Jurnal Sains dan Edukasi Sains
Vol.8, No.1, Februari 2025: 1-6
https://doi.org/10.24246/juses.v8i1p1-6

Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel TiO_2, Al, dan Zn dengan Metode *Hydrothermal*

M Samsuri*, Hernowo Widodo, Retno Wulandari, Erlambang Yogaswara Gusti Putra, Inul Lestari Farida, Vika Shalsa Ramadhania, Eddy Nana Priyatna

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Jakarta Raya, Kota Bekasi, Jawa Barat 17123

*email korespondensi: vikashramadhania@gmail.com

Received: 1 Maret 2024; ***Revised***: 27 Juli 2024; ***Accepted***: 10 September 2024; ***Published***: 1 Februari 2025

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan sintesis nanopartikel menggunakan metode hydrothermal. Metode hydrothermal adalah proses pembentukan material dengan penggunaan air pada suhu rendah dan tekanan tinggi untuk merubah struktur kristal dan membentuk material nano-struktur. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui morfologi permukaan karakteristik nanopartikel TiO_2, Al, dan Zn yang disintesis menggunakan metode hydrothermal. Sejumlah senyawa $Co(NO_3)_2.6H_2O$ dan $Ni(NO_3)_2.6H_2O$ digunakan pada penelitian ini. Setelah tahap dispersi sampel akan dimasukan ke dalam reaktor autoclave. Penelitian ini dilakukan dengan metode hydrothermal yaitu dengan pemanasan tinggi dengan suhu 150 ℃ dalam waktu 24 jam. Selanjutnya sampel akan dikarakterisasi dengan metode pengujian SEM untuk mengetahui morfologi permukaan nanopartikel. Hasil pengujian SEM sampel TiO_2 memiliki bentuk seperti bongkahan yang tidak teratur dan memiliki ukuran yang cukup bervariasi. Pengujian SEM sampel nanopartikel Al menunjukan bentuk yang teratur serta berukuran kecil. Morfologi nanopartikel Zn memiliki bentuk yang sangat kecil dan halus terdapat beberapa partikel yang memiliki ukuran lebih besar dan kurang teratur. Dengan salah satu yang dapat disimpulkan Nanopartikel TiO_2, Al, dan Zn, berhasil disintesis dengan metode hydrothermal dan menggunakan $Zn(NO_3)_2.6H_2O$, $Al(NO_3)_3.9H_2O$, serta TiO_2 sebagai bahan baku dan terjadinya perubahan warna pada sampel pada setiap tahap yang dilakukan. Sampel memiliki warna yang beragam sehingga pada tahap awal menjadi larutan berwarna kuning pekat dan setelah menjadi nanopartikel menjadi hitam.

Kata-kata kunci: *Alumunium; Hydrothermal; Nanopartikel; Titanium dioksida; Zinc*

PENDAHULUAN

Pengembangan teknologi masa depan semakin terfokus pada material berukuran nano yaitu bidang ilmu yang menjanjikan dalam memecahkan tantangan energi di masa depan. Dalam hal ini, material berukuran nano memiliki peran penting sebagai teknologi yang mendukung terhadap solusi baru (Klabunde & Richard, 2009). Nanoteknologi merupakan perubahan materi pada Tingkat atom dan molekul (Priyo, 2017). Nanoteknologi menjadi sebuah cabang ilmu yang baru dikenal pada abad ke-20, membawa perubahan dengan penggunaan material nanopartikel yang memperlihatkan sifat unik pada skala nano yang berkisar antara 1 nm hingga 100 nm (Feynman, 2012). Nanoteknologi adalah salah satu teknologi yang berkembang pesat dan berkontribusi pada kemajuan ilmu material (Setyani et al., 2017). Nanopartikel dapat digolongkan menjadi beberapa bagian yaitu berdasarkan sifat, wujud, dan ukuran (Khan et al., 2019). Dengan berbagai teknik tersebut nanopartikel dapat disintesis dengan memperkecil ukuran mikropartikel menjadi nanopartikel. Salah satu penggunaan sintesis nanopartikel yaitu dalam pengembangan katalis untuk reaksi konversi energi, terfokus ke penggunaan katalis logam transisi dan elektrolit alkali. Oleh karena itu, diperlukan metode sintesis untuk menghasilkan nanopartikel logam transisi agar seragam (Poerwoprajitno et al., 2020). Berbagai metode sintesis, termasuk metode hydrothermal yang diperkenalkan dalam penelitian ini, menawarkan cara yang inovatif dan ramah lingkungan untuk menciptakan nanopartikel dengan ukuran dan kemurnian yang tinggi (Rane et al., 2018). Bahan nano sering dipelajari karena memperlihatkan sifatnya yang eksentrik (Xia et al., 2003). Menurut pendapat pengkaji, bahan seukuran nano mempunyai sifat kimia dan fisika yang kuat dibandingkan bahan skala besar seperti mikro. Sifat itu dapat berubah dengan cara pengawasan (Desong et al., 2011).

