



Artikel Penelitian

## Sintesis Nanopartikel Hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) dari Limbah Bubut Besi dengan Variasi Konsentrasi Ekstrak Daun Pepaya (*Carica papaya* L)

Nidayanti, Lilik Miftahul Khoiroh\*

Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Maulana Malik Ibrahim, Malang, Indonesia, 65144

### INFO ARTIKEL

#### Riwayat Artikel

Diterima: 07 Mei 2024

Direvisi: 16 Oktober 2024

Tersedia online: 31 Oktober 2024

\*Email (lilikmfx@kim.uin-malang.ac.id):

DOI: 10.18860/al.v12i2.26864

### ABSTRAK

#### Abstract

Hematite nanoparticles have been successfully synthesized from iron lathe waste powder with papaya leaf extract as a reducing agent. This study aimed to determine the effect of concentration (w/v) of papaya leaf extract on the structure, color value, shape, and size of hematite nanoparticles. Papaya leaves were extracted using the infusion method with variations in concentration (w/v), including 20, 30, and 40%. Hematite nanoparticles were synthesized using the precipitation method followed by calcination. The synthesis products were characterized using XRD, Color reader, SEM, and FTIR instruments. The XRD diffractogram pattern shows that hematites at all concentration variations are rhombohedral with a crystal size of 32 - 39 nm. Hematite nanoparticles at all variations have a degree of redness ( $a^*$ ) ranging from 15.15 - 15.92, a degree of yellowness ( $b^*$ ) ranging from 27.3 - 27.93, a degree of brightness ( $L^*$ ) ranging from 40.15 - 40.73; chroma (C) ranges from 31.51 to 31.68, and hue ( $H^\circ$ ) ranges from 59.74 to 61.25. The SEM results are aggregate, with an average particle size in each variation of 2.1, 41.0, and 8.1 nm, respectively. The FTIR characterization results show the presence of Fe-O groups at wave numbers 518 and 432  $\text{cm}^{-1}$ .

**Keywords:** Hematite, color value, rhombohedral, particle size

#### Abstrak

Nanopartikel hematit telah berhasil disintesis dari serbuk limbah bubuk besi dengan reduktor ekstrak daun pepaya. Tujuan penelitian ini mengetahui pengaruh konsentrasi (b/v) ekstrak daun pepaya terhadap struktur, nilai warna, bentuk, dan ukuran partikel nanopartikel hematit. Daun pepaya diekstraksi dengan metode infusa dengan variasi konsentrasi (b/v) di antaranya; 20, 30, 40%. Nanopartikel hematit disintesis dengan metode presipitasi dilanjutkan kalsinasi. Produk hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan instrumen XRD, *Color reader*, SEM, dan FTIR. Berdasarkan pola difraktogram XRD menunjukkan bahwa produk hasil sintesis pada semua variasi konsentrasi berupa hematit berstruktur rhombohedral yang memiliki ukuran kristal 27,89 - 44,01 nm. Nanopartikel hematit memiliki derajat kemerahan ( $a^*$ ) berkisar 15,15 - 15,92; derajat kekuningan ( $b^*$ ) berkisar 27,3 - 27,93, derajat kecerahan ( $L^*$ ) berkisar 40,15 - 40,73; chroma (C) berkisar 31,51 - 31,68, dan rona warna ( $H^\circ$ ) berkisar 59,74 - 61,25. Hasil SEM bersifat agregat, dengan rata-rata ukuran partikel pada setiap variasi berturut-turut sebesar 2,1; 41,0; dan 8,1 nm. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan adanya gugus Fe-O pada bilangan gelombang 518 dan 432  $\text{cm}^{-1}$ .

**Kata Kunci:** Hematit, nilai warna, rhombohedral, ukuran partikel

## 1. Pendahuluan

Limbah bubuk besi adalah limbah yang diperoleh dari proses kerajinan industri besi. Limbah tersebut berupa padatan menyerupai serabut besi dan berupa serbuk yang sulit terurai mikroorganisme sehingga dapat membahayakan Kesehatan jika langsung dibuang ke lingkungan [1]. Limbah bubuk besi mengandung berbagai kandungan logam di antaranya; Fe, Cr, Mn dengan kandungan logam Fe tertinggi sebesar 98% [2], untuk itu salah satu upaya dalam mengurangi pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah bubuk besi yaitu dengan mengolahnya menjadi pigmen hematit.

Hematit merupakan oksida besi yang mempunyai kestabilan yang tinggi dibandingkan dengan oksida besi fasa lainnya [3]. Nanopartikel hematit memiliki banyak keunggulan. Di antaranya mempunyai luas permukaan yang besar dan tingkat aktivitas yang tinggi, sehingga meningkatkan ketahanan dalam kekuatan pewarnaan [4]. Nanopartikel pigmen hematit bersifat tidak beracun, *biocompatible*, mempunyai stabilitas kimia yang baik, dan tahan terhadap suhu tinggi sehingga mempunyai karakteristik pigmen yang unggul [5]. Selain itu, pigmen hematit juga berfungsi dalam menambah warna, memberi daya tutup dan anti lapuk pada kayu [6].

