

SINTESIS NANOPARTIKEL Fe_2O_3 DAN PENGARUHNYA PADA PEMBAKARAN CAMPURAN PIROTEKNIK Al/Mg/ KNO_3

EVIE LESTARIANA^{1,2*}, MOHAMMAD KHOTIB², DEDEN SAPRUDIN²,
DAN HERU SUPRIYATNO¹

¹Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Bogor, Indonesia, 16350

²IPB University, Bogor, Indonesia, 16680

*alamat email korespondensi: evie002@brin.go.id, evielestariana@apps.ipb.ac.id

Informasi Artikel

Abstrak/Abstract

Kata Kunci:
Karakterisasi;
Nanopartikel; Panas
Pembakaran;
Piroteknik; Sintesis.

Nanomaterial telah banyak mendapat perhatian para peneliti dalam beberapa tahun terakhir, karena sifat fisika dan kimianya yang unik, yang berperan dalam meningkatkan performa dan keamanan penggunaan piroteknik. Tujuan penelitian ini adalah sintesis nanopartikel besi oksida (Fe_2O_3) menggunakan ekstrak daun Salam (*Syzygium polyanthum* (Wight) Walp.), dan penggunaannya dalam piroteknik Al/Mg/ KNO_3 . Nanopartikel Fe_2O_3 dikarakterisasi menggunakan *Ultra Violet Visible-Diffuse Reflectance Spectroscopy* (UV Vis-DRS), *Fourier Transform Infra-Red Spectroscopy* (FT-IR), *X-ray Diffraction* (XRD), *Particle Size Analyzer* (PSA), *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM-EDS), dan *Transmission Electron Microscope* (TEM). Pengaruh penambahan nanopartikel Fe_2O_3 diuji menggunakan kalorimeter bom. Panas pembakaran piroteknik Al/Mg/ KNO_3 hasil pengujian adalah sebesar 6,35 kJ/gr, dan dengan penambahan nanopartikel Fe_2O_3 adalah sebesar 7,12 kJ/gr.

Keywords:
Characterization;
Nanoparticles; Heat of
Combustion;
Pyrotechnics;
Synthesis.

*Nanomaterials have been widely concerned by researcher in recent years, because of its unique physical and chemical properties, which play an irreplaceable role in improving the performance and safety of pyrotechnics. The prime focus of this study is to produce iron oxide (Fe_2O_3) NPs by the reducing effect of *Syzygium polyanthum* (Wight) Walp. leaf extract, and it was used in Al/Mg/ KNO_3 pyrotechnics. Synthesized Fe_2O_3 NPs were characterized by field *Ultra Violet Visible-Diffuse Reflectance Spectroscopy* (UV Vis-DRS), *Fourier Transform Infra-Red Spectroscopy* (FT-IR), *X-ray Diffraction* (XRD), *Particle Size Analyzer* (PSA), *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM-EDS), and *Transmission Electron Microscope* (TEM). The effect of Fe_2O_3 NPs in Al/Mg/ KNO_3 pyrotechnics was studied by the using bomb calorimeter. The experimental value of combustion heat of Al/Mg/ KNO_3 is 6.35 kJ/gr, and with Fe_2O_3 NPs is 7.12 kJ/gr.*

PENDAHULUAN

Hematit (α - Fe_2O_3) merupakan oksida besi paling stabil dan semikonduktor paling ramah lingkungan dengan energi celah pita $E_g = 2,1$ eV. Hematit secara tradisional digunakan untuk pigmen merah, katalis, elektroda, sensor gas, material magnetik, fotokatalitik, dan cat pelindung anti-korosi [1]. Fe_2O_3 berukuran nanometer telah banyak digunakan di berbagai bidang. Selama dua dekade terakhir, banyak perhatian telah diberikan pada pembuatan Fe_2O_3 dengan berbagai ukuran, morfologi, dan fase kristal [2].

Beberapa metode untuk menghasilkan nanopartikel Fe_2O_3 diantaranya kopresipitasi (30 nm) [1], hidrotermal (50 nm) [2], presipitasi (21

nm) [3], sol-gel (5 dan 6 nm) [4], *green synthesis* (20 nm) [5].

