

**KARAKTER PERMUKAAN NANOPARTIKEL BESI OKSIDA/KARBON
TERSINTESIS DALAM METODE *SUBMERGED ARC DISCHARGE*
MENGUNAKAN MEDIA LARUTAN ETANOL/UREA**

**SURFACE CHARACTER OF IRON OXIDE/CARBON NANOPARTICLES
SYNTHESIZED BY SUBMERGED ARC DISCHARGE METHOD IN
ETHANOL/UREA MEDIUM**

Teguh Endah Saraswati^{1*}, Fitri Nela Sari¹, dan Nestri Handayani²,

¹ Prodi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta 57126 Indonesia Tlp/fax: +62857-1910-8084

² Prodi Farmasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta 57126 Indonesia

* email: teguh@mipa.uns.ac.id

DOI : 10.20961/alchemy.13.2.2392.%p

Received 26 January 2017, Accepted 30 May 2017, Published online 1 September 2017

ABSTRAK

Telah dilakukan sintesis nanopartikel besi oksida dengan karbon dengan metode *submerged arc discharge* dalam larutan etanol/urea. Besi oksida yang digunakan untuk proses fabrikasi berasal dari hasil elektrolisis besi pada larutan elektrolit NaCl. Fabrikasi nanopartikel dalam metode ini menggunakan dua elektroda grafit. Salah satunya dibuat runcing dan elektroda grafit lain dilubangi dan diisi dengan campuran besi oksida, grafit dan lem silika (SiO₂ sebagai pengikat) dengan perbandingan 1:3:1. Media cair yang digunakan dalam metode ini adalah larutan etanol/urea menggunakan larutan etanol 50 % dan variasi penambahan larutan urea mulai dari 0 %, 10 %, 25 % dan 50 % dengan perbandingan volume 1:1 (v/v). Kristalinitas besi oksida diketahui dari karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), dibandingkan dengan JCPDS No. 89-0597, No. 89-0691 dan No. 39-1346. Variasi konsentrasi urea dalam media cair saat sintesis diyakini akan merubah karakter permukaan nanopartikel yang terbentuk. Perubahan karakter permukaan ini dapat dilihat dari serapan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dan hasil dispersi nanopartikel dalam air dan etanol. FTIR menunjukkan adanya serapan Fe-O, C-H, C-N, C=O, O-H dan N-H pada 460-555 cm⁻¹, 650-1000 cm⁻¹, 1000-1350 cm⁻¹, 1640-1680 cm⁻¹, 2400-3400 cm⁻¹, 3200-3400 cm⁻¹, 3100-3500 cm⁻¹. Karakter permukaan hidrofilik terbaik dimiliki oleh nanopartikel besi oksida/karbon tersintesis dalam media etanol 50% dengan penambahan urea 50 %. Adanya gugus fungsional yang tertanam pada permukaan nanopartikel tersintesis dalam etanol/urea mengakibatkan nanopartikel tersebut memiliki dispersi yang lebih baik dibanding dengan nanopartikel tersintesis dalam media etanol tanpa penambahan urea.

Kata Kunci: *arc discharge*, besi oksida, karbon, nanopartikel, urea.

ABSTRACT

Synthesis of iron oxide nanoparticles modified with carbon has been successfully performed by submerged arc-discharge method in ethanol/urea medium. Iron oxide used in the fabrication process was prepared by iron electrolysis in an electrolyte solution of NaCl. Fabrication of nanoparticles in this method uses two graphite electrodes. One of them was made in a pointed shape and the other graphite electrodes hollowed out and filled with a mixture of iron oxide, graphite and glue silica (as binder) with a ratio of 1:3:1 (w/w/w). The liquid medium used in this method is a mixture solution of ethanol 50% and urea (0%, 10%, 25% and 50%) with a volume ratio of 1:1 (v/v). The crystalline of iron oxide was characterized using X-Ray Diffraction (XRD), compared to JCPDS No. 89-0597, No. 89-0691 and No. 39-1346. Variations in the urea concentration in the liquid medium provided the changes of the surface character of the synthesized nanoparticles. The changes of surface character were analyzed by the Fourier Transform Infra Red (FTIR) spectra and nanoparticle dispersion in water and ethanol. FTIR spectra showed the absorption of Fe-O, CH, CN, C = O, OH and NH at 460-555 cm^{-1} , 650-1000 cm^{-1} , 1000-1350 cm^{-1} , 1640-1680 cm^{-1} , 2400-3400 cm^{-1} , 3200-3400 cm^{-1} , 3100-3500 cm^{-1} , respectively. The best hydrophilic surface character achieved when the nanoparticle was synthesized in medium of ethanol 50% with the addition of urea 50%. The existence of a functional group attached on the surface of nanoparticles synthesized in ethanol/urea makes these nanoparticles had better dispersion than nanoparticles synthesized in ethanol medium without urea addition.

