

Studi Pengaruh Jarak Antar-Elektroda terhadap Resistansi Lapisan Tipis Seng Ftalosianin (ZnPc) dengan Paparan Ozon

Nur Robi'ah A.M.^{1)*}, Anggriana Novitasari¹⁾, Rachmat Triandi T.²⁾, Masruroh³⁾

¹⁾ Program Studi Magister Ilmu Kimia, Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya

²⁾ Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya

³⁾ Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya

Diterima 10 Juli 2015, direvisi 24 Agustus 2015

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai pengaruh jarak antar-elektroda, pada papan cetak sirkuit (PCB) berpola interdigital, terhadap resistansi lapisan tipis seng ftalosianin (ZnPc) melalui pengukuran resistansi lapisan sebelum dan sesudah dipapar ozon. Lapisan tembaga pada PCB dibentuk berpola interdigital menggunakan larutan etsa FeCl_3 10% dan dibuat variasi jarak antar-elektrodanya yaitu 0,3 mm dan 0,7 mm. Lapisan tipis ZnPc ditumbuhkan di atas PCB berpola interdigital, dengan variasi jarak antar-elektroda yang berbeda, menggunakan metode vakum evaporasi dan dianil pada suhu 100°C selama 5 jam. Lapis tipis ZnPc kemudian diukur nilai resistansi lapisannya sebelum dan sesudah dipapar gas ozon selama 1 jam. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa lapisan tipis ZnPc yang ditumbuhkan pada PCB dengan jarak antar-elektroda 0,3 mm memberikan perubahan resistansi hingga 50% lebih kecil, dibandingkan pada jarak 0,7 mm, yang menunjukkan lebih besarnya konduktivitas lapisan. Besarnya konduktivitas lapisan disebabkan oleh lebih besarnya luas penampang elektroda tembaga yang bersifat konduktif pada PCB dengan jarak antar-elektroda lebih kecil.

Kata kunci: PCB, jarak antar-elektroda, ZnPc, ozon, resistansi lapisan

ABSTRACT

The effect of the distance between electrodes, in interdigitated pattern of Printed Circuit Board (PCB), on the resistance of zinc phthalocyanine (ZnPc) thin film have been done by measuring film resistance before and after ozone exposure. Interdigitated pattern of PCB was formed from copper layer by using FeCl_3 10% as an etchant, with two various distance between electrodes i.e 0,3 mm and 0,7 mm. The thin film of ZnPc was deposited on the interdigitated electrode of PCB by using vacuum evaporation method, then, annealed at temperature 100°C for 5h. The resistance of ZnPc thin film was measured before and after ozone exposure for 1h. The results show that the resistance of ZnPc thin film that deposited on PCB with the distance between electrodes 0,3 mm is 50% lower than in 0,7 mm, and, show the higher of the film conductivity. The higher of the film conductivity is caused by the larger of copper electrode surface that have conductive properties, on the PCB with smaller of the distance between electrodes.

Keywords: PCB, distance between electrodes, ZnPc, ozone, film resistance

PENDAHULUAN

Lapis tipis didefinisikan sebagai material berdimensi kecil (dengan ketebalan mikrometer hingga nanometer) yang terbentuk melalui kondensasi atau pemadatan satu demi satu spesi

atom/molekul/ion dari material [1]. Teknologi lapisan tipis memiliki kelebihan dengan ukurannya yang kecil, mudah dibawa, membutuhkan daya yang kecil dan berbiaya rendah sehingga dinilai lebih efisien untuk digunakan dalam pembuatan sensor gas [2]. Teknologi ini telah diterapkan dalam pembuatan *prototype* detektor ozon menggunakan material ZnPc yang dibuat menjadi lapisan tipis dan ditumbuhkan pada

*Corresponding author:

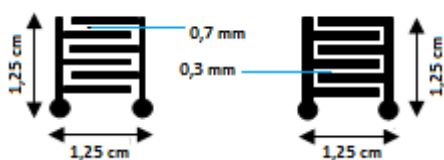
E-mail: khaulah.adiba@yahoo.com

substrat PCB dengan elektroda berpola interdigital [3]. Lapisan tipis yang terbentuk reaktif terhadap ozon yang ditandai dengan penurunan resistansi lapisan seiring dengan semakin lamanya waktu paparan.

