



SINTESIS CARBON NANODOTS SULFUR (C-DOTS SULFUR) DENGAN METODE MICROWAVE

Handika Dany Rahmayanti✉, Mahardika Prasetya Aji dan Sulhadi

Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia
Gedung D7 Lt. 2, Kampus Sekaran Gunungpati, Semarang 50229

Info Artikel

Diterima Pebruari 2015
Disetujui Pebruari 2015
Dipublikasikan Agustus 2015

Keywords:

absorbance, C-dots, energy gap, FTIR, microwave, sulfur

Abstrak

Sintesis C-Dots dengan metode microwave menggunakan bahan sulfur, urea dan citric acid telah berhasil dibuat. C-Dots disintesis pada kondisi low (70 W). Pada masing-masing kondisi dibuat dengan variasi waktu sintesis yang berbeda-beda yaitu 5 menit, 15 menit, 25 menit, 35 menit, 45 menit dan 55 menit. Hasil sintesis C-Dots dengan variasi waktu sintesis berbeda menunjukkan pergeseran warna dari kuning muda menjadi coklat tua. Emisi cahaya C-Dots yang diamati dalam cahaya UV menunjukkan perpendaran warna hijau kekuningan. Meningkatnya lama waktu sintesis menyebabkan penyerapan spektrum absorbansi yang dihasilkan semakin luas dan semakin rendah nilai energi gapnya yaitu pada rentang 2,1 eV sampai 1,7 eV. Hal ini mengindikasikan bahwa efek waktu sintesis mempengaruhi sifat optik C-Dots yang dihasilkan. Dari pengukuran spektrum transmitansi FTIR dapat teramati struktur unit C-Dots. Terdapat keberadaan gugus fungsi seperti -OH, C-H, C-O, C=C, C-N dan SH. Proses microwave menyebabkan gugus fungsi mengalami degradasi intensitas transmitansi. Secara sederhana, hasil analisis gugus fungsi dari FTIR hasil sintesis dari sulfur, urea dan citric acid melalui proses microwave mengindikasikan secara kuat bahwa terdapat C-Dots.

Abstract

Synthesis of C-Dots using sulfur materials, urea and citric acid was successfully prepared by microwave methods. C-Dots synthesized in conditions low (70 W). In each of the conditions are prepared by the time variation of different synthesis is 5 minutes, 15 minutes, 25 minutes, 35 minutes, 45 minutes and 55 minutes. The results of the synthesis of C-Dots with different synthesis shows the time variation of light yellow color shift to dark brown. C-Dots light emission was observed in UV light yellowish green color indicates luminiscence. Increasing the length of time the synthesis of lead absorption resulting absorbance spectrum wider and lower energy value is in the range gapnya 2.1 eV to 1.7 eV. This indicates that the effect of synthesis time affect the optical properties of the resulting C-Dots. FTIR transmittance spectra of measurement can be observed structural unit C-Dots. There is the presence of functional groups like that OH, CH, CO, C = C, CN and SH. Microwave process causing degraded functional groups transmittance intensity. Simply put, the results of the analysis of the functional group of the FTIR results of the synthesis of sulfur, urea and citric acid through microwave process indicated strongly that there is a C-Dots.

PENDAHULUAN

Carbon nanodots (C-Dots) merupakan bahan karbon baru yang berukuran dibawah ~10 nm. Sejak ditemukannya nanopartikel C-Dots sebagai bahan baru dari karbon, kajian intensif mengenai C-Dots terus berkembang dengan cepat hingga saat ini. Ikatan rantai karbon sebagai sumber utama dalam pembuatan C-Dots menjadi fokus penelitian yang dikaji dan dikembangkan penerapannya dalam beberapa aplikasi. Banyak peneliti telah mengkaji berbagai sumber karbon seperti Zhai *et al* (2012) menggunakan sumber karbon dari *citric acid*, Zhu *et al* (2012) menggunakan sumber karbon dari susu kedelai dan Sahu *et al* (2012) menggunakan sari jeruk. Kemajuan yang telah dicapai mengenai kajian yang meliputi sintesis, sifat dan aplikasi C-dots telah dipaparkan oleh para peneliti.

