

## MOBILITAS PEMBAWA MUATAN PADA OFET (*ORGANIC FIELD EFFECT TRANSISTOR*) BERBASIS FILM TIPIS

Sujarwata<sup>✉</sup>, P Marwoto

Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

### Info Artikel

*Sejarah Artikel:*  
Diterima Agustus 2013  
Disetujui September 2013  
Dipublikasikan Oktober 2013

*Keywords:*  
*guava leaf extract;*  
*spermatzoa; cadmium*

### Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah pembuatan dan karakterisasi pada OFET (*Organic Field Effect Transistor*) berbasis film tipis dengan struktur *bottom-contact*. Pembuatan OFET dilakukan dengan cara pencucian substrat dengan *etanol* dalam *ultrasonic cleaner*, kemudian dilakukan deposisi elektroda *source* dan *drain* di atas substrat  $\text{SiO}_2$  dengan metode penguapan hampa udara pada suhu ruang dan teknik *lithography*. Selanjutnya dilakukan deposisi film tipis CuPc diantara *source* (S) dan *drain* (D) sebagai panjang saluran (*channel*) dan diakhiri dengan deposisi elektrode *gate* (G). Karakterisasi OFET berbasis film tipis dilakukan dengan El-Kahfi 100, untuk menentukan karakteristik keluaran V-I. Hasil karakterisasi OFET dengan panjang *channel* (L) 100  $\mu\text{m}$  dan lebar (W) 1 mm, mempunyai daerah aktif, yaitu: 2,80 V sampai dengan 3,42. Mobilitas pembawa muatan OFET untuk daerah saturasi,  $\mu = 0,00182278 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$  dan untuk daerah linier,  $\mu = 0,000343818 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$

### Abstract

*The purpose of this research is to produce and characterize the OFET (Organic Field Effect Transistor) based on thin film with bottom-contact structure. The OFET production consists of the substrate wash by using ethanol in the ultrasonic cleaner, then electrode deposition of source and drain on the  $\text{SiO}_2$  substrate by using vacuum evaporation in the room temperature and lithography technique. Then, the deposition of thin film of CuPc between source (S) and drain (D) was done as the channel length and ended with electrode gate (G) deposition. The OFET characterization with channel length (L) 100  $\mu\text{m}$  and wide (W) 1 mm obtained the active area of 2,80 - 3,42 v. While the mobility of OFET charge carrier obtained  $\mu = 0,00182278 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$  for the saturation area and  $\mu = 0,000343818 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$  for linier area.*

© 2013 Universitas Negeri Semarang

<sup>✉</sup> Alamat korespondensi:

Gedung D7 Lt 2 Kampus Sekaran Semarang 50229  
E-mail: sjarwot@yahoo.co.id

## Pendahuluan

Material semikonduktor jenis-p yang memiliki keunggulan dan cukup stabil terhadap bahan kimia dan panas adalah *phthalocyanines*. Selain itu *phthalocyanines* juga memiliki aplikasi potensial dalam perangkat layar logika optik, *electrophotography*, pencetakan, detektor gas, sel surya dan filter warna. Material ini merupakan bahan semikonduktor organik yang memiliki berbagai gugus fungsional (Zhou *et al.* 1996). Sifat kimia dari material ini dapat diubah dengan mengubah ion logam (Dickert *et al.* 2001). Prototip semikonduktor organik tergantung pada teknik penguapan, temperatur substrat dan pasca penguapan. Perangkat fotovoltaik terbuat dari pigmen organik telah mencapai efisiensi daya konversi beberapa persen jauh lebih rendah dibandingkan dengan kombinasi anorganik. Makalah ini berkaitan struktur dan komposisi dari film tipis CuPc (*copper phthalocyanine*) dibuat dengan teknik vakum evaporasi. Film tipis CuPc hasil dari deposisi dimanfaatkan untuk pembuatan OFET.

Penelitian dan perhatian tentang transistor OFET (*Organic Field Effect Transistor*) berbasis CuPc sangat intensif sejak satu dasawarsa belakangan ini (Rost 2004). Hal ini karena beberapa keunggulan OFET jika dibandingkan dengan transistor efek medan inorganik berbasis silikon, yakni suatu piranti elektronika yang ramah lingkungan, mudah dan murah dalam fabrikasi serta hemat dalam operasionalnya, sehingga terbuka peluang untuk menjadi dasar teknologi mikro-elektronika bahkan nano-elektronika masa depan.

