentu (Porto et al., 2020). CNPs adalah material karbon berbentuk morfologi titik-titik dengan sifat yang ringan dan dapat disintesis dari berbagai sumber bahan alami. CNPs dapat disintesis dari daun bambu (Putro & Maddu, 2019), ubi jalar (Shen et al., 2017), susu (Bajpai et al., 2019), limbah industri tebu (Pandiyan et al., 2020), limbah rumah tangga (Himaja et al., 2014), limbah bawang merah (Bandi et al., 2016), daun tembakau (Dewi et al., 2016), dan sabuk kelapa (Chunduri et al., 2016).

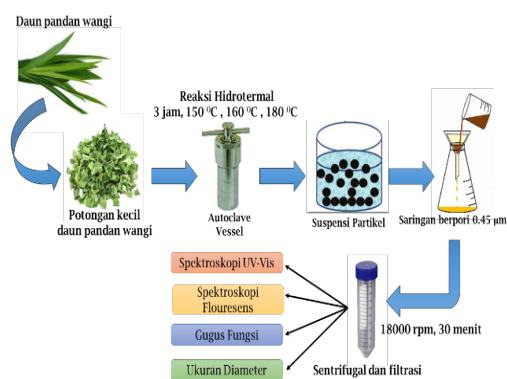
Pandan wangi merupakan salah satu tumbuhan monokotil dari famili *Pandanaceae* yang memiliki daun beraroma wangi yang khas. Daunnya merupakan komponen penting dalam tradisi masakan Indonesia dan negara-negara Asia Tenggara. Tumbuhan ini mudah dijumpai di pekarangan atau tumbuh liar ditepi selokan yang teduh. Tumbuhan pandan dapat tumbuh secara liar di habitat pesisir maupun area tropis dan subtropis, salah satunya adalah wilayah Indo-Malaysia dan Polinesia-Mikronesia maupun area Pasifik (Kiyato et al., 2022). Daun pandan wangi di sintesis dengan metode hidrotermal sebagai sumber karbon alami yang bertujuan untuk mengetahui ukuran partikel tersebut pada rentang skala nano meter (Kasmiarno et al., 2021). Daun pandan wangi banyak memiliki manfaat, sebagai rempah-rempah dalam pengolahan makanan dan pemberi warna hijau pada masakan (Sayoga et al., 2020). Selain itu daun pandan wangi juga memiliki banyak manfaat dalam bidang pengobatan (Rokhmah et al., 2021). Hasil penelitian terhadap kandungan kimia daun pandan wangi menunjukkan bahwa daun tanaman tersebut mengandung flavonoid, polifenol, tanin, saponin dan alkaloid (Gek Niken Tasya Lingling, 2023).

Hasil sintesis daun pandan dengan metode hidrotermal dikarakterisasi menggunakan peralatan spektroskopi UV-Vis untuk mengetahui intensitas absorbansi terhadap panjang gelombang cahaya (Dahlan et al., 2016), spektroskopi flouresens untuk

mengetahui intensitas flouresensi pada panjang gelombang yang lebih lebar (Putra et al., 2017). Uji FTIR untuk mengetahui sifat gugus fungsi dan senyawa kimia setelah di sintesis pada suhu 180 °C (Laksono et al., 2016). Penelitian ini menganalisa dan membahas keterkaitan sifat optik daun pandan wangi setelah di sintesis dengan metode hidrotermal. Parameter optik tersebut adalah nilai absorbansi terhadap panjang gelombang cahaya, intensitas flouresensi, koefisien absorpsi, transmitansi, energi gap, perubahan energi Stokes oleh energi emisi dan eksitasi ( $\Delta E$ ), indeks bias ( $n$ ), koefisien ekstensi ( $k$ ) serta nilai konduktivitas optik ( $\sigma_{opt}$ ) yang didapatkan berdasarkan formulasi. CNPs yang bersumber dari bahan alami menjadi peluang untuk diaplikasikan pada sistem biologis karena sifatnya yang rendah terhadap racun (Yuan et al., 2019), sebagai antioksidan (González-García et al., 2019), foto termal terapi (Sundaram & Abrahamse, 2020) dan foto dinamika terapi (Lagos et al., 2021). CNPs berbahan dasar kentang dapat bertindak sebagai probe untuk pencitraan sel pada jaringan epitel (Mehta et al., 2014).

## METODE

Daun pandan wangi dibersihkan menggunakan kain lap dan selanjutnya ditimbang sebanyak 12 gram. Daun pandan tersebut yang masih berupa lembaran dicuci bersih menggunakan air suling dan ditiriskan. Kemudian dilanjutkan dengan menggunting daun pandan wangi menjadi ukuran yang lebih kecil. Daun pandan wangi tersebut dalam ukuran kecil dimasukkan kedalam *Vessel Reactor* pada volume 600 mL dan ditambahkan air suling sebanyak 50 mL. Tabung dikatubkan hingga rapat dan dipanaskan pada suhu 150 °C selama tiga jam. Setelah pemanasan, dilanjutkan pendinginan secara alami. Prosedur ini dilanjutkan dengan suhu yang berbeda, yakni 160 °C dan 180 °C. Reaksi suhu hidrotermal terjadi pada *autoclave vessel*.



**Gambar 1.** Sintesis CNPs dengan metode hidrotermal.

Ilustrasi metode sintesis CNPs (daun pandan wangi) dapat dilihat pada gambar 1. Pada gambar 1 diperlihatkan metode sintesis CNPs mulai dari persiapan bahan daun pandan wangi sampai tahap karakterisasi sampel menggunakan spektroskopi UV-Vis, fluoresens, FT-IR dan Zetaziser untuk mengukur ukuran CNPs berdasarkan distribusi intensitas (%), volume (%) dan jumlah (nomor) (%) partikel yang terdeteksi. Hasil hidrotermal disaring dengan penyaring berpori 0,45  $\mu\text{m}$ , kemudian partikel-partikel yang berukuran lebih besar disentrifugal dengan kecepatan 18000 putaran per menit selama 30 menit pada suhu ruang. Mengisi botol dengan sampel CNPs untuk botol volume 50 mL. Memasukkan botol yang berisi sampel CNPs ke wadah *centrifuse* (sentrifugal) dengan posisi seimbang, mengatur suhu, kecepatan dan lama putaran yang dibutuhkan. CNPs dari hasil sentrifugal disimpan pada suhu ruang untuk selanjutnya dilakukan karakterisasi.

Pengukuran spektrum absorbansi dengan menggunakan sebanyak 2 mL larutan CNPs dimasukkan ke dalam kuvet yang telah dihubungkan langsung dengan alat spektroskopi UV-Vis dengan memfokuskan sumber cahaya ke kuvet tersebut. Pengukuran spektrum fluoresens dilakukan dengan menambahkan 2 ml larutan CNPs ke dalam kuvet yang telah terhubung dengan komponen peralatan spektroskopi tersebut dan monitor komputer. Data spektrum absorbansi dan fluoresens dalam bentuk hubungan terhadap panjang gelombang. Data spektrum absorbansi dan panjang gelombang digunakan untuk menentukan parameter koefisien absorpsi ( $\alpha$ ), nilai transmitansi (%T), energi foton ( $h\nu$ ) dan energi band gap ( $E_g$ ). Sebelum pengukuran, CNPs disaring dengan membran penyaring 0,2  $\mu\text{m}$ . Rumus untuk masing-masing parameter adalah:

$$\alpha = \frac{3,302 \cdot \text{Abs}}{d} \quad (1)$$

$$\%T = 10^{\text{Abs}} \cdot 100\% \quad (2)$$

$$E = \frac{h\nu}{\lambda} \quad (3)$$

$$(\alpha h\nu)^n = A(h\nu - E_g) \quad (4)$$

Energi band gap ( $E_g$ ) diperoleh dengan menggunakan metode *Tauc Plot* atau penentuan celah pita optik dengan melihat grafik linier hubungan Energi ( $h\nu$ ) (sumbu x) terhadap  $(\alpha h\nu)^n$  (sumbu y) (Makula et al., 2018). Bilangan n adalah nilai transisi yang bergantung pada jenis transisi (transisi langsung  $n=1/2$  dan transisi tidak langsung  $n=2$ ) (Rabee & Razooqi, 2015). Energi foton ( $h\nu$ ) dihitung menggunakan persamaan (3), konstanta (h) adalah

