

## SIFAT LISTRIK LAPISAN TIPIS BERBASIS *POLY(3,4-ETHYLENE DIOXYTHIOPHENE):POLY(STYRENE SULFONATE)*

W.O.S. Ilmawati<sup>1</sup>, K. Triyana<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Haluoleo  
Kampus Bumi Tridharma Anduonohu, Kendari, Sulawesi Tenggara

<sup>2</sup>Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta  
*e-mail:ilmawt@yahoo.com*

### ABSTRAK

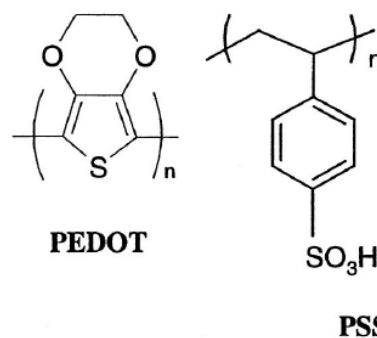
Telah diteliti karakteristik listrik lapisan tipis berbasis larutan *poly(3,4-ethylene dioxythiophene):poly(styrene sulfonate)* (PEDOT:PSS). Perkembangan aplikasi PEDOT:PSS sebagai lapisan penyangga pada peranti opto-elektronik membutuhkan kajian lebih tentang sifat bahan ini. Larutan PEDOT:PSS dideposisi di atas substrat PCB yang telah dilengkapi elektroda interdigital tembaga untuk meneliti karakteristik listriknya. Arus-tegangan lapisan tipis diukur menggunakan I-V meter. Karakteristik arus-tegangan lapisan tipis tidak linear pada suhu ruang dan arus listrik meningkat ketika suhu dinaikkan. Energi aktivasi diturunkan dari karakteristik arus-tegangan lapisan tipis dengan variasi suhu. Hasil karakterisasi listrik dan absorpsi serta uji gas menunjukkan bahwa lapisan tipis PEDOT:PSS respon terhadap suhu.

*Kata Kunci:* PEDOT:PSS, lapisan tipis, sifat listrik, spin coat,

### 1. PENDAHULUAN

Bahan organik yang mempunyai potensi untuk aplikasi peranti elektronik antara lain polimer terkonjugasi- $\pi$ . Polimer jenis ini mempunyai celah energi sekitar 1,5 eV hingga 3 eV sehingga bersifat semikonduktor dan isolator [3]. Salah satu polimer terkonjugasi- $\pi$ , adalah *poly(3,4-ethylenedioxythiophene)* (PEDOT). PEDOT dapat ditemukan pada beberapa aplikasi antara lain sebagai elektroda atau konduktor pada *field effect transistor* (FET), *light emitting diode* (LED), memori, transistor elektrokromik, *smart window*, *display* elektrokromik, baterai, super kapasitor, lapisan anti statik dan anti korosi [5].

PEDOT didoping dengan cara dilarutkan dalam *poly styrene sulfonate* (PSS). Setelah PEDOT terdoping oleh PSS konduktivitasnya semakin tinggi. Perilaku konduktivitas yang demikian menjadikan bahan ini banyak diaplikasikan pada bahan aktif peranti elektronik [5].



Gambar 1. Struktur PEDOT dan PSS

Ketika PEDOT dilarutkan dalam PSS, bahan tersebut membentuk partikel-partikel koloid yang terdispersi dalam air sehingga PEDOT:PSS berwujud cair dan memungkinkan diproses dengan metode *casting* dan *spin coating* [2]. Salah satu aplikasi PEDOT:PSS adalah sebagai lapisan penyangga antara anoda dan lapisan semikonduktor pada diode pemancar cahaya (LED). Dari penelitian tersebut ditunjukkan bahwa PEDOT:PSS mengangkut (*transport*)

hole melewati bagian molekularnya. Jadi PEDOT:PSS memiliki keunggulan sebagai material yang mengkonduksi hole [4].

PEDOT:PSS juga banyak digunakan untuk optoelektronik seperti pelapis *indium thin oxide* (ITO) pada sel surya untuk mengurangi tingkat kekasaran ITO dan meningkatkan umur atau *life time* peranti menjadi cukup panjang karena membentuk lapisan yang mencegah oksigen dari ITO berdifusi ke bahan aktif sel surya [2]. Lapisan PEDOT:PSS di atas ITO pada sel surya juga menyebabkan peningkatan arus gelap pada kondisi panjar maju. Kondisi tersebut menghasilkan peningkatan potensial elektrostatik *built in* ( $V_{bi}$ ) yang menyebabkan peningkatan pembawa fotogenerasi pada tegangan positif sehingga efisiensi konversi daya meningkat [6].