Pembuatan OFET CuPc dengan satu lapisan dapat dimanfaatkan untuk eksplorasi dari keterbatasan fisik pada unjuk kinerjanya. Kajian karakterisasi OFET umumnya tidak dibatasi oleh ketidakteraturan ketebalan lapisan tipis organik (Brunet *et al.* 2005). Hasil karakterisasi OFET yang penting, adalah mobilitas, *threshold* efek medan (*field-effect threshold*) dan *slope sub-threshold*. Karakterisasi *out-put* OFET, yaitu arus *drain* ( $I_D$ ) sebagai fungsi dari tegangan *drain-source* ( $V_{DS}$ ) untuk tegangan *gate-source* berbeda ( $V_{GS}$ ). Semua peralatan menunjukkan karakteristik operasi sambungan tipe p dari FET. Tidak ada arus jenuh

untuk  $V_{DS}$  rendah dan tidak ada efek kerusakan untuk nilai  $V_{DS}$  tinggi pada observasi (Puigdollers *et al.* 2006).

Karakteristik OFET dapat dimanfaatkan untuk menentukan mobilitas pembawa muatan, tegangan ambang dan sub tegangan ambang. Besarnya tegangan ambang (*threshold voltage*) akan mempengaruhi kerapatan perangkap muatan (*charge traps*) pada antar-muka diantara kristal organik dan dielektrik *gate*, kualitas kontak antara *source-drain* dan pembentukan struktur saluran konduktansi.

Penelitian fundamental tentang OFET diorientasikan pada pemanfaatan kristal tunggal organik sebagai *channel* pada material untuk menyelidiki sifat intrinsik berupa transpor muatan dalam devais (Ho-Shik *et al.* 2011). Selain itu, hal mendasar lain yang menjadi orientasi penelitian devais OFET adalah pencarian material semikonduktor berperan sebagai lapisan aktif untuk sensor gas. Sebagian besar transistor efek medan organik (OFET), menggunakan material anorganik sebagai lapisan semikonduktor aktif film tipis. Namun karena mobilitas pembawa muatannya masih rendah, sehingga praktiknya diperlukan tegangan operasi yang cukup besar.

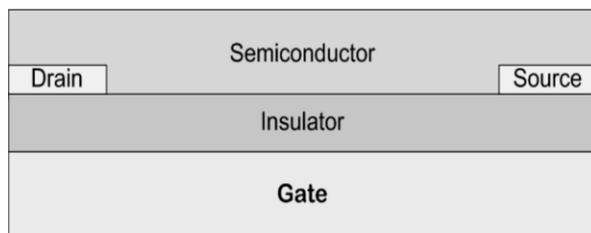
Dengan demikian berbagai usaha dilakukan oleh peneliti untuk mendapatkan material semikonduktor sebagai pengganti dalam pembuatan OFET berbasis film tipis. Hal ini dilakukan dengan tujuan dapat mengurangi tegangan operasi tetapi juga dapat meningkatkan pembawa muatan. Peningkatan mobilitas pembawa muatan akan menambah sensitivitas dari film tipis. Salah satu pendekatan yang dilakukan untuk mendapatkan material semikonduktor adalah menggunakan material CuPc.

## Metode Penelitian

Pembuatan OFET dilakukan dengan membuat struktur divais *bottom-contact*. Proses pembuatan OFET adalah, sebagai berikut. Pertama dilakukan pencucian substrat Si/SiO dengan etanol dalam *ultrasonic cleaner*, substrat yang digunakan dibersihkan, kemudian dilakukan pendeposisian elektroda *source/drain* di atas substrat berbahan emas murni dengan teknik *lithography*. Deposisi film tipis dilakukan menggunakan metode *vacuum*

