

## ANALISIS VARIASI KONSENTRASI EKSTRAK DAUN PANDAN (*Pandanus amaryllifolius*) PADA GREEN SYNTHESIS NANOPARTIKEL MAGNETIT ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) BERBASIS PASIR BESI (*IRON SANDS*) SUNGAI BATANG HARI

Aulia Putri Berliana, Frastica Deswardani\*, Febri Berthalita Pujaningsih, Rista Mutia Anggraini, Lucky Zaehir Maulana.

Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Mendalo Darat, Jambi 36361, Indonesia  
email: frastica.deswardani@unj.ac.id

### ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang green synthesis nanopartikel berbasis pasir besi Sungai Batanghari dengan variasi konsentrasi ekstrak daun pandan (*Pandanus Amaryllifolius*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari variasi konsentrasi ekstrak daun pandan terhadap nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Uji karakterisasi yang dilakukan adalah uji XRD dan uji UV-Vis. Hasil analisis uji XRD menunjukkan bahwa pola difraksi  $2\theta$  yang terletak pada sampel berturut-turut  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , NP<sub>1</sub>, NP<sub>2</sub>, NP<sub>3</sub>, yaitu pada  $35,51^\circ$ ;  $35,41^\circ$ ;  $35,49^\circ$ ; dan  $35,53^\circ$  dengan bidang kristal (311). Ukuran kristal berturut-turut 13,83 nm; 26,80 nm; 13,86 nm; dan 25,30 nm. Hal ini menunjukkan bahwa pada sampel NP<sub>1</sub> dan sampel NP<sub>2</sub> memiliki ukuran kristal lebih besar dibandingkan dengan sampel NP<sub>3</sub>. Nilai dari sampel NP<sub>2</sub> hampir sama dengan ukuran kristal dari  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  tanpa tambahan ekstrak. Berdasarkan uji karakterisasi UV-Vis nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  menunjukkan energy gap ( $E_g$ ) yang diestimasi melalui metode touc plot. Dengan nilai direct badgap berturut-turut 4,2 eV; 4,8 eV; dan 4,4 eV untuk sampel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , NP<sub>1</sub>, NP<sub>3</sub>. Nilai indirect bandgap berturut-turut 3,9 eV; 4,1 eV; dan 3,7 eV untuk sampel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , NP<sub>1</sub>, NP<sub>3</sub>.

**Kata Kunci:** Daun Pandan; Green Synthesis; Magnetit( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ); Maserasi; UV-Vis; XRD

### ABSTRACT

[Title: Analysis of the Effect of Pandan Leaf Extract (*Pandanus amaryllifolius*) Concentration Variations in the Green Synthesis of Magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) Nanoparticles from Batang Hari River Iron Sand] A study was conducted on the green synthesis of iron sand-based nanoparticles derived from the Batanghari River, utilizing varying concentrations of pandan leaf extract (*Pandanus amaryllifolius*). This research aimed to investigate the effect of different extract concentrations on the properties of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles. The synthesized nanoparticles were characterized using X-ray Diffraction (XRD) and UV-Visible (UV-Vis) spectroscopy. XRD analysis revealed that the diffraction peaks at  $2\theta$  positions corresponding to the (311) crystal plane were observed at  $35.51^\circ$ ,  $35.41^\circ$ ,  $35.49^\circ$ , and  $35.53^\circ$  for  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , NP<sub>1</sub>, NP<sub>2</sub>, and NP<sub>3</sub>, respectively. The calculated crystallite sizes were 13.83 nm, 26.80 nm, 13.86 nm, and 25.30 nm, respectively. These results indicate that NP<sub>1</sub> and NP<sub>3</sub> exhibited larger crystallite sizes compared to NP<sub>2</sub>. Moreover, the crystallite size of NP<sub>2</sub> was nearly identical to that of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  synthesized without pandan extract. Based on UV-Vis characterization, the energy gap ( $E_g$ ) values were estimated using the Tauc plot method. The direct bandgap energies were determined to be 4.2 eV, 4.8 eV, and 4.4 eV for  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , NP<sub>1</sub>, and NP<sub>3</sub>, respectively. Meanwhile, the indirect bandgap energies were 3.9 eV, 4.1 eV, and 3.7 eV for the same respective samples.

**Keywords:** Green Synthesis; Magnetit( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ); Maserasi; *Pandanus Amaryllifolius*; UV-Vis; XRD

### PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan teknologi nano, berbagai jenis nanopartikel seperti perak, emas, seng, logam oksida, dan besi mulai banyak disintesis dan diaplikasikan pada berbagai bidang, mulai dari biomedis hingga lingkungan Supriyadi et al., (2022). Di antara jenis-jenis tersebut, oksida besi, khususnya magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), menonjol karena

kemampuannya dalam merespon medan magnet secara kuat dan stabil (Lestari dan Sartika, 2018; Maulana dan Yulianto, 2013).

Nanopartikel magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) telah menjadi fokus kajian ilmiah selama lebih dari setengah abad karena berpotensi memiliki sifat superparamagnetik, biokompatibilitas, dan kemampuan fungsionalisasi permukaan yang sangat

baik. Nanopartikel ini berukuran dalam rentang 1–100 nm (Abdassah, 2017) dan karakteristiknya sangat ditentukan oleh ukuran, distribusi, dan morfologi partikel.

