

Pengaruh Variasi Konsentrasi Nanokomposit $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ terhadap Karakteristik Gugus Fungsi, Sifat Optik, dan Morfologi yang Disintesis melalui Pendekatan *Green Synthesis*

Angelika Ramona Putri Hasibuan^{(1,a)*}, Edi Suharyadi^(2,b), Suprihatin⁽¹⁾ dan Posman Manurung⁽¹⁾

⁽¹⁾Jurusan Fisika, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia, 35141

⁽²⁾Jurusan Fisika, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia, 55223

Email : ^(a)angelikaramona7@gmail.com, ^(b)esuharyadi@ugm.ac.id

Disubmisi: 20 Mei 2025, Direvisi: 20 April 2026

Abstract.

Background: $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ nanocomposites were successfully synthesized using a green synthesis approach by combining CoFe_2O_4 nanoparticles derived from *Moringa oleifera* extract with carbon dots (Cdots) prepared from watermelon rind.

Aims: This study aimed to investigate the effect of Cdots concentration on the functional groups, optical properties, and morphological characteristics of the synthesized nanocomposites.

Methods: Three different Cdots concentrations (10, 20, and 30 mL) were incorporated into CoFe_2O_4 to produce $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ -10, $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ -20, and $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ -30 samples. The synthesized nanocomposites were characterized using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Ultraviolet–Visible (UV–Vis) spectroscopy, and Transmission Electron Microscopy (TEM).

Results: FTIR analysis confirmed the presence of characteristic functional groups from both CoFe_2O_4 and Cdots, accompanied by shifts in several absorption bands, indicating chemical interactions between the two components. UV–Vis measurements revealed that increasing the Cdots concentration caused a blue shift in the absorption edge and an increase in the optical band gap energy, while the overall absorbance intensity remained relatively unchanged. TEM observations showed that all samples possessed semi-spherical morphologies with a tendency to agglomerate. However, higher Cdots concentrations resulted in smaller and more uniformly distributed nanoparticles, leading to an increased specific surface area. Selected Area Electron Diffraction (SAED) analysis demonstrated that the crystalline structure of the nanocomposites remained within the spinel CoFe_2O_4 phase.

Conclusion: These findings indicate that the incorporation of Cdots significantly influences the optical properties and particle size distribution without altering the primary crystal phase of CoFe_2O_4 .

Keywords: $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ nanocomposite, green synthesis, FTIR, UV–Vis, TEM, optical properties, morphology.

Abstrak.

Latar Belakang: Nanokomposit $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ berhasil diproduksi melalui penggabungan nanopartikel CoFe_2O_4 yang diperoleh dari ekstrak *Moringa oleifera* dengan *carbon dots* (Cdots) yang berasal dari limbah kulit semangka menggunakan metode sintesis hijau.

Tujuan: Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi konsentrasi Cdots terhadap gugus fungsi, sifat optik, dan karakteristik morfologi nanokomposit $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$.

Metode: Variasi volume Cdots yang digunakan terhadap CoFe_2O_4 adalah 10, 20, dan 30 mL sehingga dihasilkan sampel $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ -10, $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ -20, dan $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ -30. Seluruh sampel kemudian dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *Ultraviolet-Visible* (UV-Vis), dan *Transmission Electron Microscopy* (TEM).

Hasil: Analisis FTIR mengonfirmasi adanya gugus fungsi khas dari CoFe_2O_4 maupun Cdots serta menunjukkan pergeseran bilangan gelombang yang mengindikasikan terbentuknya interaksi kimia baru pada nanokomposit. Hasil pengujian UV-Vis memperlihatkan bahwa penambahan Cdots tidak memberikan perubahan absorbansi yang signifikan, namun menyebabkan pergeseran puncak serapan menuju panjang gelombang yang lebih pendek sehingga nilai energi celah pita (*band gap*) meningkat. Berdasarkan hasil TEM, seluruh sampel memiliki

morfologi semi-sferis dengan kecenderungan mengalami aglomerasi. Meskipun demikian, peningkatan konsentrasi Cdots menghasilkan ukuran partikel yang lebih kecil dan distribusi ukuran yang lebih homogen sehingga luas permukaan material meningkat. Pola SAED menunjukkan bahwa struktur kristal nanokomposit tetap mempertahankan fase CoFe_2O_4 .

Kesimpulan: Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan Cdots berpengaruh terhadap sifat optik dan distribusi ukuran partikel nanokomposit tanpa mengubah fase kristal utama CoFe_2O_4 .

Kata kunci: $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ nanocomposite, green synthesis, FTIR, UV-Vis, TEM, optical properties, morphology.

PENDAHULUAN

Perkembangan nanoteknologi dalam beberapa dekade terakhir mengalami kemajuan yang sangat pesat dan telah memberikan kontribusi signifikan pada berbagai bidang, seperti biomedis, sensor, fotokatalisis, perangkat nano, hingga teknologi lingkungan. Material berukuran nanometer memiliki karakteristik fisik, kimia, optik, dan magnetik yang berbeda dibandingkan material berukuran makro, sehingga memberikan peluang untuk menghasilkan material dengan performa yang lebih baik sesuai kebutuhan aplikasinya [1].

Salah satu material yang berkembang pesat dalam bidang nanoteknologi adalah nanokomposit. Nanokomposit merupakan material yang tersusun atas dua atau lebih nanopartikel yang dikombinasikan dalam suatu matriks sehingga mampu menghasilkan sifat yang lebih unggul dibandingkan masing-masing material penyusunnya. Penggabungan beberapa material pada skala nano dapat meningkatkan stabilitas, aktivitas permukaan, maupun karakteristik optik dan magnetiknya sehingga banyak dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi teknologi modern [2].