Rantai karbon menjadi bahan utama pembuatan C-Dots. Rahmayanti *et al* (2014) melakukan kajian intensif mengenai efek penambahan unsur belerang (sulfur) dalam pembuatan C-Dots dengan sumber karbon dari *citric acid* dengan metode pemanasan sederhana. Penambahan sulfur tersebut didasarkan pada peran sulfur belerang sebagai *cross linker* pada proses vulkanisir karet alam untuk ban sehingga dapat dihasilkan produk ban dengan sifat elastis yang baik (Masyrukan, 2013). Hasil pengamatan spektrum absorbansi radiasi sinar UV menunjukan bahwa penambahan sulfur memperlebar spektrum absorbansi C-Dots. Hasil analisis spektrum absorbansi didapatkan lebar celah pita energi gap (energi gap). Energi gap mengalami penurunan dengan meningkatnya massa sulfur. Sulfur berperan sebagai pengikat (*cross linker*) sehingga mempengaruhi sifat fisis dari C-Dots yang dihasilkan. Dari hasil ini menunjukan kajian awal mengenai fabrikasi C-Dots dengan memanfaatkan potensi bahan alam sulfur sebagai *cross linker* molekul karbon dari citric acid yang akan menjadi landasan kuat bagi pengembangan fabrikasi C-Dots.

C-Dots yang diperoleh menggunakan metode pemanasan sederhana memiliki kelemahan yaitu sampel yang dihasilkan dapat berubah dengan cepat menjadi gel. Dalam metode pemanasan sederhana, air cepat menguap atau mengalami proses evaporasi yaitu proses hilangnya gugus hidroksil sehingga diperkirakan rantai karbon belum putus dengan sempurna. Degradasi gugus hidroksil yang cepat akibat proses pemanasan menyebabkan C-Dots dari proses pemanasan sederhana ini selalu berupa gel sehingga hasilnya sulit dimanfaatkan untuk aplikasi. Kelemahan lain dari metode pemanasan sederhana adalah sintesis nanopartikel membutuhkan waktu yang sangat lama, beberapa jam hingga puluhan jam (Abdullah *et al*, 2008).

Beragam metode telah dikembangkan untuk mensintesis C-Dots. Metode dalam sintesis C-Dots secara umum diklasifikasikan kedalam dua cara, yaitu : metode *top-down* dan *bottom-up* (Baker *et al*, 2010). Pada metode *top-down* struktur-struktur karbon yang lebih besar dipecah menjadi C-dots, contohnya oksidasi elektrokimia, *arc-discharge* dan teknik *laser ablation*. Metode *bottom-up* dibagi lagi menjadi beberapa metode diantaranya metode pemanasan sederhana, *supported synthesis* dan *microwave*. Adapun metode yang paling sederhana yang terus dikembangkan saat ini adalah metode pemanasan sederhana. Selain menggunakan metode pemanasan sederhana, metode yang sering digunakan dalam sintesis C-Dots adalah metode *microwave*.

Microwave dipandang tepat untuk mengatasi kelemahan dari proses pemanasan sederhana. Dibandingkan dengan metode pemanasan sederhana, metode *microwave* menyediakan energi yang intensif, homogen dan efisien, serta dapat mencapai suhu tinggi dan memulai reaksi dalam waktu yang sangat singkat (Nasriah, 2013). Prinsip dari metode *microwave* adalah menggetarkan molekul sehingga C-Dots dari metode *microwave* lebih unggul karena prosesnya penggetaran (vibrasi) yang menyebabkan rantai-rantai karbon mengalami penyusunan ulang sehingga hasilnya tidak banyak mengurangi kadar air dalam larutan dan tidak akan dihasilkan C-Dots berupa gel.

Kajian intensif mengenai efek penambahan unsur belerang (sulfur) dalam pembuatan C-Dots dengan sumber karbon dari *citric acid* dengan metode *microwave* menjadi hal baru dalam perkembangan sintesis C-Dots. Hal ini menarik untuk diamati sehingga menjadi fokus kajian penelitian kali ini. Ditinjau dari beberapa segi, penelitian ini memberikan informasi mengenai efek dari penggunaan daya *microwave* serta bagaimana peran sulfur terhadap karakteristik sifat fisis yang meliputi warna, absorbansi, energi gap

serta struktur unit dari C-Dots. Secara umum, hasil dari penelitian ini tidak menutup kemungkinan dapat digunakan sebagai acuan untuk kajian aplikasi C-Dots.