Piroteknik merupakan campuran oksidator dan *fuel*. Selain itu ditambahkan bahan lain, yaitu *binder* dan katalis. Nanopartikel Fe_2O_3 merupakan salah satu katalis dalam piroteknik. Dengan ukuran dan luas permukaan yang besar, nanopartikel menunjukkan sifat-sifat baru dan menarik yang berbeda dari material curah. Di antara katalis dari oksida logam, nanopartikel oksida logam transisi seperti oksida besi (Fe_2O_3), oksida mangan (MnO_2 atau Mn_2O_3), dan kromium (III) oksida (Cr_2O_3) sangat efektif dalam meningkatkan dekomposisi oksidasi. Sifat ini dapat dikaitkan dengan berbagai tingkat oksidasi

logam transisi serta konfigurasi elektron spesifik kationnya [6].

Panas pembakaran merupakan indikator penting dalam piroteknik, yang dapat mengevaluasi tingkat keamanan penggunaan piroteknik. Panas pembakaran adalah panas reaksi dari massa atau jumlah suatu zat yang terbakar sempurna dan menghasilkan material yang stabil. Ini merupakan konsep penting dalam termodinamika kimia. Panas pembentukan dan energi ikatan dapat dihitung dengan mengukur panas pembakaran. Kalor pembakaran piroteknik mengacu pada energi 1 gr piroteknik yang dilepaskan selama pembakaran dalam kondisi tertentu, satuannya adalah $\text{kJ}\cdot\text{gr}^{-1}$. Untuk mendapatkan kalor pembakaran piroteknik terdapat dua macam metode, yaitu metode perhitungan berdasarkan teori Hukum Hess dan dengan menggunakan pengukuran kalorimeter bom oksigen dan nitrogen [7].

Terdapat beberapa permasalahan dalam pemanfaatan piroteknik, seperti: limbah, efek yang tidak diinginkan, faktor keamanan yang rendah selama penggunaan dan penyimpanan akibat reaksi material yang tidak memadai. Hal ini menjadi tantangan dalam pengembangan dan pemanfaatan piroteknik. Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian, pengembangan, dan teknologi penyiapan nanomaterial baru telah dilakukan secara bertahap untuk mengatasi permasalahan tersebut. Salah satu metode sintesis nanopartikel adalah biosintesis, termasuk sintesis hijau yang menggunakan ekstrak daun tanaman sebagai agen pereduksi.

Syzygium polyanthum (Wight) Walp. merupakan salah satu tanaman yang tumbuh subur di Indonesia, seperti di Pulau Jawa pada dataran rendah hingga ketinggian 1400 meter di atas permukaan laut, yang dapat tumbuh besar dan dapat mencapai tinggi 20-25 meter. Daunnya banyak digunakan sebagai rempah pewangi makanan dan dikenal pula sebagai tanaman obat oleh masyarakat Indonesia. Bioaktivitas ini disebabkan oleh kandungan metabolit sekunder daun. [8].

Penelitian kandungan metabolit sekunder pada tanaman *Syzygium polyanthum (Wight) Walp* telah banyak dilakukan, uji fitokimia ekstrak buah menunjukkan adanya metabolit sekunder, yaitu saponin, tanin, alkaloid, triterpenoid, dan flavonoid, sedangkan ekstrak daun menunjukkan adanya metabolit sekunder, yaitu alkaloid, saponin, steroid, fenolik, dan flavonoid [9].

Dalam penelitian ini, sintesis hijau nanopartikel Fe_2O_3 dilakukan menggunakan ekstrak daun *Syzygium polyanthum (Wight) Walp.* sebagai agen pereduksi dan *capping agent* yang efektif, tanpa penambahan bahan kimia (asam/basa). Selain itu, penelitian juga dilakukan mengenai pengaruh penambahan nanopartikel Fe_2O_3 terhadap nilai kalor pembakaran piroteknik Al/Mg/ KNO_3 .