Sintesis nanopartikel pada penelitian ini menggunakan metode *hydrothermal*. Metode *hydrothermal* merupakan metode dengan menggunakan air sebagai pelarut didalam sistem tertutup pada suhu dan tekanan tertentu (Rajamathi & Seshadri, 2002). Metode ini menggunakan bejana tertutup dengan suhu

diatas titik didih pelarut serta tekanan *autogeneous* yang dikembangkan. Tekanan didalam bejana yang tersegel ini akan meningkat seiring dengan kenaikan suhu (Walton, 2002). Metode *hydrothermal* sering digunakan pada sintesis nanopartikel karena tidak membutuhkan banyak biaya, lebih ramah lingkungan, dan suhu pertumbuhan partikel tergolong rendah berada pada suhu lebih dari 90 ℃ (Tam et al., 2006). Dengan memperhatikan kemampuannya dalam menghasilkan kristal dengan ukuran kecil dan tingkat kemurnian yang tinggi, serta mengurangi penggumpalan partikel, metode *hydrothermal* menjadi pilihan yang menarik (Meng et al., 2016). Partikel berukuran nano biasanya memiliki elektrisitas yang baik serta memiliki luas permukaan, sifat optik, mekanik, dan magnet yang lebih besar dibanding dengan ukuran *bulk* (Filponi & Sutherland, 2013).

Titanium dioksida sering dimodifikasi menjadi partikel berukuran nanopartikel (Fahyuan et al., 2013). Bentuk nanopartikel TiO_2 dapat dimodifikasi menjadi *nanotube, nanoflakes, nanosheet,* dan *nanowire* (Sugiarti, 2012). Selain modifikasi ukuran dan bentuk titanium oksida memiliki tiga jenis modifikasi kristal yaitu *rutile, anastase,* dan *brookite.* Titanium dioksida merupakan serbuk kristal berwarna putih dan biasanya digunakan untuk penyerap warna yang dibantu dengan asam encer dalam proses pelapisan untuk menghasilkan produk yang lebih putih (Baidins et al., 1992).

Aluminium nitrat nonahidrat merupakan senyawa berwarna putih dengan bentuk kristal. Aluminium nitrat nonahydrat memiliki banyak kegunaan diantaranya sebagai elemen panas tabung katoda, dan laminasi inti transfor (Patnaik, 2002). Aluminium nitrat sangat diminati karena biasanya digunakan sebagai perkusor karena harganya yang murah dan waktu yang dibutuhkan singkat (W et al., 2011).

Zinc nitrat hexahidrat merupakan senyawa berwana putih berkilauan yang tidak memiliki bau. Kristal zinc nitrat hexahidrat berbentuk struktur tetragonal dengan densitas 2,065 g/cm^3. Senyawa ini digunakan untuk koagulan lateks dan digunakan untuk katalis asam serta sebagai standar analis untuk seng (Patnaik, 2002). Nanopartikel zinc dapat di sintesis dengan beragam metode seperti metode *hydrothermal*, sol-gel, dan kopresipitasi (P et al., 2003).