METODE PENELITIAN

Penyiapan Bahan

Langkah-langkah yang harus disiapkan sebelum sintesis adalah menyiapkan bahan-bahan yang akan digunakan pada pembuatan C-Dots. Bahan-bahan yang digunakan adalah *citric acid*, urea, sulfur serta aquades. Kemudian bahan-bahan tersebut ditimbang dengan komposisi *citric acid* dengan massa 2 gram, sulfur dengan massa 2 gram dan urea dengan massa 4 gram serta siapkan juga aquades ± 60 ml..

Proses Homogenisasi

Pada penelitian ini, pencampuran antara bahan dilakukan dengan menggunakan pengaduk magnet (*magnetic stirrer*) sedangkan media untuk mencampurkannya dengan aquades. Proses ini penting untuk dilakukan karena mencampurkan material bahan baku C-Dot yang sudah diatur komposisinya sehingga dapat bercampur hingga homogen. Homogenisasi dilakukan hingga suhu 70°C selama ± 15 menit hingga seluruh bahan bercampur hingga homogen. Proses pemanasan bertujuan sebagai katalis untuk mempercepat reaksi.

Proses Microwave

Metode *microwave* merupakan proses yang digunakan untuk sintesis C-Dots. *Microwave* yang digunakan untuk sintesis yaitu *microwave* Panasonic NN-SM322M, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5. Prinsip dasar dari *microwave* penggetaran (vibrasi) yang menyebabkan rantai-rantai karbon mengalami penyusunan ulang akan dihasilkan C-Dots. Keunggulan dari metode ini adalah sampel tidak mengalami degradasi gugus hidroksil sehingga tidak banyak mengurangi kadar air dalam larutan. C-Dots disintesis pada kondisi yaitu *low* (70 W), Pada kondisi ini dibuat dengan variasi waktu yang berbeda-beda yaitu 5 menit, 15 menit, 25 menit, 35 menit, 45 menit dan 55 menit

Pengujian dan Karakterisasi C-Dots

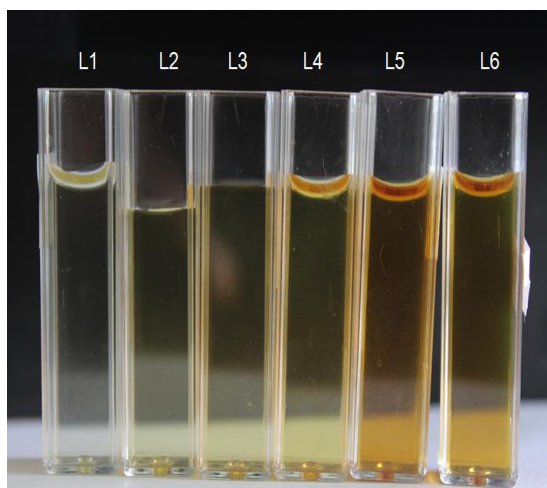
Pengujian dan karakterisasi C-Dots hasil sintesis dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat fisis yang meliputi warna dan spektrum absorbansinya menggunakan spektrometer UV-VIS, untuk kemudian dapat diperoleh nilai lebar celah pita energinya (energi gap), serta mengetahui struktur unitnya menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) jenis Frontier FT-NIR/MIR Spectrometers L1280034.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Fisis

Sintesis C-Dots dengan metode *microwave* menggunakan bahan sulfur, urea dan citric acid telah berhasil dibuat. C-Dots disintesis pada kondisi yaitu *low* (70 W). Pada kondisi ini dibuat dengan variasi waktu sintesis yang berbeda-beda yaitu 5 menit, 15 menit, 25 menit, 35 menit, 45 menit dan 55 menit. Hasil sintesis C-Dots dengan variasi waktu sintesis berbeda seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Akibat waktu sintesis yang berbeda, warna hasil sintesis C-Dots mengalami perubahan. Perubahan ini dapat mengindikasikan perubahan sifat fisis dari C-Dots yaitu warna. Pergeseran warna terjadi dari waktu sintesis 5 menit hingga 55 menit.

Karakteristik warna C-Dots pada kondisi *low* saat waktu sintesis 5 menit, warna yang dihasilkan adalah kuning muda kemudian warnanya mulai bergeser menjadi coklat muda pada waktu sintesis 35 menit dan menjadi coklat tua pada waktu sintesis 45 dan 55 menit.

