

PENGARUH VARIASI KONSENTRASI LARUTAN PENGENDAP TERHADAP SIFAT OPTIK NANOPARTIKEL Cu_2O YANG DISINTESIS DENGAN METODE KOPRESIPITASI

Juan R. Simamora¹, Diana A. Barus¹, Anwar D. Sembiring¹, Pintor Simamora²

¹Jurusan Ilmu Fisika FMIPA Universitas Sumatera Utara

²Jurusan Jurusan Fisika FMIPA Unimed

juan.muora@gmail.com

Abstrak

Nanopartikel Cu_2O (*Cuprous Oxide*) telah berhasil disintesis menggunakan metode kopresipitasi berdasarkan variasi konsentrasi larutan pengendap ammonium hydroxide (NH_4OH) dengan variasi konsentrasi 0,2 M (I), 0,6 M (II), dan 1 M (III). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui cara pembuatan nanopartikel dengan menggunakan metode kopresipitasi berdasarkan variasi konsentrasi pengendap NH_4OH dan mengetahui pengaruh masing-masing konsentrasi pengendap terhadap sifat optik nanopartikel Cu_2O . Nanopartikel Cu_2O diperoleh melalui reaksi material $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, isopropanol, dan Polivinyl Alkohol sebagai larutan reagen dan kemudian mencampurkan NH_4OH sebagai larutan pengendap. Analisis XRD menunjukkan bahwa fasa yang terbentuk merupakan nanopartikel Cu_2O dengan ukuran kristalin 78 nm (I), 80 nm (II), and 83 nm (III). Analisis FTIR menunjukkan ketiga cuplikan nanopartikel Cu_2O masih diikuti oleh gugus O-H yang berasal dari serapan air pada permukaan Cu_2O dan menunjukkan adanya vibrasi Cu-O. Analisis SEM-EDX menunjukkan bahwa morfologi nanopartikel Cu_2O berbentuk *nanocube* dan komposisi Cu dan O lebih dominan. Analisis sifat optik menggunakan UV-Vis menunjukkan bahwa nilai absorbansi maksimum terjadi pada panjang gelombang 455 nm dan kalkulasi menggunakan metode Tauc plot menunjukkan bahwa nilai band gap yang diperoleh berturut-turut adalah 2,51 eV (I), 2,45 eV (II), dan 2,23 eV (III). Dengan demikian hasil yang diperoleh memiliki karakteristik yang memenuhi jika digunakan sebagai komponen sel surya (*photovoltaic*) dan fotokatalis.

Kata kunci : nanopartikel, cuprous oxide (Cu_2O), kopresipitasi, semikonduktor

1. PENDAHULUAN

Perkembangan sains dan teknologi pada bidang material dewasa ini sedang mengarah pada revolusi nanopartikel dimana dalam periode ini terjadi percepatan luar biasa dalam penerapan nanosains dan nanoteknologi di dunia industri. Hal ini ditunjukkan dengan semakin meningkatnya pengembangan dan penggunaan nanoteknologi yang dapat ditemukan di berbagai produk yang digunakan di seluruh dunia. Nanoteknologi sendiri berasal dari kata *Nanos* (bahasa Yunani) merupakan kajian ilmu dan rekayasa material dalam skala nanometer nano atau satu per miliar (10^{-9}) meter. Material yang dibuat hingga berukuran nano memiliki sejumlah

sifat kimia dan fisika yang lebih unggul dari material berukuran besar (bulk). Sejumlah sifat tersebut dapat diubah-ubah melalui pengontrolan ukuran material, modifikasi permukaan, pengaturan komposisi kimiawi, dan pengontrolan interaksi antar partikel [1-2].

