

Pengaruh Penambahan Etilen Glikol, Suhu Pemanasan dan Waktu Pemanasan Terhadap Nilai Resistensi Pola Konduktif

Fredy Kurniawan[#], Nafis Qurtubi[#]

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

Abstrak — Tinta konduktif telah berhasil dibuat dari garam logam perak dan agen pereduksi. Penelitian ini menggunakan perak nitrat (AgNO₃) sebagai prekursor perak dan etilen glikol sebagai agen pereduksi. Tinta konduktif digoreskan secara *direct writing* pada permukaan *printed circuit board* (PCB). Pola konduktif dihasilkan dari proses pemanasan PCB yang telah digoreskan dengan tinta. Nilai resistensi pola konduktif diukur dengan multimeter. Semakin rendah nilai resistensi yang dihasilkan maka semakin konduktif pola tersebut. Variasi konsentrasi etilen glikol, suhu dan waktu pemanasan dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap nilai resistensi dari pola konduktif yang dihasilkan. Hasil terbaik diperoleh pada penambahan etilen glikol 20% dengan suhu pemanasan 230°C selama 45 menit. Nilai resistensi rata-rata yang dihasilkan pada komposisi tersebut adalah sebesar 1,5898 Ω.

Kata Kunci — *Pola konduktif, tinta konduktif, perak nitrat, etilen glikol, PCB.*

I. PENDAHULUAN

Pola konduktif menarik perhatian pada bidang penelitian karena aplikasinya yang sangat luas seperti pembuatan sirkuit elektronik [1], transistor [2], perangkat solar [3], layar sentuh [4], elektroda [5]–[7], dll. Pengembangan pola konduktif dalam bidang elektronik adalah berupa fleksibel baterai, fleksibel elektroda [8], sirkuit konduktif [9], dll. Pola konduktif dapat diterapkan pada berbagai jenis substrat seperti plastik, kaca, polimer, dan *printed circuit board* (PCB) [10]. PCB memiliki sifat kuat, ringan, tahan air, mudah diperoleh dan murah bila dibandingkan dengan material lain, sehingga sangat sesuai digunakan sebagai substrat.

Metode untuk menerapkan pola konduktif pada substrat padat adalah litografi, *spin coating* [11], *stamping* [12], *sputtering* [13] dan penguapan pelarut kimia [14]. Metode tersebut dapat menghasilkan lapisan yang halus pada substrat padat. Metode ini masih memiliki kekurangan, yaitu membutuhkan lingkungan yang steril (bebas debu) dan kontrol suhu yang membutuhkan banyak biaya. *Inkjet printing* adalah alat yang telah populer digunakan untuk aplikasi larutan tinta konduktif karena mudah dikontrol melalui komputer [1], [15]–[17]. Namun, pembuatan formula tinta konduktif untuk *inkjet printing* tidak mudah. Jika formula tinta konduktif tidak tepat maka dapat merusak dan menyumbat nozel *cartridge printer* [18]. Oleh karena itu, diperlukan metode yang sederhana dan mudah untuk penerapan tinta konduktif pada substrat. Metode penulisan langsung (*direct writing*) menggunakan pena dapat digunakan untuk aplikasi penerapan larutan. Metode ini memiliki beberapa keunggulan yaitu sederhana, cepat, biaya rendah dan lebih mudah digunakan [10], [14]. Sehingga, metode *direct*

writing dapat digunakan untuk menggambar pola konduktif pada substrat PCB.

Ada 3 jenis tinta yang sering digunakan untuk membuat pola konduktif. Pertama, menggunakan larutan logam nano partikel yang memiliki suhu sintering cukup rendah karena berukuran nano. Kedua, menggunakan larutan prekursor logam-organik yang dapat berubah menjadi logam pada suhu rendah [19]. Ketiga, menggunakan larutan senyawa logam seperti perak nitrat yang dapat berubah menjadi perak pada suhu tinggi (> 400 °C). Tinta yang berbasis perak sering digunakan dan diaplikasikan karena memiliki resistivitas yang rendah. Penerapan perak nanopartikel membutuhkan agen pelindung atau penstabil, sehingga dekomposisi agen pelindung saat dipanaskan dapat mempengaruhi konduktivitasnya [10]. Metode dekomposisi logam organik tidak sesuai jika digunakan pada substrat PCB. Hal ini disebabkan logam organik tidak menempel dengan sempurna dan membutuhkan preparasi yang rumit. [20].