Salah satu material magnetik yang banyak dikembangkan adalah *Cobalt Ferrite* (CoFe_2O_4). Material ini memiliki struktur spinel dengan sifat magnetik yang baik, ditandai oleh nilai koersivitas yang tinggi, magnetisasi saturasi yang besar, serta resistivitas listrik yang relatif tinggi. Karakteristik tersebut menjadikan CoFe_2O_4 berpotensi diaplikasikan pada berbagai bidang, seperti penghantar obat (*drug*

delivery), *magnetic resonance imaging* (MRI), hipertermia magnetik, sensor magnetik, serta rekayasa material fungsional [3], [4].

Selain material magnetik, *carbon dots* (Cdots) juga menjadi salah satu nanomaterial yang menarik perhatian karena memiliki ukuran partikel kurang dari 10 nm, fluoresensi yang tinggi, stabilitas kimia yang baik, toksisitas rendah, serta biokompatibilitas yang sangat baik. Karakteristik tersebut memungkinkan Cdots diaplikasikan sebagai biosensor, *bio imaging*, fotokatalis, fototerapi, hingga material penghantar obat. Berbagai metode telah dikembangkan untuk mensintesis Cdots, di antaranya metode hidrotermal, iradiasi gelombang mikro, dan oksidasi kimia. Di antara berbagai metode tersebut, sintesis hidrotermal merupakan metode yang paling sederhana, ekonomis, ramah lingkungan, serta mampu menghasilkan partikel dengan ukuran yang relatif seragam [5]-[9].

Kombinasi antara CoFe_2O_4 dan Cdots dalam bentuk nanokomposit diharapkan mampu mengintegrasikan sifat magnetik CoFe_2O_4 dengan karakteristik optik Cdots sehingga menghasilkan material multifungsi yang memiliki performa lebih baik dibandingkan material tunggal. Selama ini sintesis nanokomposit umumnya dilakukan menggunakan metode konvensional yang membutuhkan bahan kimia dalam jumlah besar, proses yang relatif kompleks, serta menghasilkan limbah yang kurang ramah lingkungan. Oleh karena itu, pendekatan *green synthesis* menjadi alternatif yang lebih berkelanjutan karena memanfaatkan senyawa alami sebagai agen pereduksi maupun penstabil nanopartikel. Metode ini menawarkan berbagai keunggulan, antara

lain biaya yang lebih rendah, proses sintesis yang sederhana, serta dampak lingkungan yang lebih kecil [10],[11].

Beberapa penelitian telah memanfaatkan ekstrak tanaman sebagai bahan utama dalam sintesis hijau nanopartikel, seperti ekstrak kulit manggis (*Garcinia mangostana*) dan daun kelor (*Moringa oleifera*). Kandungan senyawa bioaktif, terutama flavonoid dan polifenol, berperan sebagai agen pereduksi dan penstabil selama pembentukan nanopartikel sehingga dapat menghasilkan material yang lebih stabil serta memiliki biokompatibilitas yang lebih baik [10]-[12].

Beberapa penelitian telah memanfaatkan ekstrak tanaman sebagai bahan utama dalam sintesis hijau nanopartikel, seperti ekstrak kulit manggis (*Garcinia mangostana*) dan daun kelor (*Moringa oleifera*). Kandungan senyawa bioaktif, terutama flavonoid dan polifenol, berperan sebagai agen pereduksi dan penstabil selama pembentukan nanopartikel sehingga dapat menghasilkan material yang lebih stabil serta memiliki biokompatibilitas yang lebih baik [13]. Di sisi lain, nanopartikel CoFe_2O_4 juga telah banyak dimanfaatkan pada berbagai aplikasi, seperti cairan magnetik, sistem penghantar obat, *magnetic resonance imaging* (MRI), hipertermia magnetik untuk terapi kanker, serta sensor berbasis efek giant *magnetoresistance* (GMR) [3],[4].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi konsentrasi Cdots terhadap karakteristik gugus fungsi, sifat optik, serta struktur morfologi nanokomposit $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ yang disintesis menggunakan metode green synthesis. Variasi volume Cdots yang digunakan adalah 10 mL, 20 mL, dan 30 mL. Karakterisasi material dilakukan menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *Ultraviolet-Visible Spectroscopy* (UV-Vis), dan *Transmission Electron Microscopy* (TEM) untuk mengevaluasi perubahan struktur kimia,

sifat optik, serta morfologi nanokomposit yang dihasilkan [13], [16].

METODE PENELITIAN

Alat yang digunakan yaitu gelas beker, labu Erlenmeyer, spatula, magnetic stirrer, furnace, kertas pH, neraca digital Ohaus, autoclave, kertas saring Whatman, corong, termometer, ultrasonic cleaner, plastic wrap, aluminium foil, serta instrumen karakterisasi berupa *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *Ultraviolet-Visible* (UV-Vis), dan *Transmission Electron Microscopy* (TEM). Adapun bahan yang digunakan terdiri atas serbuk daun *Moringa oleifera*, akuades, $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, NaOH, etanol, dan kulit semangka sebagai sumber karbon untuk sintesis carbon dots.

Prosedur penelitian ini diawali dengan Sebanyak 5 g serbuk daun *Moringa oleifera* dicampurkan ke dalam 60 mL akuades, kemudian dipanaskan pada suhu 60°C sambil diaduk menggunakan magnetic stirrer dengan kecepatan 600 rpm selama satu jam. Setelah proses pemanasan selesai, larutan didinginkan hingga mencapai suhu ruang, kemudian disaring menggunakan kertas Whatman untuk memperoleh filtrat ekstrak yang selanjutnya digunakan sebagai agen pereduksi pada proses sintesis nanopartikel.