Sintesis nanopartikel dapat dilakukan dalam fase padat, cair, maupun gas dan proses sintesis dapat berlangsung secara fisika atau kimia. Secara fisika tidak melibatkan reaksi kimia, yang terjadi hanya pemecahan material besar menjadi material berukuran nanometer (*top-down*), atau penggabungan material berukuran sangat kecil seperti kluster menjadi partikel berukuran nanometer (*bottom-top*)

tanpa mengubah sifat bahan [1]. Sedangkan proses sintesis secara kimia melibatkan reaksi kimia dari sejumlah material awal (*precursor*) sehingga dihasilkan material lain yang berukuran nanometer. Beberapa metode proses sintesis kimia, adalah kopresipitasi, *reverse micelle method*, sintesis microwave plasma, metode sol-gel, *freeze drying*, *ultrasound irradiation*, metode hidrotermal, teknik pirolisis laser [3,8]. Dalam teknik sintesis kimia, pertumbuhan nanopartikel dikendalikan dengan mengoptimalkan parameter reaksi seperti suhu dan konsentrasi reagen. [18]

Cuprous Oxide (Cu_2O) merupakan salah satu material yang dapat disintesa dalam ukuran nano. Semikonduktor tipe-p ini telah menjadi subyek dalam beberapa penelitian saat ini karena material ini patut dipertimbangkan sebagai material yang menjanjikan untuk pembuatan aplikasi sel surya dengan karakteristik band gap 2,137 eV [9,14,16]. Selain itu, Cu_2O dapat juga digunakan sebagai fotokatalis, sintesis organik, sensor gas, material elektroda dan oksidasi CO [11,10]. Metode yang sederhana dan efisien dalam sintesis Nanopartikel Cu_2O adalah metode kopresipitasi. Metode kopresipitasi merupakan proses kimia yang membawa suatu zat terlarut kebawah sehingga terbentuk endapan yang dikehendaki. Kelebihan metode ini adalah prosesnya menggunakan suhu rendah dan mudah untuk mengontrol ukuran partikel sehingga waktu yang dibutuhkan relatif singkat [13, 15]

Penelitian terakhir yang menarik perhatian mengacu pada variasi ukuran Cu_2O dan nano struktur seperti bentuk nanocubes [10,20], octahedra [17], nanocages [4], hollow spheres [20], nanowires [12]. H.Sekhar, *et al.*, (2012) melakukan penelitian dengan mensintesis $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dengan metode kopresipitasi. Analisis FTIR menunjukkan adanya vibrasi gugus O-H pada permukaan Cu_2O pada spektrum daerah tertinggi. Analisis XRD menunjukkan bahwa ukuran rata-rata nanopartikel 20 nm dan analisis UV-Vis menunjukkan bahwa nilai pita energi sebesar 2,6, 2,3, dan 2,1 eV. Dengan demikian maka pada penelitian ini akan dikaji lebih lanjut pengaruh variasi konsentrasi pengendap terhadap sifat optik nanopartikel Cu_2O dan karakteristiknya.

2. METODE PENELITIAN

Semua bahan kimia yang digunakan dalam preparasi sampel nanopartikel Cu_2O merupakan spesifikasi analitik. Bahan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ merupakan bahan prekursor yang digunakan dalam pembentukan nanopartikel Cu_2O . Penggunaan PVA memiliki fungsi sebagai katalis dan membatasi aglomerasi secara kontinu. Penggunaan NH_4OH sebagai zat pengendap berperan sebagai pembentuk ukuran nanopartikel (proses nukleasi). Nanopartikel Cu_2O diperoleh dengan mencampurkan bahan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (5 gr), isopropanol (15 ml), dan PVA (4 gr) sebagai larutan reagen yang distirrer selama 2 jam. Selama pecampuran berlangsung, larutan pengendap (NH_4OH)