Jung-Tang Wu dkk telah mengembangkan tinta konduktif dengan prekursor perak nitrat dan etilen glikol untuk pembuatan pola konduktif. Larutan perak nitrat dicetak menggunakan metode *inkjet printing* pada substrat polimer. Kemudian, etilen glikol dipanaskan secara terpisah pada satu sistem tertutup, sehingga uapnya dapat mereduksi perak nitrat menjadi logam perak [20]. Akan tetapi, penelitian tersebut menggunakan *inkjet printing* yang memiliki kelemahan penyumbatan pada nozel. Selain itu, studi tersebut juga memakai sistem tertutup yang sedikit rumit.

Penelitian ini dilakukan pembuatan tinta konduktif dalam bentuk larutan dengan perak nitrat sebagai prekursor dan etilen glikol sebagai agen pereduksi.

Tinta yang telah dibuat, dicetak menggunakan pena pada substrat PCB secara *direct writing*. Pengukuran nilai resistensi pola yang dihasilkan, dilakukan menggunakan multimeter. Pengaruh penambahan etilen glikol, suhu dan waktu pemanasan terhadap nilai resistensi juga diteliti. Penelitian terdahulu belum ada yang menggabungkan etilen glikol dengan perak nitrat secara langsung dan penerapannya pada substrat PCB menggunakan metode *direct writing*.

II. MATERIAL DAN METODE

A. Material

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah perak nitrat dan etilen glikol 99,5%. Perak nitrat yang digunakan adalah hasil sintesis dari reaksi perak dengan asam nitrat. Sedangkan, etilen glikol 99,5% diperoleh dari Laboratorium Fundamental, Jurusan Kimia, FMIPA, ITS

B. Pembuatan Larutan Etilen Glikol

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

C. Pembuatan Pola dengan Variasi Konsentrasi Etilen Glikol

Sebanyak 0,5 gram perak nitrat dilarutkan dalam 2 mL aqua DM. Selanjutnya, diaduk menggunakan *magnetic stirer* dalam penangas es pada suhu 10 °C selama 15 menit. Etilen glikol ditambahkan sebanyak 1 mL ke dalam campuran. Campuran diaduk menggunakan *magnetic stirer* dalam penangas es pada suhu 10 °C selama 15 menit. Larutan tinta telah siap untuk diterapkan pada substrat PCB. Pembuatan larutan tinta tersebut diulangi dengan variasi konsentrasi etilen glikol (0-40%).

Larutan tinta yang telah dibuat kemudian dimasukkan dalam pena yang telah dimodifikasi. Selanjutnya, dibuat pola garis lurus sepanjang 5 cm sebanyak 5 garis pada substart PCB. Pola konduktif dipanaskan pada suhu 200°C selama 30 menit. Setelah selesai, resistensi pola konduktif diukur menggunakan multimeter dengan jarak pengukuran 2 cm.

D. Pembuatan Pola Konduktif dengan Variasi Suhu Pemanasan

Larutan tinta dibuat dengan cara yang sama dengan subbab II.C. Namun, pada pembuatan pola konduktif dengan variasi suhu pemanasan, digunakan penambahan etilen glikol dengan konsentrasi 20%. Larutan tinta yang telah dibuat, dimasukkan ke dalam pena yang telah dimodifikasi dan dibuat pola garis lurus sepanjang 5 cm sebanyak 5 garis pada substart

PCB. Pola yang telah cetak dipanaskan dengan variasi suhu 170 °C, 185 °C, 200 °C, 215 °C, 230 °C selama 30 menit. Pola konduktif yang dihasilkan, diukur resistensinya menggunakan multimeter dengan jarak pengukuran 2 cm.