Lapis tipis untuk sensor gas membutuhkan substrat sebagai penyokong, elektroda diatas substrat sehingga sifat listrik dari lapisan di atasnya dapat diukur, serta material pemanas yang akan menaikkan temperatur kerja lapis tipis ketika bekerja bukan pada suhu kamar [4]. Dalam penelitian ini, PCB dipilih sebagai material tempat penumbuhan lapis tipis ZnPc karena material PCB telah tersusun atas substrat dan elektroda. Elektroda berupa lapisan tembaga pada PCB dibentuk berpola interdigital melalui pengetsaan menggunakan larutan FeCl_3 . Pola interdigital untuk elektroda dapat meningkatkan konduktivitas lapisan dan mencegah terjadinya keretakan pada lapisan yang ditumbuhkan di atasnya. Jarak antar-elektroda berpengaruh pada kinerja lapisan terhadap paparan gas ketika resistansi diukur. Penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan pengaruh jarak antar-elektroda pada pola interdigital dari PCB terhadap resistansi lapisan ZnPc yang dipapar dengan gas ozon.

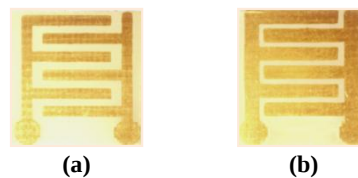
METODE PENELITIAN

Desain Pola Interdigital. Desain pola interdigital dibuat dengan komputer dengan ukuran sebagaimana tampak pada Gambar 1. Desain kemudian dicetak menggunakan printer laser pada lembaran mika dan dipotong sesuai dengan ukurannya.



Gambar 1. Desain pola interdigital

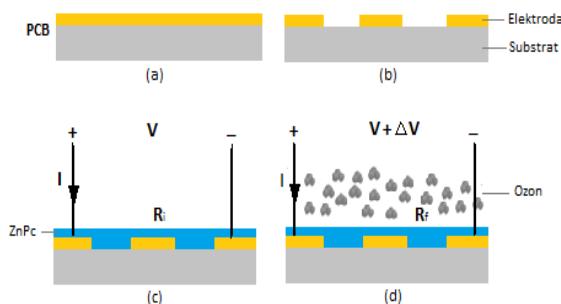
Pembentukan pola interdigital pada elektroda PCB. Pola cetakan ditempatkan pada PCB untuk membentuk desain interdigital pada lapisan tembaga melalui penyetrnaan. Selanjutnya, PCB dengan desain interdigital dietsa menggunakan larutan FeCl_3 10% menghasilkan PCB dengan elektroda berpola interdigital.



Gambar 2. PCB dengan elektroda berpola interdigital dengan jarak antar-elektroda 0.7 mm (a) dan 0,3 mm (b)

Deposisi ZnPc. Material ZnPc (kemurnian 97%, Sigma Aldrich Company) dideposisi menggunakan perangkat vakum evaporator untuk membentuk lapis tipis pada PCB. Sebelum pemanasan terlebih dahulu dilakukan pemvakuman selama 1 jam, dan dilakukan pendeposisian pada tegangan 1volt dan lama deposisi dua menit. Lapis tipis ZnPc yang terbentuk selanjutnya dianil pada suhu 100°C selama lima jam. Karakterisasi morfologi permukaan lapisan tipis ZnPc dilakukan menggunakan mikroskop optik dan perangkat SEM (*Scanning Electron Microscope*).