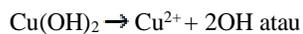
disiapkan dengan variasi konsentrasi 0,2 M, 0,6 M, dan 1 M kemudian dicampurkan ke dalam larutan reagen dengan cara diteteskan hingga terbentuk endapan dengan warna *green-yellowish*. Setelah itu larutan disentrifuse pada kecepatan 6000 rpm untuk memisahkan endapan yang dihasilkan kemudian disaring menggunakan kertas whatman. Filtrat yang diperoleh dicuci sebanyak 3 kali menggunakan aquabides dan etanol untuk mengurangi pengotor dan menurunkan pH filtrat. Endapan yang diperoleh kemudian di keringkan dalam oven selama 4 jam pada suhu 150⁰C. Proses kalsinasi atau perlakuan panas yang diterapkan bertujuan untuk dekomposisi termal, transisi fasa, dan penghapusan fraksi volatile.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Reaksi kopresipitasi yang terjadi dalam proses pembuatan nanopartikel Cu₂O dapat ditunjukkan sebagai berikut [6,17] :



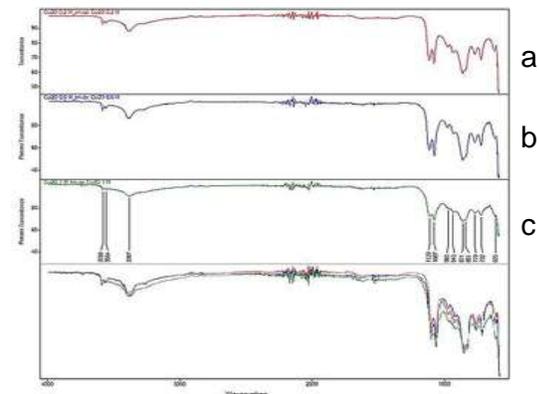
Pada reaksi ini, ion Cu²⁺ direduksi menjadi Cu⁺, kemudian Cu⁺ dapat bereaksi dengan OH⁻ untuk membentuk Cu₂O, yang dijelaskan sebagai berikut :



Hasil pengujian dan analisis data yang diperoleh, diuraikan dalam penjelasan dibawah ini.

3.1. Karakterisasi FTIR

Spektrum FTIR diukur dari bilangan gelombang 500 hingga 4000 cm⁻¹ menggunakan FTIR *spectroscopy* merk Perkin Elmer Spectrum One. Hasil spectrum FTIR dengan variasi konsentrasi larutan pengendap ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Pola spektrum FTIR nanopartikel Cu₂O dengan variasi konsentrasi larutan pengendap (a) 0,2 M, (b) 0,6 M, dan (c) 1 M

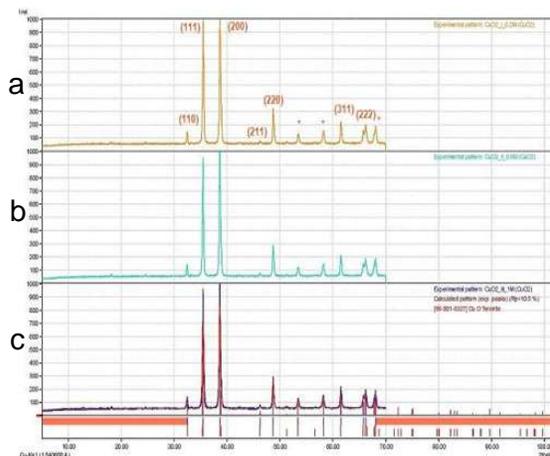
Pengamatan yang lebih jelas pada penentuan fasa dan gugus fungsional yang terbentuk pada sampel nanopartikel Cu₂O dilakukan dengan analisis FTIR berdasarkan intensitas cahaya infrared yang diserap oleh sampel. Pada spectrum FTIR (Gambar 1) terlihat bahwa terdapat beberapa daerah serapan bilangan gelombang pada variasi konsentrasi pengendap pembentuk Cu₂O. Pada daerah serapan sekitar 600-1200 cm⁻¹ muncul serapan yang mengindikasikan adanya *stretching metal oxide* dari Cu₂O. Puncak daerah serapan pada bilangan gelombang 631 cm⁻¹, 780 cm⁻¹, 1124 cm⁻¹ (Cu₂O-I); 603 cm⁻¹, 779 cm⁻¹, 1123 cm⁻¹ (Cu₂O-II); dan 604 cm⁻¹, 779 cm⁻¹, 1120 cm⁻¹ (Cu₂O-III) menunjukkan bahwa terjadi vibrasi dari ikatan Cu-O [7; 19]. Kemudian terdapat pula puncak-puncak tertentu pada daerah karbonil, seperti pada