$6.63 \times 10^{-34}$  J.s, ( $\lambda$ ) adalah panjang gelombang (nm), (A) adalah konstanta optik dan eksponen (n) tergantung pada jenis transisi (Indrayana & Suharyadi, 2018). Energi band gap ( $E_g$ ) dihitung berdasarkan nilai koefisien absorpsi dan energi ( $h\nu$ ) masing-masing suhu (150, 160 dan 180) °C. Hubungan antara energi foton ( $h\nu$ ) dengan koefisien absorpsi ditentukan dengan persamaan (4). ( $E_g$ ) di hitung berdasarkan nilai yang diperoleh dari koefisien absorpsi ( $\alpha$ ) menggunakan persamaan (1) dan energi foton ( $h\nu$ ) masing-masing sampel serta jenis transisi elektroniknya. Nilai transmitansi (%T) diperoleh menggunakan persamaan (2).

Perbedaan antara energi pita eksitasi dan pita emisi disebut pergeseran Stokes. Semakin besar  $\Delta E$ , semakin besar pergeseran Stokes menghasilkan band width optik yang lebih luas (Carvalho et al., 2014). Tingkat energi emisi lebih kecil jumlahnya dibandingkan dengan energi eksitasi dan menghasilkan warna yang berbeda pada fase eksitasi dan emisi. Panjang gelombang emisi selalu lebih panjang dari panjang gelombang eksitasi. Hal ini disebabkan proses relaksasi (Stopel et al., 2014). Energi transfer Stokes dihitung menggunakan persamaan (5).  $\Delta E$  adalah perubahan energi Stokes,  $E_{\text{Emisi}}$  adalah energi panjang gelombang ( $h\nu$ ) dari puncak fluoresensi, dan  $E_{\text{Eksitasi}}$  adalah energi panjang gelombang ( $h\nu$ ) dari puncak serapan absorbansi.

$$\Delta E = E_{\text{Eks.}} - E_{\text{Emi.}} \quad (5)$$

Identifikasi gugus fungsi CNPs pada rentang panjang bilangan gelombang (500-4000)  $\text{cm}^{-1}$ . Sampel CNPs yang di uji adalah hasil hidrotermal yang memiliki nilai intensitas serapan optik lebih besar dari yang lain. Kurva analisis dan data pengukuran bilangan gelombang terhadap nilai transmitansi (%T) diidentifikasi gugus fungsinya berdasarkan tabel spektrum FT-IR. Metode pengukuran distribusi ukuran nano partikel karbon menggunakan rentang nilai rata-rata berdasarkan parameter intensitas (%), volume (%) dan nomor (%), sehingga ukuran nano partikel adalah hasil akumulasi rata-rata parameter. Spektrum reflektansi (%R) dibuat menggunakan persamaan (6), dimana nilai (T) adalah transmitansi (%T) dan (A) adalah nilai absorbansi. Akumulasi nilai indeks bias (n) menggunakan reflektansi (%R) menghasilkan persamaan (7). Nilai koefisien (k) menggunakan persamaan (8) menghubungkan nilai koefisien serap ( $\alpha$ ) dan panjang gelombang ( $\lambda$ ). Nilai konduktivitas optik ( $\sigma_{\text{opt.}}$ ) didasarkan pada nilai indeks bias (n) dan koefisien serapan ( $\alpha$ ) pada persamaan (9) (Waleed. B. Abdala, 2018).

$$R = 1 - (T + A) \tag{6}$$

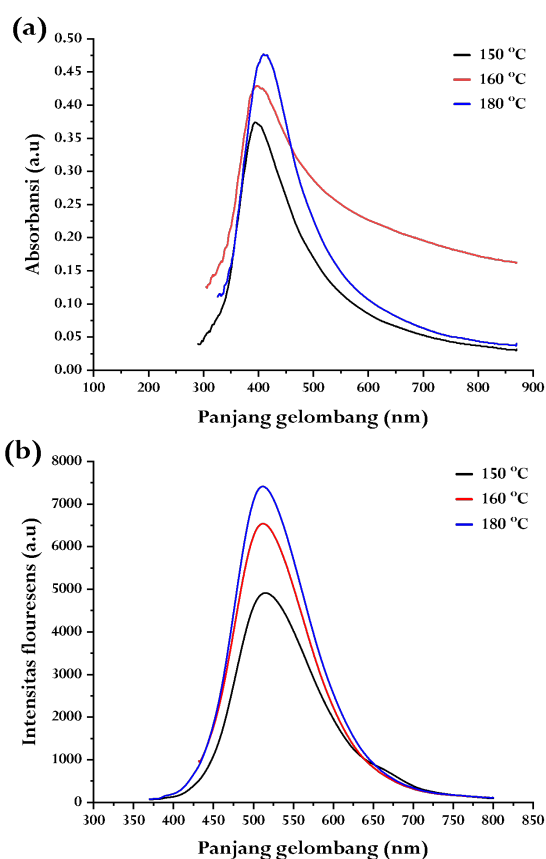
$$R = \frac{(n - 1)^2}{(n + 1)^2} \tag{7}$$

$$k = \frac{\alpha\lambda}{4\pi} \tag{8}$$

$$\sigma_{opt} = \frac{\alpha nc}{4\pi} \tag{9}$$

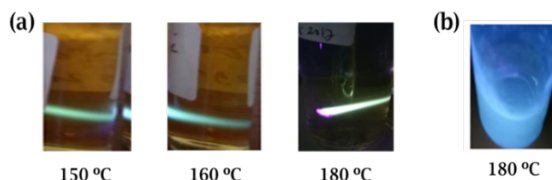
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis CNPs berbahan daun pandan wangi dengan metode hidrotermal menunjukkan pengaruh suhu terhadap perubahan nilai absorbansi dan intensitas fluoresensi. Gambar 2 (a) dan (b) pada suhu yang berbeda terjadi pergeseran absorpsi panjang gelombang yang lebih sempit dan pita emisi menuju panjang gelombang yang lebih lebar pada suhu 150 °C, 160 °C dan 180 °C. Suhu 180 °C cenderung memperlihatkan nilai yang lebih tinggi pada absorpsi dan emisi fluoresensi CNPs. Nilai pergeseran puncak panjang gelombang eksitasi (absorbansi) ke emisi (fluoresensi) adalah 127,87 nm (150 °C), 112,43 nm (160 °C) dan 99,68 nm (180 °C). Emisi fluoresensi yang dihasilkan oleh fotoluminesensi CNPs dari permukaan nano partikel tersebut yang terpasivasi akibat adanya rekombinasi radiatif dari pasangan elektron-hole.