evaporator (VE) pada suhu ruang. OFET yang akan dibuat berstruktur *bottom-contact*, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Tahapan deposisi film tipis CuPc, sebagai berikut. Pemotongan substrat berukuran (1,5 mm x 4,2 mm) dan jarak antara S ke D adalah 100  $\mu\text{m}$  (L), kemudian substrat dicuci dengan *Ultrasonic Cleaner Model Core Parmer*. Material CuPc dengan massa 200 mg dimasukkan dalam *bell-jar*. Selanjutnya substrat yang telah dibersihkan dipasang pada *holder* tepat di atas *boot* yang telah berisi CuPc. Alat vakum evaporasi divakumkan sampai tekanannya turun menjadi  $8 \times 10^{-4}$  Pa (diperlukan waktu sekitar 4 jam). Proses evaporasi pada deposisi film tipis dilakukan dengan memberikan arus tetap sebesar 45 A.



**Gambar 1.** Struktur OFET *bottom-contact*

Parameter karakterisasi transistor efek medan organik CuPc, seperti mobilitas pembawa muatan, perbandingan *on-off*, dan tegangan ambang (*threshold voltage*). Cara melakukan karakterisasi OFET dan mengukur mobilitas pembawa muatan OFET, sebagai berikut.

### Karakterisasi OFET

Karakterisasi I-V kontak logam /semikonduktor menunjukkan hubungan antara arus yang melalui perangkat elektronik dan tegangan yang diaplikasikan pada terminal. Karakteristik peralatan sangat penting untuk menentukan parameter dasar dari perangkat dan memodelkan perilaku dalam rangkaian listrik. Selain itu, karakteristik I-V komponen aktif terhubung antara dua elektroda dimanfaatkan untuk memperkirakan sifat materi, seperti konduktivitas dan mobilitas. Transistor efek medan organik didasarkan pada *organic semiconductors* (OSC) dan beroperasi melalui aplikasi *reversible* dua medan listrik (Jung *et al* 2011). Kedua sisi medan adalah medan diantara *source/drain* vertikal dan antara *gate* dan semikonduktor.

Medan *gate* menginduksi lapisan pembawa muatan pada antarmuka dielektrik dan OSC dielektrik, yang disebut *channel*. Besarnya *channel* bergantung kapasitansi pada dielektrik dan medan *gate*. Mobilitas dalam OSC menggambarkan perpindahan elektron terus menerus ke bahan dan terkumpul pada saluran (*channel*), yang diinduksi oleh medan listrik *drain*

Karakterisasi I-V dari OFET berbasis film tipis CuPc adalah sebagai berikut. Elektroda dari *source* (S) dihubungkan ke *grounded*, sedangkan pada elektroda *gate* (G) dan *drain* (D) masing-masing dihubungkan dengan panjar mundur. Untuk menentukan grafik karakteristik keluaran dari OFET, dilakukan pengukuran kuat arus ( $I_D$ ) yang berasal dari *source* ke *drain* dengan memvariasi tegangan pada *drain* ( $V_D$ ) untuk setiap nilai tegangan *gate* ( $V_G$ ).

### Menentukan mobilitas pembawa muatan pada OFET

Suatu model analitis matematik telah diusulkan oleh (Horowitz 2005) untuk transistor organik berbasis film tipis. Prinsip utama dari model ini didasarkan pada pendekatan saluran (*channel*), yaitu jarak antara *source* ke *drain* yang digunakan. Pendekatan berdasarkan *channel* pada umumnya diterapkan, ketika medan listrik sepanjang *channel* jauh lebih kecil dibanding dengan ke seberang (daerah *source* dan *drain*).

Model analitis ini, harus menggunakan beberapa asumsi lebih dahulu, yaitu (1) mobilitas pembawa muatan semikonduktor adalah tetap (konstan), dan (2) kepadatan dari pembawa muatan bebas dan *dopant* adalah sama. Transistor *Isolated Gate Field Effect Transistor* (IGFET) merupakan teori yang valid. Teori ini untuk menentukan kuat arus ( $I_{DS}$ ) yang mengalir memenuhi persamaan regresi linier, sebagai berikut.

$$I_{DS} = \left(\frac{W}{2L}\right) C_i \mu (V_{GS} - V_T)^2 \quad (1)$$

Dengan:  $\mu$  = mobilitas pembawa muatan,  $C_i$  =kapasitansi insulator per unit area,  $V_{GS}$  = tegangan antara *gate* dan *source*,  $L$ = panjang *channel* dan  $V_T$  = tegangan ambang (*threshold*). Untuk menentukan mobilitas pembawa muatan pada daerah linier ( $\mu_i$ ) digunakan persamaan (1), sedangkan untuk

menentukan tegangan ambang ( $V_T$ ) digunakan grafik antara kuasa arus ( $I_{DS}$ )<sup>1/2</sup> vs tegangan  $V_{GS}$ .