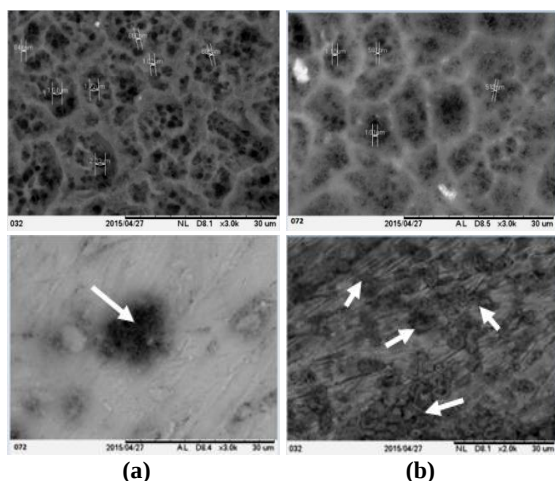
Pengukuran Resitansi Lapisan ZnPc dengan Paparan Ozon. Resistansi lapisan ZnPc diukur sebelum dipapar ozon sebagai resistansi awal dan setelah dipapar ozon sebagai perubahan resistansi lapisan selama satu jam paparan. Gas ozon disintesis dari udara bersih menggunakan perangkat ozonator hasil penelitian sebelumnya [5] dengan laju alir 363 mL/menit dan tegangan 3,3 volt (laju alir ozon $4,56 \times 10^{-4}$ mg/menit). Perubahan resistansi diukur pada waktu 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, dan 60 menit pada masing-masing lapis tipis ZnPc yang ditumbuhkan pada PCB dengan jarak antar-elektroda yang berbeda. Secara sederhana tahapan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Tahapan penelitian, (a) papan cetak sirkuit (PCB FR4); (b) PCB dengan elektroda pola interdigital; (c) Pengukuran resistansi lapisan awal (R_i); dan (d) Pengukuran resistansi lapisan dengan paparan ozon (R_f)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Morfologi Permukaan Lapisan Tipis ZnPC. Lapis tipis ZnPC ditumbuhkan pada PCB dengan elektroda berpola interdigital menggunakan metode vakum evaporasi. Material ZnPC yang ditempatkan pada krusibel menguap akibat panas filamen yang berasal dari arus listrik. Material ZnPC membentuk lapisan tipis pada PCB dengan terlebih dahulu membuat kondisi vakum saat pendeposisian. Kondisi vakum dimaksudkan untuk meminimalisir tumbukan dengan partikel udara sehingga dihasilkan lapisan tipis ZnPC dengan homogenitas yang tinggi. Setelah pendeposisian dihasilkan lapisan tipis ZnPC yang halus yang melapisi secara menyeluruh permukaan PCB. Lapisan kemudian dianil pada suhu 100°C selama lima jam guna meningkatkan kekuatan lapisan. Selanjutnya dilakukan pengamatan morfologi permukaan lapisan tipis ZnPC menggunakan perangkat SEM. Hasil pengamatan disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Morfologi permukaan lapis tipis ZnPC pada bagian atas substrat (atas) dan bagian atas elektroda (bawah) pada PCB dengan jarak antar-elektroda 0,7 mm (a) dan 0,3 mm (b)

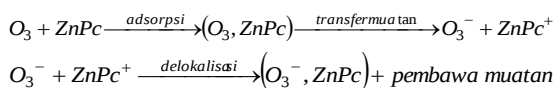
Gambar 4 menunjukkan morfologi permukaan lapisan ZnPC yang berbeda antara lapisan di bagian atas substrat dan di bagian atas elektroda. Lapisan ZnPC di atas elektroda tampak terlapisi secara kontinyu dan lebih teratur dibandingkan lapisan ZnPC di atas substrat yang tampak terdiri atas serat-serat yang tersusun membentuk pori. Perbedaan morfologi lapisan ZnPC ditentukan oleh struktur penyokong lapisan (8), yaitu antara elektroda