**Gambar 2.** (a) Spektrum absorpsi UV-Vis dan (b) intensitas fluoresensi CNPs.

Gambar 2 (a) merupakan daerah serapan dalam kisaran *Ultra-Violet* (UV) berubah dengan setiap peningkatan suhu hidrotermal. Perbedaan ini menunjukkan adanya serapan optik pada panjang gelombang UV. Tiga puncak serapan mewakili transisi elektronik dari  $\pi$  ke  $\pi^*$  dan adanya konjugasi dalam struktur CNPs. Gambar 2 (a) menunjukkan stabilisasi partikel sebelum jatuh dari energi yang lebih tinggi. Daerah serapan yang berbeda menunjukkan adanya kelompok molekul yang berbeda. Molekul akan tereksitasi dari keadaan HOMO (*Highest Occupied Molecular Orbital*) ke keadaan LUMO (*Lowest Unoccupied Molecular Orbital*) saat berinteraksi dengan cahaya atau foton (Stoyanov et al., 2020). Gambar 2 (b) merupakan peristiwa photoluminescence CNPs yang mengalami pasivasi di permukaan karena perangkap energi permukaan yang mengarah ke stabilitas emisi. Tiga puncak panjang gelombang menunjukkan tepi pita serapan bergerak ke daerah panjang gelombang yang lebih lebar sehingga menyebabkan elektron tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi.



**Gambar 3.** (a) Pendaran hijau CNPs dari eksitasi laser 405 nm dan (b) luminesensi biru CNPs di atas lampu UV.

Perubahan puncak panjang gelombang tersebut merupakan emisi berwarna hijau ketika di eksitasi dengan laser 405 nm (gambar 3 a), sedangkan penyinaran dengan cahaya ultra ungu (UV) menghasilkan pendaran berwarna biru (gambar 3 b) yang mengindikasikan spektrum fluoresensi CNPs bergantung pada panjang gelombang eksitasinya. Rasio pada permukaan terhadap volume CNPs mempengaruhi partikel karbon yang di pasivasi (*inert*) pada bagian permukaannya sehingga menghasilkan fotoluminesensi warna biru yang kuat (gambar 3 b).

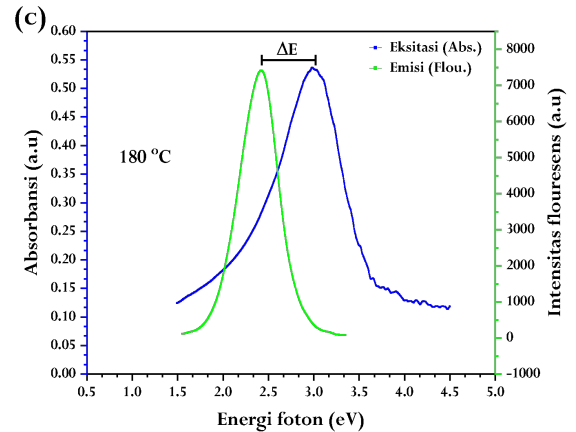
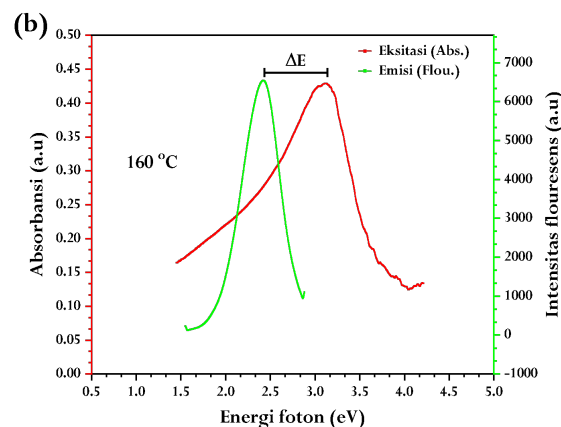
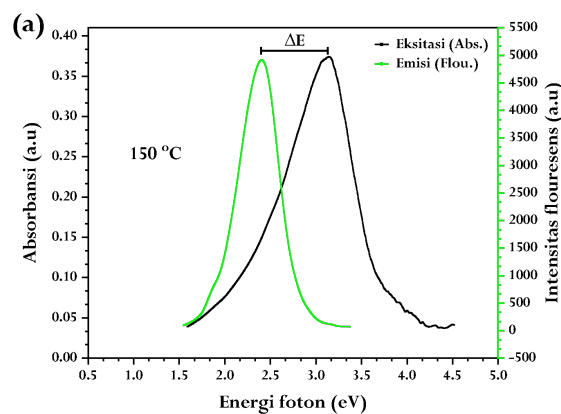
**Tabel 1.** Hasil pengukuran panjang gelombang absorbansi, intensitas fluoresensi dan pergeseran Stokes.

T (°C)	$\lambda$ -Abs. (nm)	$\lambda$ -Flou. (nm)	$\Delta\lambda$ -Pergeseran Stokes (nm)
150	396,31	524,18	127,87
160	399,61	512,04	112,43
180	411,24	510,92	99,68

**Tabel 2.** Hasil pengukuran nilai energi eksitasi absorbansi, emisi fluoresensi dan pergeseran energi Stokes.

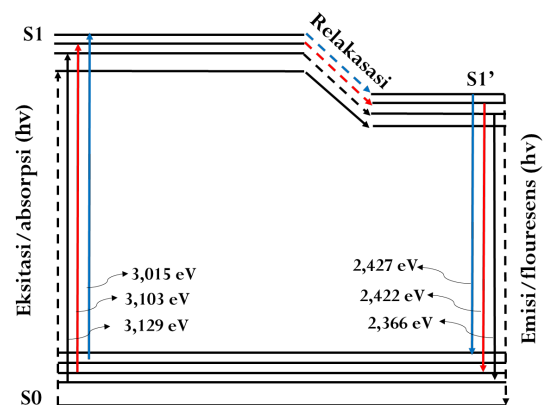
T (°C)	E-Eks. (hv) (eV)	E-Emi. (hv) (eV)	(ΔE) Stokes (eV)
150	3,129	2,366	0,763
160	3,103	2,422	0,681
180	3,015	2,427	0,588

Tabel 1 dan 2 merupakan distribusi hasil pengukuran dan perhitungan pada energi eksitasi dan emisi CNPs ketika penyerapan foton bergeser ke panjang gelombang yang lebih panjang atau energi yang lebih rendah. Hasil menunjukkan perbedaan keadaan molekul elektronik ketika disinari oleh foton. Spektrum serapan dan emisi CNPs berada pada panjang serapan puncak (396,31 nm – 524,18 nm) (150 °C), (399,61 – 512,04 nm) (160 °C), dan (411,24 nm – 510,920 nm) (180 °C). Perbedaan tersebut menunjukkan puncak serapan maksimum akibat foton yang terserap menyebabkan panjang gelombang yang diserap berubah menjadi lebih pendek atau energi yang lebih tinggi (gambar 4 (a), (b) dan (c)).



**Gambar 4.** (a), (b), dan (c) energi foton (hv) terhadap absorbansi dan intensitas fluoresns CNPs.

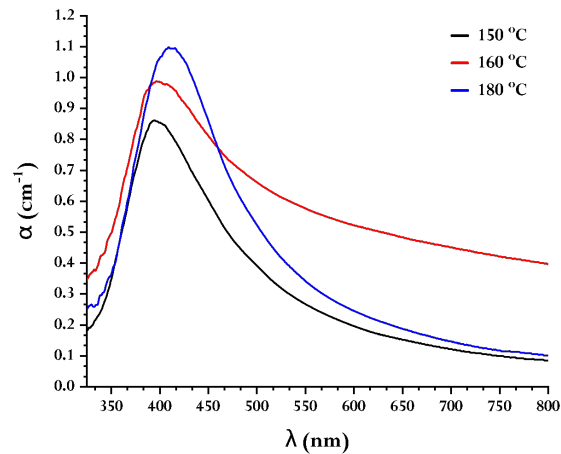
Pada saat CNPs kembali ke keadaan dasar (S0) kemudian memancarkan foton dengan energi (3,129 eV, 3,103 eV dan 3,015 eV) (hv-eksitasi), foton yang dipancarkan (hv-emisi) memiliki energi lebih rendah (2,366 eV, 2,422 eV dan 2,427 eV) dan panjang gelombang lebih panjang dari energi foton yang diserap (hv-eksitasi). Perbedaan antara eksitasi dan energi emisi (hv (eksitasi) – hv (emisi)) ditunjukkan pada gambar 5.