Dalam menentukan mobilitas pembawa muatan ( $\mu$ ) ada dua daerah yang harus dicari, yaitu daerah linier dan saturasi. Menentukan mobilitas pembawa muatan OFET berbasis film tipis CuPc pada daerah linier, maka digunakan persamaan sebagai berikut.

$$I_{DS} = \left( \frac{W C_i \mu}{2L} \right) \left[ (V_T - V_{GS})V_{DS} + \frac{V_{DS}^2}{2} \right] \quad (2)$$

Sedangkan untuk menentukan mobilitas pembawa muatan pada daerah saturasi, digunakan persamaan:

$$V_{DS}(V_{DS}|I_{DS(sat)}) = V_{DS(sat)} = -(V_T - V_{GS}) \quad (3)$$

Dengan persamaan (2) dan (3), dapat ditentukan daerah saturasi :

$$I_{DS(sat)} = \frac{W C_i \mu}{L} x \frac{V_{DS(sat)}^2}{2} \quad (4)$$

Dari persamaan (3) dan (4) diperoleh:

$$\sqrt{I_{DS(sat)}} = \sqrt{\frac{W C_i \mu}{2L}} x V_{DS(sat)} \quad (5)$$

Penyelesaian persamaan (5) untuk menentukan mobilitas pembawa muatan ( $\mu$ ) dan mendefinisikan  $m$  :

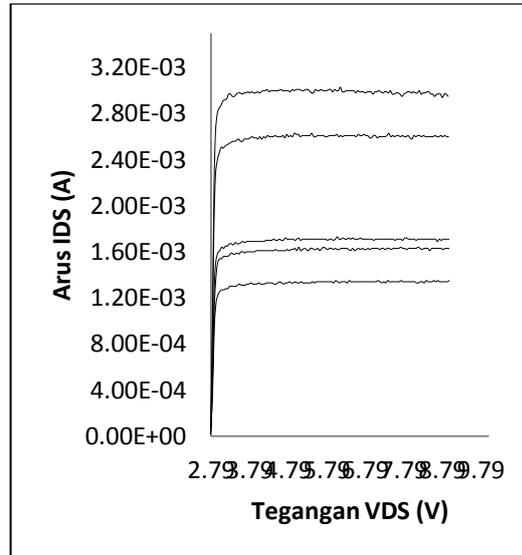
$$m = \sqrt{\frac{W C_i \mu}{2L}} \quad (6)$$

Sehingga mobilitas pembawa muatan adalah:

$$\mu = \frac{2L}{WC} m^2 \quad (7)$$

**Hasil dan Pembahasan**

Karakterisasi I-V kontak semikonduktor menunjukkan hubungan antara arus yang melalui perangkat elektronik dan tegangan pada terminal. Karakteristik untuk menentukan parameter dasar perangkat dan memodelkan perilaku rangkaian (Müller *et al.* 2007). Selain itu, karakteristik I-V komponen aktif terhubung dua elektroda untuk memperkirakan sifat konduktivitas dan mobilitas. Hasil karakterisasi OFET dapat dilihat pada Gambar 2. Tegangan  $V_G$  bervariasi, yaitu: -3 V; -1,5 V; 0 V; 1,5 V dan 3 V, sedangkan tegangan yang diterapkan pada  $S$  dan  $D$  adalah 3 volt.