Sintesis hematit dilakukan dengan menggunakan ekstrak tanaman, karena bersifat *nontoxic*. Penggunaan agen reduktor seperti etilen glikol ( $C_2H_6O_2$ ), hidrazin hidrat ( $H_6N_2O$ ), dimetil formadida (DMF), dan natrium borohidra ( $NaBH_4$ ) dapat menghasilkan limbah yang berpotensi menjadi polutan bagi lingkungan [7]. Oleh karena itu, dewasa ini telah dikembangkan metode sintesis menggunakan ekstrak tanaman [8][9]. Penggunaan ekstrak tanaman bertujuan agar meminimalisir efek dari bahan kimia beracun yang biasanya digunakan dalam sintesis besi oksida [10]. Ekstrak tumbuhan dapat digunakan sebagai agen reduktor dalam proses sintesis besi oksida, sehingga dapat menggantikan agen pereduksi dari bahan berbahaya [11]. Ekstrak tanaman dapat berpengaruh pada pembentukan ukuran partikel dan morfologi partikel [12]. Ekstrak tanaman dapat berperan sebagai reduktor dalam sintesis nanopartikel hematit karena mengandung senyawa metabolit sekunder di antaranya tanin [13]. Senyawa tanin memiliki kemampuan untuk membentuk kompleks (khelat) dengan besi dan kation logam lainnya karena memiliki banyak gugus fenolik (OH). Salah satu tanaman yang mengandung tanin di antaranya ekstrak daun pepaya [14] [9]. Berdasarkan penelitian Bhuiyan dkk (2020) bahwa hematit yang disintesis dengan ekstrak daun pepaya menghasilkan nanopartikel  $Fe_2O_3$  yang berbentuk bulat dan berukuran rata-rata 21,59 nm. Selain itu, tanaman pepaya juga mudah ditemukan di daerah tropis [15] dan kurang dimanfaatkan sehingga jika digunakan sebagai agen reduktor dalam sintesis pigmen hematit dapat meningkatkan nilai ekonomis daun pepaya.

Metode presipitasi merupakan metode yang paling banyak digunakan karena prosesnya yang sederhana, mudah dan biayanya terjangkau. Zanur [16] dalam penelitiannya menjelaskan bahwa hematit yang disintesis dengan metode presipitasi dapat menghasilkan hematit berstruktur rhombohedral. Rajendran dan Kandasamy [17] telah melakukan penelitian tentang sintesis besi oksida dengan variasi konsentrasi (5%, 10%, 15%, dan 20%) ekstrak daun turi sebagai agen pereduksi, hasil yang didapatkan yaitu semakin meningkatnya jumlah ekstrak daun turi yang digunakan, mengakibatkan meningkatnya laju reduksi dan terjadi peningkatan reaksi reduksi prekursor menjadi nanopartikel. Savaranakumar [18] berhasil mensintesis hematit yang menghasilkan struktur kristal rhombohedral dengan ruang grup  $R3c$ , serta ukuran rata-rata dari nanopartikel 600-300 nm yang menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi agen reduktor. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh konsentrasi (b/v) ekstrak daun pepaya terhadap perubahan struktur, ukuran, morfologi partikel, dan nilai warna. Produk sintesis dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Color reader*, *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan *Fourier Transform InfraRed* (FTIR).

## 2. Bahan dan Metode

### 2.1 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah bubuk besi, aquades/aquademin, NaOH p.a (Merck),  $HNO_3$  p.a (Merck), dan daun pepaya.

### 2.2 Metode

#### 2.2.1 Pembuatan Prekursor Ferri ( $Fe^{3+}$ )

Sampel limbah bubuk besi yang sudah dipisahkan ditimbang sebanyak 50 gram dan dimasukkan ke dalam beaker glass 500 mL, kemudian ditambahkan 10 mL  $HNO_3$  7 M. Setelah itu campuran didiamkan dalam suhu ruang selama 24 jam. Campuran tersebut disaring menggunakan kertas saring supaya pengotor yang ada pada larutan dapat dipisahkan. Filtrat yang diperoleh dipanaskan di atas *hot plate* dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* sampai larutan menjadi *slurry*.

