

Pengaruh Konsentrasi Larutan terhadap Sifat Optik dan Energi *Band gap* Lapisan Tipis CNDs-epoxy resin

Fitriyanti Nakul¹, Akfiny H. Aimon¹, dan Ferry Iskandar^{1, 2, a)}

¹Laboratorium Material Energi dan Lingkungan,
Kelompok Keilmuan Fisika Material Elektronik,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

²Research Center for Nanosciences and Nanotechnology (RCNN), Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

^{a)} ferry@fi.itb.ac.id (corresponding author)

Abstrak

Fabrikasi lapisan tipis memiliki berbagai keuntungan, terutama dari segi penyimpanan dan aplikasi yang luas karena sifat dari bahan lapisan tipis dapat dimodifikasi sesuai dengan divais yang diinginkan. Pada penelitian ini lapisan tipis carbon nanodots-epoxy resin telah berhasil dideposisi di atas substrat kaca menggunakan metode spin coating dengan variasi parameter konsentrasi larutan bergantung pada rasio epoxy resin. Carbon nanodots (CNDs) sebagai material berpendar, diperoleh dari hasil sintesis senyawa urea $[(NH_2)_2CO]$ dan asam sitrat $[C_6H_8O_7]$ menggunakan microwave-assisted. Campuran CNDs-epoxy resin terbentuk dari pendispersian CNDs powder pada larutan epoxy resin. Lapisan tipis yang terbentuk menunjukkan sifat berpendar ketika disinari oleh sinar UV. Sifat optik lapisan tipis CNDs-epoxy resin dengan variasi konsentrasi larutan dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-vis. Hasil pengamatan menunjukkan nilai transmitansi pada rentang panjang gelombang sinar tampak dengan rata-rata mencapai 82%. Besarnya nilai transmitansi bergantung dari besarnya konsentrasi molar larutan. Selain itu, penentuan nilai energi band gap juga dihitung menggunakan metode Tauc's plot. Kisaran perubahan nilai energi band gap yang diperoleh pada lapisan CNDs-epoxy resin diidentifikasi memiliki karakteristik direct band gap.

Kata-kata kunci: CNDs-epoxy resin, Lapisan tipis, Spin coating, Energi band gap

PENDAHULUAN

Carbon nanodots (CNDs) sebagai alternatif material nanokristal semikonduktor, bersifat biokompatibel, stabilitas termal tinggi, dan memiliki emisi cahaya tampak kuat dan luas [1-3]. Keunikan yang dimiliki material ini menjadi daya tarik yang dapat dimanfaatkan dalam pengembangan teknologi penumbuhan lapisan tipis terutama di bidang fabrikasi divais mikroelektronika dan optoelektronika [4,5]. Penumbuhan lapisan tipis makin digalakkan karena memiliki berbagai keuntungan baik dari segi penyimpanan yang praktis maupun dari karakteristik lapisan tipis yang dapat dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan penelitian [6].

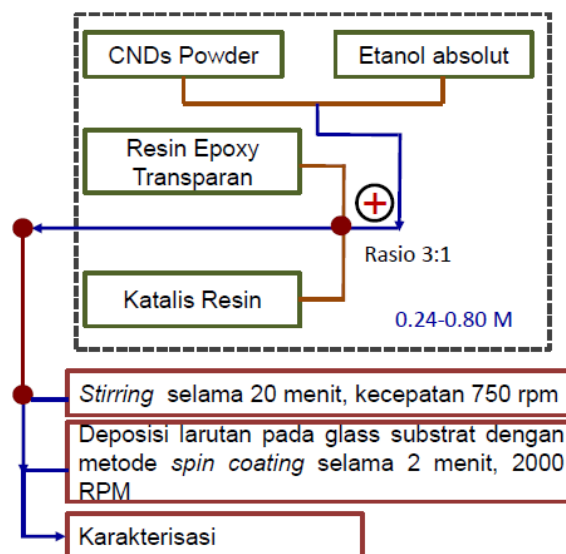
Berbagai metode penumbuhan lapisan tipis pada substrat telah banyak dikembangkan, antara lain Chemical Vapor Deposition (CVD) [7], Spray Pyrolysis [8], Solution Gelation (Sol-Gel) [9], dan Pulse Laser Deposition (PLD) [10]. Dalam pelaksanaannya, metode tersebut memerlukan persyaratan yang cukup kompleks. Sebagai alternatifnya, dibutuhkan metode penumbuhan lapisan tipis yang lebih sederhana tetapi mampu menghasilkan produk lapisan tipis dengan kualitas baik. Salah satunya, metode *spin coating* yang