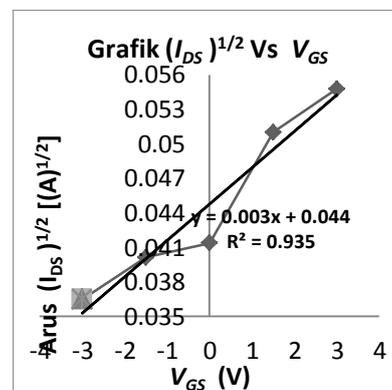


**Gambar 2.** Grafik karakteristik OFET dengan panjang channel 100  $\mu$ m

Karakterisasi OFET berbasis film tipis CuPc diperoleh bahwa daerah aktif untuk  $V_D$  adalah (2,80 V sampai dengan 3,52 V) dan arus  $I_D$  (0,00095 A sampai dengan 0,00169 A). Daerah saturasi OFET pada tegangan  $V_D$  dari 3,52 V sampai dengan 9 V dan ini merupakan daerah *cut off*. Hasil eksperimen untuk menentukan mobilitas, pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Nilai ( $I_{DS}$ )<sup>1/2</sup> dan  $V_{GS}$

$I_{DS}$ (A)	$V_{GS}$ (volt)	$(I_{DS})^{1/2}$ [(A) <sup>1/2</sup> ]
0.00133	-3	0.036469165
0.00161	-1.5	0.040124805
0.00171	0	0.041352146
0.0026	1.5	0.050990195
0.003	3	0.054772256



**Gambar 3.** Grafik ( $V_{GS}$ ) Vs ( $I_{DS}$ )<sup>1/2</sup>

Grafik pada Gambar 3 dapat ditentukan "m' yang merupakan gradien, yaitu  $m = 0,003$ , dengan demikian mobilitasnya dapat dihitung.

$$\mu = \frac{2L}{WC} m^2 \tag{8}$$

C (F/cm <sup>2</sup> )	L(c m)	W(c m)	M	2L	WC	$\mu$ [(cm <sup>2</sup> )/ Vs]
0.03291	0.0	0.1	0.0	0.0	0.00329	0.00182
6667	01	0.1	03	02	1667	2785

Jadi mobilitas muatan untuk daerah saturasi  $\mu = 0,00182278$  (cm<sup>2</sup>)/ Vs. Sedangkan untuk menentukan mobilitas pembawa muatan ( $\mu$ ) pada daerah linier digunakan, persamaan:

$$I_{DS} = \left(\frac{W}{2L}\right) C_i \mu (V_{GS} - V_T)^2 \tag{9}$$

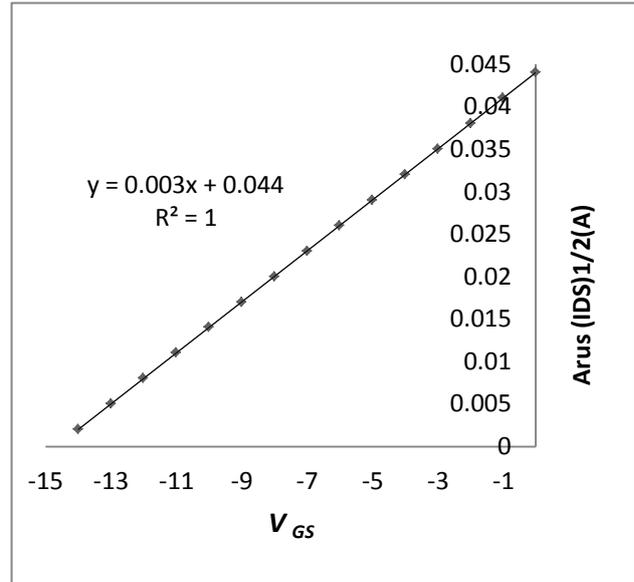
Grafik Gambar 4. digunakan untuk menentukan tegangan ambang ( $V_T$ ) dengan persamaan

$$y = 0.003 x + 0.044 \tag{10}$$

dengan Y adalah  $(I_{DS})^{1/2}$  dan X adalah  $V_{GS}$ .