#### 2.2.2 Ekstraksi Daun Pepaya dengan Metode Infusa

Ekstraksi daun pepaya menggunakan metode infusa dilakukan dengan beberapa tahapan. Tahapan pertama daun pepaya (*Carica papaya L*) yang sudah dipetik dicuci beberapa kali pada air mengalir dan dibilas dengan aquades. Daun

tersebut dikering anginkan, lalu ditumbuk hingga halus. Sebanyak 20, 30, dan 40 gram daun pepaya ditimbang menggunakan neraca analitik, masing-masing daun pepaya yang sudah ditimbang dimasukkan ke dalam *beaker glass* 250 mL yang berbeda, kemudian dilarutkan dengan 100 mL aquades dan disertai dengan pengadukan. Campuran dipanaskan di atas penangas air dan dipanaskan pada suhu 80 °C selama 30 menit. Ekstrak daun pepaya didiamkan sampai larutan mengendap dan disaring dengan kertas saring. Filtrat yang didapatkan dapat digunakan sebagai agen reduktor.

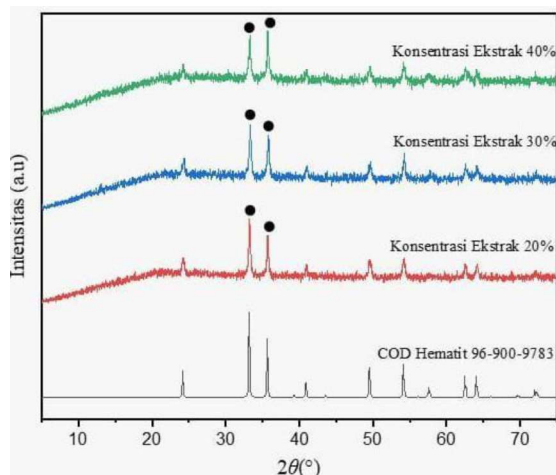
### 2.2.3 Sintesis Hematit dengan Variasi Konsentrasi Ekstrak Daun Pepaya

Sebanyak 10 gram prekursor ditambahkan 100 mL aquademin kemudian ditambahkan sedikit demi sedikit ekstrak daun pepaya sebanyak 100 mL pada semua variasi konsentrasi (20%, 30 %, dan 40%) dengan dilakukan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer*. Sampel dipanaskan pada suhu 90 °C selama 1 jam dan diaduk dengan kecepatan pengadukan 850 rpm selanjutnya didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang [19]. Endapan yang diperoleh didekantasi, dicuci dengan aquademin. Lalu, disaring menggunakan corong buchner dan dikeringkan pada suhu ruang. Sampel hasil sintesis dikalsinasi pada suhu 750 °C selama 3 jam. Produk hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan XRD dan *color reader*, dan hasil yang terbaik kemudian dikarakterisasi menggunakan SEM dan FTIR.

## 3. Hasil dan Pembahasan

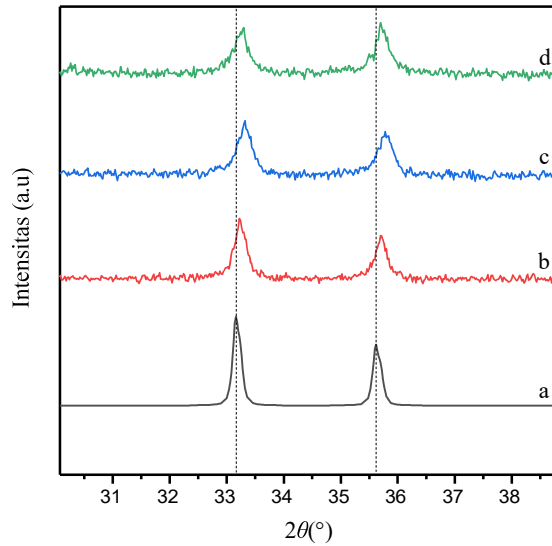
Hematit telah berhasil disintesis dengan menggunakan metode presipitasi-kalsinasi. Produk setelah presipitasi berupa serbuk berwarna coklat dan berubah warna menjadi coklat kemerahan setelah dilakukan kalsinasi. Perubahan warna dari coklat menjadi coklat kemerahan mengindikasikan terjadinya perubahan fasa ke hematit yang dibuktikan dengan hasil karakterisasi XRD sebagaimana **Gambar 1**.

**Gambar 1** menunjukkan bahwa pola difraktogram hematit hasil sintesis setelah dikalsinasi pada semua variasi konsentrasi reduktor adalah hematit dengan struktur rombohedral. Puncak yang terdeteksi pada  $2\theta$  di antaranya 24,3; 33,3; 35,8; 41,0; 49,6; 54,2; 57,7; 62,5; 64,1 yang berkesesuaian dengan (COD 96-900-9783) dengan indeks miller 012, 104, 110, 021, 024, 116, 018, 214, 300. Pola difraksi juga menunjukkan intensitas yang tinggi yang mengindikasikan bahwa hematit hasil sintesis memiliki kemurnian dan kristalinitas yang tinggi. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Bhuiyan bahwa hematit yang disintesis dengan reduktor ekstrak daun pepaya menghasilkan hematit dengan minim pengotor dan memiliki kristalinitas yang tinggi [9].