memiliki keunggulan dibandingkan metode lain, yakni dapat dioperasikan pada suhu ruang, ramah lingkungan, dan harga yang terjangkau [11]. Pada penelitian sebelumnya, Ea *et al.* [12] melaporkan penumbuhan lapisan tipis dari material carbon nanodots dengan memanfaatkan metode *spin coating*, persentase transmitansi mencapai 90% dalam panjang gelombang UV yang bergantung pada fraksi massa carbon nanodots dalam komposit. Meskipun demikian, ditemukan komposisi fraksi massa carbon nanodot yang dideposisikan ke dalam substrat masih belum mampu memberikan efek transparansi yang baik. Kondisi ini, membuka peluang pengembangan fabrikasi lapisan tipis dengan tingkat transparansi yang lebih baik. Pada penelitian ini, upaya meningkatkan dan mengoptimalkan transparansi penumbuhan lapisan tipis diajukan dengan menambahkan atau melapiskan epoxy resin sebagai material perekat dan dapat berperan memberikan efek transparan pada lapisan tipis. Selanjutnya, variasi konsentrasi larutan yang bergantung pada volume epoxy resin juga diinvestigasi untuk memperoleh relasi antara konsentrasi larutan dan sifat optik lapisan tipis CNDs-epoxy resin yang dihasilkan, termasuk ketebalan lapisan dan energi *band gap* yang ditentukan berdasarkan sifat optis yang diperoleh.

METODE EKSPERIMEN

Sintesis serbuk CNDs dan larutan CNDs-Epoxy resin

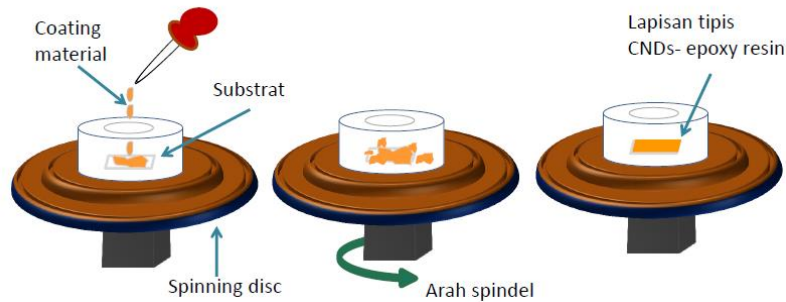
Film tipis CNDs-epoxy resin dideposisi di atas substrat kaca (*microscopy glass preparat*) menggunakan metode *spin coating*. Prosedur fabrikasi lapisan tipis ini terbagi dalam 2 tahapan, yaitu tahap pertama berupa pembuatan serbuk CNDs, dan tahapan kedua berupa proses pelapisan material pada substrat. Pada tahap pertama, serbuk CNDs disintesis menggunakan metode pemanasan gelombang mikro [13]. Adapun prekursor yang digunakan terdiri dari Asam Sitrat $C_6H_8O_7$ (Merck, Chemical, 99,98%) dan Urea $(NH_2)_2CO$ (komersil), dengan komposisi masing-masing material 0,035 g dan 3 g yang kemudian dilarutkan ke dalam 5 ml aqua dm. Larutan yang telah tercampur dikeringkan pada temperatur $100^\circ C$ selama 1 jam di oven. Selanjutnya, sampel direaksikan melalui pemanasan gelombang mikro dengan daya sebesar 800 watt selama 120 detik sehingga menghasilkan serbuk CNDs yang berwarna kuning.



Gambar 1. Prosedur deposisi material pada substrat dengan metode *spin coating*

Tahapan kedua, merupakan penyiapan larutan CNDs-epoxy resin dan proses deposisi material pada substrat yang dilakukan sesuai prosedur pada Gambar 1. Sebelum deposisi dilakukan, substrat gelas dibersihkan dari pengotor organik. Produk CNDs yang telah disintesis akan didispersikan ke dalam larutan etanol dan epoxy resin-katalis resin dengan rasio 3:1 sebagai standar. Pada kajian ini, disiapkan empat konsentrasi larutan yang berbeda dengan penambahan rasio volume epoxy resin. Kemudian, larutan diaduk dengan magnetik stirrer pada laju putar sebesar 750 rpm selama 20 menit hingga menghasilkan larutan yang tampak homogen. Selanjutnya, larutan dengan konsentrasi molaritas larutan yang berbeda siap dideposisikan di atas substrat gelas menggunakan metode *spin coating* seperti ditunjukkan pada Gambar 2, dengan laju

putaran 2000 rpm selama 60 detik. Semakin tinggi kecepatan sudut putar diharapkan dapat membentuk lapisan yang semakin tipis. Untuk mengetahui sifat optik lapisan tipis CNDs-Epoxy resin dilakukan analisis uji transmittansi UV-Vis Spektrofotometer.



