

Pembuatan Tinta Konduktif Perak Oksalat Berbasis *Metal Organic Decomposition* (MOD)

Fredy Kurniawan[#], Rachmat Hisyam F[#]

[#] *Laboratorium Instrumentasi dan Sains Analitik, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Arief Rahman Hakim, Surabaya, 60111*
E-mail: fredy@chem.its.ac.id

Abstrak — Tinta konduktif berbasis *metal organic decomposition* (MOD) telah berhasil dibuat. Prekursor perak pada penelitian ini berasal dari perak oksalat. Perak oksalat direaksikan dengan amonia sebagai agen pengompleks. Kompleks perak oksalat-amonia ditambahkan agen pereduksi berupa etilen glikol, sehingga membentuk tinta konduktif. Tinta dicetak pada media kertas foto dengan metode penulisan secara langsung. Kertas foto kemudian dipanaskan untuk memperoleh pola konduktif. Pengaruh konsentrasi etilen glikol, suhu dan waktu pemanasan terhadap pola konduktif juga diteliti. Konduktivitas pola yang dihasilkan, diukur nilai resistensinya menggunakan multimeter. Nilai resistensi optimum sebesar 2,5618 Ω , diperoleh pada penambahan etilen glikol 40% yang dipanaskan pada suhu 215 °C selama 60 menit. Permukaan pola konduktif dianalisa menggunakan mikroskop optik.

Kata Kunci — Tinta konduktif, MOD, etilen glikol, resistensi.

I. PENDAHULUAN

Etching atau etsa merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk mendapatkan pola konduktif pada *printed circuit board* (PCB). Prinsip dari teknik ini adalah menghilangkan bagian PCB yang tidak terlindungi dengan bantuan reaksi kimia. Namun, teknik ini memerlukan biaya besar dan proses cukup panjang untuk mendapatkan pola konduktif yang diinginkan, serta menghasilkan limbah kimia [1]. Hasil pola konduktif dari metode ini juga memiliki permukaan yang tidak seragam. Oleh karena itu, para peneliti mencoba mengembangkan metode alternatif untuk menulis pola konduktif secara langsung pada sebuah substrat dengan tinta konduktif.

Tinta konduktif merupakan tinta dimana hasil cetaknya dapat menghantarkan arus listrik [2]. Sifat konduktif terjadi karena tinta mengandung filler material konduktif seperti grafit, keramik dan logam. Logam dapat dimanfaatkan sebagai filler pada tinta dengan cara membuat logam tersebut berukuran nano (*nano based ink*) [3], [4] atau berfase organik (*particle-free MOD ink*, dengan MOD adalah *metal organic decomposition*) [5], [6].

Penggunaan tinta nanopartikel memerlukan suhu yang relatif lebih tinggi untuk memunculkan pola konduktif. Hal ini menyebabkan substrat untuk media cetaknya sangat terbatas. Selain itu, penggunaan tinta berbasis nanopartikel memiliki resiko terjadinya aglomerasi partikel. Proses aglomerasi yang terjadi dapat menyebabkan gangguan pada alat cetak [7]. Alternatif lain dalam pemanfaatan logam sebagai *filler* pada tinta adalah dengan membuat logam menjadi *metal organic decomposition* atau MOD. Tinta MOD tidak memerlukan suhu tinggi untuk memunculkan pola

konduktif, sehingga dapat digunakan pada substrat yang sensitif terhadap suhu tinggi. Kelebihan lain dari tinta MOD adalah proses pembuatan yang sederhana dan tidak memakan biaya besar.

Tinta MOD pada dasarnya memiliki komposisi seperti prekursor logam, pelarut organik, agen pereduksi lemah, dan zat aditif. Beberapa peneliti telah melakukan sintesis tinta konduktif berbasis MOD. Dong dkk, mensintesis tinta konduktif dari perak oksalat yang direaksikan dengan etilamin sebagai ligan pengompleks dan etilen glikol sebagai agen pereduksi. Tinta konduktif tersebut dicetak pada media polimer dengan suhu pemanasan 170°C selama 30 menit. Resistivitas optimum diperoleh sebesar 8,4 $\mu\Omega$.cm [8]. Penggunaan prekursor lain, seperti perak karbonat dan berbagai jenis amin sebagai ligan pengompleks telah dilaporkan oleh Chang dkk, 2012. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis amin berupa amonia memiliki daya larut yang baik terhadap perak karbonat [9].