puncak 1660 cm^{-1} adalah ikatan metal carbonyl (C=O). Ikatan ini merupakan ikatan yang terdapat pada precursor copper sulfat yang masih terikat dalam Cu_2O .

Pada daerah energi tinggi yaitu puncak bilangan gelombang 3388 cm^{-1} pada setiap sampel menandakan bahwa terdapat vibrasi O-H *stretching* yang berasal dari peristiwa penyerapan air pada permukaan Cu_2O . Keberadaan air dikonfirmasi melalui vibrasi pada daerah bilangan gelombang 1.123 cm^{-1} [7].

3.2. Karakterisasi XRD

Karakterisasi Pola difraksi sinar-X dari masing-masing sampel nanopartikel Cu_2O diuji menggunakan XRD Philips X-Pert 6000 Type PW1710, dengan panjang gelombang $\text{Cu-K}\alpha = 1,541874\text{ \AA}$. Hasil pola yang dihasilkan diidentifikasi untuk mengetahui struktur dan ukuran kristal yang terbentuk. Hasil pola difraksi sinar-X dengan variasi konsentrasi larutan pengendap ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Pola XRD nanopartikel Cu_2O dengan variasi konsentrasi larutan pengendap (a) 0,2 M, (b) 0,6 M, dan (c) 1 M

Hasil spektrum pola difraksi sinar-X menunjukkan bahwa telah terbentuk struktur kristal yang bersesuaian dengan fasa material Cu_2O ditandai terbentuknya puncak-puncak intensitas difraksi yaitu pada sudut 2θ dan memiliki bidang kristal dengan indeks Miller hkl yaitu (110), (111), (200), (211), (220), (311), (222) yang merupakan indeks khas dari struktur kubik Cu_2O .

Berdasarkan kerangka acuan difaksi data COD (Crystallography Open Database) Cu_2O No. 96-100-0064 bahwa Nanopartikel Cu_2O tersebut memiliki struktur *simple cubic* dengan space group Pn-3m (224). Fasa Cu_2O ini memiliki parameter kisi $a = 4,2520\text{ \AA}$ [5, 6, 9, 19]. Terbentuknya fasa tunggal dari Cu_2O ini sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia dan suhu perlakuan. Kemunculan fasa lain selain Cu_2O pada puncak difraksi pada kisaran sudut 2θ ($53,47^\circ$; $58,24^\circ$; $68,07^\circ$) yang ditunjukkan dengan tanda * dalam grafik spektrum pola difraksi menunjukkan kehadiran fasa Cu-O. Cu-O merupakan material dengan struktur heksagonal dan terbentuk akibat proses oksidasi yang terjadi cepat pada permukaan sampel Cu_2O .

Analisis berdasarkan nilai FWHM pada hasil pengujian XRD menunjukkan adanya perubahan nilai yang berbeda untuk masing-masing konsentrasi pengendap. Terlihat bahwa diperoleh nilai FWHM dari Cu_2O pada masing-masing konsentrasi 0,2 M, 0,6 M dan 1 M sebesar $0,4072^\circ$, $0,4113^\circ$, dan $0,4078^\circ$ memiliki nilai ukuran kristalit terkecil hingga