Proses sintesis nanopartikel magnetit, bahan baku yang digunakan dapat berasal dari senyawa kimia sintetis maupun sumber daya alam. Salah satu sumber alam yang sangat potensial adalah pasir besi (*iron sands*), atau dikenal juga sebagai *black sands* (pasir hitam). Indonesia, sebagai negara dengan garis pantai dan sistem sungai yang luas, memiliki sumber daya pasir besi yang melimpah (Widianto et al., 2018). Salah satu wilayah yang diketahui kaya akan pasir besi adalah Provinsi Jambi, khususnya di sepanjang aliran Sungai Batanghari. Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa pasir besi dari daerah ini mengandung berbagai mineral oksida besi seperti hematit ( $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), dan maghemit ( $\beta$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), yang merupakan prekursor alami dalam sintesis nanopartikel magnetik (Jayusri et al., 2022; Restianingsih et al., 2024)

Konversi pasir besi menjadi nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dapat dilakukan dengan berbagai metode sintesis, seperti metode sol-gel (Widodo.,2022), mikroemulsi, hidrolisis, dan kopresipitasi (Togar et al.,2018). Di antara metode-metode tersebut, metode *Green synthesis* menjadi pilihan utama dalam penelitian ini karena keunggulannya yang sederhana, efisien, dan tidak memerlukan peralatan kompleks (Ganapathe et al., 2020; Lestari dan Sartika, 2018).

Sintesis nanopartikel kerap menghadapi tantangan karena kondisi reaksi yang tidak ramah lingkungan, seperti suhu dan tekanan tinggi serta konsumsi energi besar. Metode konvensional juga cenderung mahal dan menghasilkan limbah. Sebagai solusi, *green synthesis* menawarkan pendekatan ramah lingkungan dengan memanfaatkan senyawa bioaktif tumbuhan sebagai agen pereduksi dan penstabil. Pendekatan ini memperluas peran tumbuhan dari sektor pangan dan kesehatan ke bidang material, khususnya sintesis nanopartikel, yang masih jarang dikembangkan. Hal ini sejalan dengan prinsip *green chemistry* yang menekankan efisiensi, keberlanjutan sumber daya terbarukan, dan meminimalisir pengurangan dampak lingkungan (Taba et al., 2019).

*Green synthesis* menggunakan tumbuhan sebagai agen pereduksi dan penstabil karena mengandung senyawa bioaktif yang mampu mereduksi ion logam dan mencegah aglomerasi partikel. Salah satu metode ekstraksi senyawa aktif dari tumbuhan adalah metode maserasi, yaitu teknik perendaman bahan tanaman dalam pelarut tanpa

pemanasan tinggi. Metode ini sederhana, tidak memerlukan peralatan canggih, dan mampu menjaga kestabilan senyawa bioaktif yang ada pada bahan alam (Manongko et al., 2020; Asworo, 2023)

Penelitian ini menggunakan ekstrak daun pandan (*Pandanus amaryllifolius*) sebagai agen pereduksi dan penstabil dalam sintesis nanopartikel magnetit. Daun pandan diketahui mengandung berbagai senyawa bioaktif seperti flavonoid, saponin, polifenol, alkaloid, tanin, pigmen, karotenoid, kuersetin, tokoferol, dan minyak esensial yang memiliki kemampuan reduktif dan antioksidan (Kaban et al., 2022). Selain itu, daun pandan sangat mudah diperoleh, dibudidayakan, dan relatif murah (Purwanti et al., 2018).

Konsentrasi ekstrak daun pandan yang digunakan dalam proses sintesis diperkirakan berpengaruh terhadap ukuran, morfologi, dan ukuran kristal dari sampel. Hal ini karena konsentrasi agen pereduksi berperan dalam mengendalikan kecepatan reduksi ion logam serta pertumbuhan kristal selama sintesis berlangsung (Pakki et al, 2016; Yulni Septriani, 2022). Keterbaruan dari penelitian ini terletak pada pemanfaatan ekstrak daun pandan (*Pandanus amaryllifolius*) sebagai agen pereduksi dan penstabil alami dengan variasi konsentrasi yang berbeda, yang belum banyak dilaporkan dalam studi sintesis nanopartikel berbasis pasir besi, khususnya dari daerah aliran Sungai Batanghari. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan alternatif ramah lingkungan dalam sintesis  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi konsentrasi ekstrak daun pandan terhadap karakteristik fisik nanopartikel magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) berbasis pasir besi Sungai Batanghari. Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan metode *X-ray Diffraction* (XRD) untuk menganalisis struktur kristal, serta spektroskopi UV-Vis untuk mengidentifikasi sifat optik nanopartikel.

## METODE

Variasi konsentrasi yang digunakan untuk sintesis  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan penambahan ekstrak sampel yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebanyak 0%, 33.3%, 66.7%, dan 100%. Kemudian dilakukan dalam tiga tahapan: tahap pertama pengambilan atau persiapan pasir besi, tahap kedua sintesis nanopartikel ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dari pasir besi, tahap ketiga ekstraksi daun pandan menggunakan metode maserasi lalu disintesis dengan nanopartikel material

( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dengan menggunakan ekstrak daun pandan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi konsentrasi ekstrak daun pandan pada nanopartikel ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Kemudian dikarakterisasikan menggunakan XRD dan Spektroskopi UV-Vis. Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

Alat yang digunakan pada penelitian ini meliputi, *Magnet*, *Neraca digital*, *Hot plate*, *Mortar*, *Magnetic stirrer*, *Kertas saring*, *Blender*, *Oven*, *Cawan*, *Pipet tetes*, *Rotary evaporator*, *Batu didih*, *Gelas ukur*, *Ayakan (Mesh 120)*. Sedangkan untuk bahan yang digunakan meliputi, *Pasir besi dari Sungai Batanghari*, *Aquades*, *Daun pandan wangi*, (12 M),  $\text{NH}_4\text{OH}$  25%, dan *Etanol 90%*.

### Preparasi Bahan

Langkah awal pembuatan *green synthesis*  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yaitu melakukan preparasi pasir besi dengan mengambil pasir dari Sungai Batanghari, pasir yang masih basah kemudian dijemur hingga kering lalu disaring. Selanjutnya pasir besi ditarik menggunakan magnet permanen untuk memisahkan pasir besi dan non-besi. Proses penarikan pasir besi dilakukan sebanyak 15 kali, kemudian pasir besi diayak menggunakan 120 mesh. Setelah pasir selesai diayak kemudian dicuci menggunakan aquades sebanyak 2 kali. Barulah didapatkan pasir besi yang siap untuk di *synthesis* menggunakan metode *green synthesis*.