Nanopartikel CoFe_2O_4 disintesis menggunakan metode kopresipitasi berbasis sintesis hijau. Sebanyak 1,18 g $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan 2,70 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ masing-masing dilarutkan dalam 15 mL akuades hingga homogen. Kedua larutan kemudian dicampurkan dan diaduk selama 5 menit. Selanjutnya, 20 mL ekstrak *Moringa oleifera* ditambahkan secara perlahan sambil terus diaduk selama 30 menit. Larutan NaOH dibuat dengan melarutkan 3 g NaOH ke dalam 50 mL akuades, kemudian dipanaskan pada suhu 80°C sambil diaduk pada kecepatan 600 rpm selama 15 menit. Campuran prekursor logam ditetaskan secara bertahap ke dalam larutan NaOH dan diaduk selama 60 menit hingga terbentuk endapan. Endapan yang dihasilkan

didinginkan hingga suhu ruang, kemudian dicuci menggunakan akuades sebanyak tujuh kali untuk menghilangkan sisa ion yang tidak bereaksi. Produk hasil pencucian dikeringkan pada suhu 80°C selama 7 jam, kemudian dikalsinasi pada suhu 600°C selama 5,5 jam. Setelah proses kalsinasi selesai, sampel digerus hingga diperoleh serbuk halus CoFe₂O₄.

Carbon dots disintesis menggunakan metode hidrotermal dengan memanfaatkan limbah kulit semangka sebagai sumber karbon. Campuran kulit semangka, etanol, dan akuades sebanyak 15 mL dihomogenkan menggunakan magnetic stirrer selama 30 menit tanpa pemanasan. Selanjutnya, larutan dimasukkan ke dalam autoclave dan dipanaskan pada suhu 180°C selama 3 jam. Setelah proses hidrotermal selesai, larutan didinginkan hingga suhu ruang, kemudian disaring menggunakan kertas Whatman untuk memperoleh larutan Cdots.

Nanokomposit disiapkan dengan mencampurkan 0,5 g serbuk CoFe₂O₄ ke dalam larutan Cdots dengan variasi volume 10, 20, dan 30 mL. Campuran kemudian disonikasi selama 30 menit untuk meningkatkan homogenitas dan memperkuat interaksi antarmaterial. Setelah proses sonikasi, suspensi didiamkan selama 24 jam agar Cdots dapat terikat secara optimal pada permukaan CoFe₂O₄. Selanjutnya, sampel dicuci menggunakan akuades sebanyak tiga kali, masing-masing selama 15 menit, kemudian dikeringkan pada suhu 90°C selama 4 jam. Produk yang telah kering digerus hingga diperoleh serbuk nanokomposit CoFe₂O₄/Cdots yang siap dikarakterisasi.

Karakterisasi material dilakukan menggunakan beberapa teknik analisis. *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan interaksi kimia yang terbentuk pada nanokomposit. Sifat optik material dianalisis menggunakan *Ultraviolet-Visible Spectroscopy* (UV-Vis) melalui pengamatan spektrum absorbansi dan perhitungan energi celah pita (*band gap*). Morfologi permukaan,

distribusi ukuran partikel, serta struktur kristal diamati menggunakan *Transmission Electron Microscopy* (TEM) dan *Selected Area Electron Diffraction* (SAED). Data hasil karakterisasi selanjutnya dianalisis menggunakan perangkat lunak Origin dan ImageJ untuk memperoleh parameter yang diperlukan dalam pembahasan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nanokomposit CoFe₂O₄/Cdots berhasil disintesis melalui penggabungan nanopartikel CoFe₂O₄ dan carbon dots (Cdots), yang masing-masing diperoleh menggunakan pendekatan *green synthesis*. Pada proses ini, ekstrak daun *Moringa oleifera* dimanfaatkan sebagai agen pereduksi dalam sintesis CoFe₂O₄, sedangkan kulit semangka digunakan sebagai sumber karbon pada sintesis Cdots. Setelah kedua material diperoleh, Cdots diimobilisasi pada permukaan CoFe₂O₄ sehingga terbentuk nanokomposit yang stabil.

Selama proses sintesis, campuran CoFe₂O₄ dan Cdots dikenai perlakuan sonikasi untuk meningkatkan dispersi partikel dan memperbesar peluang terjadinya interaksi antar material. Selanjutnya, suspensi didiamkan selama 24 jam agar Cdots dapat teradsorpsi secara optimal pada permukaan CoFe₂O₄. Kombinasi proses sonikasi dan *aging* dipilih karena relatif sederhana, mudah dilakukan, serta mampu menghasilkan nanokomposit dengan kestabilan yang baik dalam medium cair [14]. Variasi volume Cdots yang digunakan pada penelitian ini adalah 10, 20, dan 30 mL, sedangkan massa CoFe₂O₄ dipertahankan tetap. Komposisi masing-masing sampel disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Data Variasi antara CoFe O dan Cdots.

Kode Sampel	Bahan	
	CoFe ₂ O ₄ (gram)	Cdots (ml)
CoFe ₂ O ₄ /Cdots-10	0,5	10
CoFe ₂ O ₄ /Cdots-20	0,5	20
CoFe ₂ O ₄ /Cdots-30	0,5	30

Sintesis nanopartikel CoFe₂O₄ dilakukan menggunakan metode kopresipitasi, yaitu metode yang mengubah garam logam menjadi endapan hidroksida sebelum

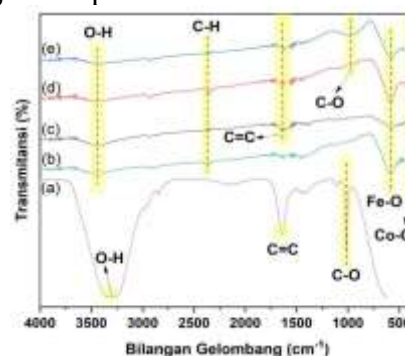
dikonversi menjadi oksida melalui proses pemanasan [15]. Senyawa $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ berperan sebagai sumber ion Co^{2+} dan Fe^{3+} , sedangkan NaOH menyediakan ion hidroksida (OH^-) yang memicu pembentukan endapan ferit. Munculnya endapan berwarna hitam menjadi indikasi bahwa nanopartikel CoFe_2O_4 telah berhasil terbentuk [16].