Keywords: arc discharge, carbon, iron oxide, nanoparticle, urea

PENDAHULUAN

Nanopartikel magnetik menunjukkan fenomena baru yang luar biasa seperti superparamagnetis, ireversibilitas yang tinggi, medan saturasi, kontribusi anisotrop tambahan (Xavier *and* Amílcar, 2002). Aplikasi nanopartikel magnetik yang berkembang pesat akhir-akhir ini diterapkan pada bidang biomedis. Pada aplikasi biomedis khususnya sebagai pembawa obat (*drug carrier*), nanopartikel magnetik digunakan karena memiliki sifat superparamagnetis sehingga ketika didekatkan dengan suatu medan magnet nanopartikel magnetik tersebut dapat bergerak menuju target yang diinginkan pada tubuh manusia (Mody *et al.*, 2014). Berbeda dengan material magnetik fero yang memiliki sifat magnetik permanen, nanopartikel magnetik superparamagnetis memiliki kelebihan yakni dapat dikontrol dengan medan magnet sesuai dengan yang pengguna inginkan. Hal ini untuk menghindari perilaku partikel yang aktif ketika tidak berada pada bagian yang ditargetkan (Park *et al.*, 2010). Selain itu, material magnetik dengan momen magnet yang tinggi seperti kobalt dan nikel merupakan material yang beracun, rentan terhadap oksidasi sehingga tidak bisa digunakan untuk aplikasi biomedis. Oleh karena itu, material magnetik

dengan magnetisasi lebih rendah seperti ferrimagnetik magnetit (Fe_3O_4) dan maghemite ($\gamma-Fe_2O_3$) cocok untuk aplikasi *in vivo* (Sanvicens and Marco, 2008).

Sintesis nanopartikel magnetik besi sudah banyak dilakukan antara lain dengan menggunakan metode irradiasi *electron beam*, metode kopresipitasi, metode presipitasi emulsi (Zhao *et al.*, 2007; Layek *et al.*, 2010; Sahoo *et al.*, 2010). Oleh karena nanopartikel besi bersifat toksis terhadap tubuh manusia, dalam bioaplikasi, nanopartikel ini harus dilapisi terlebih dahulu dengan material lain. Salah satu material yang digunakan untuk melapisi besi adalah karbon, karena karbon memiliki keunggulan antara lain tahan terhadap kondisi kimia dan suhu yang ekstrim sehingga dapat melindungi besi dari oksidasi, selain juga memiliki kapasitas tinggi dalam mengadsorpsi sehingga dapat dimodifikasi dengan senyawa biomolekul yang lain untuk aplikasi yang dituju.

Meskipun demikian, material magnetik besi dengan karbon masih memiliki kelemahan yakni belum biokompatibel jika diaplikasikan sebagai pembawa obat, dikarenakan karakter permukaannya yang bersifat hidrofobik. Modifikasi permukaan nanopartikel umumnya dapat dilakukan dengan penambahan komponen *bioactive* untuk menjadikan permukaan nanopartikel bersifat hidrofilik. Komponen *bioactive* yang dimaksud di sini merupakan komponen senyawa yang memiliki gugus fungsi seperti $-NH_2$ dan $-COOH$ (Chomoucka *et al.*, 2010).

Salah satu teknik sintesis nanopartikel magnetik adalah metode *arc discharge*. Metode *arc-discharge* pertama kali digunakan oleh Kratschmer dan Hoffman untuk mensintesis C_{60} (Kratschmer *et al.*, 1990). Sintesis nanopartikel magnetik besi dengan karbon telah dilaporkan oleh (Nagatsu *et al.*, 2011; Saraswati *et al.*, 2011; Saraswati *et al.*, 2012; Saraswati *et al.*, 2014) dengan metode *arc discharge* konvensional. Metode *arc discharge* atau metode pijar api adalah salah satu metode *top-down* untuk membuat nanomaterial. Metode *arc discharge* konvensional dilakukan pada tekanan rendah menggunakan pompa vakum dan kemudian dialiri dengan gas inert dan gas lain yang menjadi sumber karbon. Modifikasi pada metode ini telah pernah dilakukan tanpa pompa vakum dan aliran gas. Metode *arc discharge* termodifikasi ini dilakukan dalam media cair (Andhika *et al.*, 2014; Andhika *et al.*, 2014; Anwar *et al.*, 2015; Nandika *et al.*, 2015; Saraswati *et al.*, 2015; Saraswati *et al.*, 2015) yang secara teknis lebih mudah dilakukan atau yang dikenal dengan metode *submerged arc discharge*.