Proses selanjutnya adalah ekstraksi daun pandan menggunakan metode maserasi dengan menggunakan pelarut etanol 90%. Simplisia daun pandan ditimbang sebanyak 400 gram, kemudian 19 dimasukkan kedalam bejana untuk dimaserasi dan ditambah pelarut etanol 90% hingga semua simplisia terendam sempurna oleh larutan metanol tersebut, dan dilakukan pengadukan menggunakan *hot plate stirrer* selama 30 menit. Setelah itu ditutup dengan rapat menggunakan plastik hitam dan didiamkan pada suhu ruang. Proses maserasi dilakukan selama 3 hari, dengan pengantian larutan etanol 90% setiap 1x24 jam dan diaduk setelah diganti pelarutnya kemudian ditutup kembali untuk mencegah cahaya masuk dan memaksimalkan proses maserasi. Untuk memisahkan antara filtrat dan juga residu dari hasil maserasi tersebut dilakukan penyaringan menggunakan kertas saring. Selanjutnya ekstrak yang diperoleh dipekatkan menggunakan *vacum rotary evaporator* dengan suhu  $40^\circ\text{C}$  hingga pelarut (etanol 90%) mengalami penguapan dan yang tersisa hanya ekstrak kental yang nantinya digunakan untuk *green synthesis*  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

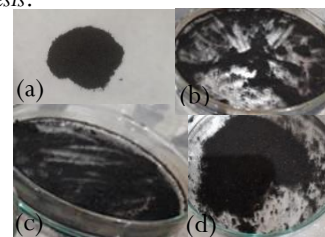


**Gambar 1.** Ekstrak Daun *Pandanus Amaryllifolius*

Pasir besi yang digunakan untuk *synthesis* sebanyak 40 gram kemudian dilarutkan kedalam HCL (12 M) sebanyak 38 ml pada *hot plate* dengan suhu  $55^\circ\text{C}$  dan di aduk menggunakan magnetit stirrer selama 60 menit. Kemudian larutan yang telah terbentuk disaring menggunakan kertas saring dan di dapatkan hasil saringan berupa filtrat.

Filtrat tersebut kemudian ditambahkan ekstrak daun pandan dengan variasi konsentrasi yaitu sebesar 33.3%, 66.7% dan 100%. Dimana untuk penulisan pada sampel sebagai berikut:  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (tanpa penambahan ekstrak pandan),  $\text{NP}_1$  (dengan penambahan 33.3% ekstrak pandan),  $\text{NP}_2$  (dengan penambahan 66.7% ekstrak pandan),  $\text{NP}_3$  (dengan penambahan 100% ekstrak pandan). Bahan yang telah dicampur kemudian di aduk selama 15 menit dengan suhu  $60^\circ\text{C}$ . selanjutnya ditambahkan larutan  $\text{NH}_4\text{OH}$  dengan konsentrasi 25% sebanyak 73 ml dan di aduk menggunakan stirrer selama 15 menit lalu didiamkan selama 1 jam, hingga didapat endapan.

Endapan yang diperoleh kemudian dicuci menggunakan aquades sebanyak tujuh kali pencucian. Setelah itu endapan di oven pada suhu  $100^\circ\text{C}$  dalam waktu 2 jam. Proses tersebut berfungsi untuk menghilangkan sisa kadar air yang ada pada bahan, dan di dapatlah serbuk magnetit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  hasil dari *green synthesis*.



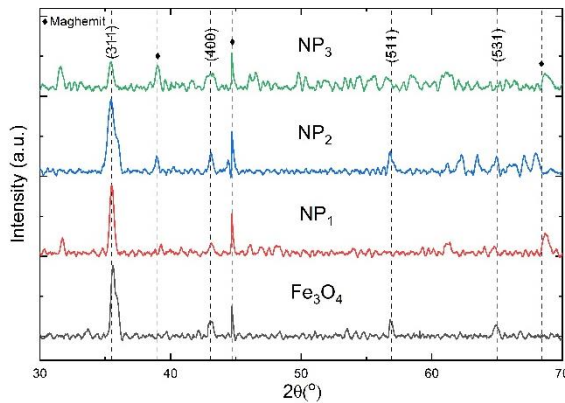
**Gambar 2.** Sampel (a)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , dan Sampel *green synthesized*  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (b)  $\text{NP}_1$ , (c)  $\text{NP}_2$ , dan (d)  $\text{NP}_3$ .

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Sintesis nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dengan menggunakan metode *green synthesis* menunjukkan pengaruh dari konsentrasi ekstrak terhadap ukuran kristal dan juga nilai Eg dari sampel. Teknik Karakterisasi yang akan dilakukan untuk melihat ukuran kristal dan juga nilai Eg berupa uji XRD, dan Spektroskopi UV-Vis.

**Struktur Kristal pada Green Synthesis Nanopartikel Magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) Hasil Karakterisasi XRD**

Analisis XRD dilakukan untuk mengetahui struktur kristal, parameter kisi, serta ukuran kristal pada sampel magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>). Hasil karakterisasi disesuaikan dengan data *Join Committee On Power*



**Gambar 3.** Pola XRD Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, NP<sub>1</sub>, NP<sub>2</sub>, NP<sub>3</sub>.