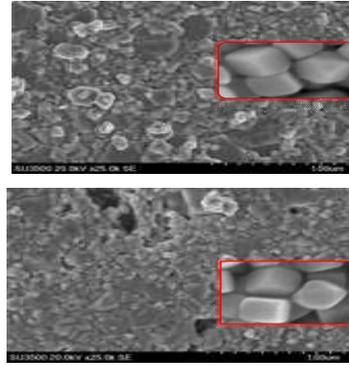
mencapai 23 nm. Perbedaan nilai FWHM mengindikasikan terjadinya perbedaan ukuran kristal pada Cu₂O disebabkan variasi konsentrasi pengendap. Penentuan ukuran kristalit dari masing-masing variasi sampel nanopartikel Cu₂O dihitung menggunakan persamaan Scherer, yaitu :

$$D = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (5)$$

dengan D adalah ukuran kristal, λ adalah Panjang gelombang, β adalah FWHM (full width half maximum), θ adalah sudut difraksi. Berdasarkan persamaan Scherer tersebut diperoleh ukuran kristalit nanopartikel Cu₂O sebesar 78 nm (I), 80 nm (II), dan 83 nm (III). Hal ini dikonfirmasi pada hasil pengamatan morfologi dengan SEM-EDX meliputi pengamatan struktur dan kristalinitasnya.

3.3. Karakterisasi SEM-EDX

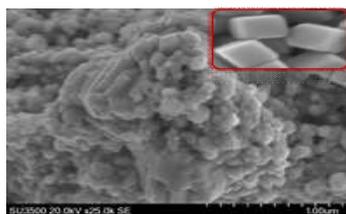
Analisis Morfologi meliputi struktur, bentuk dan sebaran ukuran material diukur dengan Scanning Electron Microscope (SEM) dan analisis unsurnya menggunakan Energy Dispersive X-Ray Spectrometry (EDX) merk JEOL JSM-6390A dengan System resolution analysis : 61 eV, ED geometry: Elevation = 35°, Acceleration voltage: 20 kV. Hasil pengujian SEM dengan variasi konsentrasi pengendap ditunjukkan gambar 3.



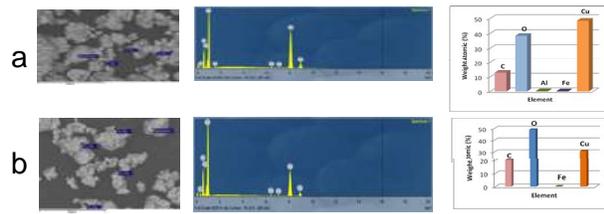
Gambar 3. Hasil pengujian SEM nanopartikel Cu₂O dengan perbesaran 25.000 kali pada konsentrasi pengendap (a) 0,2 M (b) 0,6 M dan (c) 1 M.

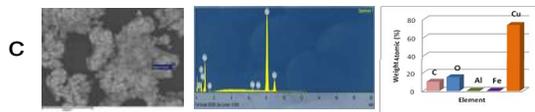
Berdasarkan analisis morfologi material Cu₂O seperti pada gambar 3, terlihat bahwa morfologi kristalit Cu₂O sudah berbentuk padatan kubik (*nanocube*) sesuai dengan morfologi kristalit Cu₂O pada umumnya. Secara keseluruhan sebaran ukuran partikel Cu₂O yang terbentuk sudah merata dan memiliki ukuran kristalit yang cenderung semakin kecil.

Dalam mengetahui distribusi komposisi penyusun pada nanopartikel Cu₂O maka dilakukan pengujian EDX dengan memetakan titik-titik sebaran partikel (*mapping point*) sehingga diperoleh secara umum komposisi penyusun nanopartikel. Analisis EDX pada gambar 4. memperlihatkan bahwa hasil sintesis nanopartikel Cu₂O mengandung atom Cu sebanyak 73,85 % (I) , 48,42 % (II), 30,77 % (III).



a



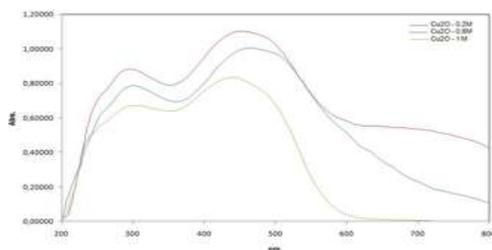


Gambar 4. Hasil pengujian EDX nanopartikel Cu_2O pada konsentrasi larutan pengendap (a) 0,2 M (b) 0,6 M dan (c) 1 M.