Variasi media cair dalam metode ini diyakini dapat mengubah karakter permukaan nanopartikel yang terbentuk. Artikel sebelumnya dari grup peneliti kami telah melaporkan

perubahan karakter permukaan dari hidrofobik menjadi hidrofilik dalam preparasi fotokatalis TiO₂/C menggunakan metode *submerged arc discharge* dalam media cair etanol dengan asam asetat (Nandika *et al.*, 2015; Saraswati *et al.*, 2015). Oleh karena itu, artikel ini akan mengkaji perubahan karakter permukaan nanopartikel besi oksida/karbon tersintesis dalam metode arc discharge termodifikasi menggunakan media cair etanol dengan penambahan urea.

METODE PENELITIAN

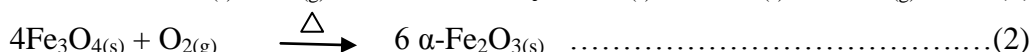
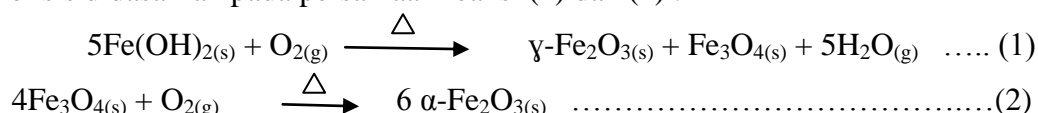
Besi oksida diperoleh dari proses elektrolisis menggunakan elektrolit NaCl (teknis) 0,375 M. Proses elektrolisis ini dilakukan selama 1,5 jam dengan menggunakan arus berkisar antara 40 sampai 70 A. Hasil elektrolisis ini berupa serbuk besi yang masih mengandung ion Cl⁻. Hasil elektrolisis dicuci dengan akuades hingga ion Cl⁻ hilang yang ditunjukkan dengan tidak adanya endapan dari filtrat pencucian hasil elektrolisis dengan akuades. Tes penghilangan ion Cl⁻ dilakukan dengan meneteskan sedikit larutan AgNO₃ pada filtrat. Setelah hasil elektrolisis bebas ion Cl⁻, kemudian hasil elektrolisis ini dipanaskan pada suhu 250 °C. Langkah selanjutnya, material ini akan digunakan sebagai *filler* yang diisikan dalam tabung grafit sebagai anoda ukuran panjang 50 mm dengan diameter luar 10 mm dan diameter dalam 7 mm (Qingdao Tennry Carbon Co., Ltd.). *Filler* dibuat dari campuran homogen karbon (grafit), lem silika (sebagai binder) dengan perbandingan massa 1:3:1 (b/b) dan sedikit etanol (teknis). Tabung grafit pejal ukuran panjang 50 mm dengan diameter 10 mm digunakan sebagai katoda.

Anoda dan katoda diusahakan dekat dengan jarak yang sangat kecil tapi tidak menempel. Hal ini dilakukan supaya terjadi loncatan ion-ion listrik yang ditandai dengan loncatan bunga api. Arus dan elektoda baik anoda maupun katoda diset-up di dalam gelas beker berisi larutan urea p.a. (Merck) di dalam etanol. Arus yang digunakan dalam metode ini yaitu 10 A. Proses ini berlangsung dari munculnya bunga api hingga tidak terlihat lagi dalam waktu antara 10 - 15 menit. Media larutan yang digunakan dalam metode arc-discharge etanol 50 % dalam variasi penambahan urea 0 %, 10 %, 25 % dan 50 % dengan perbandingan volume etanol/urea 1:1 (v/v).

Hasil sintesis nanopartikel magnetik besi oksida dengan karbon dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) (Bruker), spektrofotometer FTIR (Shimadzu 6000), dispersi dalam akuades dan etanol 96 %.

PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, besi oksida diperoleh dari pemanasan hasil elektrolisis paku karat menghasilkan padatan yang berwarna coklat kehitaman. Hasil elektrolisis ini kemudian dikalsinasi pada suhu 250 °C mengalami perubahan warna menjadi coklat. Hal ini menunjukkan bahwa proses kalsinasi menyebabkan perubahan fase pada hasil elektrolisis didasarkan pada persamaan reaksi (1) dan (2) :