Pada Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, NP<sub>1</sub>, NP<sub>2</sub>, NP<sub>3</sub> terlihat intensitas tertinggi yang didapatkan terletak pada sekitar 2θ: 35.51°, 35.41°, 35.49°, 35.53° dengan orientasi bidang kristal (311) dari struktur spinel magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>). Kesesuaian data hasil sintesis mengindikasikan pembentukan fasa senyawa magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) berhasil disintesis dengan menggunakan metode *Green Synthesis* ekstrak daun pandan, hasil tersebut sesuai dengan penelitian sebelumnya (Hefdea dan Rohmawati, 2020). Setelah ditentukan nilai dari puncak *hkl* pada bahan kemudian ditentukan parameter kisi, dan ukuran seluruh sampel bahan nanopartikel yang dapat dilihat pada **Tabel 1** berikut:

**Tabel 1.** Parameter kisi dan ukuran kristal Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>+ 33.3% Ekstrak, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>+ 66.7% Ekstrak, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>+ 100% Ekstrak pada puncak *hkl* (311).

Sampel	2θ (°)	d (Å)	Parameter kisi (a) (Å)	Ukuran Kristalit (nm)
--------	--------	-------	------------------------	-----------------------

Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	35.69	2.51	8.33	13.83
NP <sub>1</sub>	35.57	2.52	8.36	26.80
NP <sub>2</sub>	35.54	2.52	8.36	13.86
NP <sub>3</sub>	35.54	2.52	8.36	25.30

Untuk mengetahui ukuran kristal persamaan yang digunakan yaitu Persamaan Scherrer seperti berikut :

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \tag{1}$$

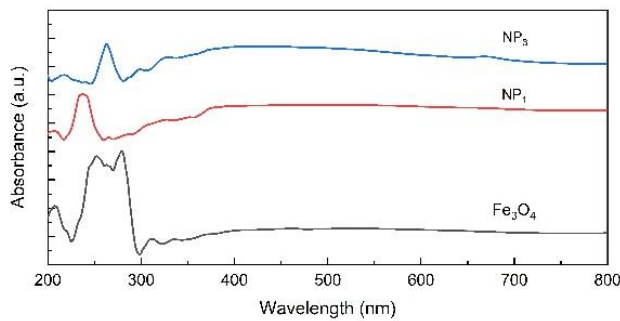
Dimana *D* merupakan ukuran kristal (nm), *K* adalah konstanta bernilai 0.94,  $\lambda$  adalah panjang gelombang dari persamaan Bragg (1.504 Å),  $\beta$  adalah nilai dari *Full-Width Half Maximum* (FWHM), dan  $\theta$  adalah sudut Bragg (Didik., 2020). Berdasarkan perhitungan dari data pada Tabel 1 diketahui bahwa nilai ukuran kristalit (*D*) pada bidang *hkl* (311) mengalami fluktuasi sebagai berikut: Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> murni sebesar 13.83 nm, meningkat signifikan pada NP<sub>1</sub> (26.80 nm), menurun kembali pada NP<sub>2</sub> (13.86 nm), dan meningkat lagi pada NP<sub>3</sub> (25.30 nm). Fluktuasi ini menunjukkan bahwa ekstrak pandan berperan sebagai *capping agent* yang dapat mempercepat atau memperlambat agregasi nanopartikel tergantung pada konsentrasi ekstrak yang digunakan (Suryani dan Edi., 2022). Khusus pada NP<sub>2</sub>, ukuran kristal yang hampir setara dengan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> murni mengindikasikan bahwa ekstrak pada konsentrasi ini dapat berperan dominan sebagai agen penstabil dan menghasilkan kemurnian kristal yang tinggi (Yew et al., 2016).

Pola ini menguatkan bahwa ekstrak pandan tidak hanya berfungsi sebagai agen pereduksi, tetapi juga sebagai *capping agent* yang mempengaruhi laju pertumbuhan kristal. Konsentrasi ekstrak yang optimal cenderung meningkatkan ukuran kristalit, sementara konsentrasi berlebih memicu efek stabilisasi sehingga menghasilkan partikel yang lebih kecil dan untuk nilai jarak antar bidang (*d-spacing*) berkisar antara 2.51–2.52 Å. Parameter kisi berada pada kisaran nilai 8,33 Å hingga 8,36 Å seiring dengan penambahan ekstrak pandan. Adanya regangan kisi atau gangguan struktur akibat interaksi senyawa fitokimia dari ekstrak pandan, seperti flavonoid dan fenol, yang bertindak sebagai agen pereduksi sekaligus penstabil selama proses sintesis (Rizqi et al., 2024).

Fenomena serupa juga dilaporkan dalam studi *green synthesis* nanopartikel menggunakan *Pandanus odoratissimus*, dimana Variasi konsentrasi ekstrak memberikan efek yang signifikan terhadap ukuran kristalit yang terbentuk (Kodarta et al., 2024). Secara keseluruhan, peningkatan parameter kisi dan variasi ukuran kristalit membuktikan keberhasilan pendekatan *green synthesis* menggunakan ekstrak daun pandan dalam mengontrol struktur dan morfologi kristal Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.

**Struktur Elektronik pada Green Synthesis Nanopartikel Magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) Hasil Karakterisasi UV-Vis**

Pada grafik absorbansi sampel *green synthesis* nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> + ekstrak daun pandan yang ditunjukkan pada **Gambar 4**.