Semakin rendahnya persentase atom Cu yang terbentuk mengindikasikan sebagian fasa Cu_2O hilang yang kemungkinan diakibatkan oleh larutnya endapan material Cu_2O pada saat proses pencucian sampel dengan etanol maupun saat penyaringan. Secara keseluruhan, distribusi komposisi yang terdapat pada partikel menunjukkan bahwa persentase komposisi Cu lebih dominan dibandingkan dengan unsur yang lainnya.

3.4. Karakterisasi UV-Vis

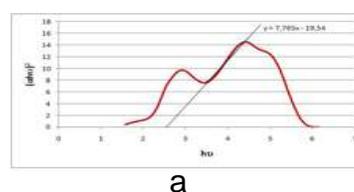
Celah pita energi (*band gap*) merupakan besaran energi yang diperlukan suatu elektron untuk dapat tereksitasi dari pita valensi menuju pita konduksi. Besar kecilnya pita celah energi mempengaruhi sifat optik material semikonduktor karena berkaitan dengan energi foton untuk mengeksitasi elektron. Analisis pengujian sifat optik (transmitansi, absorptansi dan *band gap*) diukur menggunakan UV-Vis 1240 Shimadzu pada panjang gelombang 200 - 800 nm. Hasil pengujian UV-Vis ditunjukkan pada Gambar 5.

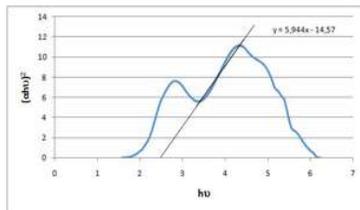


Gambar 5. Spektrum absorptansi nanopartikel Cu_2O yang disintesis dengan variasi konsentrasi larutan pengendap.

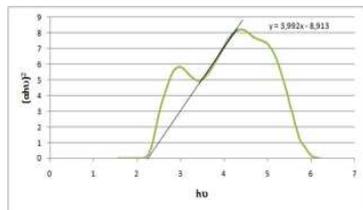
Berdasarkan data yang diperoleh pada gambar 5 bahwa nilai absorptansi maksimum terjadi pada panjang gelombang 455 nm dengan spektrum nilai absorptansi sebesar 1,10123 a.u. yang dihasilkan oleh nanopartikel Cu_2O dengan konsentrasi larutan pengendap 0,6 M. Hal ini menunjukkan bahwa pada nilai optimum tersebut, penyerapan energi oleh elektron menyebabkan elektron memiliki energi yang cukup untuk melewati celah pita optik, sedangkan nilai transmitansi pada panjang gelombang tersebut memiliki nilai yang sangat kecil. Nilai absorptansi rendah terjadi pada daerah panjang gelombang dibawah 200 nm dan diatas 700 nm. Hal menunjukkan bahwa elektron tidak dapat menyerap energi pada panjang gelombang tersebut, sehingga energi yang diberikan hanya dapat ditransmisikan atau diteruskan.

Perhitungan celah pita optik (*band gap*) dimulai dari penentuan nilai absorptansi melalui data pengujian dan diolah menggunakan metode Tauc plot dengan memperoleh hubungan antara $h\nu$ sebagai ordinat terhadap $(ah\nu)^n$ sebagai absis. Kurva plot hubungan $h\nu$ terhadap $(ah\nu)^n$ dan kemiringan garis lurus fitting ditunjukkan pada gambar gambar 6.





