

SIFAT OPTIK DAN ELEKTRONIK MATERIAL ORGANIK SPIRO-TAD SEBAGAI LAPISAN *TRANSPORT HOLE* DALAM SEL SURYA ORGANIK

Lusi Safriani^{1*)}, Annisa Aprilia¹, Cukup Mulyana¹, dan Tuti Susilawati¹

¹ Departemen Fisika FMIPA Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km. 21 Jatinangor Sumedang 45363

*) Email: lusi.safriani@phys.unpad.ac.id

Abstrak

Semikonduktor berbasis material organik memiliki berbagai keuntungan dibandingkan dengan semikonduktor berbasis material anorganik yang selama ini dipergunakan dalam berbagai divais optik dan elektronik. Diantara berbagai macam semikonduktor organik, material organik terkonjugasi spiro menarik perhatian karena memiliki sifat optik dan sifat elektronik yang unik yang dihasilkan dari ikatan spiro. Material spiro terdiri dari dua atau lebih molekul yang memiliki sistem- π dengan fungsi yang sama ataupun berbeda melalui hibridisasi atom sp^3 . Salah satu contoh material spiro adalah 2,2',7,7'-tetrakis(diphenylamino)-9,9'-spirobifluorene (spiro-TAD) yang digunakan sebagai lapisan *transport hole* dalam divais elektronik *organic light emitting diode* (OLED). Dalam makalah ini dilakukan kajian untuk menentukan sifat optik dari material spiro-TAD melalui pengukuran transparansi/absorpsi pada daerah UV-Vis dan sifat elektronik melalui pengukuran emisi untuk menentukan celah energi dari spiro-TAD. Hasil pengukuran absorpsi menunjukkan bahwa spiro-TAD memiliki puncak absorpsi pada panjang gelombang 415 nm, sedangkan dari hasil pengukuran emisi diperoleh celah energi spiro-TAD adalah 2.98 eV.

Abstract

Semiconductor-based organic material has various advantages compared to semiconductor-based inorganic material that has been used in optoelectronic devices. One of organic semiconductors, that is spiro conjugated material attracted much attention because it has an optical and unique electronic properties resulting from spiro bond. Spiro material consists of two or more molecules that have system- π with the same or different functions through atomic sp^3 hybridization. One example of spiro material is 2,2', 7,7'-tetrakis (diphenylamino) -9,9'-spirobifluorene (spiro-TAD) which is used as hole transport layer in organic light emitting diode (OLED). This paper discussed the optical property of spiro-TAD by measuring transparency/absorption in UV-Vis region and electronic property by measuring emission spectra to determine bandgap of spiro-TAD. Absorption spectrum of spiro-TAD shows a maximum peak at 415 nm, while from emission spectra it was found that spiro-TAD has bandgap 2.98 eV.

Keywords: OLED, spiro-TAD, hole transport layer,

1. Pendahuluan

Akhir-akhir ini kemajuan dalam semikonduktor berbasis material organik yang terkait dengan sifat fisik dan kimianya telah memacu perkembangan aplikasi material semikonduktor organik tersebut. Divais optoelektronik yang menggunakan material semikonduktor organik seperti *organic light emitting diode* (LED) [1], *organic photovoltaics cells* [2], *photosensing* [3] dan *organic field-effect transistor* [4] dapat dibuat dengan biaya yang lebih rendah. Material organik yang digunakan sebagai lapisan aktif dalam berbagai divais optoelektronik memiliki beberapa keuntungan, diantaranya adalah biaya fabrikasi yang relatif lebih rendah dan metode fabrikasi yang beragam seperti dengan vapor deposition, *spin-coating*, ataupun berbagai teknik printing. Fabrikasi lapisan tipis dapat dilakukan pada

temperatur kamar sehingga tidak memerlukan peralatan yang rumit serta dapat dibuat pada substrat fleksibel sehingga memungkinkan untuk mewujudkan *all-plastic electronics* and *transparent devices* [5][6].