Penelitian ini dilakukan pembuatan tinta konduktif berbasis MOD dari perak oksalat sebagai prekursor, amonia sebagai agen pengompleks dan etilen glikol sebagai agen pereduksi. Media cetak yang digunakan dalam penelitian ini adalah kertas foto. Kertas foto dipilih karena lebih ramah lingkungan jika dibanding dengan substrat polimer dan mudah diperoleh. Variasi konsentrasi etilen glikol, suhu dan waktu pemanasan dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap pola konduktif yang dihasilkan. Pengaruh konsentrasi etilen glikol terhadap terbentuknya pola konduktif juga dianalisa menggunakan mikroskop optik. Konduktivitas ditentukan dengan pengukuran resistensi menggunakan multimeter. Penelitian ini

menggunakan metode penerapan tinta konduktif pada substrat kertas foto secara langsung dengan pena termodifikasi. Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan alternatif baru dalam fabrikasi *printed circuit board* (PCB).

II. METODE PENELITIAN

A. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain AgNO_3 teknis, $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Merck), aquades, amonia 25% (Merck), etilen glikol 99,5% (Sigma Aldrich), dan kertas foto sebagai substrat.

B. Pembuatan Larutan Etilen Glikol

Pembuatan larutan etilen glikol dalam berbagai konsentrasi dilakukan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi etilen glikol terhadap nilai resistensi. Larutan stok, etilen glikol 40% dibuat dari etilen glikol 99,5%. Variasi konsentrasi larutan etilen glikol dibuat dengan cara pengenceran. Variasi larutan etilen glikol yang digunakan pada penelitian ini adalah 10%, 20%, 30% dan 40%.

C. Pembuatan Pola Konduktif dengan Variasi Suhu Pemanasan

Prekursor perak yang digunakan pada penelitian ini adalah perak oksalat. Perak oksalat disintesis dengan mereaksikan 100 mL AgNO_3 0,164 M dengan 100 mL larutan asam oksalat 0,0822 M. Proses sintesis tersebut menghasilkan endapan perak oksalat berwarna putih. Endapan kemudian dikeringkan pada suhu 55°C . Tinta konduktif disintesis dengan mereaksikan 0,8 gram perak oksalat dengan amonia 25% pada suhu 10°C selama 15 menit. Setelah larut sempurna, 1 ml larutan etilen glikol dengan konsentrasi 0; 10; 20; 30; 40% ditambahkan pada larutan dan diaduk kembali selama 30 menit. Tinta konduktif dicetak sepanjang 3,5 cm pada sebuah kertas foto berukuran 10 x 5 cm dengan metode penulisan secara langsung. Tinta yang tercetak dipanaskan dengan oven pada suhu 170°C selama 20 menit. Analisa permukaan pola yang dihasilkan dengan variasi penambahan etilen glikol dilakukan dengan mikroskop optik. Sedangkan, nilai resistensi dari pola yang dihasilkan, kemudian diukur menggunakan multimeter Keithley 2100 pada jarak antar probe sebesar 1 cm. Pola dengan nilai resistensi optimum divariasikan pada suhu pemanasan 155; 170; 185; 200; 215°C selama 20 menit.

D. Pembuatan Pola Konduktif dengan Variasi Waktu Pemanasan

Larutan tinta dipersiapkan sesuai dengan metode yang telah dijelaskan pada subbab II.C. Hasil cetak tinta pada kertas foto dipanaskan pada suhu 215°C dengan variasi waktu 10, 20, 30, 40, 50, dan 60 menit. Konduktivitas pola pada kertas ditentukan dengan

pengukuran resistensi menggunakan multimeter pada jarak pengukuran 1 cm.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengaruh Konsentrasi Etilen Glikol terhadap Nilai Resistensi Pola Konduktif

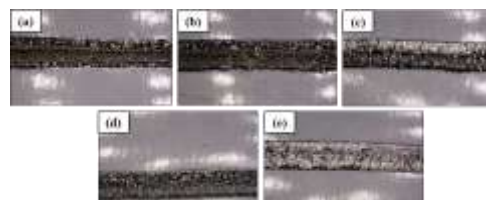
Senyawa perak yang digunakan dalam penelitian ini adalah perak oksalat. Perak oksalat dipilih karena memiliki kandungan perak sebesar 71% [8] Perak oksalat dapat dilarutkan menggunakan senyawa-senyawa yang memiliki gugus amin. Perak oksalat dapat larut dalam pelarut amin melalui reaksi kompleks [8]. Pelarut golongan senyawa amin yang digunakan pada penelitian ini adalah amonia. Amonia memiliki kemampuan untuk berkoordinasi lebih baik jika dibandingkan dengan etilamin, dietilamin, dan trietilamin [10]. Hasil sintesis tinta konduktif dari perak oksalat-amonia dapat dilihat pada Gambar 1. Tinta konduktif yang telah disintesis tanpa penambahan etilen glikol terlihat bening (Gambar 1a). Penambahan etilen glikol 10-40% menyebabkan warna tinta yang dihasilkan sedikit kekuningan (Gambar 1b-e). Berdasarkan Gambar 1, pada semua larutan baik tanpa maupun dengan penambahan etilen glikol, tidak menunjukkan adanya aglomerasi partikel.