**Gambar 1.** Pola Difraktogram dari produk hematit setelah kalsinasi pada berbagai variasi

**Gambar 2** menunjukkan adanya pergeseran dan pelebaran puncak pada pola difraksi hematit hasil kalsinasi. Pergeseran dan pelebaran puncak tersebut menyebabkan terjadinya perubahan ukuran setiap variasi konsentrasi ekstrak. Semakin besar konsentrasi ekstrak (30%) menghasilkan ukuran kristal yang semakin kecil, yaitu 27,89 nm. Pada konsentrasi 40%, pada  $2\theta$ ; 35 puncak semakin tinggi dan sempit yang menyebabkan semakin besar ukurannya, sebagaimana pada **Tabel 1**.



**Gambar 2.** Pelebaran beberapa puncak tertinggi pada hematit (a) standar senyawa, sampel dengan variasi konsentrasi ekstrak daun pepaya (b) 20%, (c) 30%, dan (d) 40%

**Tabel 1** Data ukuran kristal hematit hasil sintesis setelah kalsinasi

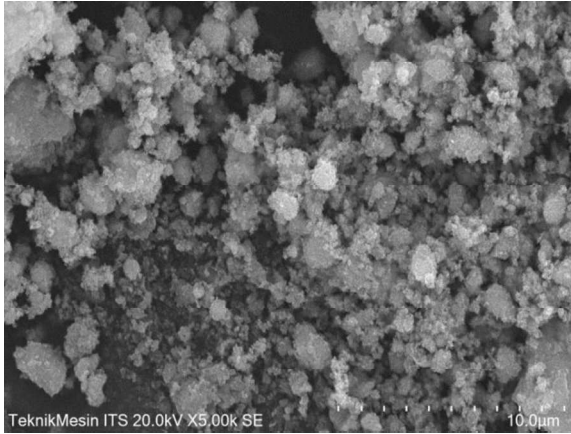
Variasi ekstrak (%)	2 Theta (°)	FWHM	Ukuran kristal (nm)
20	33,227	0,213	39,05
	35,700	0,19	44,01
30	33,330	0,26	32,02
	35,785	0,30	27,89
40	33,205	0,23	36,10
	35,697	0,21	39,84

**Tabel 2** Hasil Analisis Produk Hematit dengan Rietica

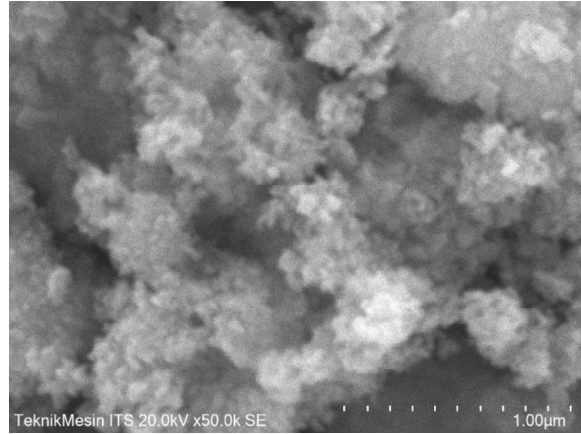
Parameter	Standar Hematit	Sampel Hematit dengan Variasi Ekstrak Daun Pepaya		
		20%	30%	40%
Grup ruang	R 3c	R 3c	R 3c	R 3c
Formula unit (Z)	6	6	6	6
Volume sel	301.93	301.75	300.90	300.90
Rp	<10	6.14	5.95	5.54
Rwp	<10	6.99	6.95	6.63
GOF ( $\chi^2$ )	<1	0.4004E	0.3729E	0.3241E
Kisi kristal				
a	5.0356	5.030350	5.031154	5.032650
b	5.0356	5.030350	5.031154	5.032650
c	13.7489	13.734195	13.736554	13.741736
Struktur	Rhombohedral	Rhombohedral	Rhombohedral	Rhombohedral

Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan aplikasi Rietica pada **Tabel 2** didapatkan bahwa nilai Rp dan Rwp paling kecil adalah pada konsentrasi 40% dibandingkan pada konsentrasi 20 dan 30%, yaitu sebesar 5,54 dan 6,63%. Nilai Rp dan Rwp tersebut masih di bawah 10% yang berarti hasil sintesis sangat cocok dengan standar. Dengan konsentrasi ekstrak daun pepaya yang semakin besar pada konsentrasi 40% laju reaksi reduksi ion  $Fe^{3+}$  semakin meningkat sehingga pembentukan hematit juga dapat optimal. Hal ini juga terlihat pada **Gambar 1**, yang menunjukkan bahwa pola difraksi pada

konsentrasi 40% memiliki puncak paling tajam dibandingkan yang lain yang mengindikasikan bahwa kristalinitasnya juga lebih tinggi dibandingkan konsentrasi lainnya.