EKSPERIMEN

Material

Dalam penelitian ini, bahan yang digunakan untuk mendapatkan ekstrak daun adalah serbuk daun (*Syzygium polyanthum (Wight) Walp.*) yang diperoleh dari Unit Konservasi Budidaya Biofarmasi (UKBB) Pusat Studi Biofarmasi Tropika LPPM IPB, Bogor, metanol, *n*-heksana, dan air suling. Untuk uji fitokimia, bahan yang digunakan meliputi air suling, larutan HCl 37 %, reagen Wagner, NaOH, anhidrida asetat, kloroform, H_2SO_4 , FeCl_3 , sedangkan untuk sintesis nanopartikel Fe_2O_3 digunakan $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3\cdot 9\text{H}_2\text{O}$, kalium nitrat (KNO_3) 99,0 %. Selain itu, pembuatan piroteknik bubuk menggunakan penambahan bubuk aluminium (Al) 90,9 % dan magnesium (Mg) 0,006-0,3 mm. Semua bahan kimia memiliki tingkat pro-analisis dan dibeli dari Merck dan digunakan tanpa pemurnian lebih lanjut.

Instrumentasi

FT-IR (Shimadzu Prestige 21), 4000-400 cm^{-1} , digunakan untuk menganalisis gugus fungsi fraksi air ekstrak daun dan nanopartikel hasil sintesis. Identifikasi serapan maksimum nanopartikel Fe_2O_3 dilakukan menggunakan instrumen UV-Vis DRS (Hitachi UH-5300), 200-800 nm. Karakterisasi kristal diperoleh melalui analisis XRD (Bruker, sumber sinar-X: Kobalt (Co)) dengan sudut difraksi 10-120 °. Karakterisasi partikel nanopartikel Fe_2O_3 meliputi distribusi ukuran dan muatan partikel menggunakan PSA (PSA Nanoplus) dengan sistem hamburan cahaya dinamis (DLS), dan morfologi bentuk menggunakan SEM-EDS (Phenom) 15 kV. TEM (Tecnai G2 20S-Twin Function) 200 kV, resolusi sub-Ångström 0,24 nm (titik) dan 0,188 nm (garis), rentang perbesaran 25x-1030kx, Kamera CCD, dan EDS (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy) memungkinkan

analisis komposisi unsur.

Piroteknik bubuk Al/Mg/KNO₃ dan Al/Mg/KNO₃/Fe₂O₃ diuji nilai kalor pembakarannya menggunakan kalorimeter bom tipe Cal3K dengan gas nitrogen.

Prosedur

Penyiapan dan Uji Fitokimia Ekstrak Daun

Daun segar dicuci, dikeringkan pada suhu kamar dan dalam oven. Daun kering digiling menjadi bubuk halus menggunakan alat penggiling mekanis. 50 gr serbuk daun *Syzygium polyanthum* (Wight) Walp. ditempatkan dalam labu Erlenmeyer. 250 ml metanol ditambahkan dan disonikasi selama 1 jam. Didiamkan selama 24 jam (metode maserasi). Ekstrak cair yang dihasilkan disaring menggunakan kertas saring dalam corong Buchner untuk mendapatkan filtrat maserasi. Filtrat dipartisi menggunakan *n*-heksana dan metanol sebagai pelarut untuk memisahkan senyawa polar dari senyawa non-polar dalam ekstrak daun. Proses pemisahan menghasilkan fraksi *n*-heksana dan metanol dari ekstrak daun. Fraksi metanol diuapkan menggunakan *rotary evaporator* pada 50 °C untuk menghilangkan pelarut metanol dan mendapatkan ekstrak kental. Ekstrak ini diencerkan dengan air. Bagian air dari ekstrak daun disimpan sebagai larutan stok dan digunakan sebagai media untuk sintesis nanopartikel [10].

Uji fitokimia dilakukan untuk mengidentifikasi beberapa kelompok alkaloid, flavonoid, diterpenoid, tanin, polifenol, dan saponin yang merupakan bahan aktif ekstrak daun. Identifikasi alkaloid: 1 ml ekstrak daun dicampur dengan 5 ml air suling, diikuti dengan penambahan 3 ml HCl dan 3 tetes reagen Wagner. Terbentuknya warna merah kecoklatan menunjukkan adanya alkaloid. Identifikasi flavonoid: 1 ml ekstrak daun ditambahkan ke dalam 5 ml air suling dan 1,5 ml larutan NaOH. Ekstrak daun kemudian ditambahkan ke dalam larutan HCl pekat. Terbentuknya warna kuning menunjukkan keberadaan flavonoid, dan warna memudar dengan penambahan HCl. Identifikasi steroid dan diterpenoid: 1 ml ekstrak daun ditambahkan tetes demi tetes ke dalam 2,5 ml anhidrida asetat, 2,5 mL kloroform, dan H₂SO₄ pekat. Terbentuknya warna merah menunjukkan keberadaan terpenoid, sedangkan warna hijau tua menunjukkan keberadaan steroid. Identifikasi tanin dan polifenol: 1 ml ekstrak daun dicampur