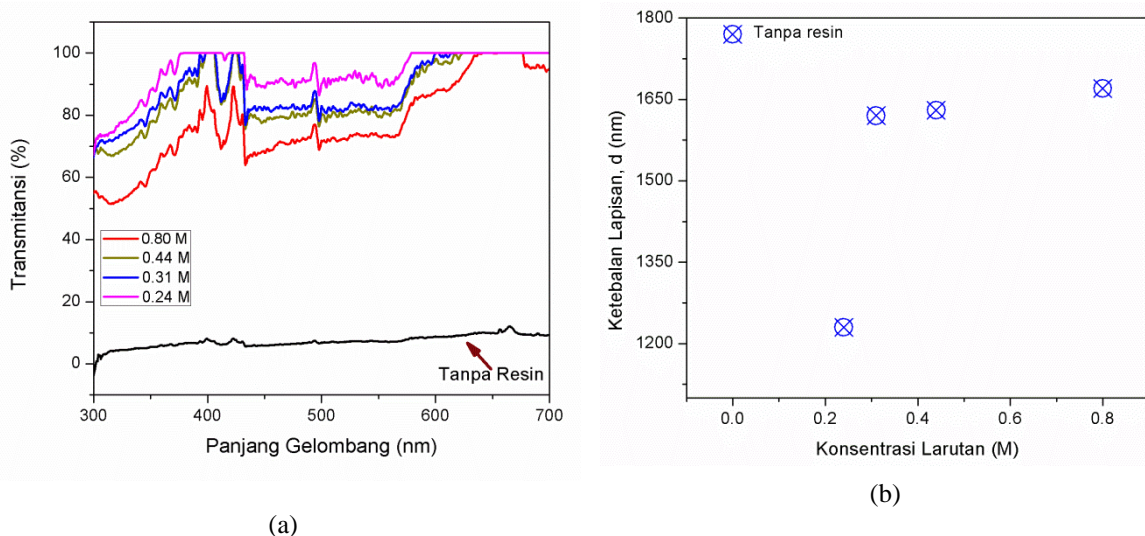
Gambar 2. Skema metode *spin coating*

Penentuan Energi *Band gap*

Informasi terkait sifat optik dan penentuan energi *band gap* lapisan tipis CNDs-epoxy resin dapat diperoleh dari hasil pengukuran transmittansi menggunakan UV-vis, yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi molar larutan terhadap sifat optik dan penentuan nilai energi *band gap* lapisan tipis. Parameter yang umumnya mempengaruhi sifat optik lapisan tipis adalah parameter ketebalan dan indeks bias lapisan tipis CNDs-Epoxy resin ditentukan menggunakan pendekatan metode Swanepoel [14]. Selanjutnya, energi *bandgap* lapisan tipis ditentukan dari absorpsi spektrum UV-Vis sebagai fungsi panjang gelombang menggunakan metode Tauc's Plot yang diterapkan dengan menarik ekstrapolasi pada daerah linier dari grafik hubungan antara $h\nu$ dan $(\alpha h\nu)^n$ hingga memotong sumbu energi [15].

HASIL DAN DISKUSI

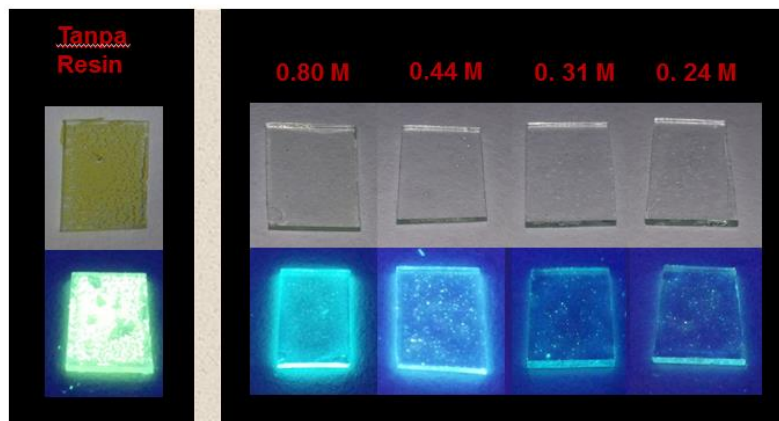
Sifat optik dari lapisan tipis CNDs-epoxy resin dengan konsentrasi molar larutan yang berbeda dianalisis berdasarkan data spektrum transmittansi Uv-Vis seperti terlihat pada Gambar 3(a). Transmisi optik masing-masing lapisan diukur pada sebaran panjang gelombang 300-700 nm.