Gambar 1. Tinta konduktif tanpa penambahan etilen glikol (a), dengan penambahan etilen glikol 10% (b), penambahan etilen glikol 20% (c), penambahan etilen glikol 30% (d) dan penambahan etilen glikol 40% (e).

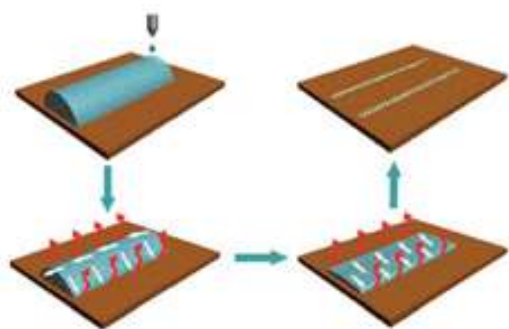


Gambar 2. Alat tulis untuk mencetak pola konduktif.



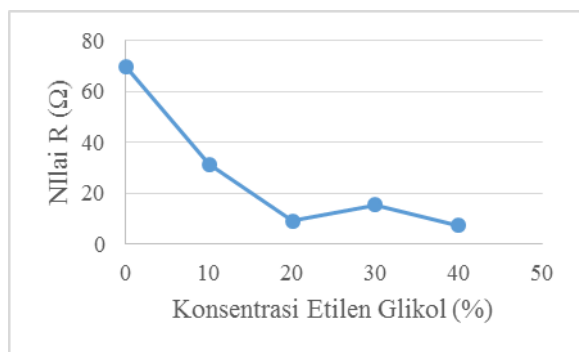
Gambar 3. Penampakan mikroskopis pola konduktif pada penambahan etilen glikol: (a) 0%; (b) 10%; (c) 20%; (d) 30% dan (e) 40%.

Pembuatan pola konduktif dilakukan dengan metode penulisan secara langsung pada kertas foto menggunakan pena yang telah dimodifikasi seperti pada Gambar 2. Hasil dari pemanasan dapat dilihat pada Gambar 3. Gambar 3a dan b, terlihat bahwa perak terbentuk di bagian *outliner* saja dengan penambahan 1 mL etilen glikol 0% dan 10%. Penambahan 1 ml etilen glikol 20, 30 dan 40% menghasilkan perak yang terbentuk merata seluruh bagian. Hal ini dikarenakan pada variasi tersebut terjadi efek cincin kopi (*coffee ring effect*). Efek ini menyebabkan partikel perak terbentuk di daerah pola, sehingga hanya sedikit perak yang terbentuk pada bagian tengah pola konduktif [1]. Penguapan pelarut secara kuat menyebabkan terjadinya agregasi partikel di bagian terluar pola, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



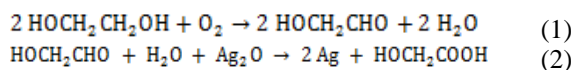
Gambar 4. Ilustrasi pengeringan tinta konduktif yang dipengaruhi efek cincin kopi.

Gambar 4 menjelaskan ketika proses pemanasan pola konduktif yang masih basah dapat menyebabkan terjadinya aliran fluida dan membawa partikel di dalamnya menuju ke arah luar. Setelah pelarut menguap, partikel terdeposit dan membentuk pola pada bagian *outliner* saja [11]. Pada dasarnya, efek cincin kopi dipengaruhi oleh faktor pergerakan partikel dan waktu penguapan pelarut [12]. Penambahan etilen glikol pada proses pembuatan, membuat tinta konduktif yang dihasilkan lebih kental (*viscous*). Hal ini dapat mereduksi adanya aliran fluida dalam larutan sehingga efek cincin kopi dapat dihindari.



Gambar 5. Grafik pengaruh konsentrasi etilen glikol pada suhu pemanasan 170°C selama 20 menit terhadap nilai resistensi.