ITO mempunyai fungsi kerja antara 4 dan 5 eV sehingga cocok untuk injeksi hole ke *highest occupied molecular orbital* (HOMO) polimer konjugasi dari pada injeksi elektron ke *lowest unoccupied molecular orbital* (LUMO). Sebagian besar HOMO polimer terletak lebih dari 5 eV di bawah vakum, sehingga terdapat energi barrier yang signifikan untuk injeksi hole ke polimer, yang sangat bertanggungjawab terhadap meningkatnya tegangan operasi peranti. Untuk mengatasi masalah tersebut maka disisipkan lapisan transport-injeksi-hole. Beberapa kelompok penelitian melaporkan bahwa penyisipan lapisan transport-injeksi-hole berupa PEDOT:PSS antara anoda ITO dan lapisan emisif menghasilkan peningkatan *lifetime* dan efisiensi luminous [4].

Meskipun telah banyak penelitian yang memanfaatkan PEDOT:PSS sebagai lapisan penyangga, namun penelitian tersebut tidak menjelaskan tentang pengaruh suhu terhadap lapisan PEDOT:PSS. Sedangkan penelitian berbasis polianilin (PANI) dan polipiryrol (PPy) menunjukkan bahwa konduktivitas polimer konjugasi- $\pi$  bergantung pada suhu.

Berdasarkan beberapa hal di atas maka penelitian ini difokuskan pada karakteristik arus-tegangan ( $I-V$ ) dengan variasi suhu dan penentuan energi aktivasi terhadap lapisan

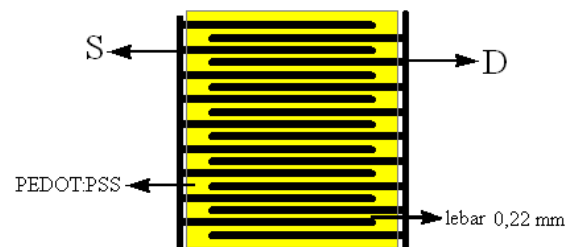
tipis PEDOT:PSS. Hal ini penting dilakukan karena sebagai bahan atau lapisan penyangga suatu peranti elektronik, PEDOT:PSS haruslah stabil terhadap pengaruh suhu. Dengan mengetahui karakteristik arus-tegangan diharapkan dapat mengupayakan langkah antisipasi pengaruh-pengaruh tersebut pada saat pembuatan maupun penggunaan peranti elektronik berbasis PEDOT:PSS. Selain itu, kita dapat mengetahui potensi pemanfaatan lain PEDOT:PSS secara lebih luas seperti untuk sensor gas ataupun sebagai elektroda organik yang transparan.

## 2. METODE PENELITIAN

Tiga langkah utama untuk memperoleh karakteristik arus-tegangan lapisan tipis PEDOT:PSS, yaitu preparasi elektroda tembaga, deposisi larutan PEDOT:PSS dan karakterisasi arus-tegangan dengan variasi suhu.

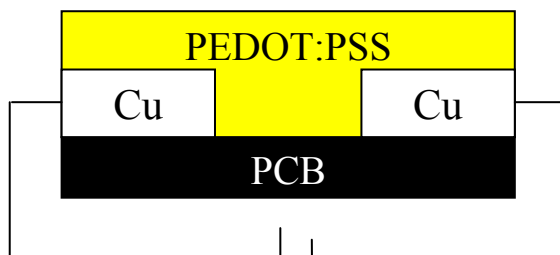
Elektroda tembaga dibentuk berdasarkan pola *lithography* di atas substrat *print circuit board* (PCB). Lapisan tembaga yang tidak dibutuhkan dirontokkan menggunakan larutan  $FeCl_3$ . Panjang dan lebar saluran (*channel*) masing-masing 5 mm dan 0,5 mm. Jarak antar elektrodanya 0,5 mm. Pola elektroda yang berbentuk seperti sepasang sisir yang saling berhadapan dan tidak terhubung satu sama lain. Masing-masing elektroda selanjutnya disebut *source* dan *drain*. Elektroda ini harus dipastikan tidak ada kontak antara *source* dan *drain* menggunakan multimeter sebelum mendeposisi larutan PEDOT:PSS di atasnya.

Larutan PEDOT:PSS dideposisi dengan cara *casting* atau mencelup elektroda tembaga dalam larutan tersebut. Kemudian PEDOT:PSS dikeringkan di udara pada suhu ruang. Struktur elektroda interdigital tembaga dilapisi PEDOT:PSS ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur elektroda interdigital tembaga dilapisi PEDOT:PSS

Setelah kering lapisan tipis PEDOT:PSS dikarakterisasi menggunakan I-V meter pada suhu ruang. Gambar 3 menunjukkan skema karakterisasi arus-tegangan lapisan tipis PEDOT:PSS. Pengukuran arus-tegangan pada suhu kamar diharapkan dapat memberi informasi sifat lapisan tipis PEDOT:PSS.