Gambar 3. (a) Spektrum transmittansi optik lapisan tipis CNDs-epoxy resin, (b) Hubungan konsentrasi larutan dengan ketebalan lapisan tipis CNDs-epoxy resin

Hasil ini menunjukkan bahwa lapisan tipis yang terbentuk sangat transparan pada rentang panjang gelombang sinar tampak (375-550 nm) dengan transmitansi rata-rata 82%. Meskipun demikian, ditemukan perubahan persentase maksimum transmitansi dari setiap variasi konsentrasi molar larutan dari 0.24M ~ 0.8M, masing-masing sebesar 92,3%, 85,3%, 82,9%, dan 71,5%. Sebaliknya, deposisi lapisan tipis pada sampel dengan larutan tanpa campuran epoxy resin, tingkat transmitansi hanya mencapai 6,6%. Perubahan yang sangat signifikan ini menunjukkan bahwa penambahan epoxy resin memberikan kontribusi besar terhadap sifat transparansi lapisan tipis dan adanya karakter absorpsi energi foton yang unik dari lapisan CNDs-epoxy resin. Hal ini berkaitan dengan kemampuan epoxy resin yang berfungsi memberikan sifat transparansi terhadap substrat yang di *coating* [16].

Ketebalan lapisan tipis yang diperoleh melalui pendekatan metode Swanoepol untuk variasi konsentrasi larutan menunjukkan perubahan yang tidak terlalu signifikan terhadap sifat optis yang dihasilkan. Meskipun demikian, berdasarkan Gambar 3.b. diperoleh informasi bahwa semakin besar rasio volume epoxy resin yang ditambahkan ke dalam larutan, makin kecil ketebalan lapisan tipis yang terbentuk. Dengan kata lain, transmitansi optik lapisan tipis pada rentang panjang gelombang sinar tampak akan berkurang dengan bertambahnya ketebalan lapisan. Pada kasus ini, epoxy resin juga berperan terhadap pembentukan ketebalan lapisan pada substrat. Pengaruh parameter ketebalan ini mempengaruhi pemanfaatan energi foton untuk mengeksitasi pembawa muatan dari pita valensi ke pita konduksi. Semakin tebal lapisan maka energi foton yang diserap akan semakin banyak [9]. Kondisi ini yang menjadi salah satu faktor penentu karakteristik *band gap* dan sifat optik yang terbentuk pada lapisan tipis CNDs-epoxy resin.



Gambar 4. Produk lapisan tipis CNDs-epoxy resin, sebelum diradiasi sinar UV (atas) dan saat diradiasi UV (bawah)

Gambar 4. menunjukkan produk lapisan tipis CNDs-epoxy resin. Secara visual, pendaran lapisan tipis yang dihasilkan belum optimal dalam menghasilkan lapisan yang homogen, bahkan pada sampel yang di *coating* dengan larutan tanpa campuran epoxy resin, penumbuhan lapisan tipis belum terbentuk. Hal ini diduga karena keberadaan butiran pada permukaan substrat belum sempurna sehingga diperkirakan terjadi peningkatan hamburan gelombang foton. Hasil ini mirip dengan yang dilaporkan oleh Yu *et al.* ketika menyelidiki morfologi penumbuhan lapisan tipis dengan metode sol gel [9]. Berdasarkan hasil yang telah dilaporkan, ditemukan adanya diameter butir penyusun lapisan yang bertambah mengakibatkan permukaan lapisan menjadi kasar sehingga meningkatkan hamburan gelombang foton.

Analisa selanjutnya dari spektrum UV-Vis pada Gambar 3.a. memberikan koefisien absorpsi sebagai fungsi energi foton sehingga nilai energi *band gap* dari lapisan tipis CNDs-epoxy resin dapat diperoleh dari data pola transmitansi optik terhadap energi foton. Hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Energi *band gap* (E_g) lapisan tipis CNDs-epoxy resin

Konsentrasi (M)	E_g (eV)
0.24	1,75
0.31	1,50
0.44	1,33
0.80	1,25

Dari Tabel 1. tampak bahwa semakin besar konsentrasi larutan CNDs-epoxy resin (volume epoxy resin semakin kecil), semakin kecil nilai energi *band gap* yang dihasilkan. Kisaran nilai energi *band gap* ini tergolong kategori material semikonduktor dan memiliki karakteristik *direct band gap*. Pelebaran nilai E_g ini menunjukkan bahwa penambahan epoxy resin dalam jumlah tertentu pada substrat dapat mengubah perilaku energi *band gap* material. Nilai energi *band gap* akan mempengaruhi sifat optik material semikonduktor karena berkaitan dengan energi foton yang dieksitasi. Untuk memastikan perilaku perubahan energi *band gap* ini dibutuhkan optimasi dalam proses pelapisan material *coating* pada substrat dan analisa lebih lanjut.