Selain NaOH , ekstrak *Moringa oleifera* juga berfungsi sebagai agen pereduksi karena kandungan flavonoidnya mampu mereduksi ion Co^{2+} dan Fe^{3+} menjadi nanopartikel CoFe_2O_4 [17]. Senyawa tersebut sekaligus bertindak sebagai penstabil sehingga mengurangi kecenderungan partikel mengalami aglomerasi. Dengan demikian, penggunaan ekstrak tanaman dapat mengurangi kebutuhan reagen kimia sintetis, menjadikan proses sintesis lebih ramah lingkungan, menghasilkan material dengan tingkat toksisitas yang lebih rendah, serta meningkatkan biokompatibilitas nanopartikel [18]. Secara umum, pembentukan nanopartikel CoFe_2O_4 berlangsung melalui tiga tahapan utama, yaitu nukleasi (aktivasi), pertumbuhan kristal, dan terminasi [16].

Carbon dots disintesis dari limbah kulit semangka menggunakan metode hidrotermal karena metode ini relatif sederhana, memiliki efisiensi sintesis yang tinggi, dan mampu menghasilkan nanopartikel dengan distribusi ukuran yang lebih seragam tanpa memerlukan agen pasivasi tambahan [19]. Pada tahap awal, kulit semangka dicampurkan dengan etanol dan akuades untuk melarutkan senyawa organik yang berfungsi sebagai prekursor karbon. Selama proses hidrotermal berlangsung, terjadi reaksi kondensasi, polimerisasi, dan karbonisasi yang menghasilkan carbon dots dengan sifat luminesensi yang baik [20].

Karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada Cdots, CoFe_2O_4 , dan nanokomposit $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$. Spektrum FTIR seluruh sampel

ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Spektrum FTIR (a) Cdots (b) CoFe_2O_4 (c) $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ -10 (d) $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ -20 (e) $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ -30

Berdasarkan **Gambar 1**, Cdots menunjukkan pita serapan pada bilangan gelombang sekitar 1003 cm^{-1} , 1642 cm^{-1} , dan 3300 cm^{-1} , yang masing-masing dikaitkan dengan vibrasi gugus C–O, C=C, dan O–H *stretching* [13]. Keberadaan ikatan C=C mengindikasikan terbentuknya inti karbon (*carbon core*), sedangkan gugus C–O merupakan bagian dari struktur permukaan Cdots [21], [22]. Pita serapan O–H menunjukkan adanya gugus hidroksil pada permukaan Cdots yang berkontribusi terhadap sifat hidrofilik dan kelarutan material di dalam medium cair [23]. Intensitas pita O–H yang relatif tinggi juga mengindikasikan banyaknya gugus hidroksil yang tersisa pada permukaan nanopartikel.

Pada sampel CoFe_2O_4 , pita serapan utama muncul pada sekitar 573 cm^{-1} dan 404 cm^{-1} , yang merupakan karakteristik vibrasi ikatan Fe–O dan Co–O pada struktur spinel CoFe_2O_4 [16]. Selain itu, pita lebar pada 3439 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus hidroksil (O–H), sedangkan pita di sekitar 2361 cm^{-1} dikaitkan dengan vibrasi ikatan C–H *stretching*.

Spektrum FTIR nanokomposit $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ pada seluruh variasi konsentrasi masih memperlihatkan pita serapan khas dari kedua material penyusunnya. Pita serapan pada rentang $394\text{--}583\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan keberadaan ikatan logam–oksigen (Co–O dan Fe–O), sedangkan pita pada kisaran $936\text{--}973\text{ cm}^{-1}$, $1622\text{--}1632\text{ cm}^{-1}$, dan 3449 cm^{-1} masing-masing berkaitan dengan gugus C–O, C=C, dan O–H. Selain itu, pita serapan pada rentang 2361--

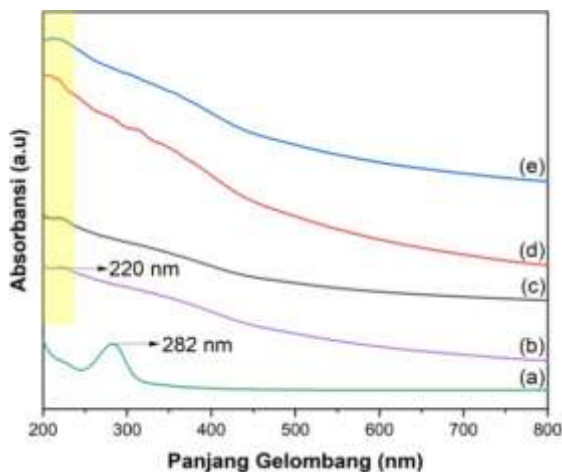
2371 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi C–H stretching.

Hasil identifikasi gugus fungsi beserta bilangan gelombangnya dirangkum pada **Tabel 2**. Berdasarkan data tersebut, pembentukan nanokomposit tidak menghilangkan gugus fungsi utama dari CoFe_2O_4 maupun Cdots. Akan tetapi, beberapa pita serapan mengalami pergeseran bilangan gelombang setelah

kedua material dikombinasikan. Pergeseran tersebut menunjukkan adanya interaksi antarmaterial yang menyebabkan perubahan energi vibrasi ikatan. Dengan demikian, hasil karakterisasi FTIR mengonfirmasi bahwa proses pembentukan nanokomposit $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ berlangsung dengan baik dan menghasilkan material yang menggabungkan karakteristik kedua penyusunnya.