Cu yang memiliki tingkat kekristalan yang lebih tinggi dibandingkan dengan struktur substrat PCB. Substrat PCB yang digunakan berasal dari campuran fiberglass dan epoksi, yang memiliki kekristalan yang lebih rendah dibandingkan dengan lapisan tembaga pada PCB (elektroda) yang berasal dari atom-atom tembaga yang tersusun rapat. Lapisan tipis yang tumbuh di atas penyokong dengan tingkat kekristalan yang lebih tinggi akan memiliki keteraturan yang lebih tinggi pula. Sedangkan terbentuknya pori-pori pada permukaan lapisan ZnPC di bagian atas substrat diduga berhubungan dengan mode penumbuhan lapisan. Selama proses deposisi, diduga bahwa mode pertumbuhan lapisan tipis ZnPC merupakan mode *islands* (pulau) [6]. Molekul-molekul ZnPC membentuk nukleasi lapisan pada PCB dan mengalami peningkatan ukuran seiring dengan bertambahnya waktu pendeposisian dan jumlah molekul sehingga molekul-molekul ini terlapisi secara menyeluruh pada permukaan PCB membentuk suatu lapisan tipis ZnPC. Namun, *islands* ini tak bergabung secara sempurna membentuk suatu lapisan yang kontinyu dan terlihat sebagai serat-serat padatan ZnPC yang tersusun sedemikian rupa membentuk pori.

Pada mikroskop di atas untuk lapisan tipis yang terlapisi di atas elektroda tampak adanya bagian-bagian berwarna hitam (ditunjukkan dengan anak panah) yang merupakan celah-celah pada lapisan tembaga yang ikut terkikis saat proses pengetsaan. Celah-celah ini kemudian ditempati molekul-molekul ZnPC saat proses deposisi dan tampak dengan profil yang mirip dengan lapisan ZnPC yang terlapisi di atas substrat.

Pengaruh Jarak Antar-Elektroda terhadap Resistansi Lapisan Tipis ZnPC yang Dipapar Ozon. Hasil pengukuran resistansi lapisan tipis ZnPC di bawah paparan gas ozon untuk masing masing lapisan ZnPC yang ditumbuhkan pada PCB dengan jarak antar-elektroda yang berbeda disajikan pada gambar 5. Kedua gambar menunjukkan bahwa resistansi lapisan ZnPC semakin menurun seiring dengan semakin lamanya waktu paparan. Semakin lama waktu paparan maka semakin besar konsentrasi gas ozon yang diberikan. Semakin besar konsentrasi gas yang diberikan, maka semakin banyak molekul gas yang diadsorpsi sehingga transfer pembawa

muatan yang terjadi juga semakin banyak [9]. Interaksi antara lapisan ZnPc dengan ozon ini ditunjukkan pada diagram berikut,



Variasi jarak antar-elektroda mempengaruhi perubahan penurunan resistansi dan waktu respon dari lapisan tipis yang dipapar ozon. Sampel lapis tipis yang ditumbuhkan pada PCB dengan jarak antar-elektroda 0,3 mm saat diukur resistansi lapisannya di bawah paparan ozon selama 1 jam, memberikan perubahan penurunan resistansi hingga 50% lebih kecil (Gambar 5b) setelah 1 jam waktu paparan, dibandingkan lapisan ZnPc yang ditumbuhkan pada PCB dengan jarak 0,7 mm antar-elektrodanya (Gambar 5a). Hal ini terjadi hampir pada semua pengukuran di hari-hari selanjutnya.