**Gambar 4.** Absorbansi sampel nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, NP<sub>1</sub>, NP<sub>3</sub>.

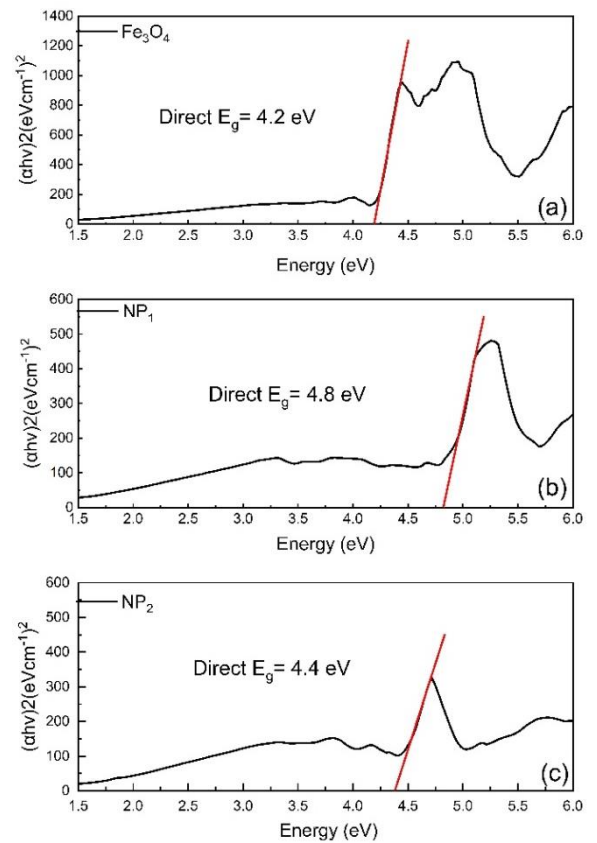
Berdasarkan grafik absorbansi yang ditunjukkan pada **Gambar 4** dalam rentang panjang gelombang 200–800 nm, terlihat bahwa sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> hasil sintesis konvensional menunjukkan puncak absorbansi yang lebar, menandakan bahwa nanopartikel magnetit tersebut mampu menyerap cahaya tampak secara merata. Namun, pada sampel *green synthesis* Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dengan penambahan 33.3% dan 100% ekstrak daun pandan, terjadi pergeseran nilai absorbansi.

Peningkatan absorbansi ini mengindikasikan perubahan struktur elektronik. Akibat keberadaan senyawa fitokimia dalam ekstrak daun pandan yang berperan sebagai agen pereduksi sekaligus *capping agent*. Senyawa tersebut terbentuk dengan ion logam selama proses sintesis, sehingga menghasilkan nanopartikel dengan struktur yang lebih terkontrol dan kemampuan penyerapan cahaya yang lebih baik. Pergeseran ini juga mencerminkan perubahan rapat keadaan elektronik (*electronic density of states*) pada bahan, yang berpengaruh pada proses transisi optik (Marselinus et al., 2019).

Untuk menghitung celah pita energi dari sampel, penulis menggunakan metode Tauc-plot pada masing-masing sampel. Menggunakan persamaan sebagai berikut :

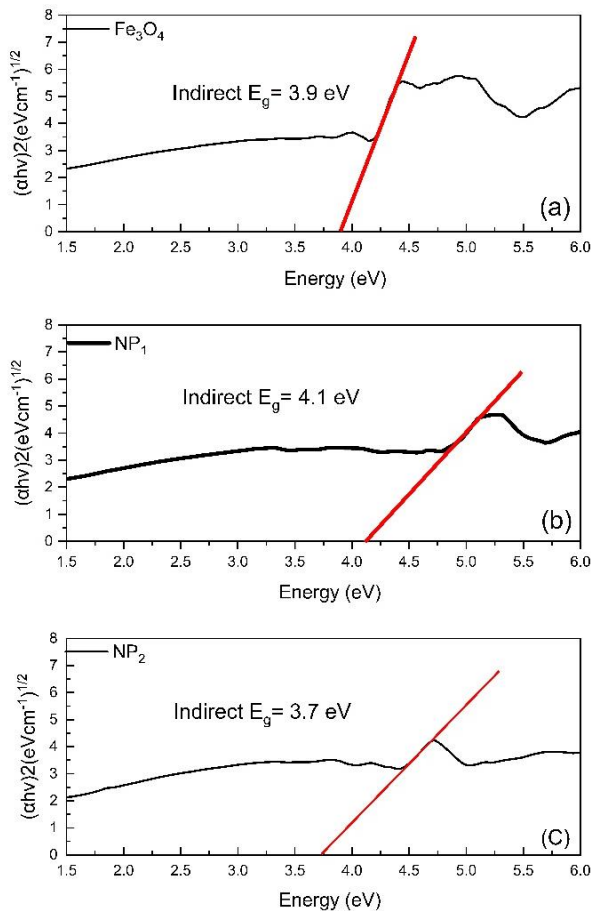
$$(\alpha \cdot hv) = B(hv - E_g)^n \tag{2}$$

Dimana **h** merupakan konstanta *planck*, **v** adalah frekuensi foton, **E<sub>g</sub>** adalah energi celah pita , dan **B** adalah merupakan suatu konstanta (Makula et al., 2018). Dengan nilai n = 2 adalah *direct* dan n = ½ adalah *indirect* (Fu et al., 2019; Marselinus et al., 2019; Meinert dan Reiss, 2014; Mursyalaat et al., 2023). Metode analisis *direct* dan *indirect* pada karakterisasi UV-Vis digunakan karena sifat transisi elektronik suatu material tidak selalu dapat diketahui secara pasti sejak awal. Dengan membandingkan kurva Tauc dari kedua metode, peneliti dapat menentukan jenis transisi yang paling sesuai berdasarkan linearitas grafik, sekaligus memperoleh estimasi nilai band gap yang lebih representatif. Selain itu, beberapa material juga memungkinkan terjadinya kedua jenis transisi secara bersamaan. Oleh karena itu, pendekatan ini digunakan untuk meningkatkan akurasi dan validitas hasil karakterisasi optik (Andrade et al., 2024; Munda et al., 2019).



**Gambar 5.** *Direct Bandgap* nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (a), *green synthesis* NP<sub>2</sub> (b), dan NP<sub>3</sub> (c).