**Gambar 5.** Mekanisme fluoresns oleh energi eksitasi dan emisi CNPs.

Molekul CNPs dengan cepat tereksitasi (rileks) ke tingkat energi vibrasi yang paling rendah, yaitu (S1) ke (S1') akibat hilangnya energi. Sehingga spektrum emisi fluoresnsi tidak bergantung pada panjang puncak gelombang eksitasi. Emisi adalah peralihan molekul dari energi rendah ke energi yang lebih tinggi (HOMO menjadi LUMO), kemudian turun ke tingkat energi yang lebih rendah dan biasanya terjadi di daerah triplet (di Nunzio et al., 2021). Transisi elektronik pada CNPs terjadi karena perubahan penyerapan oleh foton dan lebar spektrum ditentukan oleh keadaan energi transisi elektronik. Peristiwa tersebut disebabkan oleh perbedaan energi

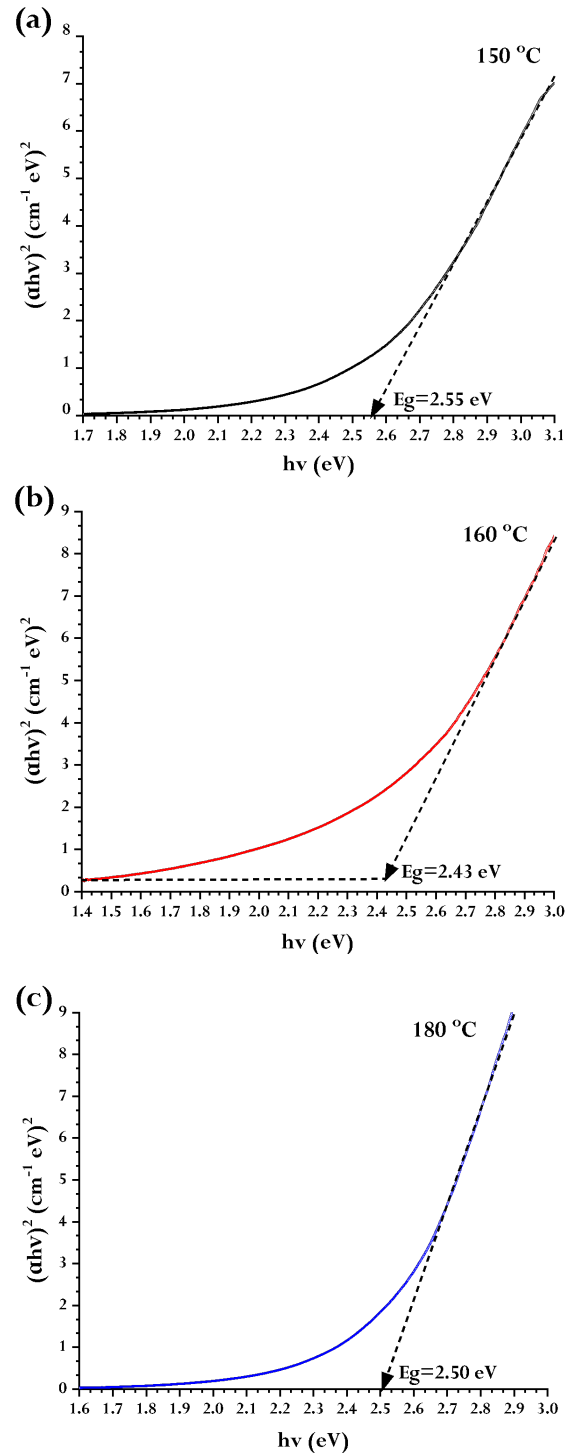
antara dua keadaan yang berbeda, karena keadaan vibrasi lebih kecil dari pada keadaan elektronik (Hamam & Alomari, 2017). Perubahan energi Stokes ( $\Delta E$ ) menunjukkan energi dengan nilai pergeseran 0,763 eV (150 °C), 0,681 eV (160 °C) dan 0,69 eV (180 °C) pada suhu sintesis hidrotermal. Pergeseran Stokes ini disebabkan oleh struktur CNPs dalam keadaan dasar berbeda pada keadaan tereksitasi (Brennan et al., 2017).



**Gambar 6.** Spektrum panjang gelombang terhadap koefisien absorpsi absorptansi.

Kurva koefisien serapan ( $\alpha$ ) versus panjang gelombang ( $\lambda$ ) untuk semua sampel CNPs pada gambar 5. Kurva menunjukkan bentuk transisi langsung karena koefisien serapan pada koefisien penyerapan dalam kisaran UV berubah dengan setiap perubahan suhu hidrotermal meningkat. Perbedaan antara nilai-nilai tersebut menunjukkan adanya serapan optik pada panjang gelombang UV. Tepi pita serapan bergerak ke daerah panjang gelombang yang lebih tinggi atau frekuensi yang lebih rendah.

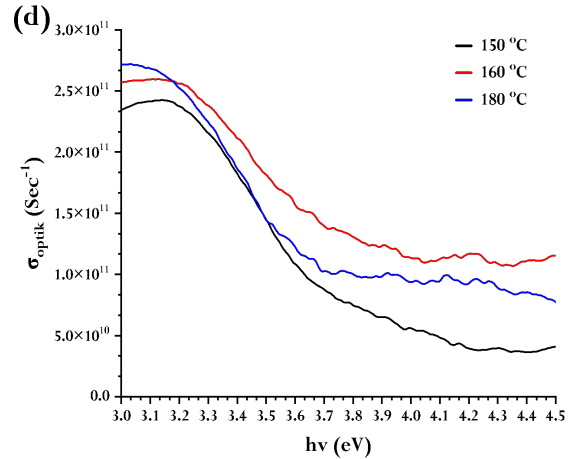
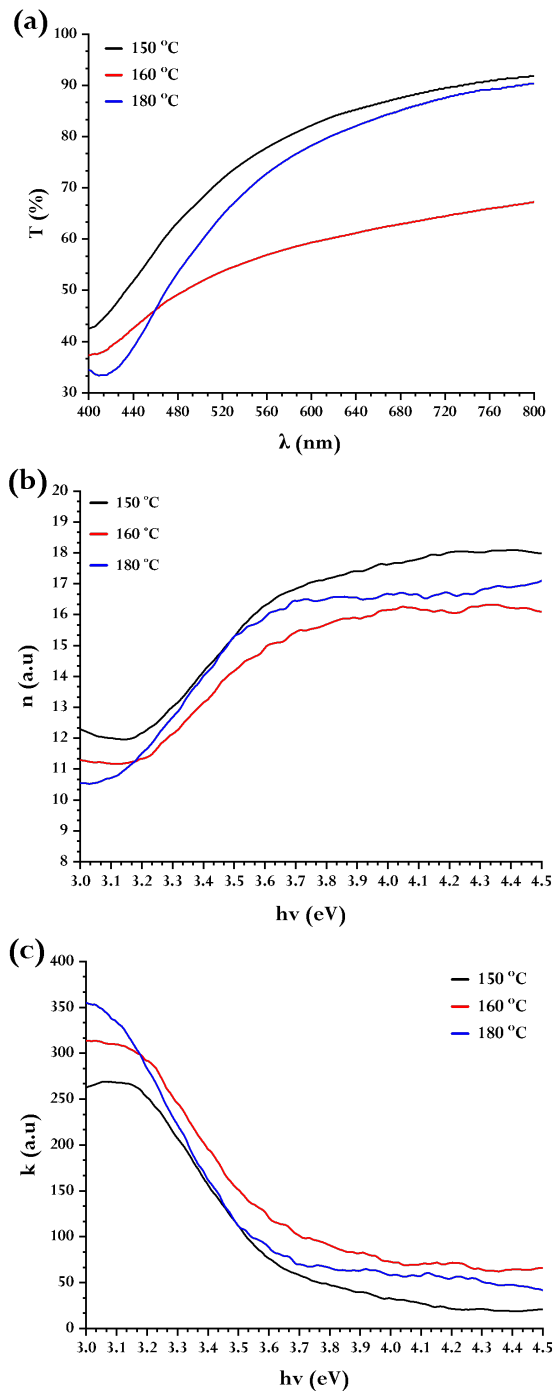
Pada dasarnya absorpsi foton terjadi ketika elektron pada pita valensi tereksitasi dan masuk ke pita konduksi sehingga terjadi elektron bebas pada pita konduksi dan hole pada pita valensi. Eksitasi dan penyerapan terjadi ketika energi foton lebih besar dari energi gap ( $E_g$ ). Nilai indeks bias ( $n$ ) merepresentasikan hubungan antara parameter suhu hidrotermal berdasarkan panjang gelombang serapan dan energi foton yang diserap. Transmittansi (%T) adalah perbandingan intensitas cahaya yang dipancarkan oleh sampel terhadap intensitas referensi. Analisis spektrum transmittansi (%T) terhadap panjang gelombang ( $\lambda$ ) menghasilkan koefisien serapan ( $\alpha$ ) yang merupakan fungsi dari panjang gelombang.