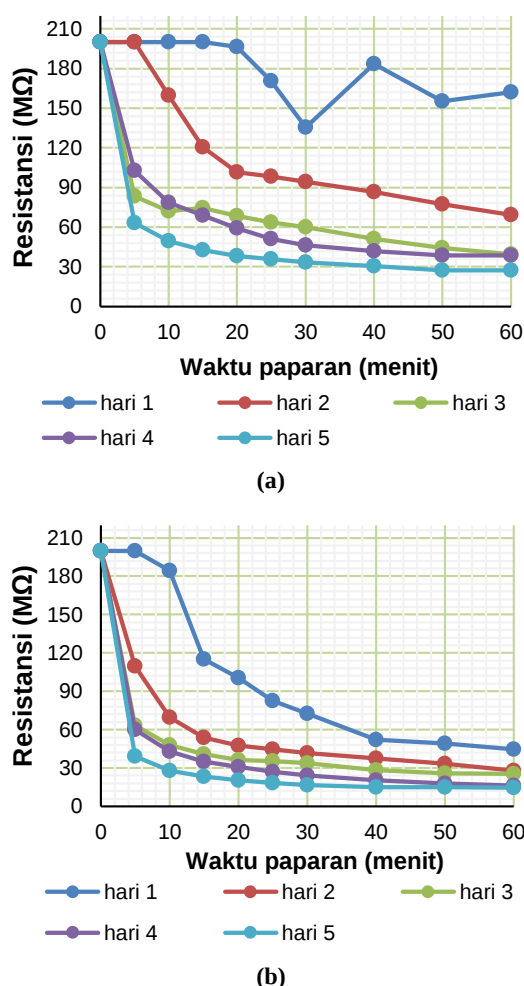
Selain besarnya perubahan penurunan resistansi lapisan, waktu respon lapisan ZnPc dengan jarak 0,3 mm antar-elektrodanya juga menunjukkan respon yang lebih cepat. Hal ini terlihat dari dapat terukurnya perubahan resistansi lapisan di 5 menit pertama waktu paparan di setiap kali pengukurannya.

Perbedaan penurunan resistansi dan waktu respon lapisan tipis ZnPc yang ditumbuhkan pada PCB yang berbeda jarak antar-elektrodanya disebabkan oleh perbedaan luas penampang elektroda tembaga (Gambar 2). Jarak 0,3 mm antar-elektroda pada PCB menjadikan luas penampang tembaga lebih besar dibandingkan jarak 0,7 mm antar-elektroda, sehingga ketika terlapisi di atasnya lapisan ZnPc dengan waktu deposisi dan kondisi penganilan yang sama, menjadikan lapisan ZnPc yang tumbuh pada PCB dengan jarak antar-elektroda 0,3 mm saat diberi paparan ozon, terjadi penurunan resistansi yang lebih kecil (bersifat lebih konduktif).

Resistansi merupakan kebalikan dari konduktansi. Resistansi lapisan yang kecil menunjukkan sifat lapisan yang lebih konduktif. Resistansi (R) suatu bahan akan sebanding dengan hambat jenis bahan (ρ) dan panjang penghantarnya (l) dan berbanding terbalik dengan luas penghantar (A) (persamaan 1).

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2)$$

Dalam hal ini, terukurnya resistansi lapisan tipis ZnPc saat dipapar ozon disebabkan oleh adanya elektroda Cu yang dapat menghantarkan listrik. Pembentukan pola interdigital pada elektroda PCB dengan memvariasikan ukuran jarak antar-elektroda mengakibatkan perbedaan luas permukaan elektroda (A) setelah proses pengetsaan. Pada jarak antar-elektroda yang lebih kecil dihasilkan luas permukaan elektroda Cu yang lebih besar. Semakin besar luas penghantar (elektroda), A , menyebabkan semakin kecilnya nilai resistansi lapisan, R , sebagaimana didapatkan pada penelitian ini.



Gambar 5. Grafik hubungan resistansi dan waktu paparan ozon dari lapisan tipis ZnPc pada PCB dengan jarak antar-elektroda 0,7 mm (a) dan 0,3 mm (b)

Berdasarkan Gambar 5a pada pengukuran hari-1 resistansi lapisan ZnPc yang dipapar ozon dihasilkan kurva hubungan resistansi vs waktu paparan yang fluktuatif. Hasil yang sama didapatkan pula pada sampel lapis tipis ZnPc

yang lain yang ditumbuhkan dengan kondisi yang sama dan sampel lapis tipis ZnPc yang lebih tebal (sampel lapis tipis yang dideposisi dengan waktu yang lebih lama). Hal ini diduga disebabkan oleh terjadinya kesetimbangan dinamis oleh adanya proses penggantian molekul O₂ yang terikat pada permukaan ZnPc dengan molekul O₃. Molekul O₂ terikat pada sebagian permukaan lapisan tipis sehingga adanya molekul basa Lewis yang kuat dapat terikat pada permukaan atom pusat yang bebas oksigen atau dapat memindahkan O₂ dari permukaan logam dan menggantikannya [10]. Fenomena ini menjadikan perlunya waktu aktivasi tertentu bagi lapisan sebelum kemudian diamati perubahan resistansinya saat dipapar ozon.