TiO_2 dapat dimodifikasi menjadi nanopartikel dengan beragam bentuk dan struktur kristal memungkinkan aplikasi yang luas mulai dari penyerap warna hingga katalis. Aluminium dan zinc, sebagai logam dengan sifat-sifat yang unik menjadi bahan yang menjanjikan dalam berbagai aplikasi industri. Oleh karena itu, titanium dioksida (TiO_2), aluminium (Al), dan zinc (Zn) menjadi subjek penelitian yang menarik. Penelitian ini bertujuan untuk Penelitian ini memperdalam pemahaman tentang morfologi permukaan nanopartikel dari senyawa TiO_2, Al, dan Zn yang disintesis melalui metode *hydrothermal* dengan pemanasan tinggi. Sintesis *hydrothermal* adalah salah satu metode yang paling sering digunakan untuk pembuatan nanomaterial. Pada dasarnya metode ini berbasis reaksi dalam larutan. Dalam sintesis *hydrothermal*, pembentukan nanomaterial dapat terjadi pada perbedaan suhu yaitu mulai dari suhu normal lingkungan hingga suhu yang sangat tinggi (Gan et al., 2020). Penelitian ini, didasarkan pada karya sebelumnya dengan kerangka pendahuluan yang diperkaya oleh kajian literatur, penelitian ini diharapkan menjadi wawasan baru untuk memahami dan memanfaatkan potensi material berukuran nano dalam menciptakan solusi bagi tantangan energi masa depan (Rafi et al., 2022).

EKSPERIMEN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah *autoclave hydrothermal reactor*, *centrifuge*, gelas *beaker* 100 mL, Erlenmeyer 200 mL, magnet, pipet ukur 10 mL, kertas pH meter, *magnetic stirrer*, oven pengering, loyang oven, aluminium foil, *hot plate*, dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah serbuk Lomon R 996 TiO_2 99%, serbuk analisis Merck $Zn(NO_3)_2.6H_2O$ 99%, serbuk analisis Merck $Al(NO_3)_3.9H_2O$ 99%, serbuk analisis Merck $Co(NO_3)_2.6H_2O$ 99%, serbuk pro analisis Merck $Ni(NO_3)_2.6H_2O$ 99%, analisis Merck $FeCl_3.6H_2O$ 99%, serbuk pro analisis Merck NaOH, *aquadest*, *deionisasi water*, dan etanol.

Instrumen

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia Dasar Universitas Bhayangkara Jakarta Raya pada tahun 2023. Instrumen yang digunakan untuk menganalisis nanopartikel yang dihasilkan dengan tipe dan nomor seri yaitu *Scanning Electron Microscopy* (SEM) EDS Zeiss-Bruker EVO MA 10. Analisis SEM digunakan untuk mengamati struktur morfologi permukaan nanopartikel.

Prosedur Kerja

Bahan baku sintesis nanopartikel terdiri dari 1,363 gram $Zn(NO_3)_2.6H_2O$; 0,277 gram $Al(NO_3)_3.9H_2O$; dan 0,249 gram TiO_2. Semua bahan ini ditimbang dan dimasukkan ke dalam gelas *beaker*. Kemudian, tambahkan 5,40 gram $FeCl_3.6H_2O$; 1,452 gram $Co(NO_3)_2.6H_2O$; 0,91 gram $Ni(NO_3)_2.6H_2O$; dan 25 mL air deionisasi. Aduk campuran dengan magnetic stirrer selama 60 menit pada kecepatan 300 RPM hingga homogen. Setelah itu, naikkan pH larutan dengan menambahkan NaOH 1 M, lalu aduk lagi dengan *magnetic stirrer* selama 120 menit pada kecepatan 500 RPM hingga pH mencapai 10. Setelah larutan menjadi basa, masukkan ke dalam reaktor *autoclave hydrothermal*, tutup rapat, dan masukkan ke dalam oven pada suhu 150°C selama 24 jam.