dengan 5 ml air suling dan 1-2 tetes FeCl₃. Terbentuknya warna hijau tua menunjukkan keberadaan tanin. Identifikasi saponin: 1 ml ekstrak daun dimasukkan ke dalam tabung reaksi. 5 ml air suling ditambahkan dan dikocok kuat selama 30 detik. Terbentuknya busa/gelembung menunjukkan adanya saponin dalam ekstrak daun [11].

Sintesis Nanopartikel Fe₂O₃

50 ml larutan besi nitrat 0,1 M [Fe(NO₃)₃] ditambahkan ekstrak daun *Syzygium polyanthum* (Wight) Walp. diaduk terus-menerus menggunakan pengaduk magnetik pada suhu 90 °C hingga terbentuk pasta. Pasta tersebut dikalsinasi pada suhu 550 °C selama 4 jam untuk mendapatkan nanopartikel Fe₂O₃ [12].

Penyiapan Piroteknik Al/Mg/KNO₃

KNO₃ digiling dalam *planetary ball mill* dan diayak melalui saringan getar 170 mesh. Al, Mg, dan KNO₃ ditimbang dengan perbandingan berat sesuai komposisi, dicampur dan diaduk dalam *ball mill* khusus hingga diperoleh campuran homogen. Nanopartikel Fe₂O₃ ditambahkan ke dalam campuran dengan perbandingan berat sesuai komposisi [13].

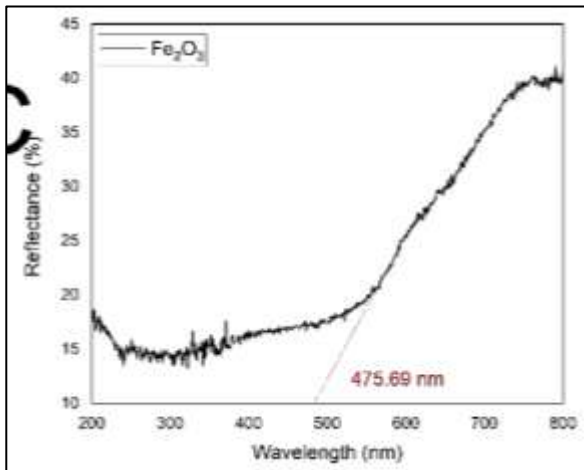
Uji Kalorimeter Bom

Pembakaran piroteknik termasuk dalam jenis reaksi eksotermik, artinya reaksi tersebut dapat menghasilkan panas. Cara mengukur kalor suatu reaksi biasa disebut dengan metode kalorimetri. Sedangkan alat untuk mengukur kalor suatu reaksi biasa disebut dengan kalorimeter bom. Oleh karena itu kalorimeter bom menjadi sangat penting untuk mempelajari sifat energi suatu bahan piroteknik [7].

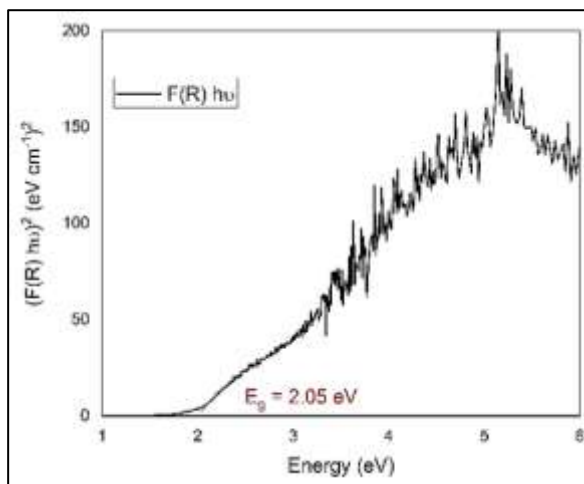
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi nanopartikel Fe₂O₃ menggunakan UV-Vis DRS bertujuan untuk identifikasi nanopartikel Fe₂O₃ berdasarkan absorbansi maksimum yang terbentuk. Hasil UV-Vis DRS dapat dilihat pada **Gambar 1** yang menunjukkan hubungan antara panjang gelombang dan absorbansi. Berdasarkan hasil UV-Vis DRS, terdapat serapan pada panjang gelombang 475,69 nm. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh [14], bahwa