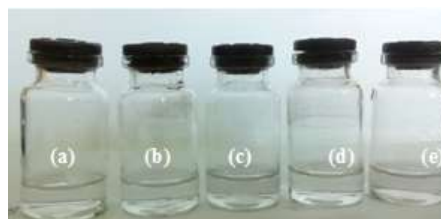
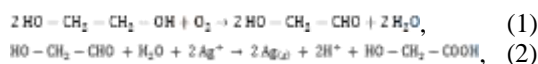
E. Pembuatan pola konduktif dengan variasi waktu pemanasan

Larutan tinta dipersiapkan sesuai dengan metode yang telah dijelaskan pada subbab II.D. Hasil cetak tinta pada substrat PCB dipanaskan pada suhu 230 °C dengan variasi waktu 15, 30, 45, 60 dan 75 menit. Setelah selesai, resistensi pola konduktif diukur menggunakan multimeter dengan jarak pengukuran 2 cm.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengaruh Konsentrasi Etilen Glikol terhadap Nilai Resistensi Pola Konduktif

Perak nitrat dipilih sebagai prekursor karena merupakan garam logam yang memiliki presentase perak cukup besar yaitu 63,5% dan pengolahannya untuk menjadi tinta konduktif tergolong mudah. Sedangkan, penggunaan etilen glikol sebagai agen pereduksi disebabkan bahan ini mampu mereduksi berbagai ion logam pada suhu tertentu. Etilen glikol dapat berubah menjadi glikol aldehid pada suhu > 140 °C. Glikol aldehid yang terbentuk dapat mereduksi perak nitrat menjadi logam perak sesuai dengan reaksi (1) dan (2) [21]. Tinta konduktif yang dihasilkan berwarna bening seperti pada Gambar 1.



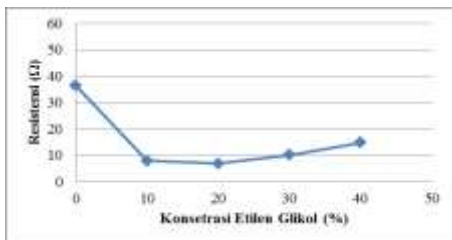
Gambar 1. Tinta konduktif setelah penambahan etilen glikol (a) penambahan etilen glikol 0%, (b) penambahan etilen glikol 10%, (c) penambahan etilen glikol 20%, (d) penambahan etilen glikol 30% dan (e) penambahan etilen glikol 40%.

Pemanasan tinta konduktif dengan variasi konsentrasi etilen glikol dilakukan pada suhu 200 °C. Hal ini dikarenakan jika dipanaskan pada suhu < 200 °C, maka laju reduksi jauh lebih rendah daripada laju penguapan etilen glikol. Sehingga, perak nitrat tidak tereduksi secara menyeluruh. Sedangkan, pada suhu 200°C, laju reduksi meningkat dengan meningkatnya suhu. Proses reduksi selesai sebelum seluruh etilen glikol menguap [22]. Hasil pengukuran resistensi pada pola konduktif disajikan pada Tabel I. Berdasarkan Tabel I, pengukuran resistensi pada pola cetak konduktif menunjukkan

resistensi terkecil diperoleh pada penambahan etilen glikol 20% dengan resistensi rata-rata sebesar 6,901 Ω . Pola konduktif dengan penambahan etilen glikol 10% memiliki resistensi yang cukup tinggi (Tabel I). Nilai yang tinggi tersebut terjadi karena jumlah etilen glikol tidak cukup banyak untuk mereduksi perak nitrat secara keseluruhan. Pengaruh konsentrasi etilen glikol pada nilai resistensi pola konduktif dapat dilihat pada Gambar 2.