**Gambar 7.** (a), (b), dan (c) Energi gap foton ( $h\nu$ ) terhadap  $(\alpha h\nu)^2$  pada suhu sintesis.

Energi celah pita ( $E_g$ ) pada Gambar 7 (a), (b), dan (c) ditentukan berdasarkan kurva perpotongan linier dengan sumbu energi ( $h\nu$ ). Nilai energy gap ( $E_g$ ) masing-masing sampel adalah 2,55 eV (150 °C), 2,43 eV (160 °C) dan 2,50 eV (180 °C).  $E_g$  dari celah pita optik diperoleh dengan mengekstrapolasi grafik proporsional  $E = h\nu$  dan  $(\alpha h\nu)^2$  ke rentang linier untuk memotong sumbu energi foton.

Berdasarkan hasil tersebut terlihat bahwa perubahan suhu sintesis dengan metode hidrotermal dapat menyebabkan perubahan ( $E_g$ ) pada CNPs sehingga menyebabkan elektron tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi. Nilai energi gap ( $E_g$ ) bergantung pada jenis transisi elektronik. Hal ini disebabkan oleh perubahan nilai kurungan kuantum yang menyebabkan peningkatan energi kinetik pada medan kuantum yang disinari oleh foton. Peningkatan suhu hidrotermal menyebabkan perubahan panjang gelombang puncak dan energi celah pita ( $E_g$ ).



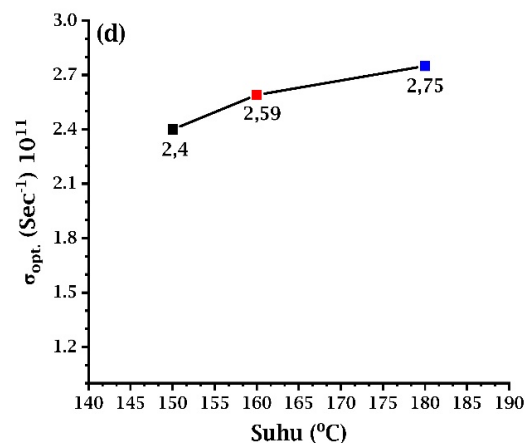
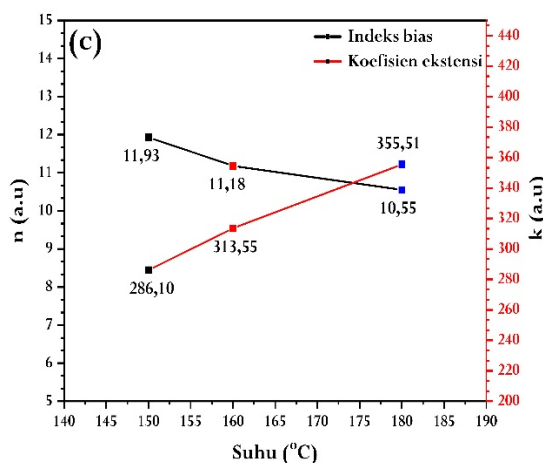
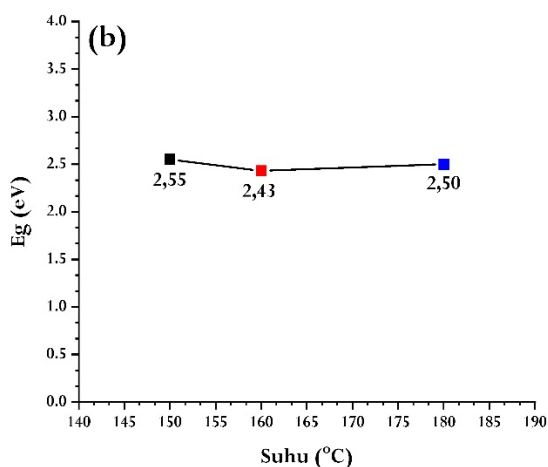
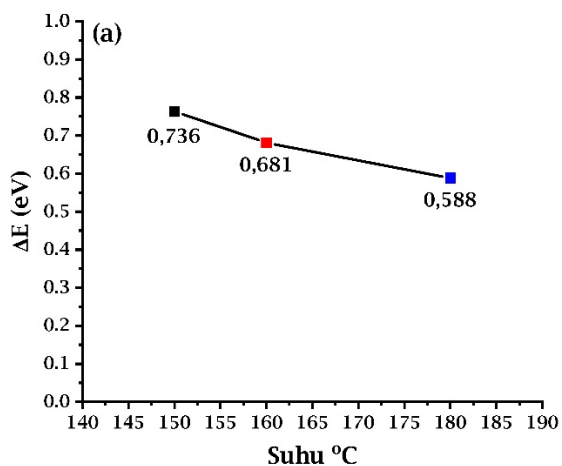
**Gambar 8.** Grafik suhu terhadap (a) Energi Stokes ( $\Delta E$ ), (b) Energi ban gap ( $E_g$ ), (c) Indeks bias ( $n$ )-koefisien ekstensi ( $k$ ) dan (d) Konduktivitas optik ( $\sigma_{opt}$ ).

Gambar 8 (a) merupakan hubungan antara panjang gelombang terhadap nilai transmitansi (%T), 8 (b) energi foton ( $h\nu$ ) terhadap indeks bias ( $n$ ), 8 (c) energi foton terhadap koefisien ekstensi ( $k$ ) dan energi foton terhadap konduktivitas optik ( $\sigma_{opt}$ ). Konduktivitas optik ( $\sigma_{opt}$ ) merupakan besaran penting yang menggambarkan sifat optik material tertentu (Rahman et al., 2016). Nilai konduktivitas optik sebagai fungsi energi foton untuk suhu hidrotermal terlihat berbeda (gambar 8 d). Nilai konduktivitas optik bertambah dengan meningkatnya suhu hidrotermal karena daun pandan wangi menyerap lebih banyak temeperatur reaktor hidrotermal. Secara matematis, hubungan antara konduktivitas optik dengan indeks bias ( $n$ ) dan koefisien serapan ( $\alpha$ ) telah disajikan melalui persamaan (9).