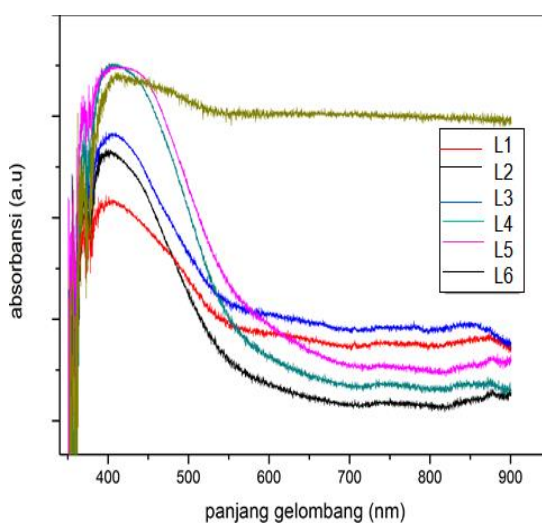


Gambar 1. Hasil Sintesis C-Dots

Warna C-Dots yang dihasilkan setelah proses pemanasan baik pada kondisi *low* menunjukkan warna dominan coklat. Hasil ini bersesuaian dengan hasil yang diperoleh Yang *et al* (2009) dimana C-Dots diperoleh dari proses microwave menggunakan sumber karbon PEG dan sakarida menghasilkan warna coklat.

Hasil yang sama juga diperoleh Faisal *et al* (2013) yang memperoleh C-Dots menggunakan sumber karbon asam askorbat dan lisin. Spektrum absorbansi C-Dots seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Spektrum ini menunjukkan penyerapan energi gap di daerah UV bahwa elektron melompat dari pita valensi ke pita konduksi.

Puncak spektrum serapan C-Dots pada kondisi *low* dengan waktu sintesis 5 menit, 15 menit, 25 menit, 35 menit, 45 menit dan 55 menit terletak pada panjang gelombang 396,29 nm, 398,64 nm, 425,06 nm, 421,02 nm, 427,82 nm dan 436,29 nm. Seiring dengan meningkatnya lama waktu sintesis, panjang gelombang C-Dots pada kondisi *low* terlihat bergeser dengan cahaya pada panjang gelombang UV. Penyerapan sinar UV oleh C-Dots diamati semakin luas dengan meningkatkan waktu sintesis. Hasil ini menunjukkan bahwa C-Dots mampu menyerap lebih banyak energi dari sinar UV.



Gambar 2. Spektrum absorbansi C-Dots

C-Dots memiliki spektrum absorbansi pada daerah UV-Visibel. Dari spektrum absorbansii ini, pita energi gap C-Dots dapat diperoleh. Energi gap yang diperoleh pada kondisi *low* dengan waktu sintesis 5

menit dan 15 menit memiliki nilai yang sama yaitu 2,1 eV dan pada 25 menit, 35 menit, 45 menit memiliki nilai sebesar 2 eV, 1,85 eV dan 1,8 eV. Untuk waktu sintesis 55 menit tidak dapat diperoleh nilai energi gap.

Hasil ini bersesuaian dengan hasil yang diperoleh Li *et al* (2012) memperoleh energi gap C-Dots pada rentang 1.5 – 3.5 eV. Estimasi energi gap hasil sintesis *citric acid*, urea dan sulfur dengan waktu sintesis berbeda dilakukan untuk mengidentifikasi adanya C-Dots. Hal ini mengindikasikan bahwa efek waktu sintesis mempengaruhi sifat optik C-Dots yang dihasilkan dari sintesis citric acid, urea dan sulfur. Dengan meningkatnya lama waktu sintesis maka penyerapan spektrum yang dihasilkan lebih luas dan semakin rendah nilai energi gapnya. Semakin rendahnya energi gap ini menunjukkan energi yang diperlukan untuk mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi semakin rendah pula. Hal ini dapat terjadi akibat C-Dots yang dihasilkan dari proses pemanasan ukurannya semakin besar.