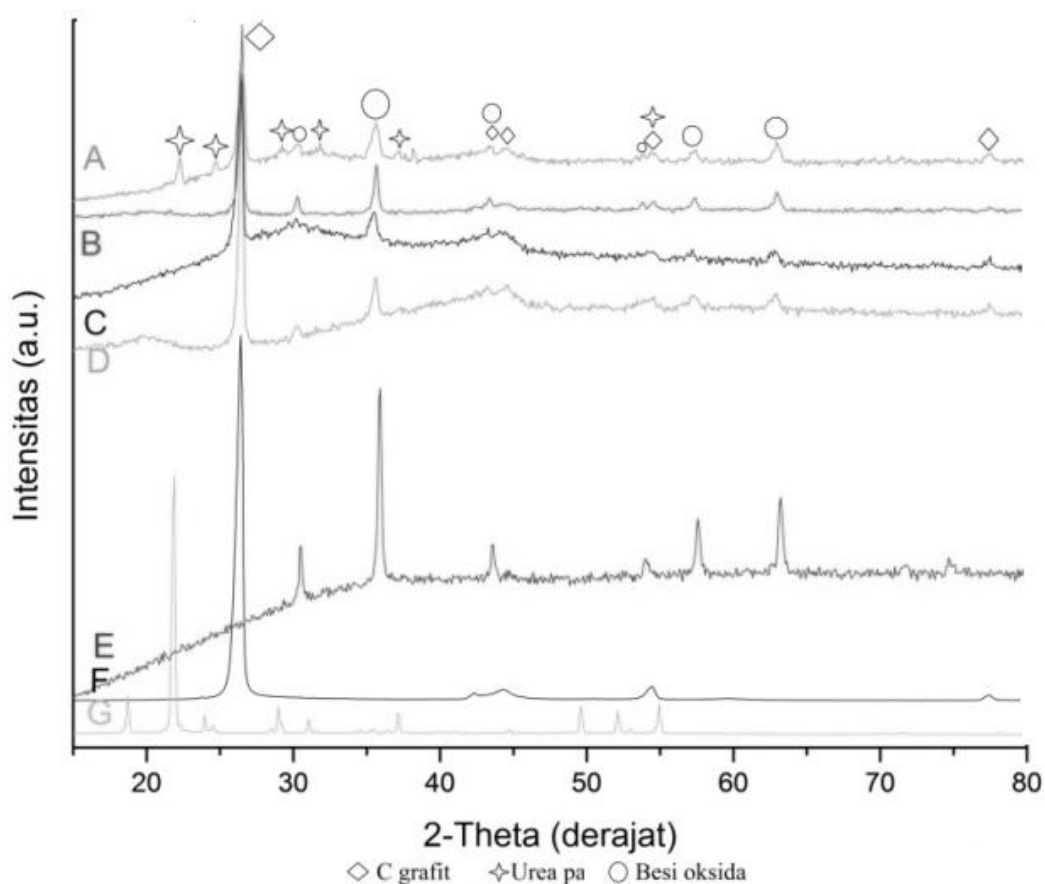


Proses fabrikasi nanopartikel magnetik besi oksida dengan karbon telah dilakukan menggunakan metode *arc-discharge* dalam larutan etanol 50 % dengan variasi penambahan urea 0 %, 10 %, 25 % dan 50 % dengan perbandingan volume etanol/urea 1:1 (v/v). Penambahan urea bertujuan untuk memodifikasi permukaan nanopartikel sehingga mengandung gugus fungsional yang biokompatibel. Pada kedua elektroda yang dipasang terjadi loncatan ion-ion listrik yang ditandai dengan terjadinya loncatan bunga api yang menimbulkan gelembung gas seiring terjadinya peningkatan suhu.

Proses fabrikasi membuat elektroda grafit terevaporasi dan berinteraksi dengan besi oksida, sehingga menghasilkan nanopartikel besi oksida dengan karbon. Menurut Sano (2002) terdapat dua kemungkinan pembentukan struktur nanopartikel yaitu *carbon onion* dan *carbon nanotubes*. Pembentukan nanopartikel ini dapat terjadi jika ion karbon bermuatan (C^+ , C^- , C^0) bergerak pindah menuju *cold zone* yang terletak antara anoda dan katoda. Pada daerah *cold zone* ini terbentuk nanopartikel. Selain itu nanopartikel karbon dapat juga diperoleh dari ion karbon yang berasal dari etanol dan urea yang mengalami kondensasi.

Besi oksida pada suhu 250 °C yang dikarakterisasi menggunakan XRD memiliki tiga fasa bentuk yang ditunjukkan pada kesamaan puncak-puncak pada 2θ yang sama dengan JCPDS No. 89-0597 yang merupakan Fe_2O_3 *hematite*, JCPDS No. 89-0691 yang merupakan Fe_3O_4 *magnetite*, dan JCPDS No. 39-1346 yang merupakan Fe_2O_3 *maghemite* atau $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ dimana tiga puncak tertinggi besi oksida ditunjukkan pada $2\theta = 35,9186^\circ$, $57,5602^\circ$ dan $63,2059^\circ$. Berdasarkan banyaknya kemiripan puncak, besi oksida pada suhu 250 °C lebih sesuai dengan fase Fe_3O_4 *magnetite* dan Fe_2O_3 *maghemite* atau $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$.