Karakteristik konduktivitas optik berubah oleh suhu sintesis hidrotermal yang berbeda (El Hachmi & Manoun, 2023). Perubahan tersebut disebabkan oleh sifat molaritas dan molekul CNPs dari daun pandan wangi. Pergeseran Stokes adalah transisi energi terkuantisasi yang disebabkan oleh medan listrik terpancar ke elektron. Peristiwa ini merupakan penyerapan energi cahaya dari laser pada panjang gelombang tertentu dan dipancarkan kembali energi cahaya pada panjang gelombang yang lebih panjang (Sednev et al., 2015).  $E_g$  merupakan energi celah pita yang nilai transisinya bergantung pada jenis transisi dan koefisien absorpsi (absorbansi). Secara struktural, indeks bias ( $n$ ) adalah fungsi dari polaritas atom dan gugus dalam molekul. Semakin polar molekulnya, semakin tinggi indeks biasnya. Sedangkan koefisien ekstensi ( $k$ ) pada gambar 8 (c) adalah sifat optik yang menentukan seberapa banyak suatu bahan menyerap cahaya pada panjang



gelombang tertentu (Petersen et al., 2017). Hubungan antara suhu hidrotermal terhadap parameter energi Stokes ( $\Delta E$ ), energi ban gap ( $E_g$ ), indeks bias ( $n$ ) dan koefisien ekstensi ( $k$ ) serta konduktivitas optik ( $\sigma_{opt}$ ) disajikan pada gambar 9 (a), (b), (c) dan (d).

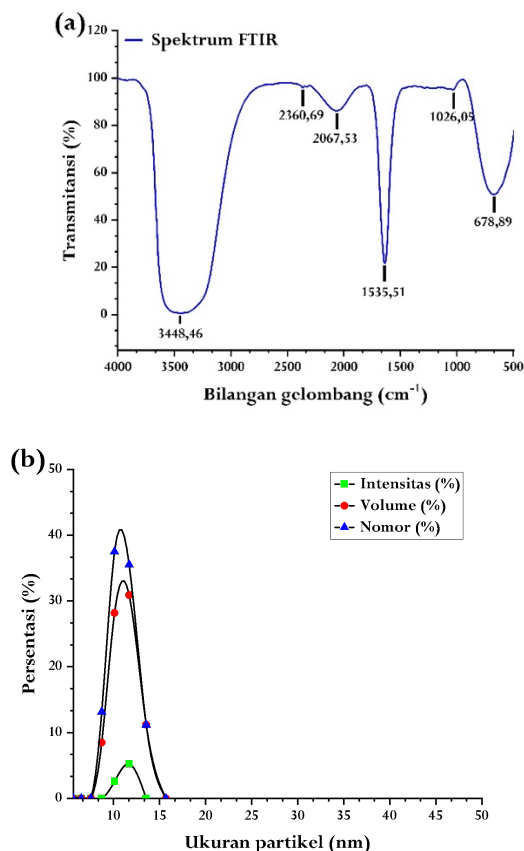


**Gambar 9.** Grafik suhu terhadap (a) Energi Stokes ( $\Delta E$ ), (b) Energi ban gap ( $E_g$ ), (c) Indeks bias ( $n$ )-koefisien ekstensi ( $k$ ) dan (d) Konduktivitas optik ( $\sigma_{opt}$ ).

Pada suhu 150  $^{\circ}C$  terlihat pergeseran energi Stokes lebih kecil ( $\Delta E=0,763$  eV) dari pada energi band gap ( $E_g=2,55$  eV). Hal yang sama terjadi pada suhu 160  $^{\circ}C$ , yaitu  $\Delta E$  adalah 0,681 eV sedangkan  $E_g=2,43$  eV dan 180  $^{\circ}C$ , yaitu  $\Delta E=0,588$  eV sedangkan  $E_g=2,50$  eV. Pengaruh suhu terhadap nilai indeks bias ( $n$ ) dan koefisien ekstensi ( $k$ ) terlihat pada gambar 9 (c). Pada saat suhu meningkat, maka nilai indeks bias ( $n$ ) berkurang, sedangkan nilai koefisien ekstensi bertambah. Nilai konduktivitas optik ( $\sigma_{opt}$ ) meningkat seiring bertambahnya suhu hidrotermal (gambar 9 (d)).

Spektra gugus fungsi (180  $^{\circ}C$ ) dianalisis menggunakan FTIR yang ditunjukkan pada gambar 10 (a) dan distribusi ukuran CNPs pada gambar 10 (b). Hasil pengukuran FTIR menunjukkan adanya kandungan gugus fungsi C-H daerah serapan 678,89  $cm^{-1}$ , C-N daerah serapan 1026,05  $cm^{-1}$ , senyawa Nitrogen ( $NO_2$ ) daerah serap 1535,51  $cm^{-1}$ , gugus  $N=C=S$  (*isothiocyanate*) daerah serapan 2067,53  $cm^{-1}$ , gugus  $O=C=O$  (*carbon dioxide*) daerah serapan 2360,69  $cm^{-1}$  dan gugus O-H daerah serapan 3448,46  $cm^{-1}$ . Analisis FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi struktur kimia partikel karbon serta keberadaan gugus fungsi di dalam partikel nano karbon. Hasil menunjukkan bahwa terjadi vibrasi regangan aromatik ( $N=C=S$ ) dan vibrasi regangan (O-H). Spektrum inframerah dari berbagai hasil penelitian berbeda antara satu dengan lainnya terkhusus pada titik karbon, yang bergantung pada sumber karbon, metode dan parameter reaksi (Tucureanu et al., 2016). Namun demikian, transisi elektronik pada inti karbon (C-H), gugus fungsi permukaan yang mencakup (C-N) dan ( $O=C=O$ ) merupakan transisi elektronik yang menjadi asal-muasal fluoresens pada nanopartikel karbon (Zeng et al., 2017).





**Gambar 10.** (a) Spektrum FTIR dan (b) distribusi ukuran nano partikel (CNPs).

Distribusi ukuran dengan metode hamburan cahaya dinamis yang didukung dengan Zetasizer version 7,11 menunjukkan CNPs yang disintesis pada suhu 180 °C selama tiga jam memiliki ukuran rata-rata 11,09 nm. Distribusi ukuran tersebut adalah hasil analisa berdasarkan pengolahan data ukuran partikel melalui intensitas (%), volume (%) dan nomor (%) pada sampel CNPs. Hal ini mengindikasikan CNPs yang dihasilkan pada sintesis ini belum tergolong sebagai titik karbon (*Carbon dots*) dengan ukuran kurang dari 10 nm yang disebabkan oleh partikel-partikel lain yang terdapat di dalam sampel.