Gambar 5. menunjukkan grafik hubungan antara energi foton ( $h\nu$ ) terhadap  $(\alpha h\nu)^2$ , yang digunakan untuk menentukan nilai *direct band gap* masing-masing sampel. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai *direct band gap* untuk sampel **Gambar 5** (a)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  murni, (b)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  + 33.3% ekstrak pandan, dan (c)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  + 100% ekstrak pandan berturut-turut adalah 4.2 eV, 4.8 eV, dan 4.4 eV.



**Gambar 6.** *Indirect Bandgap* nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (a), *green synthesis*  $\text{NP}_2$  (b), dan  $\text{NP}_3$  (c).

Estimasi nilai energi gap dilanjutkan pada *indirect bandgap*. Seperti pada **Gambar 6** (a)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  murni, (b)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  + 33.3% ekstrak pandan, dan (c)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  + 100% didapatkan nilai *indirect bandgap* sekitar 3.7 eV sampai 4.1 eV. Besarnya nilai band gap menunjukkan energi foton yang dibutuhkan untuk terjadinya transisi elektron. Pergeseran ini menunjukkan modifikasi struktur elektronik pada sampel. Hasil yang didapatkan dari estimasi nilai *direct* maupun *indirect* band gap menunjukkan nilai celah pita semikonduktor pada bahan *wide band-gap* (WBG) sampai *ultra wide band-gap* (UWBG).

Semikonduktor dengan dengan karakteristik ini berpotensi pada bidang elektronik,

optoelectronic maupun penyimpanan energi (Meinert dan Reiss, 2014; Qin et al., 2023; Yuvaraja et al., 2023; Zou et al., 2018). Lebih lanjut analisis struktur pita energi menunjukkan bahwa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dalam bentuk nanopartikel memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan bentuk bulk-nya. Pada  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  bulk, pita valensi dan pita konduksi saling tumpang tindih, sehingga tidak membentuk band gap yang jelas. Namun, setelah direduksi menjadi nanopartikel, efek kuantisasi dan ketidakteraturan kristal menyebabkan munculnya celah energi yang dapat diidentifikasi. Berdasarkan kurva Tauc plot, linearitas lebih jelas terlihat pada grafik  $(\alpha h\nu)^{1/2}$ , yang mengindikasikan bahwa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanopartikel memiliki sifat *indirect band gap*. Transisi ini memerlukan perubahan momentum dan diduga melibatkan fonon, sesuai dengan karakteristik semikonduktor tak langsung.

## KESIMPULAN

Telah berhasil dilakukan sintesis dan karakterisasi nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  menggunakan metode ramah lingkungan yaitu *green synthesis* berbasis ekstrak daun pandan (*Pandanus Amaryllifolius*). Berdasarkan hasil uji karakterisasi menggunakan XRD, disimpulkan bahwa sample membentuk struktur kristal kubik yang sesuai dengan JCPDS) no. 19-0629. Orientasi utama bidang terlihat pada sudut  $2\theta$ ;  $35.51^\circ$ ,  $35.41^\circ$ ,  $35.49^\circ$ ,  $35.53^\circ$ , dengan parameter kisi berkisar antara 8,33 Å sampai 8,36 Å. Ukuran kristalit menunjukkan pola fluktuatif, yang menunjukkan bahwa ekstrak pandan berperan sebagai agen pereduksi sekaligus *capping agent* yang dapat mempercepat atau menghambat pertumbuhan kristal.

Hasil perhitungan energi celah pita (*band gap*) dari karakterisasi UV-Vis menunjukkan nilai baik untuk *direct* maupun *indirect* band gap. Nilai *indirect* band gap berkisar antara 3.7–4.1 eV, sedangkan *direct* band gap berada pada rentang 4.2–4.8 eV. Variasi ini menunjukkan bahwa ekstrak pandan memengaruhi struktur pita energi dan distribusi rapat keadaan (*density of states*).