b



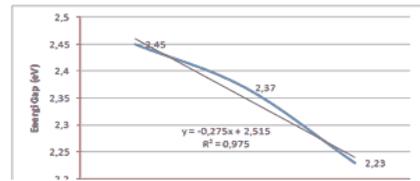
c

Gambar 6. Plot $(\alpha hv)^2$ terhadap energi foton absorptansi ($h\nu$) pada variasi konsentrasi larutan pengendap (a) 0,2 M , (b) 0,6 M dan (c) 1 M

Berdasarkan kurva pada Gambar 7,

diperoleh nilai *band gap* nanopartikel Cu_2O melalui ekstrapolasi data linier antara $h\nu$ dan $(\alpha hv)^2$ dengan memasukkan nilai $y = 0$ pada persamaan $y = mx + c$ sehingga diperoleh nilai x yang merupakan nilai *band gap* nanopartikel Cu_2O sebesar 2,51 eV (I), 2,37 eV (II), dan 2,23 eV (III). Nilai energi *band gap* yang diperoleh memiliki perbedaan yang tidak signifikan jika dibandingkan dengan teori yang mengungkapkan bahwa energi *band gap* langsung Cu_2O adalah sebesar 2,1 eV [4, 14, 9].

Analisis uji statistik regresi dan korelasi pada gambar 7 menunjukkan hubungan antara kedua variabel X (konsentrasi larutan pengendap) dan Y (energi gap). Berdasarkan hasil tersebut diperoleh bahwa pengaruh variabel X terhadap variabel Y adalah sebesar 97 %.



Gambar 7. Hubungan Konsentrasi Pengendap NH_4OH Terhadap Energi Gap.

Dengan demikian penggunaan variasi konsentrasi pengendap NH_4OH dalam sintesis Cu_2O sangat mempengaruhi nilai *band gap* nanopartikel.

4. KESIMPULAN

Nanopartikel Cu_2O (*Cuprous Oxide*) telah berhasil disintesis menggunakan metode kopresipitasi. Analisis FTIR menunjukkan bahwa ketiga cuplikan nanopartikel Cu_2O masih diikuti oleh gugus lain seperti gugus O-H yang berasal dari serapan air pada permukaan nano Cu_2O dan menunjukkan adanya vibrasi Cu-O. Pengaruh variasi konsentrasi pengendap NH_4OH terhadap ukuran nanopartikel Cu_2O memberikan efek ukuran kristalit dengan morfologi berbentuk kubik (*nanocube*) sebesar 78 nm (I), 80 nm (II), dan 83 nm. Sifat optik menunjukkan bahwa nanopartikel Cu_2O mampu mengabsorpsi spektrum gelombang dengan interval 200 nm - 600 nm dengan intensitas absorpsi terbesar terdapat pada spektrum gelombang 455 nm. Dengan menggunakan metode Touc plot diperoleh nilai *band gap* berturut-turut adalah 2,51 eV (I), 2,37 eV (II), dan 2,23 eV(III). Dengan demikian nanopartikel Cu_2O yang dihasilkan memiliki karakteristik yang memenuhi jika digunakan sebagai komponen sel surya (*photovoltaic*)