serapan nanopartikel Fe_2O_3 terdapat pada rentang panjang gelombang 300-900 nm. Tidak adanya puncak absorbansi lainnya dalam spektrum menegaskan bahwa produk yang disintesis adalah nanopartikel Fe_2O_3 murni. Energi celah pita dihitung berdasarkan turunan numerik koefisien serapan optik menggunakan *Tauc's* hubungan antara koefisien serapan optik (α), energi foton ($h\nu$), konstanta (A), dan energi celah pita langsung (*direct*) (E_g) pada **Gambar 2**. Nilai energi celah pita nanopartikel Fe_2O_3 adalah 2,05 eV, sesuai dengan nilai yang dilaporkan sebelumnya [15].



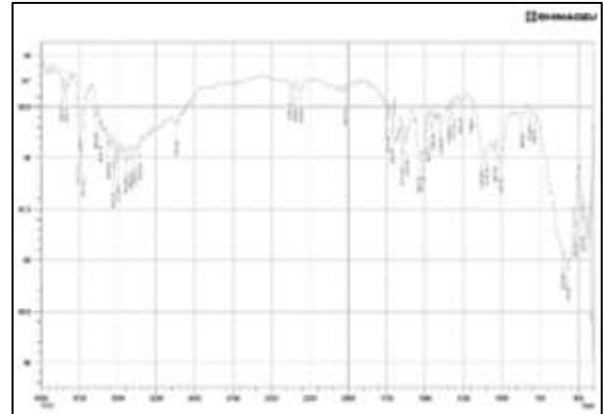
Gambar 1. Hasil UV-Vis DRS nanopartikel Fe_2O_3 .



Gambar 2. Energi celah pita nanopartikel Fe_2O_3 .

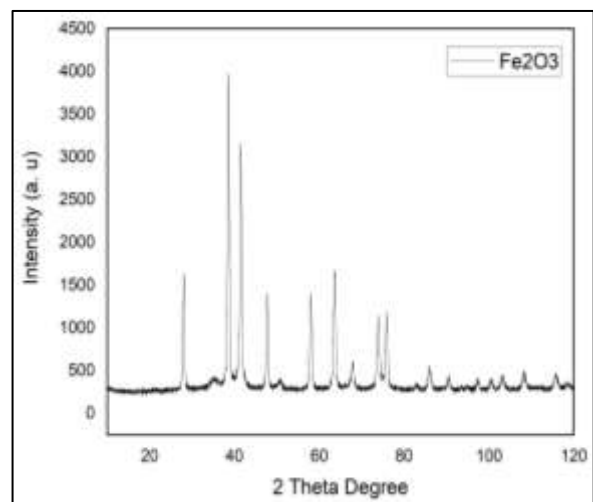
Karakterisasi spektroskopi FTIR pada nanopartikel Fe_2O_3 bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada nanopartikel Fe_2O_3 . Dari hasil karakterisasi pada Gambar diperoleh bahwa ikatan antara Fe(II)-O dan Fe(III)-O *stretching* masing-masing ditemukan pada bilangan gelombang 570,96 dan 1006,92 cm^{-1} . Hal ini sesuai dengan penelitian

yang menemukan ikatan antara Fe(II)-O dan Fe(III)-O *stretching* pada bilangan gelombang 528 dan 948,97 cm^{-1} [15].



Gambar 3. Spektrum FTIR nanopartikel Fe_2O_3 .