Penelitian serupa dengan sumber karbon dan metode yang sama dilakukan oleh Laksmi Dewi Kasmiarno bersama kolega. Penelitian tersebut menggunakan suhu hidrotermal 200 °C selama 6 jam sehingga menghasilkan nilai energi gap sebesar 2,52 eV, 2,98 eV, 2,83 eV dan 3,30 eV (Kasmiarno et al., 2021). Nilai tersebut menunjukkan kemiripan nilai dengan penelitian ini (2,55 eV, 2,43 eV dan 2,50 eV) sehingga metode hidrotermal merupakan cara untuk menghasilkan sifat optik nano partikel karbon secara simpel dan sederhana.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Nano partikel karbon (CNPs) bersumber dari daun pandan wangi yang telah di sintesis dengan

metode hidrotermal menghasilkan absorbansi dan intensitas fluoresensi tertinggi pada suhu 180 °C. Peningkatan suhu hidrotermal menyebabkan perubahan energi Stokes pada rentang pergeseran panjang gelombang eksitasi dan emisi serta keadaan transisi elektronik. Perubahan suhu hidrotermal mempengaruhi hasil energi celah pita (*band gap*) berdasarkan energi foton, sehingga nilai koefisien ekstensi ( $k$ ) dan konduktivitas optik ( $\sigma_{opt}$ ) meningkat, sedangkan indeks bias ( $n$ ) menurun seiring bertambahnya suhu sintesis. Karakterisasi FTIR menghasilkan gugus fungsi struktur kimia carbon lebih dominan pada rentang bilangan gelombang 500-4000 cm<sup>-1</sup>. Ukuran rata-rata CNPs terdistribusi berdasarkan intensitas (%), volume (%) dan nomor (%) partikel karbon. Secara garis besar nilai dan sifat optik serta ukuran nano partikel karbon (CNPs) yang dihasilkan pada penelitian ini perlu pengontrolan suhu dan waktu lebih dari 3 kali secara linier sehingga dihasilkan sifat optik nano partikel karbon dari daun pandan wangi lebih stabil dengan konsentrasi pelarut yang berbeda.

## DAFTAR PUSTAKA

- Acosta Gentoiu, M., Betancourt-Riera, R., Vizireanu, S., Burducea, I., Marascu, V., Stoica, S. D., Bita, B. I., Dinescu, G., & Riera, R. (2017). Morphology, Microstructure, and Hydrogen Content of Carbon Nanostructures Obtained by PECVD at Various Temperatures. *Journal of Nanomaterials*, 2017, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2017/1374973>.
- 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.
- Brennan, M. C., Zinna, J., & Kuno, M. (2017). Existence of a Size-Dependent Stokes Shift in CsPbBr<sub>3</sub> Perovskite Nanocrystals. *ACS Energy Letters*, 2(7), 1487–1488. <https://doi.org/10.1021/acsenenergylett.7b00383>.

- Carvalho, M. T., Dominguez, C. T., de Araujo, C. B., Prasad, P. N., & Gomes, A. S. L. (2014). Three-Photon Pumped Anti-Stokes Emission in Random Lasers. *Latin America Optics and Photonics Conference*, LTu1C.3. <https://doi.org/10.1364/LAOP.2014.LTu1C.3>.
- 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. *Materials Focus*, 5(1), 55–61.
- Clancy, A. J., Bayazit, M. K., Hodge, S. A., Skipper, N. T., Howard, C. A., & Shaffer, M. S. P. (2018). Charged Carbon Nanomaterials: Redox Chemistries of Fullerenes, Carbon Nanotubes, and Graphenes. *Chemical Reviews*, 118(16), 7363–7408. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00128>.
- Dahlan, D., Leng, T. S., & Aziz, H. (2016). Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) dengan Sensitiser Dye Alami Daun Pandan, Akar Kunyit dan Biji Beras Merah (Black Rice). *JURNAL ILMU FISIKA | UNIVERSITAS ANDALAS*, 8(1), 1–8.
- Dewi, A. R. C., Aji, M. P., & Sulhadi, S. (2016). Absorbance spectrum carbon nanodots (c-dots) daun tembakau. *Prosiding seminar nasional fisika (e-journal) snf2016 unj*, snf2016-mps-129-snf2016-mps-134. <https://doi.org/10.21009/0305020225>
- di Nunzio, M. R., Gutiérrez, M., Moreno, J. M., Corma, A., Díaz, U., & Douhal, A. (2021). Interrogating the Behaviour of a Styryl Dye Interacting with a Mesoscopic 2D-MOF and Its Luminescent Vapochromic Sensing. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(1), 330.
- El Hachmi, A., & Manoun, B. (2023). Complex dielectric, electric modulus, impedance, and optical conductivity of  $\text{Sr}_{3-x}\text{Pb}_x\text{Fe}_2\text{TeO}_9$  ( $x = 1.50, 1.88$  and  $2.17$ ). *International Journal of Materials Research*, 114(2), 100–111. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-43911-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-43911-2_2).
- Gek Niken Tasya Lingling. (2023). Potensi Ekstrak Daun Pandan Wangi (*Pandanus amaryllifolius* Roxb) Sebagai Antibakteri Pada Sediaan Gel Facial Wash. *Prosiding Workshop dan Seminar Nasional Farmasi*, 1, 283–294. <https://doi.org/10.24843/WSNF.2022.v01.i01.p23>
- González-García, Y., López-Vargas, E. R., Cadenas-Pliego, G., Benavides-Mendoza, A., González-Morales, S., Robledo-Olivo, A., Alpuche-Solis, Á. G., & Juárez-Maldonado, A. (2019). Impact of Carbon Nanomaterials on the Antioxidant System of Tomato Seedlings. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(23), 5858. <https://doi.org/10.3390/ijms20235858>
- Hamam, K. J., & Alomari, M. I. (2017). A study of the optical band gap of zinc phthalocyanine nanoparticles using UV–Vis spectroscopy and DFT function. *Applied Nanoscience*, 7(5), 261–268. <https://doi.org/10.1007/s13204-017-0568-9>
- 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.
- Indrayana, I. P. T., & Suharyadi, E. (2018). Crystallite Size-Lattice Strain Estimation and Optical Properties of  $\text{Mn}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  Nanoparticles. *Journal of Physics: Conference Series*, 1011, 012063. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1011/1/012063>.
- Jelinek, R. (2017). Carbon-Dot Synthesis. In R. Jelinek, *Carbon Quantum Dots* (pp. 5–27). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-43911-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-43911-2_2).
- Kariper, İ. A., Hepokur, C., Danişman-Kalındemirtaş, F., & Kuruca, S. E. (2022). A new method for synthesis of carbon nanoparticle and its applications. *Journal of Taibah University for Science*, 16(1), 966–975. <https://doi.org/10.1080/16583655.2022.2131996>.
- 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.
- Khan, W. U., Wang, D., Zhang, W., Tang, Z., Ma, X., Ding, X., Du, S., & Wang, Y. (2017). High Quantum Yield Green-Emitting Carbon Dots for Fe(III) Detection, Biocompatible Fluorescent Ink and Cellular Imaging. *Scientific Reports*, 7(1), 14866. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15054-9>.