dan memiliki aplikasi potensial sebagai fotokatalis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdullah, M., Virgius, Yudistira, Nirmin dan Khairurrijal. (2008). *Sintesis Nanomaterial*, *Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi* Vol. 1 : 33 – 57.
- [2] Abdullah, M., Khairurrijal. (2009). *Karakterisasi nanomaterial*, *Jurnal nanosains dan Nanoteknologi* Vol. 2 : 1 – 9.
- [3] Aiguo, Yan. (2008). *Solvothermal Synthesis and Characterisation of size-controlled Fe₃O₄ Nanoparticles*, *Journal Alloys and Compound* 458 : 487- 491.
- [4] Bai, Yakui., Yang, Tengfei., Gu, Qing., Cheng, Guoan., Zheng., Ruiting. (2012). *Shape Control Mechanism of Cuprous Oxide Nanoparticles in Aqueous Colloidal Solutions*, *Journal Powder Technology* **227**: 35-42
- [5] Biccari, Francesco. 2009. *Defects and Doping in Cu₂O*. Sapienza, University of Rome.
- [6] Cao, Yan., Wang Yue J., Zhou Kang G., Bi Z. 2009. *Morphology Control Of Ultrafine Cuprous Oxide Powder And Its Growth Mechanism*. Elsevier Journal, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 20(2010) s216 – s220.
- [7] Guedes M, Ferreira JMF, Ferro AC. 2009. *Dispersion of Cu₂O particles in aqueous suspensions containing 4,5-dihydroxy-1,3-benzenedisulfonic acid disodium salt*. *Ceram Int* 35 : 1939 – 1945.
- [8] H. Yan, J.C. Zhang, H.X. You, Z.W. Song, B.W. Yu, Y. Shen,. (2009). *Influences of different synthesis conditions on properties of Fe₃O₄ nanoparticles*, *Materials Chemistry and Physics* 113 : 46-52.
- [9] He Ping, Shen X., Gao H. (2004). *Size-controlled preparation of Cu₂O octahedron nanocrystals and studies on their optical absorption*. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2005, 284 : 510–515
- [10] Kuo CH, Chen CH, Huang MH. (2007). *Seed-mediated synthesis of monodispersed Cu₂O nanocubes with five different size ranges from 40 to 420 nm*. *Journal Advanced Functional Materials*, 17:3773–3780
- [11] Lin X.F., Zhou R., Sheng X., Zhang J., (2010). *Cu₂O nanoparticles : Radiation synthesis, and photocatalytic activity*. *Nuclear Science and Techniques* 21 : 146-151.
- [12] Kaur, M., Muthe, K.P., Despande, S.K., Choudhury, S., Singh, J.B., Erma, N. V., Gupta, S.K., and Yakhmi, J.V.(2006).“ *Growth and branching of CuO nanowires by thermal oxidation of copper*”, *J. Cryst. Growth*, Vol. 289 : 680-675.
- [13] Pokropivny,V., Lohmus,R., Hussainova, I., Pokropivny, A., Vlassov, S. (2007). *Introduction in Nanomaterials and Nanotechnology*. Tartu University Press, Ukraina, 225 p.
- [14] Sekhar, H., Rao, D.N. (2012). *Preparation, Characterization and Nonlinier Absorption Studies of Cuprous Oxide Nanoclusters, Microcubes and Micro-particles*. *Journal Nanoparticles Research* **14**: 976
- [15] Teja, A.S. and P.Y. Koh, (2009). *Synthesis, properties and applications of magnetic iron oxide nanoparticles*. *Prog. Cryst. Growth Ch.*, 5
- [16] Timuda, G.E. (2006). *Karakterisasi Optik Lapisan Semikonduktor Cu₂O Yang Dibuat Dengan Metode Deposisi Kimia*, FMIPA, IPB Bogor
- [17] Wang Z, Wang H, Wang L, Pan L, (2009), *Controlled synthesis of Cu₂O cubic and octahedral nano- and microcrystals*. *Cryst Res Technol* 44(6) : 624 – 628
- [18] Xie SY, Ma ZJ, Wang CF, Lin SC, Jiang ZY, Huang RB, Zheng LS, (2004), *State displacement reactions and to obtain Cu NPs from Cu (II) precursor physical and chemical*. *J Solid. State. Chem.* 177 (10) : 3743–7
- [19] Xiaoxia Z, Jimei S, Jian J, Xuefeng M,. 2010. *Preparation and*

-
- photocatalytic activity of cuprous oxides. Elsevier Journal, Solid State Sciences* 12 (2010) 1215e1219
- [20] Yanyan Xu, Xiuling Jiao, Dairong Chen, (2008), *PEG-Assisted Preparation of Single-Crystalline Cu₂O Hollow Nanocubes*. *The Journal of Physical Chemistry*, 112 (43), pp 16769–16773