Puncak difraktogram karbon (grafit) sesuai dengan JCPDS No. 75-2078 dimana puncak tertinggi terdapat pada $2\theta = 26,4237^\circ$. Puncak difraktogram urea p.a. sesuai dengan JCPDS No. 83-1436 dimana puncak tertinggi urea terlihat muncul pada media larutan dengan variasi penambahan urea 50 % terdapat pada $2\theta = 21,8901^\circ$. Berdasarkan **Gambar 1**. Dapat diketahui bahwa pembentukan perpaduan besi oksida dan karbon dengan metode *arc-discharge* telah berhasil dilakukan. Hal tersebut ditunjukkan dengan adanya puncak-puncak gabungan dalam XRD nanopartikel hasil fabrikasi yang merujuk puncak-puncak dari material awal.

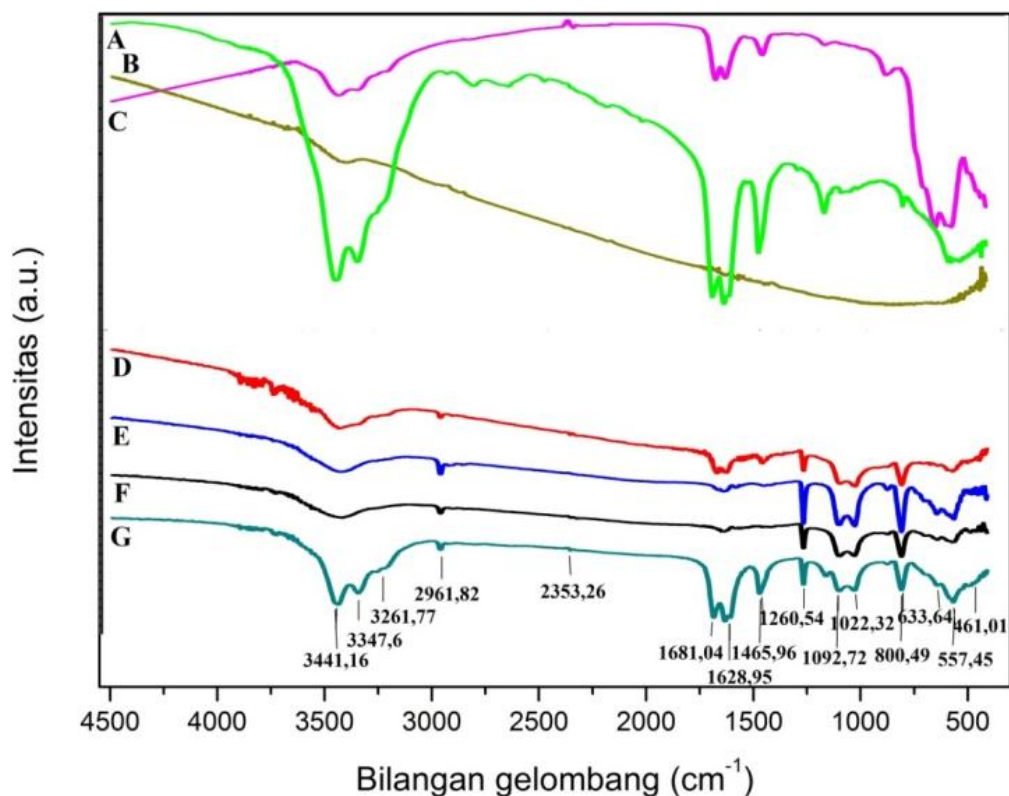


Gambar 1. Difraktogram XRD sintesis nanopartikel magnetik besi oksida dengan karbon dengan metode *arc-discharge* dalam media larutan etanol 50 % dalam variasi penambahan urea (A) 50 %; (B) 25 %; (C) 10 %; (D) 0 %; (E) Besi oksida pada suhu 250 °C; (F) karbon grafit; (G) urea.

Hasil karakterisasi dengan FTIR dari nanopartikel besi oksida dengan karbon ditunjukkan pada **Gambar 2**. Berdasarkan **Gambar 2**., daerah bilangan gelombang 460 - 555 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan Fe-O, pada daerah bilangan gelombang 650 - 1000 cm^{-1} menunjukkan serapan C-H *bend* dari alkana, pada daerah bilangan gelombang 1000 - 1350 cm^{-1} mengindikasikan adanya serapan C-N amina, pada daerah bilangan

gelombang $1640 - 1680 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan serapan $\text{C}=\text{O}$, pada daerah bilangan gelombang $1550 - 1640 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan serapan N-H bend , pada daerah bilangan gelombang $2400 - 3400 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan serapan $\text{O-H H}_2\text{O}$, pada daerah bilangan gelombang $3200 - 3400 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan serapan O-H alkohol dan fenol, pada daerah bilangan gelombang $3100 - 3500 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya serapan dari N-H amina, muncul serapan kecil pada daerah bilangan gelombang $2850 - 3000 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya serapan C-H stretch alkana yang kemungkinan berasal dari grafit.