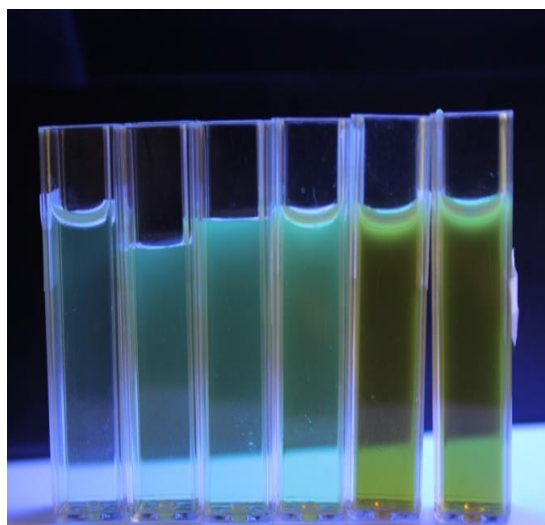
Akibat semakin banyaknya jumlah atom penyusun partikel maka makin kecil energi yang diperlukan untuk menghasilkan elektron-elektron yang hampir bebas, berarti makin kecil pula lebar energi gap. Li *et al* (2012) melaporkan bahwa C-Dots yang memiliki band gap energi ~ 2 eV, ukuran partikel C-Dots sekitar 2 nm. Semakin kecil band gap energi partikel C-Dots maka dimensi ukuran partikel akan semakin besar. Efek pergeseran energi gap akibat perubahan ukuran dikenal sebagai *quantum effect*.

Sifat Luminisens

C-Dots yang telah disintesis memiliki karakteristik luminisens dapat dilihat pada Gambar 3. Sumber eksitasi yang digunakan adalah sinar UV. Sinar UV yang diserap mampu membangkitkan elektron dan menghasilkan cahaya yang disebabkan oleh elektron yang mengalami proses rekombinasi (deeksitasi). Disebut rekombinasi karena elektron bergabung kembali dengan hole sehingga hole menjadi hilang. Saat proses deeksitasi ini dilepaskan energi berupa panas atau pemancaran cahaya. Deeksitasi yang disertai pelepasan panas disebut transisi tanpa radiasi, sedangkan deeksitasi disertai pemancaran gelombang elektromagnetik disebut transisi radiatif.

Pada transisi radiatif, energi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan kira-kira sama dengan lebar celah pita energi, yaitu $hf \approx E_g$ (Abdullah, 2007).

Dari hubungan persamaan diatas maka frekuensi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan adalah $f \approx E_g/h$. Tampak di sini bahwa warna yang dihasilkan material ketika terjadi proses deeksitasi sangat bergantung pada lebar celah pita energi karena frekuensi merepresentasikan warna. Hal ini merupakan salah satu dasar rekayasa pita energi. Apabila kita memiliki kemampuan mengontrol lebar celah pita energi material maka kita dapat membuat material yang menghasilkan warna yang berbeda-beda.



Gambar 3. Karakteristik Luminisens C-Dots

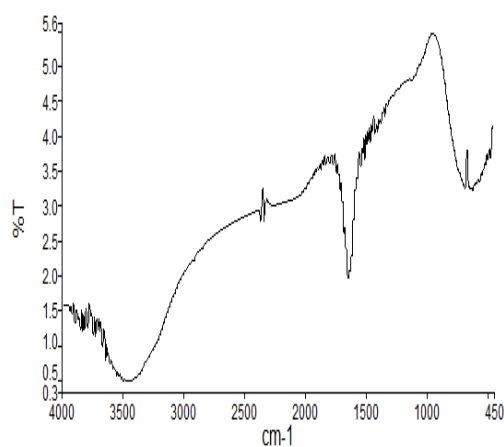
Bergesernya emisi luminisens ini sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel yang terbentuk. Emisi luminisens nanopartikel yang bergeser ke panjang gelombang pendek yaitu ke arah warna biru (*blue shift*) saat ukuran partikel semakin kecil sebagai akibat efek *quantum confinement* (Abdullah *et al*, 2003).

Hasil proses sintesis C-Dots pada kondisi *low* yang disintesis dengan waktu berbeda menunjukkan perubahan warna yang berbeda-beda. Selain sifat fisis, perubahan ini juga mengindikasikan adanya perubahan struktur dari C-Dots. Perubahan struktur C-Dots teramati dari spektrum transmitansi dari FTIR, seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Perubahan struktur C-Dots yang disintesis dari sulfur, *citric acid* dan urea teramati dari spektrum transmitansi dari FTIR.