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis Mengucapkan Terimakasih Kepada Hibah PNPB Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi yang telah mendanai penelitian ini, kepada pihak laboratorium Tugas Akhir Fakultas Sains dan Teknologi yang telah membantu menyediakan fasilitas serta bantuan teknis.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Abdassah, M. (2017). Nanopartikel dengan Gelasi Ionik. *Journal Farmaka*, 15, 45–52.
- Andrade, P. H. M., Volkringer, C., Loiseau, T., Tejada, A., Hureau, M., dan Alain Moissette. (2024). Band gap analysis in MOF materials: Distinguishing direct and indirect transitions using UV–vis spectroscopy. *Journal Applied Materials Today*, 17.
- Didik, L. A. (2020). Penentuan Ukuran Butir Kristal  $\text{CuCr}_0,98\text{Ni}_0,02\text{O}_2$  dengan menggunakan X-ray Diffraction (XRD) dan Scanning Electron Microscope (SEM). *Journal Indonesian Physical Review*, 3(1), 6–14.
- Pakki, E., Sumarheni, Aisyah F, Ismail, S. S. (2016). Formulasi Nanopartikel Ekstrak Bawang Dayak (Eleutherine Americana (AUBL) Merr) Dengan Variasi Konsentrasi Kitosan tripolifosfat (TPP). *Journal Trop. Pharm. Chem*, 3(4), 251–263.
- Friska Suryani S, Dr. Eng. Edi Suharyadi, S.Si., M. E. (2022). Karakterisasi, dan Kajian Dielektrik Green-Synthesized Nanopartikel Magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). *Jurnal Fisika*.
- Fu, C., Yao, M., Chen, X., Maulana, L. Z., Li, X., Yang, J., Imasato, K., Zhu, F., Li, G., Auffermann, G., Burkhardt, U., Schnelle, W., Zhou, J., Zhu, T., Zhao, X., Shi, M., Dressel, M., Pronin, A. V, Snyder, G. J., dan Felser, C. (2019). *Revealing The Intrinsic Electronic Structure Of 3D Half- Heusler Thermoelectric Materials By Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy*. *Journal ADVANCED SCIENCE*, 1902409, 1–8.
- Ganapathe, L. S., Mohamed, M. A., Yunus, R. M., dan Berhanuddin, D. D. (2020). *Magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) Nanoparticles In Biomedical Application: From Synthesis To Surface Functionalisation*. *Journal Magnetochemistry*, 6(4), 1–35.
- Hefdea, A., dan Rohmawati, L. (2020). Sintesis  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dari Pasir Mineral Tulungagung Menggunakan Metode Kopresipitasi. *Journal Inovasi Fisika Indonesia*, 9(2), 1–4.
- Jayusri, M. A. A., Putra, A. P., & Putra, E. A. P. (2022). Analisis Kandungan Mineral Pasir Besi Pantai Selatan Kabupaten Lumajang Hasil Separasi Magnetik. *Jurnal Teknologi Kimia Mineral*, 1(2), 70–75.
- Kaban, V. E., N, N., Dharmawan, H., dan Satria, D. (2022). Formulasi dan Uji Efektivitas Sabun Pencuci Tangan dari Ekstrak Daun Pandan (*Pandanus amaryllifolius* Roxb.) Terhadap Bakteri *Salmonella* sp. *Herbal Medicine Journal*, 5(1), 8–12.
- Kodarta, W., Sinaga, J. F., Pane, R. H., Pasaribu, M. U., dan Ichasan, A. F. (2024). *Green Synthesis Of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Nanoparticles Using Pineapple Peel Extract For Adsorption Of Rhodamine B*. *Journal AKTA KIMIA INDONESIA*, 9(2), 114–132.
- Lestari, A. S., dan Sartika, D. (2018). Preparasi Dan Karakterisasi Nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Menggunakan Metode Kopresipitasi. *Journal Teknologi Technoscientia*, 11(1), 7–10.
- Maulana LZ, Yulianto A. Aplikasi low density polyethylene (LDPE) pada pembuatan magnet ferrite komposit. *Jurnal Sains Dasar*. 2013;2(1).
- Makula, P., Pacia, M., & Macyk, W. (2018). *How To Correctly Determine The Band Gap Energy Of Modified Semiconductor Photocatalysts Based On UV-Vis Spectra*. *Journal Of Physical Chemistry Letters*, 9(23), 6814–6817.
- Marselinus E. Dandara, Redi Kristian Pingak, A. Z. J. (2019). Estimasi Celah Energi Senyawa Hasil Ekstrak Daun Sirsak (*Annona muricata* L.) Menggunakan Metode Tauc Plot. *Jurnal Fisika : Fisika Sains Dan Aplikasinya*, 4(1), 48–51.
- Meinert, M., & Reiss, G. (2014). *Electronic Structure and Optical Band gap Determination Of  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$* . *Journal Of Physics*, 26, 2–5.
- Metha Anung Anandhita, & Oktaviani, N. (2020). Formulasi Spray Gel Ekstrak Daun Pandan Wangi Sebagai Antiseptik Tangan. *Journal Poltektegal*, 9(1), 14–21.
- Munda, I. K., Muzina, K., Tkalcevic, M., Mandic, V., dan Kurajica, S. (2019). Odredivanje zabranjene zone poluvodica metodom UV-Vis difuzne refleksijske spektroskopije. *Journal Kemija u Industriji*, 68(9–10), 415–426.
- Paricia Syaron Manongko, Meiske Sientje Sangi, L. I. M. (2020). Uji Senyawa Fitokimia dan Aktivitas Antioksidan Tanaman Patah Tulang (*Euphorbia Tirucalli* L). *Jurnal MIPA*, 9(2), 64–69.
- Purwanti, N. U., Yuliana, S., dan Sari, N. (2018). Pengaruh cara Pengeringan Simplisia Daun Pandan (*Pandanus Amaryllifolius*) Terhadap Aktivitas Penangkal. *Jurnal Farmasi Medica/Pharmacy Medical Journal (PMJ)*, 1(2), 63–72.
- Qin, Y., Albano, B., Spencer, J., Lundh, J. S., Wang, B., Buttay, C., Tadjer, M., DiMarino, C., & Zhang, Y. (2023). Thermal management and packaging of wide and ultra-wide bandgap power devices: a review and perspective. *Journal of Physics D: Applied Physics* (Vol. 56, Issue 9).
- Restianingsih, T., Anggraini, R. M., dan