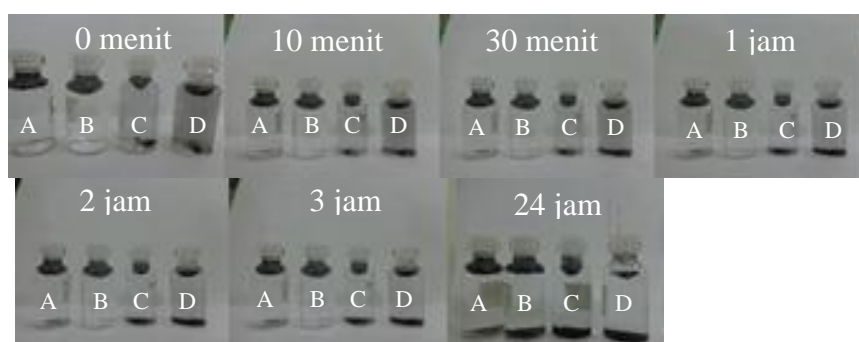
Keberhasilan modifikasi permukaan dengan metode *arc-discharge* ditunjukkan dari dispersi nanopartikel dalam air dan etanol. Adanya gugus fungsional yang tertanam pada permukaan nanopartikel tersintesis dalam etanol/urea menjadikan nanopartikel tersebut memiliki dispersitas yang lebih baik dibanding dengan nanopartikel tersintesis dalam media tanpa penambahan urea sebagaimana yang ditampilkan dalam Gambar 3 dan 4.



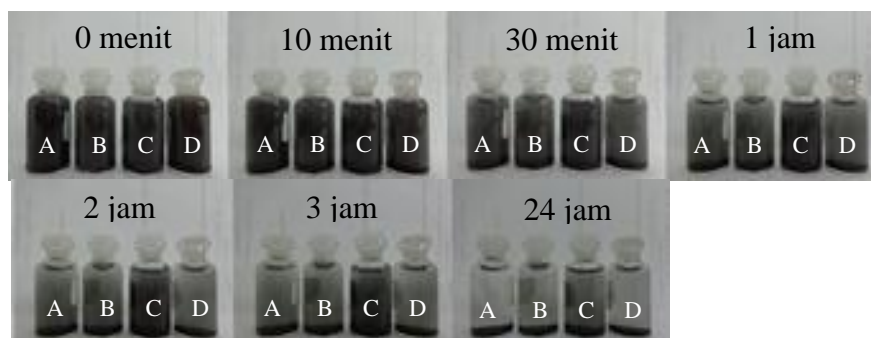
Gambar 2. Hasil FTIR material awal (A) Urea pa, (B) Grafit, (C) Besi oksida pada suhu $250 \text{ }^\circ\text{C}$ dan hasil FTIR fabrikasi dengan variasi urea (D) 10 %, (E) 25 %, (F) 0 % dan (G) 50 %.

Gambar 3 dan **Gambar 4** menunjukkan hasil dispersitas nanopartikel besi oksida/karbon berturut-turut dalam akuades dan etanol. Dispersitas terbaik dimiliki oleh nanopartikel besi oksida/karbon pada variasi penambahan urea dengan konsentrasi yang

besar. Gugus amina yang dimiliki oleh urea berhasil memodifikasi permukaan nanopartikel sehingga bersifat hidrofilik, lebih lanjut ketika berinteraksi dengan air, mampu terdispersi dengan lebih baik. Semakin tinggi konsentrasi urea yang ditambahkan dalam medium cair, diduga semakin banyak juga gugus amina yang berhasil melekat pada permukaan nanopartikel. Dugaan ini didukung oleh peningkatan luas area dari puncak spectra FTIR yang merepresentasi gugus NH_2 pada konsentrasi urea yang semakin tinggi. Akan tetapi, waktu dispersitas hanya bertahan sampai $t = 30$ menit untuk yang dalam akuades dan 24 jam untuk yang dalam etanol. Hal ini mungkin dikarenakan densitas dan ukuran partikel yang besar (karena membentuk *cluster* nanopartikel) sehingga partikel mudah mengendap lagi karena pengaruh gravitasi.



Gambar 3. Uji dispersi nanopartikel besi oksida/karbon dengan variasi penambahan urea pada botol dari kiri ke kanan (A) 0 %, (B) 10 %, (C) 25 % dan (D) 50 % dalam akuades.