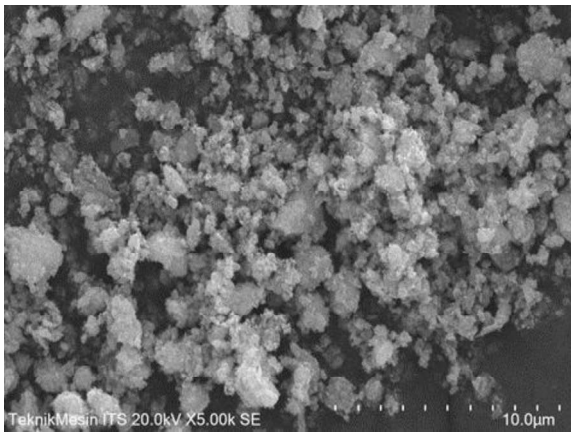


Perbesaran 5.000X

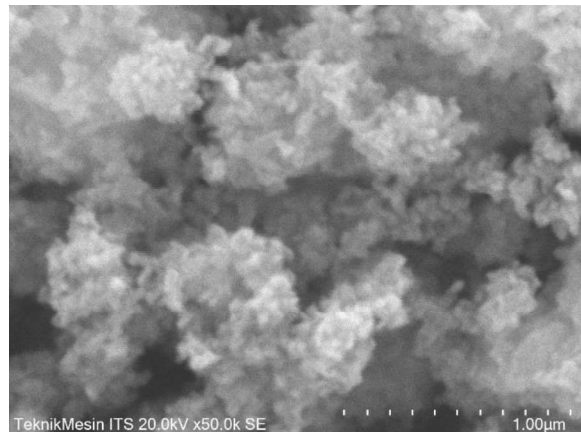


Perbesaran 50.000X

**Ekstrak 20%**

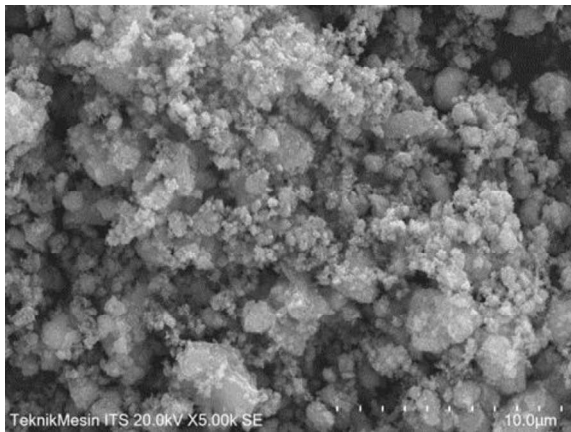


Perbesaran 5.000X

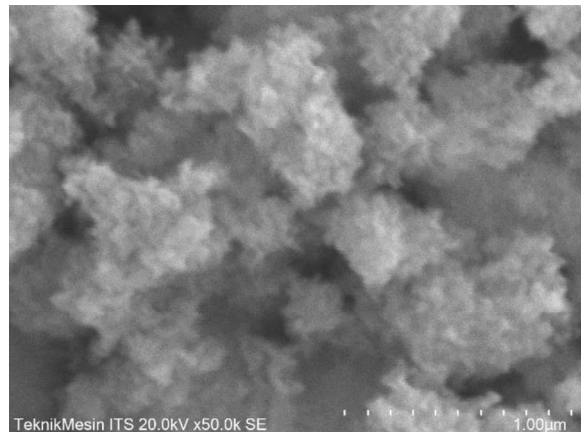


Perbesaran 50.000X

**Ekstrak 30%**



Perbesaran 5.000X



Perbesaran 50.000X

**Ekstrak 40%**

**Gambar 3.** Hasil SEM Hematit hasil sintesis setelah kalsinasi

**Tabel 3.** Hasil analisis warna pigmen hematit

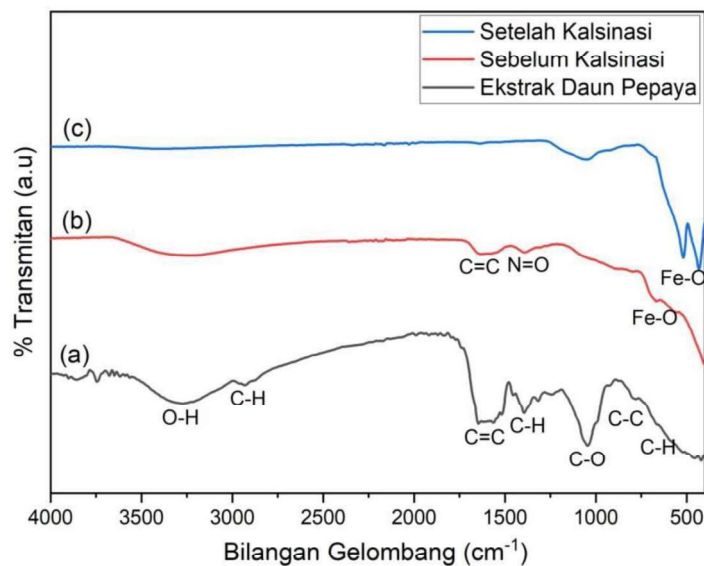
Konsentrasi ekstrak (%)	a*	b*	L*	C*	H°
Standar hematit [21]			25-45	9-42	21-57
20	15,92	27,3	40,73	31,60	59,74
30	15,72	27,51	41,15	31,68	60,18
40	15,15	27,63	41,52	31,51	61,25