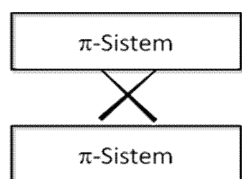
Salah satu faktor utama yang menjadi perhatian para peneliti dalam mengaplikasikan material semikonduktor organik adalah masalah reproduksibilitas dari kinerja divais dan stabilitasnya. Isu ini ditujukan kepada para pelaku industri dan para peneliti di berbagai universitas terkemuka di seluruh dunia. Sebagai contoh, dengan mengetahui morfologi dalam skala mikroskopik dari material yang digunakan sebagai lapisan aktif dalam divais, yaitu apakah material tersebut kristal tunggal, polikristal, kristal likuid ataupun material amorf, merupakan salah satu kunci untuk mengontrol dan mengoptimasi kinerja dari divais [7].

Konsep dari material spiro adalah menghubungkan dua atau lebih molekul yang

memiliki sistem- π dengan fungsi yang sama ataupun berbeda (misalnya emisi atau transport muatan) melalui hibridisasi atom sp^3 seperti diperlihatkan dalam Gambar 1. Konsep ini dapat meningkatkan stabilitas dari material dengan massa molar rendah tetapi tetap memiliki sifat elektronik yang baik [5].

Pada tahun 1996, Salbeck dan kelompoknya memperkenalkan material organik spiro untuk meningkatkan kestabilan [8]. Dengan menggabungkan dua jenis material yang bersifat sebagai pembawa muatan melalui atom karbon sebagai pusatnya (disebut sebagai spiro) ternyata dapat meningkatkan T_g dan efektif untuk mengurangi kristalisasi. Secara umum, ikatan spiro kemudian dikenal sebagai material dengan T_g tinggi dan memiliki kestabilan yang baik sehingga sangat cocok untuk digunakan dalam divais organik.

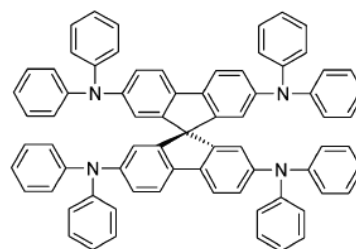
Dalam makalah ini dibahas mengenai karakteristik material spiro yaitu 2,2',7,7'-tetrakis(diphenylamino)-9,9'-spiro-bifluorene (spiro-TAD). Karakteristik tersebut meliputi sifat optik dan sifat elektronik dari spiro-TAD sehingga dapat digunakan sebagai lapisan *transport hole* dalam divais sel surya organik.



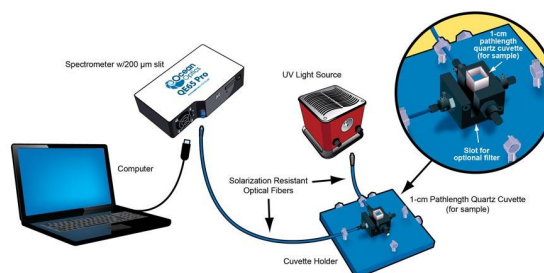
Gambar 1. Struktur umum material spiro

2. Metode Penelitian

Material spiro-TAD yang digunakan diperoleh dari *Macromolecular Chemistry and Molecular Materials (mmCmm)*, Department of Mathematics and Science, Centre for Interdisciplinary Nanostructure Science and Technology (CINSaT) University of Kassel dalam bentuk serbuk berwarna kuning muda. Struktur molekul spiro-TAD diperlihatkan dalam Gambar 2. Serbuk spiro-TAD dilarutkan dalam pelarut *chlorobenzene* (Merck), *dichlorobenzene* (Merck), dan *dichloromethane* (Merck) dengan konsentrasi 1w/v%. Pengukuran absorpsi dilakukan menggunakan Spectrometer UV-Vis T70+ PG Instrument Ltd, sedangkan pengukuran emisi menggunakan Ocean Optic USB4000-FL. Skema pengukuran emisi diperlihatkan dalam Gambar 3 dengan lampu UV digunakan sebagai sumber emisi.