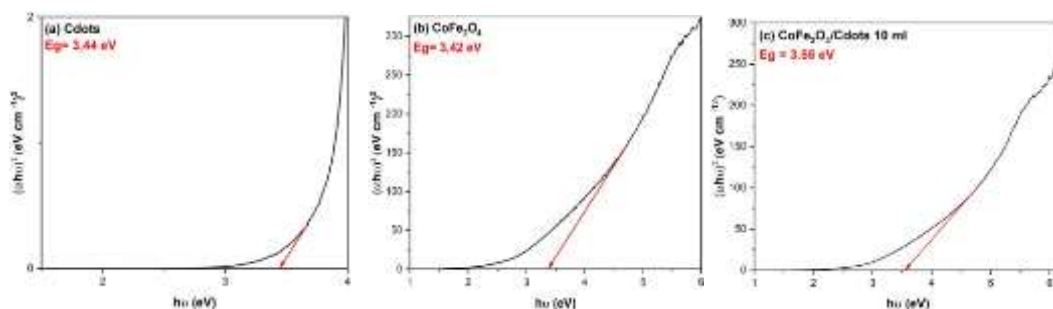
Tabel 2. Gugus Fungsi dan Bilangan Gelombang.

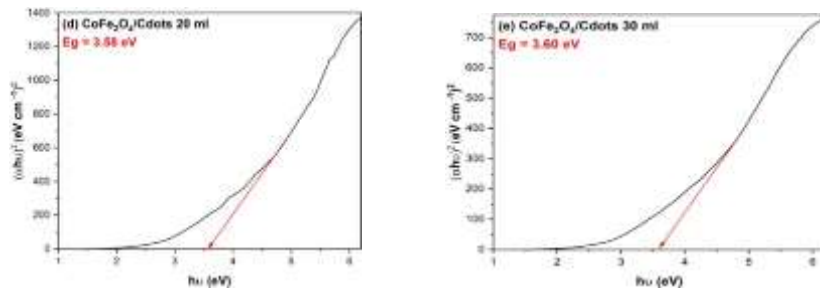
No	Ikatan Molekul (Gugus Fungsi)	Bilangan Gelombang (cm^{-1})				
		Cdots	CoFe_2O_4	$\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots-10}$	$\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots-20}$	$\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots-30}$
1.	O-H (<i>Stretching</i>)	3300	3439	3449	3449	3449
2.	C-H (<i>Stretching</i>)	-	2361	2361	2371	2371
3.	C=C (<i>Stretching</i>)	1642	-	1632	1622	1622
4.	C-O (<i>Stretching</i>)	1003	-	-	963	973
5.	Fe-O (<i>Stretching</i>)	-	573	583	583	583
6.	Co-O (<i>Stretching</i>)	-	404	394	394	394



Gambar 2. Spektrum UV-Vis (a) Cdots (b) CoFe_2O_4 (c) $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots-10}$ (d) $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots-20}$ (e) $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots-30}$.

Karakterisasi menggunakan *Ultraviolet-Visible Spectroscopy* (UV-Vis) dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh variasi konsentrasi Cdots terhadap sifat optik nanokomposit $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$. Spektrum absorbansi masing-masing sampel ditunjukkan pada **Gambar 2**, sedangkan nilai energi celah pita (*band gap energy*) yang diperoleh melalui metode Tauc plot ditampilkan pada **Gambar 3**. Hasil perhitungan nilai *band gap* setiap sampel disajikan pada **Tabel 3**.





Gambar 3. Grafik Band Gap Energy (a)Cdots (b)CoFe₂O₄ (c)CoFe₂O₄/Cdotes-10 (d)CoFe₂O₄/Cdotes 20 (e)CoFe₂O₄/Cdotes-30.

Berdasarkan **Gambar 2**, Cdots memperlihatkan puncak absorbansi yang kuat pada panjang gelombang sekitar 282 nm. Puncak serapan ini merupakan karakteristik khas carbon dots dan menunjukkan bahwa Cdots hasil sintesis dari kulit semangka mampu menyerap radiasi pada daerah ultraviolet. Karakteristik tersebut mengindikasikan bahwa Cdots berpotensi dimanfaatkan sebagai material fotokatalis maupun material optik yang bekerja pada daerah spektrum UV [19].

Spektrum absorbansi nanopartikel CoFe₂O₄ memiliki puncak utama pada sekitar 220 nm. Setelah dikombinasikan dengan Cdots, posisi puncak absorbansi mengalami pergeseran menuju panjang gelombang yang lebih pendek (*blue shift*). Pergeseran tersebut tampak pada sampel CoFe₂O₄/Cdotes-10, CoFe₂O₄/Cdotes-20, dan CoFe₂O₄/Cdotes-30 dengan puncak absorbansi masing-masing berada di sekitar 218 nm, 213 nm, dan 208 nm. Munculnya puncak pada daerah tersebut mengindikasikan keberadaan struktur karbon yang berasal dari Cdots [19]. Selain itu, keberadaan rantai karbon dari senyawa flavonoid pada ekstrak *Moringa oleifera* juga diduga berkontribusi terhadap munculnya puncak absorbansi tersebut pada sampel CoFe₂O₄.

Meskipun perubahan intensitas absorbansi tidak terlalu besar, penambahan Cdots menyebabkan terjadinya penurunan puncak absorbansi maksimum CoFe₂O₄. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan Cdots memengaruhi transisi elektronik pada permukaan nanokomposit sehingga sifat optiknya mengalami perubahan.

Nilai *band gap energy* yang diperoleh

dari setiap sampel ditunjukkan pada **Tabel 3**. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa CoFe₂O₄ murni memiliki energi celah pita sebesar 3,42 eV, sedangkan setelah dikombinasikan dengan Cdots nilainya meningkat menjadi 3,55 eV, 3,58 eV, dan 3,60 eV untuk variasi 10, 20, dan 30 mL.

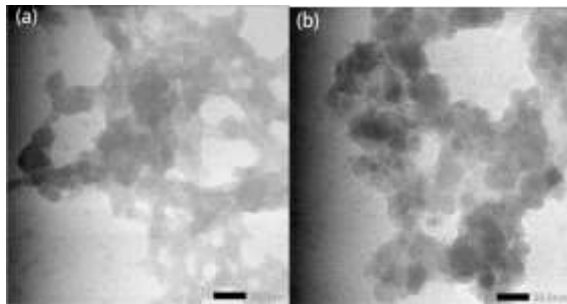
Tabel 3. Band gap energy dan Panjang Gelombang.