Selain diamati bentuk fisiknya, pola konduktif juga diukur nilai resistensinya menggunakan multimeter. Rata-rata nilai resistensi pola konduktif dapat dilihat pada Gambar 5. Konsentrasi etilen glikol yang digunakan juga mempengaruhi nilai resistensi dari pola konduktif. Penambahan 0; 10; 20; 30; 40% etilen glikol menghasilkan nilai resistensi sebesar 69,853; 31,489; 9,037; 15,321; 7,382 Ω, secara berturut-turut. Nilai resistensi optimum diperoleh pada penambahan 1 ml etilen glikol 40%.

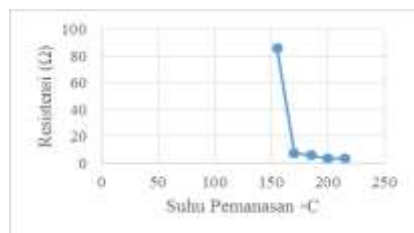


Selama proses pemanasan, senyawa perak organik mengalami dekomposisi sehingga membentuk Ag_2O . Selain itu, etilen glikol pada suhu tinggi dapat membentuk glikol aldehid [9]. Senyawa dengan gugus aldehid dapat mereduksi Ag_2O menjadi Ag, sesuai dengan reaksi 1 dan 2. Berdasarkan Gambar 5, dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin besar konsentrasi etilen glikol yang ditambahkan maka semakin kecil nilai resistensi dari pola konduktif. Hal ini disebabkan semakin banyak etilen glikol yang berubah menjadi glikol aldehid dan mereduksi Ag_2O menjadi Ag.

B. Pengaruh Suhu dan Waktu Pemanasan terhadap Nilai Resistensi Pola Konduktif

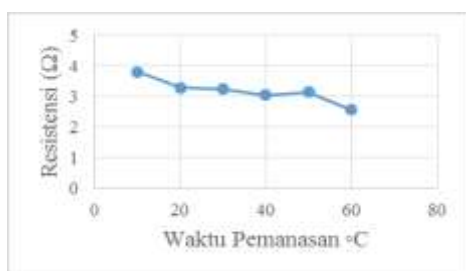
Pengaruh suhu pemanasan terhadap nilai resistensi pola konduktif dapat dilihat pada Gambar 6. Pemanasan suhu 155; 170; 185; 200 dan 215°C secara berurutan memberikan nilai resistensi sebesar 85,774; 7,705; 6,243; 4,497 dan 3,228 Ω. Pemanasan pada suhu 155°C memberikan hasil resistensi yang besar yaitu sebesar 85,774 Ω. Pola konduktif terbentuk pada suhu 155°C yang mengindikasikan perak oksida telah tereduksi menjadi logam perak. Besarnya nilai resistensi pada suhu pemanasan 155°C, diperkirakan pada suhu tersebut masih terdapat etilen glikol yang belum menguap mengingat titik didihnya tinggi (197,6°C). Oleh karena itu, terdapat senyawa organik yang tertinggal pada pola konduktif dan mempengaruhi nilai resistensinya.

Nilai resistensi optimum diperoleh saat suhu pemanasan 215°C. Semakin tinggi suhu yang digunakan dalam proses pemanasan, maka partikel perak dapat tumbuh lebih besar dan saling terhubung satu sama lain, sehingga membentuk pola konduktif yang halus. Terbentuknya pola konduktif yang halus dapat menghasilkan resistensi lebih kecil jika dibandingkan dengan pemanasan pada suhu rendah [13].



Gambar 6. Grafik pengaruh suhu pemanasan terhadap nilai resistensi.

Setelah diperoleh suhu optimum, variasi waktu pemanasan dilakukan pada pola konduktif. Waktu pemanasan yang digunakan adalah 10-60 menit, dengan rentang 10 menit. Pengaruh waktu pemanasan terhadap nilai resistensi ditunjukkan pada Gambar 7. Nilai resistensi yang diperoleh berdasarkan variasi waktu adalah sebesar 3,814; 3,289; 3,251; 3,044; 3,154; 2,561 Ω . Hasil menunjukkan waktu pemanasan yang digunakan tidak memberikan perbedaan yang signifikan. Hal ini diperkirakan dapat terjadi karena tinta konduktif pada suhu 215°C telah terdekomposisi dengan sempurna dan zat organik sudah tidak ada pada pola konduktif. Oleh karena itu, pengaruh waktu pemanasan tidak terlalu signifikan bila dibanding dengan pengaruh suhu.



Gambar 7. Grafik pengaruh waktu pemanasan terhadap nilai resistensi.