Dari data spektrum FTIR dalam C-Dots, ternyata mengindikasikan terdapatnya beberapa gugus fungsional senyawa kimia yang dapat berinteraksi dengan zat lain seperti logam. Gugus-gugus fungsional tersebut terletak pada serapan $3463,1\text{ cm}^{-1}$ (*low*) yang tajam dan melebar serta mengikat energi yang sangat rendah yaitu sebesar $0,35\text{ eV}$ yang menunjukkan terdapatnya gugus -OH asam karboksilat, yang disebabkan oleh adanya ikatan hidrogen antar gugus fungsi yang mengandung -OH .

Selanjutnya terdapat pita di daerah $2927,5\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan rentang C-H dari rantai aldehida dan diperkuat dengan munculnya pita pada daerah $623,09\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan rentang aromatik C-H. Sulfur (SH) muncul pada daerah $2727,5\text{ cm}^{-1}$ (*low*). C-Dots yang disintesis menggunakan sulfur, urea dan citric acid yang bereaksi dengan air menghasilkan perpanjangan rantai melalui ikatan urea dengan melepaskan gas CO_2 . Gas CO_2 yang dihasilkan dari reaksi tersebut dapat terjebak dalam hasil reaksi. Hal ini dibuktikan dengan munculnya CO_2 pada daerah $2374,3\text{ cm}^{-1}$.

Alkena $\text{C}=\text{C}$ muncul pada daerah $1647,9\text{ cm}^{-1}$. Kemudian terdapat C-N ikatan amina pada daerah $1324,4\text{ cm}^{-1}$ serta munculnya pita di daerah $1207,5\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan rentang C-O dari rantai aromatik, atau C-O ikatan ester.



Gambar 4. Spektrum Transmittansi C-Dots

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu sintesis C-Dots dengan metode *microwave* menggunakan bahan sulfur, urea dan citric acid telah berhasil dibuat. C-Dots disintesis pada kondisi *low* (70 W). Pada kondisi ini dengan variasi waktu sintesis yang berbeda-beda yaitu 5 menit, 15 menit, 25 menit, 35 menit, 45 menit dan 55 menit. Hasil sintesis C-Dots dengan variasi waktu sintesis berbeda menunjukkan pergeseran warna dari kuning muda menjadi coklat tua. Emisi cahaya C-Dots yang diamati dalam cahaya UV menunjukkan perpendaran warna hijau kekuningan.

Seiring dengan meningkatnya lama waktu sintesis maka penyerapan spektrum absorbansi yang dihasilkan semakin luas dan semakin rendah nilai energi gapnya. Hal ini mengindikasikan bahwa efek waktu sintesis mempengaruhi sifat optik C-Dots yang dihasilkan. Semakin rendahnya energi gap ini

menunjukkan energi yang diperlukan untuk mengeksitasi elektron dari pita valensi ke konduksi semakin rendah pula. Hal ini dapat terjadi akibat C-Dots yang dihasilkan dari proses pemanasan ukurannya semakin besar.