**Tabel 2.** Nilai  $V_{GS}$  dan  $(I_{DS})^{1/2}$

$V_{GS}$ (V)	$(I_{DS})^{1/2}$ (A)
-14	0.002
-13	0.005
-12	0.008
-11	0.011
-10	0.014
-9	0.017
-8	0.02
-7	0.023
-6	0.026
-5	0.029
-4	0.032
-3	0.035
-2	0.038
-1	0.041
0	0.044



**Gambar 4.** Grafik  $(I_{DS})^{1/2}$  Vs  $V_{GS}$

Menentukan mobilitas pembawa muatan OFET pada daerah linier digunakan persamaan:

$$\mu = \frac{2L \times I_{DS}}{WC_i \times [(V_{GS} - V_T)^2]} \tag{11}$$

L (cm )	$I_{DS}$ (A)	W (cm)	C (F cm <sup>-2</sup> )	$V_{GS} - V_T$	$(V_{GS} - V_T)^2$	$\mu$ (cm <sup>2</sup> /Vs)
0.01	0.00045	0.1	0.032916667	2.82	7.9524	0.000343818

Mobilitas pembawa muatan untuk daerah linier dari hasil analisis data karakteristik OFET diperoleh,  $\mu = 0.000343818$  cm<sup>2</sup> /Vs.

Hasil penelitian dari Ho-Shik (2011) didapatkan mobilitas pembawa muatan sebesar  $1,2 \cdot 10^{-5}$  cm<sup>2</sup>/Vs, karena disebabkan perbedaan struktur OFET menggunakan *top-contact*. Sedangkan peneliti menggunakan struktur OFET *bottom contact*, sehingga menyebabkan perbedaan mobilitas yang dihasilkan.

Müller (2007), menentukan mobilitas pembawa muatan dengan bahan yang berbeda, Poly-3- Hexylthophene (P3HT), didapatkan mobilitas yang lebih rendah, yaitu  $3,9 \cdot 10^{-4}$  cm<sup>2</sup> /Vs.

Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan untuk menentukan mobilitas pembawa muatan untuk daerah saturasi maupun daerah linier pada OFET berstruktur *bottom-contact* adalah, sebagai berikut.

- a) Pembawa muatan untuk daerah saturasi,  $\mu = 0,00182278 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$
- b) Pembawa muatan untuk daerah linier,  $\mu = 0,000343818 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$

## Penutup

Transistor Efek Medan Organik (OFET) berbasis film tipis CuPc aktif pada tegangan (2,80 V sampai dengan 3,42 V), berukuran kecil (6,15 mm<sup>2</sup> dan mempunyai mobilitas pembawa muatan daerah saturasi,  $\mu = 0,00182278 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ , sedangkan daerah linier,  $\mu = 0,000343818 \text{ cm}^2 / \text{Vs}$ .

## Daftar Pustaka

- Brunet J, Paulya A, Mazet L, Germain JP, Bouvet M & Malezieux B. 2005. Improvement in real time detection and selectivity of phthalocyanine gas sensors dedicated to oxidizing pollutants evaluation. *Thin Solid Films* 490: 28-35
- Dickert FL, Greibl W, Rohrer A & Voigt DG 2001. Sol-gel-coated quartz crystal microbalances for monitoring automotive oil degradation. *Advanced Materials* 13: 1327-1330
- Horowitz G. 2005. Physics of organic field-effect transistors. *Semiconducting Polymers* : 463-514
- Ho-Shik L, Cheon MW & Park YP. 2011. Electrical Properties of a CuPc Field-Effect Transistor Using a UV/Ozone Treated and Untreated Substrate. *Transactions Electrical Electronic Mate* 12 (1): 40-42
- Jung BJ, Tremblay NJ, Yeh ML & Katz HE. 2011. Molecular Design and Synthetic Approaches to Electron-Transporting Organic Transistor Semiconductors. *Chem Mater* 23: 568-582.
- Müller K, Henkel K, Paloumpa I & Schmeißer D. 2007. Organic field effect transistors with ferroelectric hysteresis. *Thin Solid Films* 515 : 7683-7687.
- Puigdollers J, Fonrodona MVC , Cheylan S, Stella M, Andreu J, Vetter M , Alcubilla R. 2006. Copper phthalocyanine thin-film transistors with polymeric gate dielectric. *Thin Solid Films* 415 : 7580-7587
- Rost H, Ficker J, Alonso JS, Leenders L & McCulloch I. 2004. Air stable all-polymer field-effect transistors with organic electrodes. *Synthetic Metals* 145: 83-85
- Zhou R, Josse F, Göpel W, Öztürk ZZ & Bekaroglug. 1996. Phthalocyanine as sensitiv material for chemical sensors. *App Organometallic Chem* 10: 557-577.