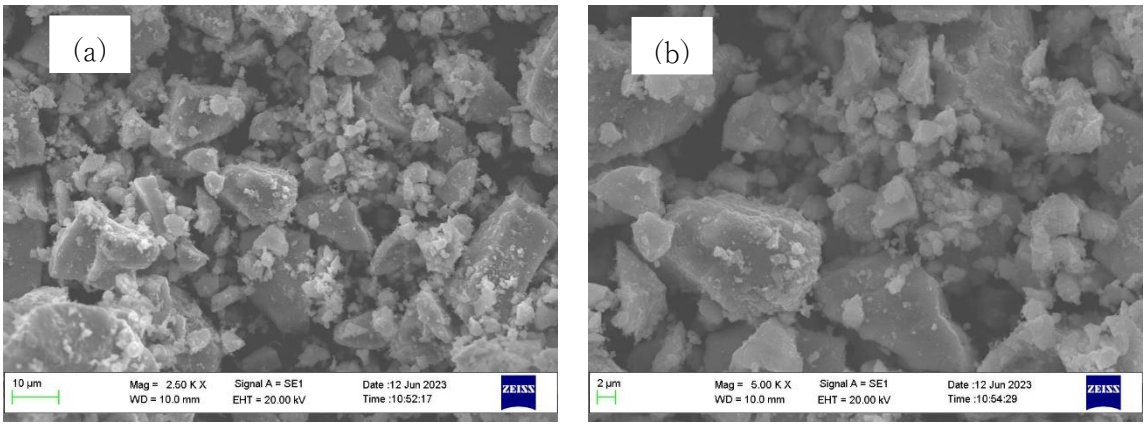
Setelah 24 jam, keluarkan sampel dari oven dan biarkan dingin hingga suhu ruang. Tuangkan sampel ke dalam gelas *beaker* dan bilas dengan etanol. Letakkan beaker di atas magnet untuk memisahkan *slurry* nanopartikel yang terbentuk selama 24 jam. Setelah cairan dibuang, rendam *slurry* dengan air demineralisasi dan aduk, kemudian pisahkan padatan dan cairan dengan centrifuge sebanyak 5-6 kali. Ratakan *slurry* di atas kaca arloji dan keringkan dalam oven pada suhu 80 °C selama 6 jam. Setelah kering, pindahkan sampel ke botol vial dan beri label untuk sampel TiO_2, Al, dan Zn. Sampel siap untuk diuji morfologi permukaannya dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

HASIL DAN DISKUSI

Karakteristik Nanopartikel TiO_2, Nanopartikel Al, dan Nanopartikel Zn yang telah disintesis pada penelitian ini dapat dilihat morfologi permukaannya setelah dilakukan pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

Karakteristik Nanopartikel TiO_2

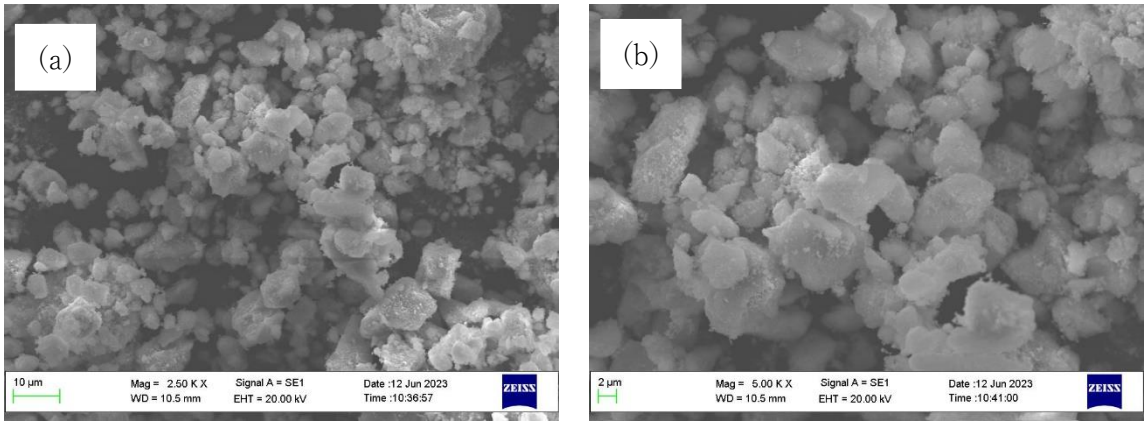
Proses sintesis TiO_2 dengan metode hydrothermal menghasilkan serbuk berwarna hitam gelap. Analisis menggunakan SEM dilakukan untuk mengamati morfologi permukaan nanopartikel. Nanopartikel yang dihasilkan berbentuk bongkahan dengan ukuran yang tidak seragam. Bentuk ini berbeda dari hasil penelitian (Widodo & Priyatna, 2020) yang juga melakukan sintesis TiO_2 dengan metode yang sama, di mana mereka menemukan partikel berbentuk seperti tabung. **Gambar 1** menunjukkan bahwa nanopartikel memiliki ukuran yang bervariasi. Pada perbesaran 5000x dan 2500x, panjang partikel bervariasi dari 2 nm hingga 25 nm, dengan partikel berukuran 4 nm dan 15 nm mendominasi dan tersebar merata di seluruh sampel.