No	Sampel	Band Gap (eV)	Panjang Gelombang (nm)
1	Cdots	3.44	282
2	CoFe ₂ O ₄	3.42	220
3	CoFe ₂ O ₄ /Cdotes-10	3.55	218
4	CoFe ₂ O ₄ /Cdotes-20	3.58	213
5	CoFe ₂ O ₄ /Cdotes-30	3.60	208

Peningkatan nilai *band gap* menunjukkan bahwa konsentrasi Cdots memberikan pengaruh terhadap struktur elektronik nanokomposit. Fenomena ini berkaitan dengan berkurangnya ukuran partikel sebagaimana ditunjukkan pada hasil karakterisasi TEM. Menurut teori *quantum confinement*, semakin kecil ukuran nanopartikel maka elektron akan semakin terkungkung sehingga energi yang diperlukan untuk berpindah dari pita valensi menuju pita konduksi menjadi lebih besar. Akibatnya, nilai *band gap energy* akan meningkat seiring dengan berkurangnya ukuran partikel [24].

Karakterisasi morfologi dilakukan menggunakan *Transmission Electron Microscopy* (TEM) untuk mengamati

bentuk partikel, distribusi ukuran, serta tingkat aglomerasi nanokomposit $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$. Hasil pengamatan morfologi ditampilkan pada **Gambar 4**, sedangkan distribusi ukuran partikel diperlihatkan pada **Gambar 5**.



Gambar 4. Citra Morfologi Nanokomposit
(a) $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ -10 (b) $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ -30

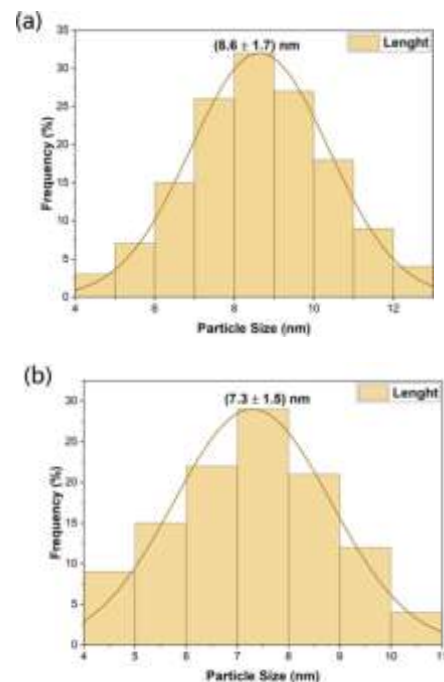
Berdasarkan **Gambar 4**, nanokomposit $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ -10 maupun $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ -30 menunjukkan morfologi yang relatif serupa, yaitu berbentuk semi-spherical. Selain itu, kedua sampel memperlihatkan kecenderungan membentuk aglomerasi. Kondisi ini merupakan karakteristik yang umum dijumpai pada nanopartikel magnetik akibat adanya interaksi gaya Van der Waals maupun gaya tarik magnet antarnanopartikel [25].

Walaupun memiliki bentuk morfologi yang hampir sama, tingkat aglomerasi kedua sampel menunjukkan perbedaan. Sampel $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ -30 tampak mengalami aglomerasi yang lebih tinggi dibandingkan $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ -10. Kondisi tersebut diduga berkaitan dengan meningkatnya jumlah Cdots yang menempel pada permukaan CoFe_2O_4 . Keberadaan gugus hidroksil pada permukaan Cdots memungkinkan terbentuknya interaksi antarmaterial yang lebih kuat sehingga kecenderungan partikel untuk beragregasi menjadi lebih besar.

Di sisi lain, batas antarpartikel (*particle boundary*) pada sampel $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ -30 terlihat lebih jelas dibandingkan sampel $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ -10. Kondisi tersebut mempermudah proses pengukuran ukuran partikel menggunakan perangkat lunak ImageJ, sehingga distribusi ukuran partikel

dapat dianalisis dengan lebih akurat.

Hasil pengukuran distribusi ukuran partikel yang ditampilkan pada **Gambar 5** menunjukkan bahwa ukuran rata-rata nanopartikel $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ -10 adalah $(8,6 \pm 1,7)$ nm, sedangkan ukuran rata-rata $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ -30 menurun menjadi $(7,3 \pm 1,5)$ nm. Penurunan ukuran partikel ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi Cdots mampu menghambat pertumbuhan nanopartikel sehingga menghasilkan ukuran yang lebih kecil dan distribusi yang lebih homogen.

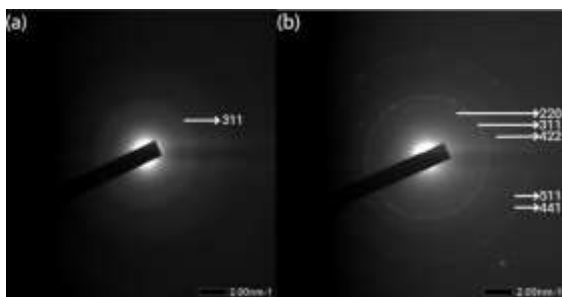


Gambar 5. Distribusi Ukuran Partikel Nanokomposit (a) $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ -10
(b) $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ -30.

Ukuran partikel yang lebih kecil memberikan keuntungan karena luas permukaan spesifik material menjadi lebih besar. Dengan meningkatnya luas permukaan, jumlah situs aktif pada nanokomposit juga bertambah sehingga material diperkirakan memiliki kinerja yang lebih baik untuk aplikasi fotokatalisis, adsorpsi, maupun aplikasi lingkungan lainnya.

Struktur kristal nanokomposit dianalisis menggunakan teknik *Selected Area Electron Diffraction* (SAED). Pola difraksi dari sampel $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ -10 dan

CoFe₂O₄/Cdots-30 diperlihatkan pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Cincin Difraksi Partikel Nanokomposit
(a)CoFe₂O₄/ Cdots-10
(b)CoFe₂O₄/Cdots-30.