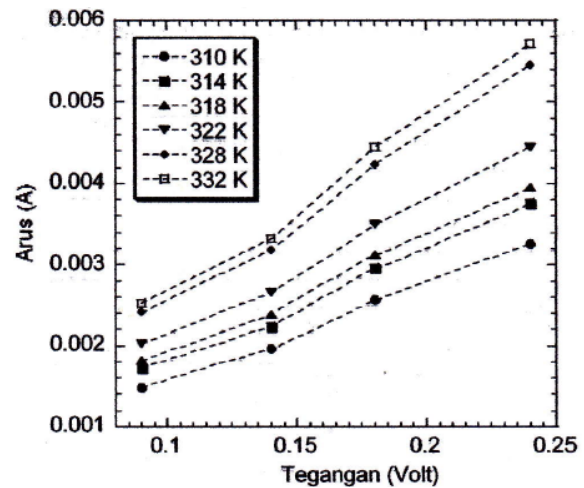
Gambar 3. Skema karakterisasi arus-tegangan lapisan tipis PEDOT:PSS

Karakterisasi arus-tegangan dengan variasi suhu dilakukan dengan cara menempatkan lapisan tipis PEDOT:PSS dalam tabung hampa udara. Suhu dalam tabung tersebut diubah menggunakan sistem pemanas yang dihubungkan dengan sumber arus bolak-balik. Suhu dalam tabung diukur menggunakan termometer digital. Suhu divariasikan dari 310 K - 332 K agar dapat mengamati pengaruh suhu terhadap arus dan tegangan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4 menunjukkan karakteristik arus-tegangan lapisan tipis PEDOT:PSS dengan variasi suhu 310 K - 332 K. Tegangan yang diberikan melalui elektroda menginjeksi muatan dalam lapisan tipis PEDOT:PSS. Pada tegangan rendah injeksi pembawa dari elektroda diabaikan karena kesetimbangan termal rapat muatan pembawa ketika tidak ada tegangan lebih besar daripada rapat muatan yang diinjeksi melalui kontak. Arus memenuhi hukum Ohm, yaitu arus yang mengalir dalam bahan polimer sebanding dengan tegangan yang diberikan. Pada tegangan lebih tinggi arus tidak lagi memenuhi hukum Ohm. Arus membentuk ruang muatan terbatas yang disebut *space charge limited current* (SCLC).

Jumlah elektron dan hole dalam lapisan tipis PEDOT:PSS tidak seimbang. Kelebihan muatan tersebut menyebabkan arus semakin besar.



Gambar 4. Karakteristik arus-tegangan lapisan tipis PEDOT:PSS dengan variasi suhu

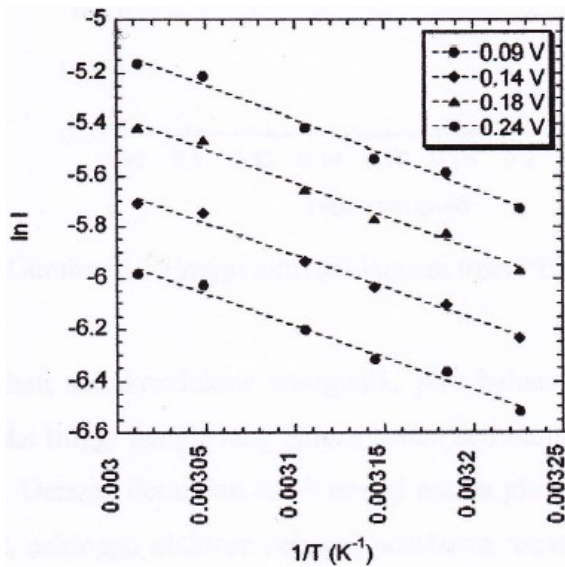
Karakteristik arus-tegangan lapisan tipis PEDOT:PSS berubah terhadap suhu. Semakin besar suhu yang diberikan terlihat semakin besar pula arus lapisan tipis PEDOT:PSS. Arus listrik dapat mengalir pada bahan polimer terkonjugasi- $\pi$  karena pembawa muatan bebas pada HOMO berpindah ke LUMO. Peningkatan suhu memicu pembawa muatan bebas tereksitasi dari HOMO ke LUMO polimer konjugasi PEDOT:PSS. Eksitasi muatan bebas dari HOMO ke LUMO menyebabkan konduktivitas meningkat, sehingga resistansi lapisan tipis PEDOT:PSS berkurang. Resistansi bahan yang berkurang akibat peningkatan suhu merupakan sifat semikonduktor.