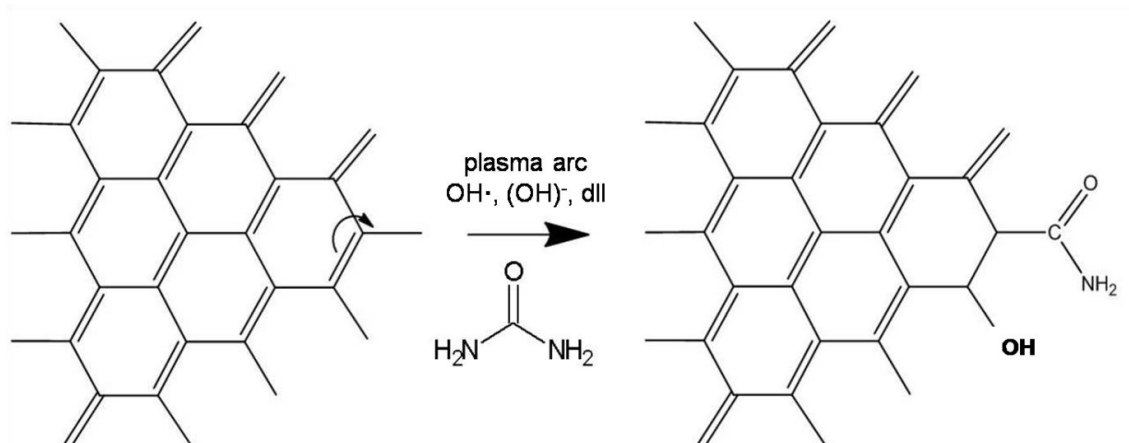


Gambar 4. Uji dispersi nanopartikel besi oksida/karbon dengan variasi penambahan urea pada botol dari kiri ke kanan (A) 0 %, (B) 10 %, (C) 25 % dan (D) 50 % dalam etanol.

Gambar 4. menunjukkan bahwa dispersitas nanopartikel besi oksida/karbon dalam etanol. Semua partikel tersintesis memiliki dispersi yang baik pada semua variasi penambahan urea. Karakter permukaan yang hidrofobik dari karbon memungkinkan untuk lebih mudah berinteraksi dengan pelarut organik seperti etanol dibanding dengan akuades.

Perubahan karakter permukaan partikel dengan adanya penambahan gugus fungsi yang berasal dari media cair saat sintesis dalam plasma arc discharge diilustrasikan dalam

Gambar 5. Struktur polimer heksagonal karbon pada permukaan nanopartikel dapat membentuk ikatan kimia secara kovalen dengan gugus fungsi amina.



Gambar 5. Ilustrasi karakter permukaan nanopartikel dari struktur heksagonal karbon dengan gugus fungsi amina.

KESIMPULAN

Nanopartikel besi oksida dengan karbon dapat disintesis dengan metode *arc-discharge* dalam media larutan etanol/urea. Dari hasil XRD menunjukkan bahwa hasil sintesis nanopartikel besi oksida dengan karbon masih memiliki karakter material awalnya. Berdasarkan hasil analisis FTIR menunjukkan bahwa hasil sintesis nanopartikel besi oksida dengan karbon memiliki gugus Fe-O, C-H *bend* dari alkena, C-N amina, C=O, O-H dari H₂O, alkohol dan fenol, C-H *stretch*, N-H *bend* dan N-H amina. Selain itu, keberhasilan modifikasi permukaan dengan metode *arc-discharge* ditunjukkan dari dispersi nanopartikel dalam air dan etanol. Adanya gugus fungsional yang tertanam pada permukaan nanopartikel tersintesis dalam etanol/urea menjadikan nanopartikel tersebut memiliki dispersi yang lebih baik dibanding dengan nanopartikel tersintesis dalam media tanpa penambahan urea. Karakter permukaan terbaik ditunjukkan dari hasil dispersi nanopartikel besi oksida/karbon yang disintesis dalam media cair etanol 50 % dengan penambahan urea 50 % dengan perbandingan volume etanol/urea 1:1 (v/v).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada Kementrian Riset Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang telah mendukung penelitian ini dengan grant

Hibah Kolaborasi Internasional PNPB UNS 2014 dan Hibah Kolaborasi Luar Negeri dan Publikasi Ilmiah 2017.