Pengukuran dari spektrum transmitansi FTIR dapat teramati struktur unit C-Dots. Terdapat keberadaan gugus fungsional seperti -OH, C-H, C-O, C=C, C-N dan SH. Proses microwave menyebabkan gugus fungsional mengalami degradasi intensitas transmitansi. Secara sederhana, hasil analisis gugus fungsional dari FTIR hasil sintesis dari sulfur, urea dan citric acid melalui proses microwave mengindikasikan secara kuat bahwa terdapat C-Dots.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., Morimoto, T., Okuyama, K. 2003. Generating blue and red luminescence from ZnO/poly(ethylene glycol) nanocomposites prepared using an in-situ method, *Advanced Functional Materials*, 13(10), (800-804).
- Abdulah, Mikrajuddin. 2007. Catatan kuliah: *Topik Khusus Fisika Material Elektronik Material Nanostruktur*. Bandung : ITB
- Abdullah M, et al. 2008. Review : Sintesis Nanomaterial. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi* 1(2):33-57 ISSN 1979-0880
- Abdullah, M. dan Khairurrijal. 2010. *Karakterisasi Nanomaterial : Teori Penerapan dan Pengolahan Data*. Bandung: CV. Rezeki Putera.
- Baker, S.N. dan Baker, G.A. 2010. Luminescent Carbon Nanodots : Emergent Nanolight, *Angew. Chem. Int.* 99: 6726-6744.
- Faisal N., Wang, L., Zhu, L., Meng, X., dan Xiao, F. 2013. Ascorbic Acid Assisted Green Route for Synthesis of Water Dispersible Carbon Dots, *Chem. Res. Chin. Univ.* 2013, 29(3), 401-403.
- Jacob, Jandri. 2011. *Sintesis Nanopartikel ZnO dengan Teknik Presipitasi : Pengaruh Temperatur Pencampuran Prekursor terhadap Pertumbuhan Nanokristalit Oksida Anorganik*. Tesis Jakarta : Universitas Indonesia.
- Jaiswal, A., Ghosh Siddhartha, S., dan Chattopadhyay, A., 2012, One step synthesis of C-Dots by Microwave mediated caramelization of poly(ethylene glycol), *Chem. Commun.* 48 : 407-409.
- Jingjing N., Hui, G., Litao W., Shuangyu, X., Yuhua. W. 2013. Facile synthesis and optical properties of nitrogen-doped carbon dots. *Royal Society of Chemistry*. DOI : 10.1039/c3nj01068f.
- Kurniawan, Cepi. 2008. *Studi Sifat Luminisensi Nanopartikel $\text{CaSr}_2\text{TiO}_6\text{:RE}$ ($\text{RE}=\text{Pr}^{3+}$, Eu^{3+} dan Tb^{3+}) yang Dipreparasi dengan Metode Sonokimia*. Tesis. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Li, H., Zhenhui K., Yang L., & Lee, S. 2012. Carbon nanodots : synthesis, properties and application, *Journal of Materials Chemistry*. DOI: 10.1039/c2jm34690g.
- Nasriah, Nasri. 2013. *Sintesis Karbon Nanodots menggunakan Pemanasan Microwave untuk Aplikasi Bioimaging*. Skripsi. Bandung : Universitas Islam Sunan Gunung Djati.
- Masyrukan, 2013, Karakterisasi Bahan Karet untuk Keperluan Gasket Kendaraan terhadap Pengaruh Kandungan Sulfur, *Prosiding Simposium Nasional RAPI XII Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta* ISSN 1412 9612.
- Philippidis, A., Stefanakis, D., Anglos, D., Ghanotakis, D. 2013. Microwave heating of arginine yields highly fluorescent nanoparticles, *J Nanoparts Res*, 15:1414.
- Rahmayanti, H.D., Aji, M.P., & Sulhadi. 2014. Effect of Sulfur Particles on Absorbance and the Band Gap Energy of Carbon Dots. *Prosiding International Conference on Advanced Materials and Technology (ICAMST 2014) 16-17 September 2014, Solo*.
- Sahu, S., Birendra, B., Tapas K., Maiti & Mohapatra, S. 2012. Simple one-step synthesis of highly luminescent carbon dots from orange juice: application as excellent bio-imaging agents, *Chem. Commun.* 48 : 8835-8837.
- Stefanakis, D., Anglos, D., Ghanotakis, D., Philippidis, A. 2014. Synthesis of fluorescent carbon dots by a microwave heating process: structural characterization and cell imaging applications. *J Nanoparts*, 16:2646.

- Zhai, X., Peng Z., Changjun L., Tao B., Li, W., Liming D., & Liu W. 2012. Highly luminescent carbon nanodots by microwave-assisted pyrolysis, *Chem. Commun.* 48 : 7955–7957.
- Zhi, Y., Zhaohui, L., Minghan, X., Hao, W., Liying, Z. 2013. Controllable Synthesis of Fluorescent Carbon Dots and Their Detection Application as Nanoprobes, *Nano-Micro Lett.* 5(4) : 247-259.
- Zhou, L., Benzhao He & Jiachang H. 2013. Amphibious fluorescent carbon dots: one step green synthesis and application for light-emitting polymer nanocomposites, *Chem. Commun.* 49 :8078-8080.
- Zhu, C., Junfeng Z., & Shaojun D. 2012. Bifunctional fluorescent carbon nanodots: green synthesis via soy milk and application as metal-free electrocatalysts for oxygen reduction, *Chem. Commun.* 48 : 9367–9369.