KESIMPULAN

Lapisan tipis CNDs-epoxy resin berhasil dideposisikan dengan metode *spin coating* dengan variasi konsentrasi larutan bergantung pada volume epoxy resin. Kontribusi epoxy resin memberikan sifat transparansi cukup baik. Seluruh variasi konsentrasi larutan yang berbeda dengan penambahan epoxy resin memiliki rata-rata transmitansi lapisan tipis mencapai 82% pada rentang panjang gelombang sinar tampak. Perbedaan ketebalan lapisan tidak mempengaruhi secara signifikan karakteristik transmisi optiknya dengan nilai energi *band gap* E_g lapisan tipis terkecil dihasilkan pada konsentrasi 0.80 M. Dengan demikian, jumlah serbuk CNDs dan epoxy resin yang proporsional dalam larutan perlu diperhatikan secara detail saat pelapisan substrat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada OSAKA GAS yang telah memberikan bantuan finansial dalam pengembangan riset ini.

REFERENSI

1. S. N. Baker and G. A. Baker, *Angew. Chem., Int. Ed.*, 2010, 49, 6726.
2. Li H, Kang Z, Liu Y, Lee S-T. *J Mater Chem* 2012; 22(46): 24230–53.
3. T. Ogi, H. Iwasaki, K. Aishima, F. Iskandar, W. Wang, K. Takimiya, and K. Okuyama. *RSC Adv.*, 2014, DOI:10.1039/C4RA09159K.
4. Edwards, P.P., A. Porch, M. O. Jones, D. V. Morgan, and R. M. Perks, 2004, *Basic materials physics of transparent conducting oxides*, Dalton Transactions Journal, 19, 2995.
5. H. Iwasaki, T. Ogi, F. Iskandar, K. Aishima, K. Okuyama. *J. Lumin* 166 (2015) 148–155.
6. H. Saragih H. Aliah. E. Sustini, A. Limbong dan Albert Manggading Hutapea. *Sifat Optik Lapisan Tipis In2O3 yang Ditumbuhkan dengan Metode MOCVD*. *Jurnal Matematika Dan Sains*, Agustus 2010, Vol. 15 Nomor 2.
7. A. Sato, K. Azumada, T. Atsumori and K. Hara, *J. Cryst. Growth*. 298, 379-382 (2007).
8. Yakuphanoglu, F., S. Ilcan, M. Caglar, and Y. Caglar, 2007, *The determination of the optical band and optical constants of noncrystalline and crystalline ZnO thin films deposited by spray pyrolysis*, *J. Optoelectron Adv. M.*, 9:7, 2180-2185.
9. Yu, J., X. Zhao, and Q. Zhao, 2000, *Effect of surface structure on photocatalytic activity of TiO₂ thin films prepared by sol-gel method*, *Thin Solid Films*, 379, 7.
10. Lei Zhao, Qing Jiang, Jianshe Lian, “Visible-light photocatalytic activity of nitrogen-doped TiO₂ thin film prepared by pulsed laser deposition”, *Applied Surface Science* 254, 2008, pp. 4620-4625.
11. M. Efendi, Bilalodin. *Analisis Sifat Optik Lapisan Tipis TiO₂ Doping Nitrogen yang Disiapkan dengan Metode Spin Coating*. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVI HFI Jateng & DIY*, Purworejo. (2012). ISSN : 0853-0823.
12. Ea C.S. Mahen, Bebeh W. Nuryadin, F. Iskandar, M. Abdullah and Khairurrijal. *Fluorescent of C-dot composite thin films and its properties*. *AIP Conference Proceedings* 1586, 136 (2014).
13. F. Nakul, A. H. Aimon, F. Iskandar. *Preliminary Study of Heat Supply during Synthesized Carbon Nanodots Material*. *AIP Conference Proceedings*. (2015).
14. R. Swanepoel, *J. Phys. E: Sci. Instrum.* 16, 1214 (1983).
15. Tauc J, Grigorovici R. and Vancu A., *Optical Properties and Electronic Structure of Amorphous Germanium*”, *Phys. Stat*, 1966, pp. 15- 27.
16. H.O.Yuzria, Astuti. *Sifat Listrik Dan Optik Nanokomposit Epoxy Resin-TiO₂*. *Jurnal Fisika Unand Vol. 2*, No. 2, (2013).