KESIMPULAN

Perbedaan jarak antar-elektroda pada pembuatan pola interdigital dari elektroda PCB akan mempengaruhi nilai penurunan resistansi lapisan. Lapisan ZnPc yang ditumbuhkan pada PCB dengan jarak antar elektroda lebih kecil ketika dipapar ozon memberikan nilai penurunan resistansi lapisan 50% lebih kecil dibandingkan lapisan ZnPc pada PCB dengan jarak antar-elektroda lebih besar. Resistansi lapisan yang kecil pada lapisan ZnPc yang ditumbuhkan pada PCB dengan jarak antar-elektroda lebih kecil menunjukkan lebih mendekati sifat konduktif yang disebabkan oleh lebih besarnya luas penampang logam tembaga (elektroda) yang akan memperbesar daya hantar listrik lapisan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Indonesia, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (DIKTI), melalui BPPDN (Beasiswa Pendidikan Pascasarjana Dalam Negeri) Tahun 2013 yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Wasa, K., M. Kitabatake, H. Adachi,

(2004). *Thin Film Material Technology: Sputtering of Compound Materials*. William Andrew Inc., Norwich. New York.

- [2] Ivanov, P.T., (2004). *Design, Fabrication and Characterization of Thick-Film Gas Sensor*. PhD-Thesis. Universitat Rovira i Virgili, Tarragona. Spanyol.
- [3] Ratnawati, D.G., (2014). Study of Suspension Concentration Effect to the Electrical Resistance of Zinc Sulphophthalocyanine (ZnPcS_n) Thin Film as Prototype of Ozone Detector. *J. Pure App. Chem. Res.* **3** (2): 70-75.
- [4] Fraden, J., (2004). *Handbook of Modern Sensors; Physics, Designs, and Applications*, 3rd-ed. Springer-Verlag. New York.
- [5] Ulfa, A., (2011). *Studi Sintesis Ozon dengan Metode Lucutan Plasma*. Skripsi. Universitas Brawijaya. Malang.
- [6] Robiandi, F., L.A. Didik, E. Rahmawati, S. Rahayu, Masruroh, S.P. Sakti, D.J. Djoko H.S., (2014). Pengaruh Laju Deposisi terhadap Morfologi Lapisan Zinc Phthalocyanine (ZnPc) di atas Permukaan Polistiren/QCM dengan Proses Evaporasi Vakum. *Natural B.* **2** (4): 336-342.
- [7] Maggioni, G., A. Quaranta, S. Carturan, E. Negro, A. Patelli, M. Tonezzer, G.D. Mea, (2003). Copper Phthalocyanine Films Grown by Glow Discharge-Induced Sublimation for Gas Sensing Applications. *Proceedings of the 16th International Symposium on Plasma Chemistry (ISPC-16)*, Taormina. Italia.
- [8] Kadish, K.M., Smith K.M., R. Guillard., (2003). *The Porphyrin Handbook Volume 17/Phthalocyanines: Properties and Materials*. Academic Press. San Diego.
- [9] Nasikhudin, K. Triyana, (2010). Fabrikasi dan Karakterisasi Prototipe Sensor Gas NO₂ berbasis Lapisan Tipis Copper Phthalocyanine sebagai Sensor Gas yang Dapat Bekerja pada Suhu Ruang. *Seminar Nasional MIPA*. Universitas Negeri Malang. Malang.
- [10] Bohrer, F. I., (2008). *Gas Sensing Mechanisms in Chemiresistive Metal Phthalocyanine Nanofilms*. Thesis. University of California. San Diego.