TABEL I
HASIL PENGUKURAN RESISTENSI VARIASI VOLUME ETILEN GLIKOL
DALAM TINTA KONDUKTIF

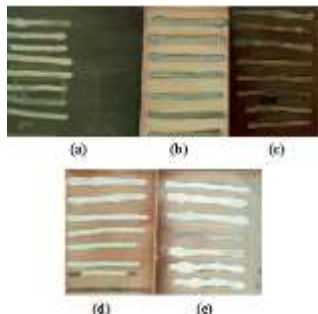
Konsentrasi etilen glikol (%)	R (Ω)					Rata-rata
	R1	R2	R3	R4	R5	
0	6,513	15,367	38,177	47,504	74,410	36,394
10	9,082	6,437	9,737	6,351	7,984	7,918
20	5,500	7,112	5,802	6,219	9,871	6,901
30	8,777	12,791	11,145	8,443	9,110	10,053
40	13,636	13,364	11,075	17,858	18,323	14,851



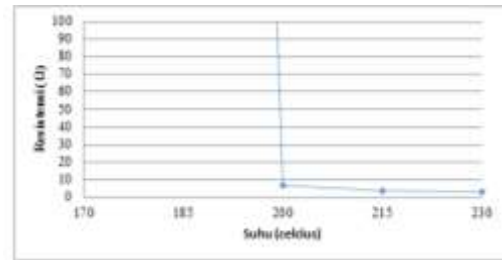
Gambar 2. Grafik Pengaruh Konsentrasi Etilen Glikol pada Suhu Pemanasan 200 °C Selama 30 Menit terhadap Nilai R.

B. Pengaruh Suhu Pemanasan terhadap Nilai Resistensi Pola Konduktif

Variasi suhu pemanasan dilakukan untuk mengetahui suhu efektif dalam proses reduksi perak nitrat oleh etilen glikol. Hasil pola cetak terlihat seperti pada Gambar 3. Hasil pengukuran resistensi pada pola konduktif disajikan pada Tabel II. Nilai resistensi rata-rata terkecil (3,5202 Ω) diperoleh pada pola konduktif yang dipanaskan pada suhu 230 °C (Tabel II). Gambar 4 menunjukkan pengaruh suhu pemanasan terhadap nilai resistensi pola konduktif.



Gambar 3. Pola konduktif setelah pemanasan pada (a) suhu 170°C, (b) 185°C, (c) 200°C, (d) 215°C dan (e) 230°C.



Gambar 4. Grafik Pengaruh suhu pemanasan selama 30 menit terhadap Nilai R.

Proses pemanasan pada suhu 170 °C dan 185 °C memiliki resistensi yang sangat tinggi (Gambar 4). Sedangkan, pemanasan pada suhu 200 °C, 215 °C dan 230 °C memiliki resistensi yang rendah dan semakin menurun dengan meningkatnya suhu. Rendahnya nilai resistensi tersebut dikarenakan titik leleh perak nitrat adalah pada suhu 212 °C, sehingga proses reduksi dapat berjalan efektif dengan meningkatnya suhu pemanasan [20]. Hal ini didukung hasil foto pola cetak pada Gambar 3, dimana pola konduktif semakin terlihat mengkilap dengan meningkatnya suhu (rentang suhu 170-230 °C). Mengkilapnya pola konduktif mengindikasikan bahwa perak nitrat yang tereduksi semakin banyak atau proses reduksi perak nitrat oleh etilen glikol lebih sempurna. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu pemanasan maka nilai resistensi yang diperoleh semakin rendah. Resistensi rata-rata pada suhu 215 °C dan 230 °C memiliki selisih yang kecil sehingga suhu pemanasan dapat dilakukan pada suhu 215 °C atau 230 °C. Suhu pemanasan > 230 °C tidak disarankan, karena dapat merusak substrat PCB.

C. Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Nilai Resistensi Pola Konduktif

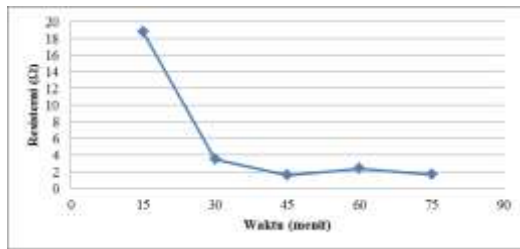
Studi variasi waktu pemanasan dilakukan untuk mengetahui waktu terbaik yang dibutuhkan pada proses reduksi perak nitrat. Hasil pengukuran resistensi pada pola konduktif disajikan pada Tabel III. Nilai resistensi rata-rata terkecil diperoleh pada waktu pemanasan selama 45 menit (Tabel III).