Keterangan: Standar nilai warna hematit diambil dari Buku [20]

Berdasarkan pada **Tabel 3**, bahwa warna pigmen pada variasi konsentrasi ekstrak 20% memiliki nilai derajat kemerahan ( $a^*$ ) lebih tinggi dibandingkan yang lain, meskipun perbedaannya tidak terlalu signifikan. Semakin besar konsentrasi ekstrak daun pepaya, maka derajat kekuningannya ( $b^*$ ) semakin tinggi. Hal ini menyebabkan nilai rona warnanya ( $H^\circ$ ) lebih mengarah ke warna *orange*. Senada dengan derajat kekuningan, derajat kecerahan ( $L^*$ ) juga semakin meningkat dengan semakin tingginya konsentrasi ekstrak daun pepaya. Peningkatan kecerahan ini menunjukkan peningkatan kualitas warna pigmen. Hal ini sesuai dengan data nilai  $R_p$  dan  $R_{wp}$  bahwa pada konsentrasi 40% memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan yang lain yang menunjukkan bahwa pada konsentrasi 40% paling sesuai dengan standar.

Hasil karakterisasi dengan SEM menunjukkan bahwa produk hematit hasil kalsinasi bersifat agregat dengan partikel yang berukuran nanopartikel. Berdasarkan Gambar 3 menunjukkan bahwa seluruh variasi konsentrasi menghasilkan morfologi tidak seragam dengan adanya aglomerasi, di mana batas antar partikelnya tidak terlihat. Selain itu, fenomena aglomerasi partikel juga terlihat dalam sampel yang dianalisis. Aglomerasi seperti ini menghasilkan struktur yang terdiri dari kumpulan partikel yang saling terikat, yang membentuk agregat yang memiliki distribusi dan ukuran yang berbeda. Aglomerasi tersebut dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor beberapa di antaranya yaitu sifat permukaan partikel, kondisi lingkungan, dan parameter proses pembentukan material.

Ukuran partikel produk hasil sintesis menghasilkan ukuran partikel yang bervariasi. Pada konsentrasi 20% rata-rata partikel berukuran 2,1 nm, pada konsentrasi 30% berukuran 41,0 nm dan pada konsentrasi 40% berukuran 8,1 nm. Adapun perbedaan ukuran partikel tersebut dimungkinkan dipengaruhi oleh besarnya konsentrasi ekstrak daun pepaya yang ditambahkan. Semakin besar ekstrak yang ditambahkan maka semakin besar konsentrasi senyawa tannin yang terlibat dalam mengkhelat ion Fe dan mencapping Fe sehingga ukuran partikel semakin kecil. Dengan ukuran partikel yang semakin kecil, dapat menyebabkan derajat kecerahan pigmen hematit semakin tinggi sebagaimana **Tabel 3**.



**Gambar 4.** Interpretasi spektra FTIR; (a) ekstrak daun pepaya, (b) hematit hasil sintesis setelah presipitasi, dan (c) hematit hasil sintesis setelah kalsinasi

Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan bahwa pada ekstrak daun pepaya muncul serapan pada bilangan gelombang  $3261\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya gugus O-H *stretching* dalam senyawa polifenol, yang mampu membentuk kompleks