Gambar 1. Analisis Morfologi SEM Nanopartikel TiO_2 pada perbesaran 2500x (a) Analisis Morfologi SEM Nanopartikel TiO_2 pada perbesaran 5000x (b)

Ukuran nanopartikel TiO_2 yang terlihat pada hasil SEM di **Gambar 1** lebih besar dibandingkan dengan sampel Zn dan Al di **Gambar 2** dan **Gambar 3**. Morfologi permukaan nanopartikel TiO_2 tampak lebih bervariasi dan tidak teratur dibandingkan dengan dua sampel lainnya. Pada perbesaran 5000x, terlihat bahwa nanopartikel TiO_2 tampak seperti bongkahan besar dengan beberapa partikel kecil, berbeda dengan sampel lainnya yang disebabkan oleh perbedaan suhu operasi dan bahan baku yang digunakan, sehingga nanopartikel ini bisa menjadi lebih efektif.

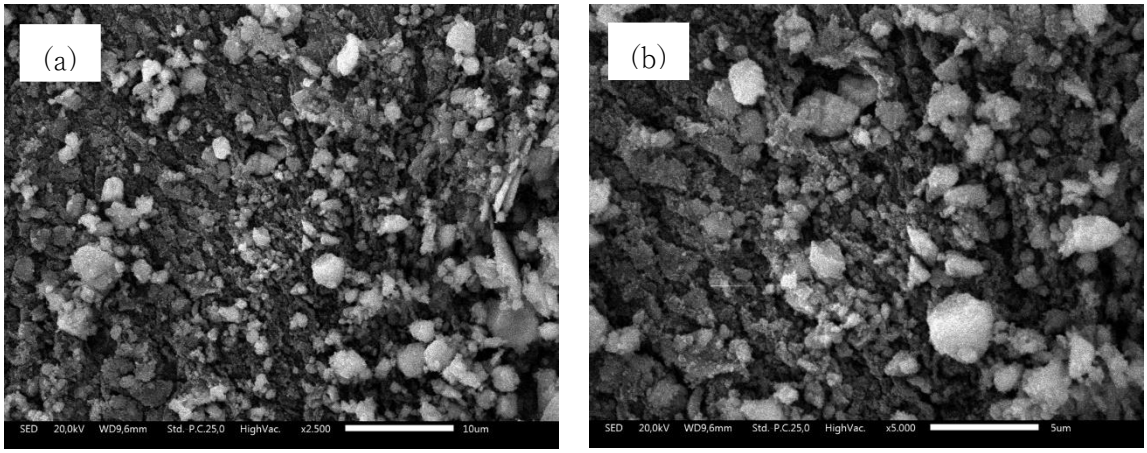
Karakteristik Nanopartikel Al



Gambar 2. Analisis Morfologi SEM Nanopartikel Al pada perbesaran 2500x (a) Analisis Morfologi SEM Nanopartikel Al pada perbesaran 5000x (b)

Pada **Gambar 2**, tampak bahwa nanopartikel Al telah terbentuk. Secara visual, hasil sintesis nanopartikel Al berwarna hitam pekat dan tidak memiliki bau khas. Gambar menunjukkan bahwa nanopartikel Al yang disintesis menggunakan metode *hydrothermal* memiliki morfologi permukaan yang sangat teratur dan ukuran yang seragam. Ukuran nanopartikel Al lebih konsisten dibandingkan dengan nanopartikel Zn dan TiO_2. Analisis SEM menunjukkan bahwa ukuran nanopartikel tersebut berkisar antara 3 nm hingga 10 nm, dengan ukuran yang paling umum adalah antara 7 nm hingga 8 nm, yang tersebar merata di seluruh sampel. Pada perbesaran 5000x, nanopartikel Al terlihat lebih kecil dibandingkan nanopartikel TiO_2. Partikel Al cenderung menggumpal dan menyatu lebih banyak dibandingkan dengan sampel TiO_2. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya (Redjeki & Fithriyah, 2015) , nanopartikel yang dihasilkan dalam studi ini juga tidak seragam, namun memiliki bentuk yang lebih bervariasi dan tidak seluruhnya bulat, berbeda dengan jurnal pembanding. Perbedaan ini disebabkan oleh variasi suhu operasi dan bahan baku yang digunakan, yang dapat meningkatkan efektivitas nanopartikel ini.