TABEL III
HASIL PENGUKURAN RESISTENSI PADA VARIASI WAKTU PEMANASAN

Waktu (menit)	R (Ω)					Rata-rata
	R1	R2	R3	R4	R5	
15	20,110	25,441	18,405	17,401	12,731	18,818
30	2,501	2,853	3,623	4,298	4,326	3,520
45	1,220	2,201	1,614	1,473	1,441	1,590
60	3,598	2,616	1,765	1,998	2,117	2,419
75	1,597	1,173	1,671	2,121	1,820	1,676

TABEL II
HASIL PENGUKURAN RESISTENSI PADA VARIASI SUHU PEMANASAN

Suhu (°C)	R (Ω)					Rata-rata
	R1	R2	R3	R4	R5	
170	543289,274	364789,283	273549,345	367194,867	152637,897	340292,133
185	1250,301	1371,896	2134,632	1673,923	1463,478	1579,246
200	5,500	7,112	5,802	6,219	9,871	6,901
215	3,343	4,443	3,559	4,465	4,703	4,103
230	2,501	2,853	3,623	4,298	4,326	3,520



Gambar 5. Grafik Pengaruh waktu pemanasan pada suhu 230 °C terhadap nilai R.

Pengaruh waktu pemanasan dapat dilihat pada Gambar 5. Waktu pemanasan selama 15 menit memiliki resistensi yang cukup tinggi. Waktu pemanasan selama 30 menit memiliki resistensi yang cukup rendah, sedangkan pada waktu pemanasan selama 45, 60 dan 75 menit memiliki nilai resistensi yang rendah dan sudah stabil. Berdasarkan Gambar 5, maka dapat disimpulkan bahwa waktu terbaik yang dibutuhkan untuk mereduksi perak nitrat adalah minimal selama 45 menit.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa tinta konduktif dapat dibuat dari perak nitrat dan etilen glikol, dimana penerapan pada substrat padat dapat dilakukan dengan metode yang lebih sederhana dan mudah yaitu *direct writing*. Pola konduktif pada penambahan etilen glikol 20% sebanyak 1 ml memiliki resistensi rata-rata paling rendah bila dibandingkan dengan penambahan etilen glikol dengan konsentrasi 0%, 10%, 30% dan 40%, yaitu sebesar 6,901 Ω. Pola konduktif pada penambahan etilen glikol 20% sebanyak 1 mL dengan pemanasan pada suhu 230 °C selama 30 menit memiliki resistensi rata-rata paling rendah bila dibandingkan dengan suhu pemanasan 170 °C, 185 °C, 200 °C dan 215 °C, yaitu sebesar 3,5202 Ω. Pola konduktif pada penambahan etilen glikol 20% sebanyak 1 mL dengan pemanasan selama 45 menit pada suhu 230 °C memiliki resistensi rata-rata paling rendah bila dibandingkan dengan penambahan etilen glikol dengan waktu pemanasan 15, 30, 60 dan 75 menit, yaitu sebesar 1,5898 Ω.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Kimia, FMIPA, ITS.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Torrisi *et al.*, "Inkjet-Printed Graphene Electronics," *ACS Nano*, vol. 6, no. 4, pp. 2992–3006, Apr. 2012.
- [2] S.-K. Lee *et al.*, "Stretchable Graphene Transistors with Printed Dielectrics and Gate Electrodes," *Nano Lett.*, vol. 11, no. 11, pp. 4642–4646, Nov. 2011.
- [3] R. W. Crisp *et al.*, "Nanocrystal Grain Growth and Device Architectures for High-Efficiency CdTe Ink-Based Photovoltaics," *ACS Nano*, vol. 8, no. 9, pp. 9063–9072, Sep. 2014.
- [4] S. Hong *et al.*, "Nonvacuum, Maskless Fabrication of a Flexible Metal Grid Transparent Conductor by Low-Temperature Selective Laser Sintering of Nanoparticle Ink," *ACS Nano*, vol. 7, no. 6, pp. 5024–5031, Jun. 2013.
- [5] S. M. Bidoki, D. M. Lewis, M. Clark, A. Vakorov, P. A. Millner, and D. McGorman, "Ink-jet fabrication of electronic components," *J. Micromechanics Microengineering*, vol. 17, no. 5, pp. 967–974, May 2007.
- [6] M. Ghaedi *et al.*, "Preparation of Iodide Selective Carbon Paste Electrode with Modified Carbon Nanotubes by Potentiometric Method and Effect of CuS-NPs on Its Response," *Electroanalysis*, vol. 27, no. 6, pp. 1516–1522, Jun. 2015.
- [7] R. N. Goyal, V. K. Gupta, M. Oyama, and N. Bachheti, "Voltammetric determination of adenosine and guanosine using fullerene-C60-modified glassy carbon electrode," *Talanta*, vol. 71, no. 3, pp. 1110–1117, Feb. 2007.
- [8] X. Rui *et al.*, "Facile preparation of hydrated vanadium pentoxide nanobelts based bulky paper as flexible binder-free cathodes for high-performance lithium ion batteries," *RSC Adv.*, vol. 1, no. 1, p. 117, 2011.
- [9] F. C. Krebs *et al.*, "A complete process for production of flexible large area polymer solar cells entirely using screen printing—First public demonstration," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 93, no. 4, pp. 422–441, Apr. 2009.
- [10] A. Ghosale, R. Shankar, V. Ganesan, and K. Shrivasa, "Direct-Writing of Paper Based Conductive Track using Silver Nano-ink for Electroanalytical Application," *Electrochimica Acta*, vol. 209, pp. 511–520, Aug. 2016.
- [11] C. Lee, B. J. Kang, and J. H. Oh, "High-resolution conductive patterns fabricated by inkjet printing and spin coating on wettability-controlled surfaces," *Thin Solid Films*, vol. 616, pp. 238–246, Oct. 2016.
- [12] J. Kim, P. Lin, and W. S. Kim, "Mechanically robust super-oleophobic stamp for direct stamping of silver nanoparticle ink," *Thin Solid Films*, vol. 520, no. 13, pp. 4339–4343, Apr. 2012.
- [13] M. Mickan, U. Helmersson, H. Rinnert, J. Ghanbaja, D. Muller, and D. Horwat, "Room temperature deposition of homogeneous, highly transparent and conductive Al-doped ZnO films by reactive high power impulse magnetron sputtering," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 157, pp. 742–749, Dec. 2016.
- [14] A. Russo, B. Y. Ahn, J. J. Adams, E. B. Duoss, J. T. Bernhard, and J. A. Lewis, "Pen-on-Paper Flexible Electronics," *Adv. Mater.*, vol. 23, no. 30, pp. 3426–3430, Aug. 2011.
- [15] 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.