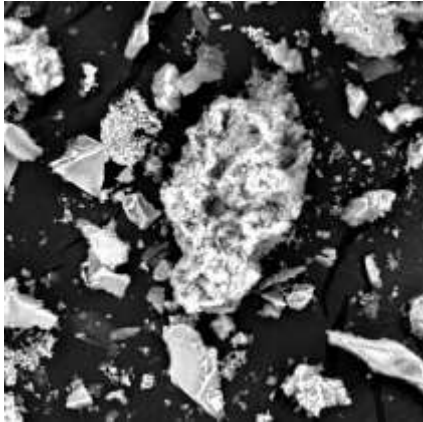
Penentuan ukuran kristal dan pola difraksi kristalinitas nanopartikel Fe_2O_3 dihitung berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan XRD. Dari hasil karakterisasi pada **Gambar 4** diperoleh grafik antara intensitas terhadap nilai 2θ . Berdasarkan grafik tersebut diperoleh bahwa nilai 2θ dari nanopartikel Fe_2O_3 adalah 28,05°; 38,61°; 41,54°; 47,74°; 58,05°; 63,62°; 67,86°; 73,95°; dan 75,87°. Hasil pengukuran 2θ tersebut sesuai dengan nilai 2θ dari COD No. 9015964. Selain itu, dari data XRD dilakukan penentuan ukuran partikel menggunakan persamaan *Scherrer* dan diperoleh ukuran kristal nanopartikel Fe_2O_3 adalah 16,33 nm.



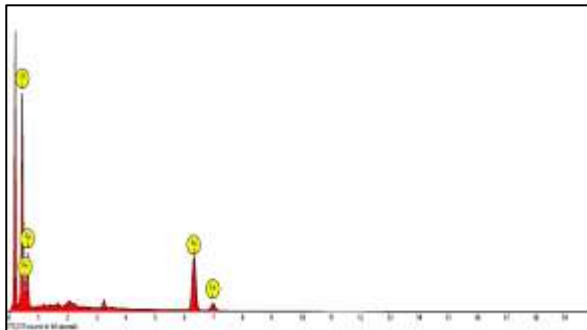
Gambar 4. Hasil XRD nanopartikel Fe_2O_3 .

Morfologi permukaan **Gambar 5** dan komposisi atom **Gambar 6** nanopartikel Fe_2O_3

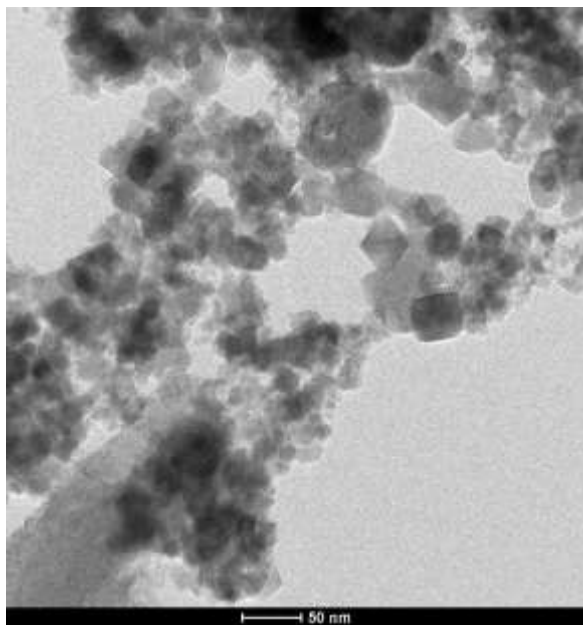
dapat diketahui berdasarkan karakterisasi menggunakan SEM-EDS. Selain itu, berdasarkan pengukuran EDS diperoleh masing-masing komposisi atom Fe dan O adalah 34,49 dan 65,51 % yang menunjukkan perbandingan nilai Fe : O dari hasil pengukuran adalah 2 : 3.



Gambar 5. Morfologi permukaan nanopartikel Fe₂O₃.



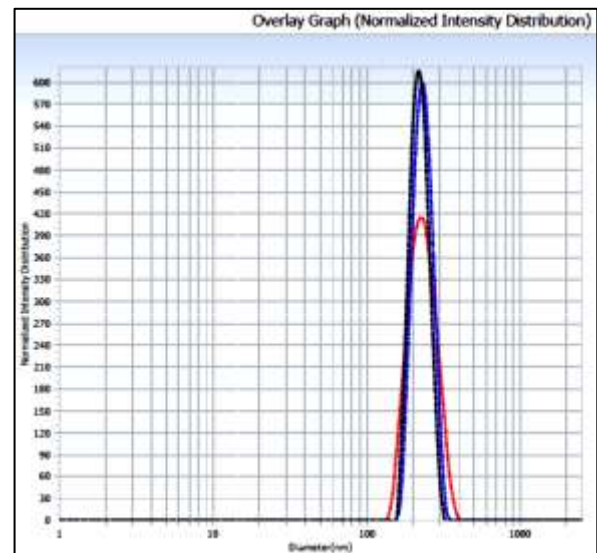
Gambar 6. Komposisi atom nanopartikel Fe₂O₃.