Berdasarkan **Gambar 6**, kedua sampel menghasilkan pola difraksi berbentuk cincin yang menunjukkan bahwa material memiliki struktur kristalin. Akan tetapi, pola difraksi pada sampel CoFe₂O₄/Cdots-30 tampak lebih jelas dibandingkan CoFe₂O₄/Cdots-10 sehingga proses identifikasi bidang kristal dapat dilakukan dengan lebih baik.

Pola SAED pada CoFe₂O₄/Cdots-30 memperlihatkan kumpulan titik difraksi (*diffraction spots*) yang tersusun membentuk cincin konsentris. Pola tersebut merupakan karakteristik struktur spinel CoFe₂O₄. Nilai jarak antarbidang kristal (*d-spacing*) yang diperoleh dari hasil pengukuran sesuai dengan data standar JCPDS No. 22-1086, sehingga mengonfirmasi bahwa fase kristal CoFe₂O₄ tetap dipertahankan setelah proses pembentukan nanokomposit.

Hasil identifikasi menunjukkan bahwa sampel CoFe₂O₄/Cdots-10 didominasi oleh bidang kristal (311). Sementara itu, pada sampel CoFe₂O₄/Cdots-30 berhasil diidentifikasi beberapa bidang kristal, yaitu (220), (311), (422), (511), dan (440). Keberadaan bidang-bidang kristal tersebut menunjukkan bahwa penambahan Cdots tidak mengubah fase utama CoFe₂O₄, melainkan hanya memengaruhi karakteristik permukaan, ukuran partikel, dan sifat optiknya.

Secara keseluruhan, hasil karakterisasi SAED memperlihatkan bahwa nanokomposit CoFe₂O₄/Cdots berhasil

disintesis tanpa menyebabkan perubahan struktur kristal dasar CoFe₂O₄. Hal ini menunjukkan bahwa metode sintesis hijau yang diterapkan mampu menghasilkan nanokomposit dengan struktur kristal yang tetap terjaga sehingga sifat magnetik CoFe₂O₄ diperkirakan masih dapat dipertahankan untuk berbagai aplikasi lanjutan [26].

KESIMPULAN

Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan bahwa nanokomposit CoFe₂O₄/Cdots berhasil terbentuk, yang ditandai dengan keberadaan gugus fungsi khas CoFe₂O₄ dan Cdots serta terjadinya pergeseran bilangan gelombang akibat interaksi antara kedua material. Karakterisasi UV-Vis menunjukkan bahwa penambahan Cdots menyebabkan pergeseran puncak absorbansi ke arah panjang gelombang yang lebih pendek dan meningkatkan nilai *band gap energy*. Sementara itu, hasil TEM memperlihatkan morfologi partikel berbentuk semi-spherical dengan kecenderungan mengalami aglomerasi, namun penambahan Cdots menghasilkan ukuran partikel yang lebih kecil dan lebih beragam. Analisis SAED mengonfirmasi bahwa struktur kristal nanokomposit tetap berada pada fase CoFe₂O₄ setelah proses modifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. L. Wang, "Splendid one-dimensional nanostructures of Zinc Oxide: A new nanomaterial family for nanotechnology", *ACS Nano*, vol. 2 no.10, pp. 1987–1992, 2008.
- [2] F. Dalmas, R. Dendievel, L. Chazeau, J.Y. Cavaillé, and C.Gauthier, "Carbon nanotube-filled polymer composites. Numerical simulation of electrical conductivity in three-dimensional entangled fibrous networks", *Acta Materialia*, vol. 54, no. 11, pp. 2923–2931, 2006.
- [3] S. Srinivasan, K.Paknikar, D.Bodas, and Gajbhiye, "Applications of cobalt ferrite