DAFTAR PUSTAKA

- Andhika, I. F., Hertiningtyas, C., Aji, A., Desy, A., and Saraswati, T. E., 2014. Penggunaan Karbon Batu Baterai sebagai Elektroda dalam Metode Arc Discharge untuk Pembuatan TiO₂ Termodifikasi Karbon (Use of Battery Carbon as Electrodes In Arc Discharge Method for Fabrication of Carbon-Modified TiO₂). *Alchemy* 10 (2), 186-194.
- Andhika, I. F., Patiha and Saraswati, T. E., 2014. Pembuatan Material Fotokatalitik TiO₂ Termodifikasi Karbon Menggunakan Limbah Batu Baterai untuk Degradasi Zat Warna. *Proceeding of Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia VI*, 21 June 2014, Surakarta, Indonesia.
- Anwar, M., Argawan, P. R., Indro, C. S., Saraswati, T. E., Purwanto A., and Nizam, M., 2015. Fabrication of Carbon Nanomaterial Using Arc-Discharge in Liquid Method for Battery Application. *Advanced Materials Research* 1123, 247.
- Chomoucka, J., Drbohlavova, J., Huska, D., Adam, V., Kizek R., and Hubalek, J., 2010. *Magnetic nanoparticles and targeted drug delivering. Pharmacological Research* 62 (2), 144-149.
- Kratschmer, W., Lamb, L. D., Fostiropoulos, K., and Huffman, D. R., 1990. Solid C (60): A New Form of Carbon. *Nature* 347 (6291), 354.
- Layek, S., Pandey, A., Pandey, A., and Verma, H. C., 2010. Synthesis of γ -Fe₂O₃ nanoparticles with crystallographic and magnetic texture. *International Journal of Engineering, Science and Technology* 2 (8).
- Mody, V. V., Cox, A., Shah, S., Singh, A. Bevins, W., and Parihar, H., 2014. Magnetic nanoparticle drug delivery systems for targeting tumor. *Applied Nanoscience* 4 (4), 385-392.
- Nagatsu, M., Saraswati, T.E., and Ogino, A., 2011. Surface Functionalization of Graphene Layer-Encapsulated Magnetic Nanoparticles by Inductively Coupled Plasma. *Advanced Materials Research* 222, 134-137.
- Nandika, A. O., Saraswati, T. E., and Purnawan, C., 2015. Modifikasi Permukaan TiO₂-Karbon Melalui Satu Tahap Sintesis dengan Metode Arc-Discharge dalam Media Cair. *Proceeding of Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia VII*, 18 April 2015, Surakarta, Indonesia.
- Park, J. H., Saravanakumar, G., Kim, K., and Kwon, I. C., 2010. Targeted delivery of low molecular drugs using chitosan and its derivatives. *Advanced Drug Delivery Reviews* 62 (1), 28-41.
- Sahoo, S., Agarwal, K., Singh, A., Polke, B., and Raha, K., 2010. Characterization of γ - and α -Fe₂O₃ nano powders synthesized by emulsion precipitation-calcination route and rheological behaviour of α -Fe₂O₃. *International Journal of Engineering, Science and Technology*.
- Sanvicens, N. and Marco, M. P., 2008. Multifunctional nanoparticles – properties and prospects for their use in human medicine. *Trends in Biotechnology* 26 (8), 425-433.
- Saraswati, T. E., Andhika, I. F., Nandika, A. O., Wahyuningsih, S., and Purnawan, C., 2015. Synthesis and Surface Modification of TiO₂/Carbon Photocatalyst Produced

- by Arc Discharge in Ethanol Medium. *Proceeding of Proceedings of The 9th Joint Conference on Chemistry*, 12-13 November 2014, Semarang, Indonesia.
- Saraswati, T. E., Andika, I. F., Anwar, M., Purnawan, C., Wahyuningsih, S., and Patiha, 2015. Photocatalytic Degradation of Methylene Blue Using TiO₂/Carbon Nanoparticles Fabricated by Electrical Arc Discharge in Liquid Medium. *Advanced Research Materials* 1123, 285-288.
- Saraswati, T. E., Matsuda, T., Ogino, A., and Nagatsu, M., 2011. Surface modification of graphite encapsulated iron nanoparticles by plasma processing. *Diamond and Related Materials* 20 (3), 359-363.
- Saraswati, T. E., Ogino, A., and Nagatsu, M., 2012. Plasma-activated immobilization of biomolecules onto graphite-encapsulated magnetic nanoparticles. *Carbon* 50 (3), 1253-1261.
- Saraswati, T. E., Tsumura, S., and Nagatsu, M., 2014. Covalent Functionalization of Amino Group onto Carbon-Based Magnetic Nanoparticles Using Pulsed-Powder Explosion Technique. *Advanced Materials Research* 896, 122-125.
- Xavier, B. and Amílcar, L., 2002. Finite-size effects in fine particles: magnetic and transport properties. *Journal of Physics D: Applied Physics* 35 (6), R15.
- Zhao, B., Wang, Y., Guo, H., Wang, J., He, Y., Jiao Z., and Wu, M., 2007. Iron oxide (III) nanoparticles fabricated by electron beam irradiation method. *Materials Science Poland* 25 (4), 1143-1148.