dan mereduksi ion  $\text{Fe}^{3+}$  sebagaimana pada **Gambar 4**. Bilangan gelombang  $2922\text{ cm}^{-1}$ ,  $1393\text{ cm}^{-1}$  dan  $1047\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus fungsi dari C-H *stretching* C-H *bending* dan C-O *stretching* [21]. Selain itu, terdapat serapan  $1620\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus C=C *stretching* dari cincin aromatik dalam senyawa polifenol, terlihat juga gugus fungsi C-C yang terdapat pada serapan  $788\text{ cm}^{-1}$  [22] dan serapan  $782\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus fungsi C-H aromatik *out of plane bending* dari senyawa tanin [23]. Gugus-gugus yang muncul pada ekstrak daun pepaya sangat berperan dalam berinteraksi dengan ion  $\text{Fe}^{3+}$  untuk membentuk kompleks. Adanya gugus-gugus tersebut juga berperan dalam mereduksi ion  $\text{Fe}^{3+}$  menjadi ion  $\text{Fe}^0$  sehingga terbentuk nanopartikel hematit. Interaksi tersebut dibuktikan dengan hasil FTIR dari senyawa hasil sintesis setelah presipitasi yang menunjukkan munculnya gugus OH, C=C, dan Fe-O. Produk sintesis setelah presipitasi menunjukkan bahwa terdapat serapan yang muncul pada bilangan gelombang  $1372$  dan  $1365\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya gugus N=O *symmetric* yang kemungkinan berasal dari proses destruksi prekursor. Serapan lainnya adalah terdapat gugus fungsi C=C *stretching* pada bilangan gelombang  $1621\text{ cm}^{-1}$ . Selain itu muncul serapan gugus Fe-O pada bilangan gelombang  $677\text{ cm}^{-1}$  dan  $566\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan pembentukan fasa besi oksida maghemit, yaitu fasa transformasi sebelum pembentukan hematit dan ditemukan serapan gugus Fe-O dengan intensitas rendah pada bilangan gelombang  $566\text{ cm}^{-1}$  [9]. Pada produk setelah kalsinasi, serapan OH, C=C telah hilang. Hal ini dikarenakan terjadi pemanasan pada suhu tinggi sehingga senyawa organik yang masih terdapat pada sampel telah terbakar. Pada produk hasil sintesis setelah kalsinasi, intensitas serapan Fe-O hematit yang khas lebih tinggi. Serapan Fe-O hematit ditemukan pada bilangan gelombang  $518$  dan  $432\text{ cm}^{-1}$  dengan intensitas yang tajam dan kuat, menunjukkan bahwa ada lebih banyak senyawa hematit yang terbentuk.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa produk hasil sintesis pada semua variasi konsentrasi ekstrak daun pepaya adalah hematit berstruktur rhombohedral dengan ukuran kristal berkisar antara  $27,89 - 44,01\text{ nm}$ . Warna hematit hasil sintesis meliputi derajat kemerahan, derajat kekuningan, derajat kecerahan, dan *chroma* telah sesuai dengan standar, hanya rona warna pada konsentrasi 30 dan 40% yang lebih condong ke arah *orange*. *Morphologi* hematit hasil sintesis pada semua variasi konsentrasi tidak seragam dan bersifat agregat dengan ukuran partikel berkisar  $2,1 - 41\text{ nm}$ . Hematit hasil sintesis setelah kalsinasi memiliki serapan gugus fungsi Fe-O pada bilangan gelombang  $432\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan keberadaan hematit.

#### Daftar Pustaka

- [1] Ukas, U., dan Arman, Z. (2020). Analisis Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 Terhadap Bahan Berbahaya dan Beracun di Kota Batam. *Jurnal Selat*, 8(1), 134-148.
- [2] Khoiroh, L. M., Sholehah, A. D. A., dan Yulianti, E. (2021). Structure and Morphology Properties of Nanoparticle Hematite Pigment from Lathe Waste. *International Journal of Chemistry*, 13(1), 1-9.
- [3] Abusalem, M., Awwad, A., Ayad, J., dan Rayyan, A. A. (2019). Green Synthesis of  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  of Nanoparticles Using Pistachio Leaf Extract Influenced Seed Germination and Seedling Growth of Tomatos.
- [4] Fouda, M. F. R., El-Kholy, M. B., Moustafa, S. A., Hussien, A. L., Wabba, M. A., dan El-Shahat, M. F. 2012. Synthesis and Characterization of Nanosized  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  Pigments [Research article] *International Journal of Inorganic Chemistry* (hlm. 1-9). Giza: Hindawi Publishing Corporation.
- [5] Khalil, M., Liu, N., dan Lee, R. L. 2017. Synthesis and Characterization of Hematite Nanoparticles Using Ultrasonic Sonochemistry Method. *International Journal of Technology*, 8(4), 582-590.
- [6] Septityana, K. D., Priyono, P., Rochman, N. T., Yuswono, Y., Rahman, T. P., Nugroho, D. W., dan Maulana, N. N. 2013. Sintesis dan Karakterisasi Pigmen Hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) dari Bijih Besi Alam melalui Metode Presipitasi. *Youngster Physics Journal*, 2(3), 95-100.
- [7] Banala, R. R., Nagati, V. B., dan Karnati, P. R. 2015. Green Synthesis and Characterization of Carica Papaya Leaf Extract Coated Silver Nanoparticles Through X-ray Diffraction, Electron Microscopy and Evaluation of Bactericidal Properties. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(5), 637-644. (Balana, 2015).
- [8] Q. N. Hidayah, M. P. Mahardika, and D. A. I. Permatasari, "Analisis Kandungan Logam Berat Pb, Cd, Dan Hg Pada Air Minum Isi Ulang Depot Air Minum (Dam) Di Kecamatan Tangen Menggunakan Spektroskopi Serapan Atom," *Duta Pharma J.*, vol. 1, no. 1, pp. 57-67, Jun. 2021, doi: 10.47701/djp.v1i1.1193.
- [9] Bhuiyan, M. S. H., Miah, M. Y., Paul, S. C., Aka, T. D., Saha, O., Rahaman, M. M., dan Ashaduzzaman, M. 2020. Green Synthesis of Iron Oxide Nanoparticle Using Carica Papaya Leaf Extract: Application for Photocatalytic Degradation of Remazol Yellow RR Dye and Antibacterial Activity. *Heliyon*, 6(8), e04603 (Bhuyan, 2020)
- [10] Kharissova, O. V., Kharisov, B. I., Oliva González, C. M., Méndez, Y. P., dan López, I. 2019. Greener Synthesis of Chemical Compounds and Materials. *Royal Society Open Science*, 6(11), 191378.