Energi yang dibutuhkan untuk memindahkan elektron dari HOMO ke LUMO dapat didekati dengan penentuan energi aktivasi. Energi aktivasi dapat ditentukan dari karakteristik arus-tegangan polimer konjugasi- $\pi$  dengan variasi suhu. Hummel (1985) menjelaskan bahwa besarnya konduktivitas bahan sebanding dengan arus yang mengalir pada bahan tersebut. Pada penelitian ini yang diukur adalah arus lapisan tipis PEDOT:PSS,

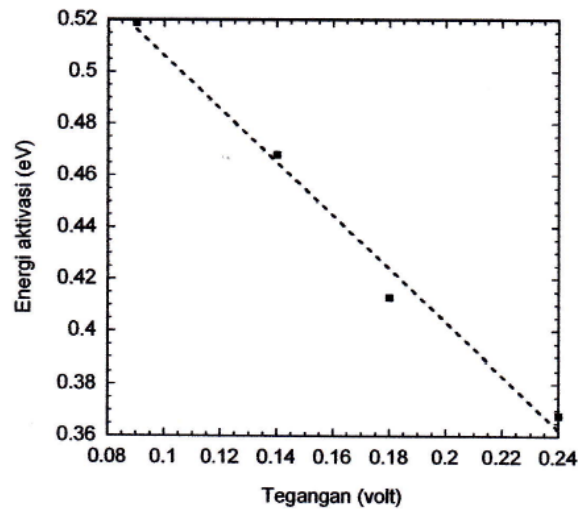


maka dibuat plot  $\ln I$  terhadap  $1/T$  yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Kemiringan grafik digunakan untuk menghitung energi aktivasi lapisan tipis PEDOT:PSS. Kemiringan grafik dikalikan dengan tetapan Boltzman ( $k_B$ ) sehingga diperoleh energi aktivasi pada tiap tegangan yang diberikan. Gambar 6 menunjukkan energi aktivasi lapisan tipis PEDOT:PSS. Energi aktivasi dapat diartikan sebagai energi ambang agar dapat terjadinya suatu reaksi. Energi aktivasi menunjukkan bahwa tidak diperlukan energi termal yang terlalu tinggi untuk memicu terjadi transfer pembawa muatan. Berdasarkan grafik terlihat bahwa semakin besar tegangan yang diberikan semakin kecil energi aktivasi lapisan tipis PEDOT:PSS. Artinya semakin besar tegangan yang diberikan semakin mudah perpindahan pembawa muatan dari HOMO ke LUMO lapisan tipis PEDOT:PSS.



Gambar 5. Karakteristik  $\ln I - 1/T$  lapisan tipis PEDOT:PSS



Gambar 6. Energi aktivasi lapisan tipis PEDOT:PSS

Pada bahan semikonduktor anorganik, jika bahan tersebut diberi tegangan panjar maju maka tinggi penghalang antara bahan semikonduktor dan kontak logam akan berkurang. Dengan demikian celah energi antara pita valensi dan pita konduksi semakin sempit, sehingga elektron sebagai pembawa muatan menjadi lebih mudah tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi. Jika tegangan yang diberikan lebih besar maka celah energi antara pita valensi dan pita konduksi semakin sempit sehingga energi aktivasi yang dibutuhkan untuk mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi juga semakin kecil.

#### 4. KESIMPULAN

Karakteristik arus-tegangan lapisan tipis PEDOT:PSS menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu semakin kecil resistansinya. Hal ini menunjukkan bahwa sifat listrik lapisan tipis PEDOT:PSS dipengaruhi oleh perubahan suhu dan bersifat semikonduktor.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Hummel, Rolf E. 1985. *Electronic Properties of Materials second edition*. Springer-Verlag. Berlin.
- [2] Hwang, J. Amy, F. Kahn, A. *Spectroscopic Study on Sputtered PEDOT.PSS: Role of Surface PSS Layer*. Organic Electronics 7 (2006) 387-396.
- [3] Isaksson, Joakim. 2005. *On the Surface of Conducting Polymers: Electrochemical Switching of Color and Wettability in Conjugated Polymer Devices*. Licenciate Thesis No. 1195. Linkoping Universitet Institute of Technology.
- [4] Kim, J. S. Granstrom, M. Friend, R. H. Johansson, N. Salaneck, W.R. Daik, R. Feast, W.J. Cacialli, F. 1998. *Indium-tin oxide treatments for single- and double-layer polymeric light-emitting diodes : The relation between the anode physical, chemical, and morphological properties and the device performance*. Journal of Applied Physics Vol. 84 Number 12.