- Hasibuan, ARP dkk : Pengaruh Konsentrasi Nanokomposit $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ terhadap Gugus Fungsi, Sifat Optik dan Struktur Morfologi Menggunakan Metode Sintesis Hijau nanoparticles in biomedical nanotechnology”, *Nanomedicine*, vol. 13, no. 10, pp. 1221-1238, 2018.
- [4] Ramli, A. Hartono, E. Sanjaya, A. Aminudin, Khairurrijal, F. Haryanto, C. Imawan, and M. Djamal, “Novel ternary $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{CuO}/\text{CoFe}_2\text{O}_4$ as a Giant Magnetoresistance sensor”, *J. Math. Fund. Sci*, vol. 48, no. 3, pp. 230-240, 2016.
- [5] S. N. Baker, and G. A. Baker, “Luminescent carbon nanodots: Emergent nanolights”, *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 49, no. 38, pp. 6726–6744, 2010.
- [6] J. Shen, Y. Zhu, X. Yang, and C. Li, “Graphene quantum dots: emergent nanolights for bioimaging, sensors, catalysis and photovoltaic devices”, *Chemical Communications*, vol. 48, no. 31, pp. 3686-3699, 2012.
- [7] L. Lin, M. Rong, F. Luo, D. Chen, Y. Wang, and X. Chen, “Luminescent graphene quantum dots as new fluorescent materials for environmental and biological applications”, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, vol. 54, pp 83–102, 2014.
- [8] C. Sakdaronnarong, A. Sangjan, S. Boonsith, D. Kim, and H. S. Shin, “Recent developments in synthesis and photocatalytic applications of carbon dots”, *Catalysts*, vol. 10, no. 3, pp. 1-23, 2020.
- [9] R. Atchudan, T. Edison, M. Shanmugam, S. Perumal, T. Somanathan, and Y. Lee, “Sustainable synthesis of carbon quantum dots from banana peel waste using hydrothermal process for in vivo bioimaging”, *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, vol. 126, pp. 1-8, 2020.
- [10] M. Yusefi, K. Shameli, O. S. Yee, S. Y. Teow, Z. Hedayatnasab, H. Jahangirian, T. J. Webster and Kuča, K, “Green synthesis of Fe_3O_4 nanoparticles stabilized by a garcinia mangostana fruit peel extract for hyperthermia and anticancer activitie”, *International Journal of Nanomedicine*, vol. 16, pp. 2515–2532, 2021.
- [11] T. Abdelghany, , A. Al-Rajhi, M. al Abboud, M. Alawlaqi, Ganash Magdah, A., E. Helmy, & A. Mabrouk, “Recent advances in green synthesis of silver nanoparticles and their applications: About future directions”, *A Review. In BioNanoScience*, vol. 8, pp. 5–16, 2018.
- [12] T. Abdelghany, , A. Al-Rajhi, M. al Abboud, M. Alawlaqi, Ganash Magdah, A., E. Helmy, & A. Mabrouk, “Recent advances in green synthesis of silver nanoparticles and their applications: About future directions”, *A Review. In BioNanoScience*, vol. 8, pp. 5–16, 2018.
- [13] S. Altaf, R. Zafar, W. Zaman, Ahmad, S., K. Yaqoob, A. Syed, A. Khan, M. Bilal and Arshad, M, “Removal of levofloxacin from aqueous solution by green synthesized magnetite (Fe_3O_4) nanoparticles using Moringa oleifera: Kinetics and reaction mechanism analysis”, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 226, pp.1- 11, 2021.
- [14] E,K.Sari, R,M. Tumbaleka, Ardiyanti, H., N,I. Istiqomah, Chotimah., and E. Suharyadi, “Green synthesis of magnetically separable and reusable $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Cdots}$ nanocomposites photocatalyst utilizing Moringa oleifera extract and watermelon peel for rapid dye degradation”, *Carbon Resources Conversion*, vol. 6, pp. 274-286, 2023.
- [15] D. Delmifiana, and Astuti, “Pengaruh sonikasi terhadap struktur dan morfologi nanopartikel magnetik yang disintesis dengan metode kopresipitasi” *Jurnal Fisik Unand*, vol 2, no. 3, pp. 186-189, 2013.
- [16] F.Pinna, “Supported metal catalyst preparation”, *Catalysis Today*, vol. 41, pp. 129-137, 1998.
- [17] L.D. Puspitarum, N. Istiqomah, M, Tumbaleka, A. Kusumaatmaja, D. Oshima, T. Kato, and E. Suharyadi, “High

- performance of magnetically separable and recyclable photocatalyst of green-synthesized $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$ nanocomposites for degradation of methylene blue”, *Advances in Natural Sciences Nanoscience & Nanotechnology*, vol.13, no.4, pp.1-11, 2022.
- [18] B. Vongsak, P. Sithisarn, S. Mangmool, S. Thongpraditchote, Y. Wongkrajang, and W. Gritsanapan, “Maximizing total phenolics, total flavonoids contents and antioxidant activity of *Moringa oleifera* leaf extract by the appropriate extraction method”, *Industrial Crops and Products*, vol. 44, pp. 566–571, 2013.
- [19] A. D. Larasati, D. L. Puspitarum, M. Y. Darmawan, I. N. Istiqomah, J. Partini, H. Aliah, and E. Suharyadi, “Green synthesis of $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{ZnS}$ composite nanoparticles utilizing *Moringa Oleifera* for magnetic hyperthermia applications”, *Result in Materials*, vol. 19, pp. 1-11, 2023.
- [20] W. Meng, X. Bai, B. Wang, Z. Liu, S. Lu, and B. Yang, “Biomass-derived carbon dots and their applications”, *Energy and Environmental Materials*, vol. 2, no.3, pp. 172-192, 2019.
- [21] M. L. Liu, B. Chen, Bin, M. Li and C. Z Huang, “Carbon dots: synthesis, formation mechanism, fluorescence origin and sensing applications”, *Green Chemistry*, vol. 21,no. 3, pp. 449-471, 2019.
- [22] S. Chahal, J. R. Macairan, N. Yousefi, N. Tufenkji, and R. Naccache, “Green synthesis of carbon dots and their applications”, *RSC Advances*, vol. 11, no. 41, pp. 25354-25363, 2021.
- [23] S. Miao, K. Liang, J. Zhu, B. Yang, D. Zhao, and B. Kong, “Hetero-atom doped carbon dots: Doping strategies, properties and applications”, *Nano Today*, vol. 33, pp. 1-29, 2020.
- [24] M. Z. Fahmi, J. K. Chen, C.C. Huang, Y. C. Ling, and J. Y. Chang, “Phenylboronic acid-modified magnetic nanoparticles as a platform for carbon dot conjugation and doxorubicin delivery”, *Journal of Materials Chemistry B*, vol. 3, no. 27, pp. 5532-5543, 2015.
- [25] H. Sutanto, I. Alkian, N. Romanda, I. W. Lewa, L., I. Marhaendrajaya, and P. Triadyaksa, “High green-emission carbon dots and its optical properties: Microwave power effect”, *AIP Advances*, vol. 10, no.5, pp.1-11, 2020.
- [26] C.Prasad,K.Sreenivasulu,S.Gangadhara and P.Venkateswarlu,“Bio inspired green synthesis of $\text{Ni}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ magnetic nanoparticles using *Moringa oleifera* leaves extract: A magnetically recoverable catalyst for organic dye degradation in aqueous solution”, *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 700, pp. 252-258, 2017.
- [27] B. Jeevantham, Y. Song, H. Choe, and M. Shobana,“Structural and optical characteristics of cobalt ferrite nanoparticles” *Materials Letters: X*, vol. 12, no. 1, pp. 1-4, 2021.

Hasibuan, ARP dkk : Pengaruh Konsentrasi Nanokomposit $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{Cdots}$ terhadap Gugus Fungsi, Sifat Optik dan Struktur Morfologi Menggunakan Metode Sintesis Hijau