Karakteristik Nanopartikel Zn



Gambar 3. Analisis Morfologi SEM Nanopartikel Zn pada perbesaran 2500x (a) Analisis Morfologi SEM Nanopartikel Zn pada perbesaran 5000x (b)

Nanopartikel Zn telah berhasil disintesis menggunakan metode hidrotermal dan tampak berwarna hitam. **Gambar 3** menunjukkan hasil pengujian SEM nanopartikel Zn pada pembesaran 2500x dan 5000x, memperlihatkan ukuran partikel yang sangat kecil dan adanya beberapa partikel dengan ukuran yang kurang seragam. Berdasarkan analisis SEM, partikel tampak jauh lebih kecil dan halus dibandingkan dengan sampel TiO_2 dan Al, namun nanopartikel Al memiliki ukuran yang lebih teratur dibandingkan dengan nanopartikel Zn, yang disebabkan oleh perbedaan molekul. Ukuran partikel berkisar antara 0,5 hingga 3 nm, dengan ukuran yang paling umum ditemukan adalah 0,5 nm dan 1 nm, serta distribusi yang sangat merata. Partikel dengan ukuran 3 nm jarang ditemukan pada sampel. Penelitian ini menunjukkan hasil yang sangat berbeda dan lebih efektif jika dibandingkan dengan penelitian (Wirunmongkol et al., 2013), yang menghasilkan nanopartikel Zn

berbentuk bulat dengan ukuran yang cukup seragam.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Nanopartikel TiO_2, Al, dan Zn, berhasil disintesis dengan metode *hydrothermal* dan menggunakan $Zn(NO_3)_2.6H_2O$, $Al(NO_3)_3.9H_2O$, serta TiO_2 sebagai bahan baku.
2. Terjadi perubahan warna sampel pada setiap tahap yang dilakukan. Sampel memiliki warna yang beragam hingga pada tahap dispersi menjadi larutan berwarna kuning pekat dan setelah menjadi nanopartikel menjadi warna hitam.
3. Pada perbesaran 5000x pengujian SEM nanopartikel TiO_2 berbentuk seperti bongkahan besar yang tidak teratur, Al membentuk partikel yang ukurannya sangat teratur dan Zn memiliki ukuran yang sangat kecil dan terdapat beberapa partikel yang tidak seragam.

DAFTAR PUSTAKA

Baidins, A., Braun, J. H., & Marganski, R. E. (1992). Progress in Organic Coatings. *Du Pant Chemicals, Research and Development Division, Ja&son Laboratory, Wilmington, DE 19898 (USA)*, *20*, 105–138.

Desong, W., Xiao, L., Luo, Q., Xiao, L., & Duan, Y. (2011). Highly efficient visible light TiO2 photocatalyst prepared by sol–gel method at temperatures lower than 300 °C. *Journal of Hazardous Materials.*, *150–159*.

Fahyuan, H. D., Dahlan, D., & -, A. (2013). Pengaruh Konsentrasi Ctab Dalam Sintesis Nanopartikel Tio2 Untuk Aplikasi Sel Surya Menggunakan Metode Sol Gel. *Jurnal Ilmu Fisika | Universitas Andalas*, *5*(1), 16–23. https://doi.org/10.25077/jif.5.1.16-23.2013

Feynman, R. P. (2012). There's Plenty of Room at the Bottom: An Invitation to Enter a New Field of Physics*. In *Handbook of Nanoscience, Engineering, and Technology: Third Edition* (pp. 3–12). https://doi.org/10.1201/9781315217178-6

Filponi, L., & Sutherland, D. (2013). Nanotechnologies: Principles, Applications and Hands-on Activites. *In Handbook of Research and Innovation Industrials and Technoogies. European Commision.*

Gan, Y. X., Jayatissa, A. H., Yu, Z., Chen, X., & Li, M. (2020). Hydrothermal Synthesis of Nanomaterials. *Journal of Nanomaterials*, *2020*. https://doi.org/10.1155/2020/8917013

Khan, I., Saeed, K., & Khan, I. (2019). Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabian Journal of Chemistry*, *12*(7), 908–931. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2017.05.011

Klabunde, K. J., & Richard, ; Ryan M. (2009). *Nanoscale Materials in Chemsitry* (Second). John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.

Meng, L. Y., Wang, B., Ma, M. G., & Lin, K. L. (2016). The progress of microwave-assisted hydrothermal method in the synthesis of functional nanomaterials. *Materials Today Chemistry*, *1–2*, 63–83. https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2016.11.003

P, T., Morales, M. P., Veintemillas-Verdaguer, S., Carreno, T. G., & Serna, C. (2003). The Preparation of Magnetic Nanoparticles for Applications in Biomedicine. *J. Phys. D: Appl. Phys*, *Vol 36*, 183–197.