- [11] Peralta-Videa, J. R., Huang, Y., Parsons, J. G., Zhao, L., Lopez-Moreno, L., Hernandez-Viezcas, J. A., dan Gardea-Torresdey, J. L. 2016. Plant-based Green Synthesis of Metallic Nanoparticles: Scientific Curiosity or A Realistic Alternative to Chemical Synthesis. *Nanotechnology for Environmental Engineering*, 1, 1-29.
- [12] Mukunthan, K. S., dan Balaji, S. 2012. Cashew Apple Juice (*Anacardium Occidentale* L.) Speeds up The Synthesis of Silver Nanoparticles. *International Journal of Green Nanotechnology*, 4(2), 71-79. (Mukunthan, 2012).
- [13] Rufus, A., Sreeju, N., and Phillip, D. 2016. Synthesis of Biogenic Hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) Nanoparticles for Antibacterial and Nanofluid Applications. Departement of Physics. India.
- [14] Banala, R. R., Nagati, V. B., dan Karnati, P. R. 2015. Green Synthesis and Characterization of Carica Papaya Leaf Extract Coated Silver Nanoparticles Through X-ray Diffraction, Electron Microscopy and Evaluation of Bactericidal Properties. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(5), 637-644.
- [15] Balavijayalakshmi, J., dan Ramalakshmi, V. 2017. Carica PapayaP Mediated Synthesis of Silver Nanoparticles and its Antibacterial Activity Against Human Pathogens. *Journal of Applied Research and Technology*, 15(5), 413-422.
- [16] Zanur, H., Putra, A., dan Astuti, A. 2017. Sintesis Dan Karakterisasi Pigmen Hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) dari Biji Besi Di Jorong Kepalo Bukik Kabupaten Solok Selatan Menggunakan Metode Presipitasi. *Jurnal Fisika Unand*, 6(2), 149-155.
- [17] Rajendran, S. P., dan Sengodan, K. 2017. Synthesis and Characterization of Zinc Oxide and Iron Oxide Nanoparticles Using *Sesbania Grandiflora* Leaf Extract as Reducing Agent. *Journal of Nanoscience*, 2017.
- [18] Saravanakumar, B., Jansi Rani, B., Ravi, G., Sakunthala, A., dan Yuvakkumar, R. 2017. Influence of Reducing Agent Concentration on The Structure, Morphology and Ferromagnetic Properties of Hematite ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) Nanoparticles. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28, 8093-8100.
- [19] Shriner, R.L. 2004. *The Systematic Identification of Organic Compound*. Wiley; John Wiley and Sons, Inc.
- [20] Cornell, R. M., dan Schwertmann, U. 2003. *The Iron Oxides: Structure, Properties, Reactions, Occurrences, and Uses* (Vol. 664). Weinheim: Wiley-vch.
- [21] Siregar, M.Z., dan Ansari, A. 2020. Penggunaan Katalis Fe Terhadap Karbon Aktif Cangkang Kelapa Sawit dan Karbon Aktif Sekam Padi pada Proses Impregnasi. *Jurnal VORTEKS*, 1(1): 13-19.
- [22] Suryawanshi, P.L., Sonawane, S.H., Bhanvase, B.A., Ashokkumar, M., Pimplapure, M.S., dan Gogate, P.R. 2018. Synthesis Of Iron Oxide Nanoparticles In A Continuous Flow Spiral Microreactor And Corning® Advanced Flow™ Reactor. *Green Processing and Synthesis*, 7(1): 1-11.
- [23] N. Madubuonu *et al.*, "Bio-inspired iron oxide nanoparticles using *Psidium guajava* aqueous extract for antibacterial activity," *Appl. Phys. A*, vol. 126, no. 1, p. 72, Jan. 2020, doi: 10.1007/s00339-019-3249-6.