- Deswardani, F. (2024). Analisis Struktur Kristal Dan Morfologi Nanokomposit  $Fe_3O_4/TiO_2$  Berbasis Pasir Besi Sungai Batanghari. *Journal Online Of Physics*, 9(2), 12–17.
- Riska Yudhistia Asworo, H. W. (2023). Pengaruh ukuran Serbuk Simplisia dan waktu Maserasi terhadap aktivitas Antioksidan Ekstrak Kulit Sirsak. *Indonesian Journal Of Pharmaceutical Education*, 3(2), 256–263.
- Rizqi, A., Tabrani, H., Guntara, Y., Antarnusa, G., dan Firdaus, F. (2024). Sonar : Crystal Structure Analysis of Magnetite ( $Fe_3O_4$ ) Nanoparticles by Green Synthesis Method using Moringa Oleifera Extracts. *Jurnal Multidisiplin*, 1(2), 74–80.
- Supriyadi, M., Supriyanto, dan Fakhry, M. (2022). Effect of Extraction Method And Size Reduction on the Antioxidant Content of Neem Leaf Extract (*Azadirachta Indica Juss*) Kandungan Antioksidan Ekstrak Daun Mimba (*Azadirachta Indica Juss*). *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 10(4), 522–530.
- Taba, P., Parmitha, N. Y., dan Kasim, S. (2019). Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Daun Salam (*Syzygium Polyanthum*) Sebagai Bioreduktor dan Uji Aktivitasnya *Synthesis of Silver Nanoparticles using Syzygium Polyanthum Extract as Bioreductor and the Application as Antioxidant. Indonesian Journal Of Chemistry*, 7(1), 51–60.
- Togar Saragi, B Permana, M Saputri, L Safriani, Iman Rahayu, R. (2018). Karakteristik Optik dan Kristal Nanopartikel Magnetit. *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, 02(01), 53–56.
- V. Mursyalaat, V. I. Variani, W. O. S.Arsyad, And M. Z. F., dan Department. (2023). The Development of Program for Calculating the Band gap Energy of Semiconductor Material Based on UV-Vis Spectrum using Delphi 7.0. *Journal Of Physics: Conference Series*, 0–5.
- Widianto, E., Fauji, N., Mesin, S. T., Teknik, F., Singaperbangsa, U., Ronggowaluyo, J. H. S., dan Timur, T. (2018). Karakterisasi Pasir Besi Alam Pantai Samudera Baru dan Pemanfaatannya Sebagai Filler Pada Sistem Penyaring Elektromagnetik *Characterization of Natural Iron Sand from Samudera baru Beach and its Utilization as Filler on Electromagnetic Filtering System. Jurnal Riset Sains Dan Teknologi*, 2(1), 15–20.
- Widodo, S. (2022). Teknologi Pembuatan Magnetite Nanopartikel dengan Metode Sol-Gel untuk. *Jurnal Techno-Socio Ekonomika*, 15(2), 98–105.
- Yew, Y. P., Shameli, K., Miyake, M., Kuwano, N., Magnetite Nanopartikel dengan Metode Sol-Gel Bahiyah, N., dan Ahmad, B. (2016). *Green Synthesis of Magnetite ( $Fe_3O_4$ ) Nanoparticles using Seaweed (*Kappaphycus Alvarezii*) Extract. Journal Nanoscale Research Letters*. 276(11).
- Septriani, Y., M. M. (2022). Kontrol Ukuran Nanopartikel Perak Dengan Variasi Konsentrasi Ekstrak Kulit Buah Manggis Kontrol Ukuran Nanopartikel Perak Dengan Variasi Konsentrasi Ekstrak Kulit Buah Manggis Laboratorium Fisika Material , Jurusan Fisika. *Jurnal Fisika Unand (JFU)*, September. 74.
- Rizqi, A., Tabrani, H., Guntara, Y., Antarnusa, G., dan Firdaus, F. (2024). Sonar : Crystal Structure Analysis of Magnetite ( $Fe_3O_4$ ) Nanoparticles by Green Synthesis Method using Moringa Oleifera Extracts. *Jurnal Multidisiplin*, 1(2), 74–80.
- Supriyadi, M., Supriyanto, dan Fakhry, M. (2022). Effect of Extraction Method And Size Reduction on the Antioxidant Content of Neem Leaf Extract (*Azadirachta Indica Juss*) Kandungan Antioksidan Ekstrak Daun Mimba (*Azadirachta Indica Juss*). *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 10(4), 522–530.
- Taba, P., Parmitha, N. Y., dan Kasim, S. (2019). Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Daun Salam (*Syzygium Polyanthum*) Sebagai Bioreduktor dan Uji Aktivitasnya *Synthesis of Silver Nanoparticles using Syzygium Polyanthum Extract as Bioreductor and the Application as Antioxidant. Indonesian Journal Of Chemistry*, 7(1), 51–60.
- Togar Saragi, B Permana, M Saputri, L Safriani, Iman Rahayu, R. (2018). Karakteristik Optik dan Kristal Nanopartikel Magnetit. *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, 02(01), 53–56.
- V. Mursyalaat, V. I. Variani, W. O. S.Arsyad, And M. Z. F., dan Department. (2023). The Development of Program for Calculating the Band gap Energy of Semiconductor Material Based on UV-Vis Spectrum using Delphi 7.0. *Journal Of Physics: Conference Series*, 0–5.
- Widianto, E., Fauji, N., Mesin, S. T., Teknik, F., Singaperbangsa, U., Ronggowaluyo, J. H. S., dan Timur, T. (2018). Karakterisasi Pasir Besi Alam Pantai Samudera Baru dan Pemanfaatannya Sebagai Filler Pada Sistem Penyaring Elektromagnetik *Characterization of Natural Iron Sand from Samudera baru Beach and its Utilization as Filler on Electromagnetic Filtering System. Jurnal Riset Sains Dan Teknologi*, 2(1), 15–20.
- Widodo, S. (2022). Teknologi Pembuatan Magnetite Nanopartikel dengan Metode Sol-Gel untuk. *Jurnal Techno-Socio Ekonomika*, 15(2), 98–105.

- 98–105.
- Yew, Y. P., Shameli, K., Miyake, M., Kuwano, N., Bahiyah, N., dan Ahmad, B. (2016). *Green Synthesis of Magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) Nanoparticles using Seaweed (Kappaphycus Alvarezii) Extract*. *Journal Nanoscale Research Letters*. 276(11).
- Yulni Septriani, M. M. (2022). Kontrol Ukuran Nanopartikel Perak Dengan Variasi Konsentrasi Ekstrak Kulit Buah Manggis Kontrol Ukuran Nanopartikel Perak Dengan Variasi Konsentrasi Ekstrak Kulit Buah Manggis Laboratorium Fisika Material , Jurusan Fisika. *Jurnal Fisika Unand (JFU)*, September. 74.
- Yuvaraja, S., Khandelwal, V., Tang, X., & Li, X. (2023). Wide bandgap semiconductor-based integrated circuits. *Chip* (Vol. 2, Issue 4).
- Zou, Y., Zhang, Y., Hu, Y., & Gu, H. (2018). Ultraviolet detectors based on wide bandgap semiconductor nanowire: A review. *Sensors (Switzerland)* (Vol. 18, Issue 7).