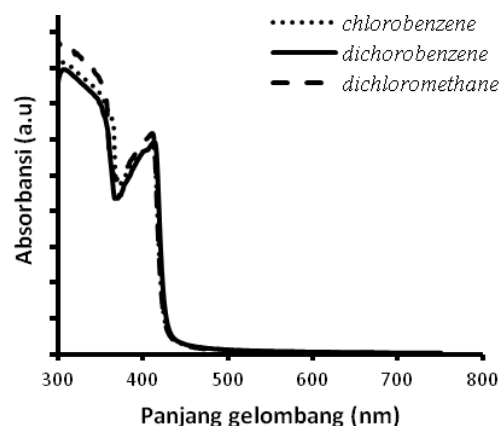
Gambar 2. Material spiro-TAD [6]



Gambar 3. Skema pengukuran emisi
(<http://oceanoptics.com/measurementtechnique/fluorescence/>)

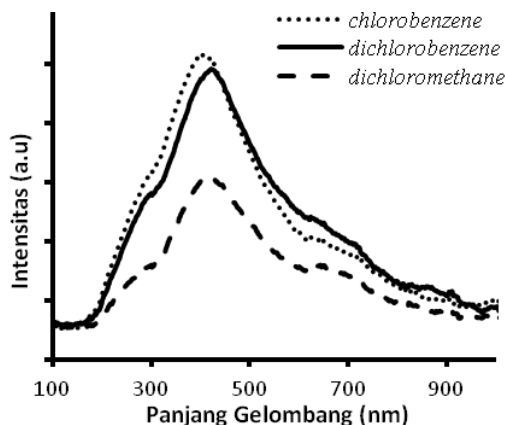
3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 4 memperlihatkan hasil pengukuran spektrum absorpsi spiro-TAD dalam berbagai pelarut. Dengan pelarut yang berbeda, daerah absorpsi spiro-TAD berada dalam rentang UV-Vis hingga biru. Puncak absorpsi berada pada panjang gelombang 415 nm. Dari spektrum tersebut dapat ditentukan panjang gelombang *cut-off* untuk menghitung celah energi spiro-TAD. Dari hasil pengukuran spektrum absorpsi UV-Vis diperoleh celah energi spiro-TAD yaitu 2,95 eV.



Gambar 4. Spektrum absorpsi spiro-TAD dalam beberapa pelarut organik.

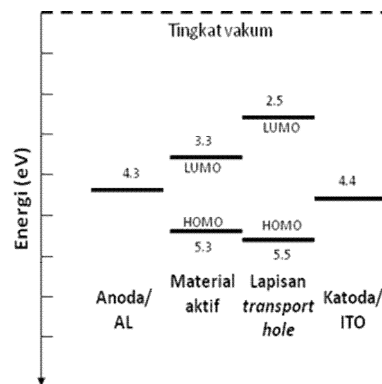
Dalam aplikasi divais sel surya organik, jika spiro-TAD digunakan sebagai lapisan *transport hole* yang maka daerah absorpsi spiro-TAD dan material aktif (lapisan emisi) sebaiknya tidak saling tumpang tindih (*overlap*). Daerah absorpsi spiro-TAD seperti diperlihatkan dalam Gambar 4 berada pada panjang gelombang 360-420 nm. Beberapa material organik yang digunakan sebagai material aktif sel surya seperti Poly [2-methoxy-5-(2-ethylhexyloxy)-1,4-phenylene vinylene] (MEH-PPV) [9] dan Poly(3-hexylthiophene) (P3HT) [10] memiliki daerah absorpsi pada panjang gelombang 400-650 nm.



Gambar 5. Spektrum emisi spiro-TAD dalam beberapa pelarut organik.

Gambar 5 memperlihatkan hasil pengukuran emisi spiro-TAD dalam berbagai pelarut. Ketiga spektrum memperlihatkan puncak emisi pada panjang gelombang sekitar 415 nm dan berkorelasi dengan celah energi sebesar 2.98 eV. Hasil pengukuran emisi ini telah sesuai dengan hasil pengukuran absorpsi dan hasil penelitian sebelumnya [11].

Spektrum emisi spiro-TAD menjadi salah satu dasar untuk mengkaji apakah spiro-TAD dapat dipergunakan sebagai lapisan *transport hole* dalam divais sel surya organik berbasis P3HT. Dengan membandingkan nilai celah energi spiro-TAD yang diperoleh dari hasil pengukuran emisi serta tingkat energi HOMO dan LUMO spiro-TAD [11] dan P3HT [12] dapat diilustrasikan tingkat energi kedua material tersebut seperti diperlihatkan dalam Gambar 6. Tingkat energi tersebut menunjukkan bahwa spiro-TAD sebagai lapisan *transport hole* memiliki fungsi untuk menghalangi aliran elektron (*electron blocking layer*) dari tingkat LUMO material aktif menuju ke anoda. Dengan demikian pada arah sebaliknya *hole* akan bergerak menuju katoda.