Gambar 7. Hasil TEM nanopartikel Fe₂O₃.

Karakterisasi TEM bertujuan untuk mengetahui bentuk morfologi nanopartikel Fe₂O₃. Hasil TEM dapat dilihat pada **Gambar 7**, menunjukkan bahwa nanopartikel Fe₂O₃ memiliki morfologi sebagian besar adalah *cubic* dan sebagian kecil lainnya memiliki bentuk *irregular*. Morfologi ini sangat dipengaruhi oleh metabolit sekunder pada ekstrak sebagai *capping agent*. Hasil TEM juga dapat digunakan untuk menentukan ukuran nanopartikel Fe₂O₃, yaitu rata-rata berukuran 17,46 nm.

Karakterisasi menggunakan (PSA) bertujuan untuk mengetahui distribusi ukuran partikel. Hasil PSA **Gambar 8** ukuran nanopartikel Fe₂O₃ sebesar 234,7 nm. Berdasarkan hasil pengukuran PSA, ukuran partikel yang diperoleh lebih besar dibandingkan dengan hasil pengukuran TEM dan XRD. Hal ini disebabkan oleh perbedaan prinsip pengukuran pada ketiga instrumentasi tersebut.



Gambar 8. Hasil PSA nanopartikel Fe₂O₃.

Kalorimeter bom tipe DDS Cal3K dengan Nitrogen digunakan dalam pengujian ini untuk pengukuran nilai kalor pembakaran piroteknik bubuk Al/Mg/KNO₃, baik tanpa maupun dengan penambahan nanopartikel Fe₂O₃. Dalam pengujian ini tidak menggunakan oksigen untuk pembakarannya karena komposisi piroteknik sudah mengandung oksigen sendiri. Berat piroteknik bubuk untuk masing-masing pengujian adalah ~ 0,5 gr. Rata-rata nilai kalor pembakaran piroteknik bubuk Al/Mg/KNO₃ 6,35 kJ/gr dan dengan penambahan nanopartikel Fe₂O₃ 7,12 kJ/gr.

SIMPULAN

Nanopartikel Fe_2O_3 telah disiapkan menggunakan metode sintesis hijau, menggunakan ekstrak daun *Syzygium polyanthum* (Wight) Walp. Pengamatan menunjukkan perubahan warna larutan dari coklat muda menjadi coklat tua, yang menunjukkan pembentukan nanopartikel, yang kemudian berubah warna menjadi merah yang merupakan warna Fe_2O_3 . Analisis XRD menunjukkan jenis oksida besi Fe_2O_3 yang dikonfirmasi dengan data yang identik dengan data standar (ICSD No. 98-006-2134) termasuk oksida besi. Hasil uji SEM dan EDS menunjukkan partikel oksida besi berukuran nanometer. Hasil uji FTIR menunjukkan gugus fungsi dan ikatan kimia yang kuat dari partikel oksida besi. Sifat optik ditunjukkan menggunakan spektroskopi UV di mana energi celah pita ditentukan dari sifat optik yang ditemukan dalam nanopartikel oksida besi. Pengaruh penambahan nanopartikel Fe_2O_3 dalam piroteknik Al/Mg/ KNO_3 dipelajari dengan menggunakan kalorimeter bom. Nilai kalor pembakaran percobaan Al/Mg/ KNO_3 sebesar 6,35 kJ/gr, dan dengan penambahan nanopartikel Fe_2O_3 sebesar 7,12 kJ/gr.