- [16] W. Zhang, E. Bi, M. Li, and L. Gao, "Synthesis of Ag/RGO composite as effective conductive ink filler for flexible inkjet printing electronics," *Colloids Surf. Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 490, pp. 232–240, Feb. 2016.
- [17] M. Singh, H. M. Haverinen, P. Dhagat, and G. E. Jabbour, "Inkjet printing-Process and Its Applications," *Adv. Mater.*, vol. 22, no. 6, pp. 673–685, Feb. 2010.
- [18] R. Shankar, L. Groven, A. Amert, K. W. Whites, and J. J. Kellar, "Non-aqueous synthesis of silver nanoparticles using tin acetate as a reducing agent for the conductive ink formulation in printed electronics," *J. Mater. Chem.*, vol. 21, no. 29, p. 10871, 2011.
- [19] 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.
- [20] J.-T. Wu, S. L.-C. Hsu, M.-H. Tsai, and W.-S. Hwang, "Conductive silver patterns via ethylene glycol vapor reduction of ink-jet printed silver nitrate tracks on a polyimide substrate," *Thin Solid Films*, vol. 517, no. 20, pp. 5913–5917, Aug. 2009.
- [21] Sara E. Skrabalak, Benjamin J. Willey, Munho Kim, Eric V. Formo, and Younan Xia, "On the Polyol Synthesis of Silver Nanostructure: Glycolaldehyde as a Reducing Agent," vol. 8, 2008.
- [22] 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.