- Kiyato, P., Kamu, V. S., & Runtuwene, M. R. J. (2022). *Skrining Fitokimia dan Uji Aktivitas Antioksidan Fraksi Pelarut dari Ekstrak Metanol Batang Pandan Wangi (Pandanus amaryllifolius Roxb)*.
- Kotia, A., Yadav, A., Rohit Raj, T., Gertrud Keischgens, M., Rathore, H., & Sarris, I. E. (2020). Carbon Nanoparticles as Sources for a Cost-Effective Water Purification Method: A Comprehensive Review. *Fluids*, 5(4), 230.
- Lagos, K. J., Buzzá, H. H., Bagnato, V. S., & Romero, M. P. (2021). Carbon-Based Materials in Photodynamic and Photothermal Therapies Applied to Tumor Destruction. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(1), 22. <https://doi.org/10.3390/ijms23010022>.
- Laksono, E. W., Marfuatun, & Aji, D. (2016). Conductivity of Cellulose Acetate Membranes from Pandan Duri Leaves ( *Pandanus tectorius* ) for Li-ion Battery. *MATEC Web of Conferences*, 64, 04001. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20166404001>
- Lazzarin, L., Pasini, M., & Menna, E. (2021). Organic Functionalized Carbon Nanostructures for Solar Energy Conversion. *Molecules*, 26(17), 5286. <https://doi.org/10.3390/molecules26175286>
- Liu, M. (2020). Optical Properties of Carbon Dots: A Review. *Nanoarchitectonics*, 1(1), 1–12. <https://doi.org/10.37256/nat.112020124.1-12>
- Maiti, D., Tong, X., Mou, X., & Yang, K. (2019). Carbon-Based Nanomaterials for Biomedical Applications: A Recent Study. *Frontiers in Pharmacology*, 9, 1401. <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.01401>
- Makula, P., Pacia, M., & Macyk, W. (2018). How To Correctly Determine the Band Gap Energy of Modified Semiconductor Photocatalysts Based on UV–Vis Spectra. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 9(23), 6814–6817. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcllett.8b02892>
- Mehta, V. N., Jha, S., Singhal, R. K., & Kailasa, S. K. (2014). Preparation of multicolor emitting carbon dots for HeLa cell imaging. *New J. Chem.*, 38(12), 6152–6160. <https://doi.org/10.1039/C4NJ00840E>
- Mohiuddin, S. M. U. G., Aydarous, A., Alshahrie, A., Saeed, A., Memić, A., Abdullahi, S., & Salah, N. (2022). Structural, morphological, and optical properties of carbon nanoparticles unsheathed from date palm fronds. *RSC Advances*, 12(42), 27411–27420. <https://doi.org/10.1039/D2RA04189H>
- 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>
- Petersen, J. E., Twagirayezu, F., Scolfaro, L. M., Borges, P. D., & Geerts, W. J. (2017). Electronic and optical properties of antiferromagnetic iron doped NiO – A first principles study. *AIP Advances*, 7(5), 055711. <https://doi.org/10.1063/1.4975493>
- Porto, L. S., Silva, D. N., de Oliveira, A. E. F., Pereira, A. C., & Borges, K. B. (2020). Carbon nanomaterials: Synthesis and applications to development of electrochemical sensors in determination of drugs and compounds of clinical interest. *Reviews in Analytical Chemistry*, 38(3). <https://doi.org/10.1515/revac-2019-0017>.
- Putra, M., Darmawan, A., Wahdini, I., & Abasaheed, A. (2017). Extraction of chlorophyll from pandan leaves using ethanol and mass transfer study. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 82(7–8), 921–931. <https://doi.org/10.2298/JSC161203038P>.
- Putro, P. A., & Maddu, A. (2019). Sifat optik carbon dots (c-dots) dari daun bambu hasil sintesis hijau berbantuan gelombang mikro. *Wahana Fisika*, 4(1), 47. <https://doi.org/10.17509/wafi.v4i1.15569>.
- Rabee, B. H., & Razooqi, F. Z. (n.d.). *Investigation of Optical Properties for (PVA-PEG-Ag) Polymer Nanocomposites Films*.
- Rahman, Md. A., Rahaman, Md. Z., & Sarker, Md. A. R. (2016). First principles investigation of structural, elastic, electronic and optical properties of HgGeB<sub>2</sub> (B P, As)

- chalcopyrite semiconductors. *Computational Condensed Matter*, 9, 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.cocom.2016.09.001>.
- Ren, R., Zhong, Y., Ren, X., & Fan, Y. (2022). Chitosan-based oxygen-doped activated carbon/graphene composite for flexible supercapacitors. *RSC Advances*, 12(39), 25807–25814. <https://doi.org/10.1039/D2RA03949D>
- Rokhmah, N. N., Yulianita, Y., & Putra, R. A. (2021). EFEKTIVITAS GEL DAUN PANDAN WANGI SEBAGAI OBAT LUKA BAKAR PADA TIKUS PUTIH JANTAN. *Pharmacoscript*, 4(2), 131–140. <https://doi.org/10.36423/pharmacoscript.v4i2.595>.
- Sayoga, M. H., Wartini, N. M., & Suhendra, L. (2020). Pengaruh Ukuran Partikel dan Lama Ekstraksi terhadap Karakteristik Ekstrak Pewarna Alami Daun Pandan Wangi (*Pandanus amaryllifolius* R.). *JURNAL REKAYASA DAN MANAJEMEN AGROINDUSTRI*, 8(2), 234. <https://doi.org/10.24843/JRMA.2020.v08.i02.p08>.
- Sednev, M. V., Belov, V. N., & Hell, S. W. (2015). Fluorescent dyes with large Stokes shifts for super-resolution optical microscopy of biological objects: A review. *Methods and Applications in Fluorescence*, 3(4), 042004. <https://doi.org/10.1088/2050-6120/3/4/042004>.
- Shen, J., Shang, S., Chen, X., Wang, D., & Cai, Y. (2017). Facile synthesis of fluorescence carbon dots from sweet potato for Fe<sup>3+</sup> sensing and cell imaging. *Materials Science and Engineering: C*, 76, 856–864. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.03.178>.
- Stopel, M. H. W., Blum, C., & Subramaniam, V. (2014). Excitation Spectra and Stokes Shift Measurements of Single Organic Dyes at Room Temperature. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 5(18), 3259–3264. <https://doi.org/10.1021/jz501536a>
- Stoyanov, S. R., Komreddy, V., Rillema, D. P., Moore, C. E., & Nguyen, H. (2020). Synthesis and Computational and Experimental Investigations of a *para*-Nicotinic Acid-Bridged Dirhenium (I) Dimer Complex. *ACS Omega*, 5(22), 12944–12954. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c00704>.
- Sundaram, P., & Abrahamse, H. (2020). Phototherapy Combined with Carbon Nanomaterials (1D and 2D) and Their Applications in Cancer Therapy. *Materials*, 13(21), 4830.
- Tuccitto, N., Riela, L., Zammataro, A., Spitaleri, L., Li-Destri, G., Sfuncia, G., Nicotra, G., Pappalardo, A., Capizzi, G., & Trusso Sfrassetto, G. (2020). Functionalized Carbon Nanoparticle-Based Sensors for Chemical Warfare Agents. *ACS Applied Nano Materials*, 3(8), 8182–8191. <https://doi.org/10.1021/acsnm.0c01593>.
- Tucureanu, V., Matei, A., & Avram, A. M. (2016). FTIR Spectroscopy for Carbon Family Study. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 46(6), 502–520.
- Vatchalan, L., & S., P. (2021). Carbon Nano Particles as better Adsorbent against Photocatalytic Degradation for the Rhodamine—B Dye. *Journal of Water and Environmental Nanotechnology*, 6(3). <https://doi.org/10.22090/jwent.2021.03.004>.
- 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>.
- Yu, L., Tatsumi, D., & Kondo, T. (2022). Preparation of carbon nanoparticles from activated carbon by aqueous counter collision. *Journal of Wood Science*, 68(1), 29. <https://doi.org/10.1186/s10086-022-02036-3>.
- Yuan, X., Zhang, X., Sun, L., Wei, Y., & Wei, X. (2019). Cellular Toxicity and Immunological Effects of Carbon-based Nanomaterials. *Particle and Fibre Toxicology*, 16(1), 18.
- Zeng, Z., Zhang, W., Arvapalli, D. M., Bloom, B., Sheardy, A., Mabe, T., Liu, Y., Ji, Z., Chevva, H., Waldeck, D. H., & Wei, J. (2017). A fluorescence-electrochemical study of carbon nanodots (CNDs) in bio- and photoelectronic applications and energy gap investigation. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 19(30), 20101–20109. <https://doi.org/10.1039/C7CP02875J>.