Nilai resistensi optimum pada penelitian ini adalah sebesar 2,561 Ω , nilai ini diperoleh ketika tinta konduktif dipanaskan pada suhu 215°C selama 60 menit. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini lebih baik jika dibandingkan dengan tinta konduktif yang disintesis oleh Kim dkk [1]. Nilai resistensi yang diperoleh dari penelitian Kim adalah sebesar 46 Ω .

IV. KESIMPULAN

Tinta konduktif berbasis metal organic decomposition (MOD) telah berhasil dibuat dari perak oksalat, amonia dan etilen glikol serta dapat diaplikasikan dengan penulisan secara langsung pada media kertas foto. Penambahan etilen glikol mempengaruhi hasil fisik pola konduktif. Penambahan etilen glikol 0% dan 10% pola konduktif hanya terbentuk dibagian outlaner, pada penambahan 20%, 30%, 40% pola konduktif

terbentuk secara merata. Penambahan etilen glikol mempengaruhi nilai resistensi pola konduktif. Hasil optimum diperoleh pada penambahan 1 mL etilen glikol 40% dengan nilai resistensi sebesar 7,382 Ω . Suhu pemanasan optimum sebesar 215°C, dimana pada suhu tersebut nilai resistensi pola konduktif yang dihasilkan sebesar 3,289 Ω . Waktu pemanasan optimum adalah 60 menit, dengan nilai resistensi sebesar 2,561 Ω .

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Kim, S. Jeong, B. K. Park, and J. Moon, "Direct writing of silver conductive patterns: Improvement of film morphology and conductance by controlling solvent compositions," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 89, no. 26, p. 264101, 2006.
- [2] S. Osborn, *Makers at work: folks reinventing the world one object or idea at a time*. 2013.
- [3] A. Kosmala, R. Wright, Q. Zhang, and P. Kirby, "Synthesis of silver nano particles and fabrication of aqueous Ag inks for inkjet printing," *Mater. Chem. Phys.*, vol. 129, no. 3, pp. 1075–1080, Oct. 2011.
- [4] D. Kim and J. Moon, "Highly Conductive Ink Jet Printed Films of Nanosilver Particles for Printable Electronics," *Electrochem. Solid-State Lett.*, vol. 8, no. 11, p. J30, 2005.
- [5] S. F. Jahn, A. Jakob, T. Blaudeck, P. Schmidt, H. Lang, and R. R. Baumann, "Inkjet printing of conductive patterns with an aqueous solution of [AgO₂C(CH₂OCH₂)₃H] without any additional stabilizing ligands," *Thin Solid Films*, vol. 518, no. 12, pp. 3218–3222, Apr. 2010.
- [6] J.-T. Wu, S. L.-C. Hsu, M.-H. Tsai, and W.-S. Hwang, "Inkjet Printing of Low-Temperature Cured Silver Patterns by Using AgNO₃/1-Dimethylamino-2-propanol Inks on Polymer Substrates," *J. Phys. Chem. C*, vol. 115, no. 22, pp. 10940–10945, Jun. 2011.
- [7] Y. Tao, L. Wang, Y. Tao, B. Wang, and Y. Tai, "A facile approach to a silver conductive ink with high performance for macroelectronics," *Nanoscale Res. Lett.*, vol. 8, no. 1, p. 296, 2013.
- [8] Y. Dong, X. Li, S. Liu, Q. Zhu, J.-G. Li, and X. Sun, "Facile synthesis of high silver content MOD ink by using silver oxalate precursor for inkjet printing applications," *Thin Solid Films*, vol. 589, pp. 381–387, Aug. 2015.
- [9] Y. Chang, D.-Y. Wang, Y.-L. Tai, and Z.-G. Yang, "Preparation, characterization and reaction mechanism of a novel silver-organic conductive ink," *J. Mater. Chem.*, vol. 22, no. 48, p. 25296, 2012.
- [10] J. R. Clifton, "Reactions of ethylamine and diethylamine with copper (I) and copper (II) chloride," 1967.
- [11] S.-P. Chen, H.-L. Chiu, P.-H. Wang, and Y.-C. Liao, "Inkjet Printed Conductive Tracks for Printed Electronics," *ECS J. Solid State Sci. Technol.*, vol. 4, no. 4, pp. P3026–P3033, Feb. 2015.
- [12] X. Shen, C.-M. Ho, and T.-S. Wong, "Minimal Size of Coffee Ring Structure," *J. Phys. Chem. B*, vol. 114, no. 16, pp. 5269–5274, Apr. 2010.
- [13] X. Nie, H. Wang, and J. Zou, "Inkjet printing of silver citrate conductive ink on PET substrate," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 261, pp. 554–560, Nov. 2012.