Patnaik, P. (2002). *Handbook of Inorganic Chemica;* Mc Graw Hill. https://doi.org/10.1093/nq/s8-X.245.192c

Poerwoprajitno, A. R., Gloag, L., Watt, J., Cychy, S., Cheong, S., Kumar, P. V., Benedetti, T. M., Deng, C., Wu, K., Marjo, C. E., Huber, D. L., Muhler, M., Gooding, J. J., Schuhmann, W., Wang, D., & Tilley, R. D. (2020). Facettierte verzweigte Nickel-Nanopartikel mit variierbarer Verzweigungslänge für die hochaktive elektrokatalytische Oxidation von Biomasse. *Angewandte Chemie*, *132*(36), 15615–15620. https://doi.org/10.1002/ange.202005489

Priyo, W. (2017). Manfaat Nanopartikel di Bidang Kesehatan. *Farmasetika.Com (Online)*, *2*(4), 1. https://doi.org/10.24198/farmasetika.v2i4.15891

Rafi, S. F., Fatemeh, M., Abdollahi, H., & Sayahi, H. (2022). Hydrothermally Synthesis and Characterization of NixCo1-xFe2O4 (x=0.5) Spinel-Structured Magnetic Nanoparticles. *Of the 3rd National Conference on Micro/Nanotechnology July 20, 2022, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran*.

Rajamathi, M., & Seshadri, R. (2002). Oxide and chalcogenide nanoparticles from hydrothermal/solvothermal reactions. *Current Opinion in Solid State and Materials Science 6 (2002) 337–345*.

Rane, A. V., Kanny, K., Abitha, V. K., & Thomas, S. (2018). Methods for Synthesis of Nanoparticles and Fabrication of Nanocomposites. In *Synthesis of Inorganic Nanomaterials*. Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101975-7.00005-1

Redjeki, A. S., & Fithriyah, N. H. (2015). Pengaruh Kadar Katalis Nikel Dari Limbah Industri Elektroplating Pada Besarnya Bilangan Oksiran Dan Bilangan Iod Dari Reaksi Epoksidasi Metil Oleat. *Jurnal Fakultas Teknik*, *1*(1), 1–4.

Setyani, A., Wahyuni, S., Priatmoko, S., Wibowo, E. A. P., & Amin, N. (2017). Synthesis and Characterization of TNTs/Polyaniline Composite as Photocatalyst Degradation of Rhodamin B by Visible Light. *KnE Life Sciences*, *3*(5), 41. https://doi.org/10.18502/kls.v3i5.977

Sugiarti, M. (2012). *Sintesis Hidrotermal dan Karakterisasi Kristal Titanium Dioksida (TiO2)*. Departemen kimia FMIPA.

Tam, K. H., Cheung, C. K., Leung, Y. H., Djurišić, A. B., Ling, C. C., Beling, C. D., Fung, S., Kwok, W. M., Chan, W. K., Phillips, D. L., Ding, L., & Ge, W. K. (2006). Defects in ZnO nanorods prepared by a hydrothermal method. *Journal of Physical Chemistry B*, *110*(42), 20865–20871. https://doi.org/10.1021/jp063239w

W, K., Cheng, B., Q, L., X, Z., & Y, R. (2011). New Method for Preparing Alumina nanofiber by electrospinning technology. *Text Rest J*, *81[2]:148-*.

Walton, R. I. (2002). Subcritical solvothermal synthesis of condensed inorganic materials. *Chemical Society Reviews*, *31*(4), 230–238. https://doi.org/10.1039/b105762f

Widodo, H., & Priyatna, E. N. (2020). Sintesis dan karakterisasi Nanotube TiO2 Sebagai Material Fotokatalis Untuk Aplikasi Degradasi Limbah. *Jurnal Fakultas Teknik*.

Wirunmongkol, T., O-Charoen, N., & Pavasupree, S. (2013). Persiapan Hidrotermal Sederhana Serbuk Seng Oksida Menggunakan Unit Autoklaf Thailand. *Energy Procedia*, *34 :801–80*. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.06.816

Xia, P., Sun, Y., Wu, Y., Mayers, B., Gates, B., Yin, Y., Kim, F., & Yan, H. (2003). One-dimensional nanostructures: synthesis, characterization, and applications. *Journal of Advanced Materials*, *353–389*.