Gambar 6. Tingkat energi divais sel surya organik dengan lapisan transport hole

4. Kesimpulan

Telah dilakukan kajian sifat optik dan elektronik material organik spiro-TAD sebagai lapisan *transport hole*. Hasil pengukuran absorpsi menunjukkan bahwa spiro-TAD memiliki puncak absorpsi pada panjang gelombang 415 nm sedangkan dari hasil pengukuran emisi diperoleh celah energi spiro-TAD adalah 2.98 eV. Lebar celah energi tersebut bersesuaian dengan tingkat energi HOMO dan LUMO spiro-TAD sehingga memungkinkan spiro-TAD sebagai lapisan *transport hole* memiliki fungsi untuk menghalangi aliran elektron dalam divais sel surya organik.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Dr. Tobat Saragi (Universtity of Kassel, Jerman) yang telah memberikan material spiro-TAD, juga kepada LPPM Universitas Padjadjaran atas dukungan dana melalui Hibah Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi (PUPT) dengan nomor kontrak 393/UN6.R/PL/2015 tanggal 16 Februari 2015.

Daftar Acuan

- [1] C. W. Tang and S. a. Vanslyke, "Organic electroluminescent diodes," Appl. Phys. Lett. 51, (1987) p. 913-915.
- [2] J. Xue, S. Uchida, B. P. Rand, and S. R. Forrest, "4.2% efficient organic photovoltaic cells with low series resistances," Appl. Phys. Lett. 84 (2004), p. 3013-3015.
- [3] P. Peumans, V. Bulović, and S. R. Forrest, "Efficient photon harvesting at high optical intensities in ultrathin organic double-heterostructure photovoltaic diodes," Appl. Phys. Lett. 76 (2000) p. 2650-2652.

- [4] M. Muccini, "A bright future for organic field-effect transistors," *Nat Mater.* 5 (2006) p. 605–613.
- [5] T. P. I. Saragi, R. Pudzich, T. Fuhrmann-Lieker, and J. Salbeck, "Ultraviolet-sensitive field-effect transistor utilized amorphous thin films of organic donor/acceptor dyad," *Appl. Phys. Lett.* 90 (2007), p. 2–4.
- [6] T. P. I. Saragi, R. Pudzich, T. Fuhrmann, and J. Salbeck, "Organic phototransistor based on intramolecular charge transfer in a bifunctional spiro compound," *Appl. Phys. Lett.* 84 (2004) p. 2334–2336.
- [7] B. Mahns, F. Roth, M. Grobosch, S. Lindner, M. Knupfer, T. P. I. Saragi, T. Reichert, J. Salbeck, and T. Hahn, "Electronic properties of spiro compounds for organic electronics.," *J. Chem. Phys.* 136 (2012) p. 124702.
- [8] J. Salbeck, N. Yu, J. Bauer, F. Weissörtel, and H. Bestgen, "Low molecular organic glasses for blue electroluminescence," *Synth. Met.* 91, (1997) p. 209–215.
- [9] B. M. Omer, "Optical properties of poly (3-hexylthiophene-2,5-diyl) and poly (3-hexylthiophene-2,5-diyl) / [6,6]-phenyl c61-butyric acid 3-ethylthiophene ester thin films," *J. Nano- Electron. Phys.* 5 (2013) p. 6–9.
- [10] A. J. Moulé and K. Meerholz, "Controlling morphology in polymer-fullerene mixtures," *Adv. Mater.* 20 (2008) p. 240–245.
- [11] R. Srivastava, O. Rana, R. Ahmad, C. K. Suman, M. Zulfequar, M. Husain, and M. N. Kamalasanan, "Improved Performance of Organic LEDs with Modified Metal-Organic Interface," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 73 (2015) p. 012046.
- [12] K. Yoshida, T. Oku, A. Suzuki, T. Akiyama, and Y. Yamasaki, "Fabrication and Characterization of PCBM: P3HT Bulk Heterojunction Solar Cells Doped with Germanium Phthalocyanine or Germanium Naphthalocyanine," *Material Sciences and Applications* 4 (2013) p. 1–5.