REFERENSI

- [1] M. Farahmandjou and F. Soflaee, "Synthesis and Characterization of α - Fe_2O_3 Nanoparticles by Simple Co-Precipitation Method," *Phys. Chem. Res.*, vol. 3, pp. 191-196, 2015.
- [2] M. Tadic, D. Trpkov, L. Kopanja, S. Vojnovic and M. Panjan, "Hydrothermal synthesis of hematite (α - Fe_2O_3) nanoparticle forms: Synthesis conditions, structure, particle shape analysis, cytotoxicity and magnetic properties," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 792, pp. 599-609, 2019.
- [3] A. Lassoued, B. Dkhil, A. Gadri and S. Ammar, "Control of the shape and size of iron oxide (α - Fe_2O_3) nanoparticles synthesized through the chemical precipitation method," *Results in Physics*, vol. 7, pp. 3007-3015, 2017.
- [4] M. Alagiri and S. B. Abdul Hamid, "Sol-gel synthesis of α - Fe_2O_3 nanoparticles and its photocatalytic application," *J Sol-Gel Sci Technol*, vol. 74, pp. 783-789, 2015.
- [5] P. N. V. K. Pallela, S. Ummey, L. K. Ruddaraju, S. Gadi, C. S. Cherukuri, S. Barla and S. Pammi, "Antibacterial efficacy of green synthesized α - Fe_2O_3 nanoparticles using *Sida cordifolia* plant extract," *Heliyon*, vol. 5, 2019.
- [6] M. Ravanbod and H. R. Pouretdal, "Catalytic effect of Fe_2O_3 , Mn_2O_3 , and TiO_2 nanoparticles on thermal decomposition of potassium nitrate," *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 124, p. 1091-1098, 2016.
- [7] Z. L. D. Z. X. Q. & Z. Z. Y. Jiawang, "Study on combustion heat of pyrotechnics," in *International Symposium on Safety and Technology*, 2014.
- [8] M. I. Rizki and E. M. Hariandja, "Review: Aktivitas Farmakologis, Senyawa Aktif, dan Mekanisme Kerja Daun Salam (*Syzygium polyanthum*)," in *Prosiding Seminar Nasional & Workshop "Perkembangan Terkini Sains Farmasi & Klinik 5"*, 2015.
- [9] L. N, N. L. W. MUSA, W. Z. WAN MOHD ZAIN, J. KASSIM and S. A. KARIM, "Premilinary Studies on Phytochemical Screening of Ulam and Fruit from Malaysia," *E-Journal of Chemistry*, vol. 8, no. S1, pp. S285-S288, 2011.
- [10] I. M. P. N. F. Devi Nisa Hidayati, "Cytotoxic Activity of *Eugenia polyantha* Wight Leaves Extract, Purified Extract and Ethyl Acetate Fraction in T47D and Determination of Flavonoid Levels," *Indo. J. Chem. Sci.*, vol. 11, no. 1, 2022.
- [11] A. Altemimi, N. Lakhssassi, A. Baharlouei, D. G. Watson and D. A. Lightfoot, "Phytochemicals: Extraction, Isolation, and Identification of Bioactive Compounds from Plant Extracts," *Plants*, vol. 6, no. 42, 2017.
- [12] V. Karade, S. Parit, V. Dawkar, R. Devan, R. Choudhary, V. Kedge, N. Pawar, J. Kim and A. Chougale, "A green approach for the synthesis of α - Fe_2O_3 nanoparticles from *Gardenia resinifera* plant and its *In vitro* hyperthermia application," *Heliyon*, vol. 5, 2019.

- [13] M. S. F. C. S. P. Sivapirakasam, "Thermal characterization of pyrotechnic flash compositions," *Sci. Tech. Energetic Materials*, vol. 71, no. 1, pp. 11-16, 2010.
- [14] S. Lakshminarayanan, M. F. Shereen, K. L. Niraimathi, P. Brindha and A. Arumugam, "One-pot Green Synthesis of Iron Oxide Nanoparticles from Bauhinia tomentosa: Characterization and Application Towards Synthesis of 1, 3 Diolein," *Scientific Reports*, vol. 11, 2021.
- [15] A. H. AL-Husseini, B. T. Sih and A. M. Al-araji, "Green Synthesis of Iron Oxide Nanoparticles (Fe₂O₃) Using Saffron Extract," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2114, 2021.
- [16] B. T. S. A. M. A.-a. A H AL-Husseini, "Green Synthesis of Iron Oxide Nanoparticles (Fe₂O₃) Using Saffron Extract," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2114, 2021.