

MODIFIKASI SPCE (*SCREEN PRINTED CARBON ELECTRODE*) DENGAN PEDOT-PSS (*POLY (3,4-ETHYLENEDIOXYTHIOPHENE)*)– *POLY (STYRENE SULFONIC ACID)*) UNTUK PENENTUAN FENOL

Farahdilla Andhika Y.F¹, Ani Mulyasuryani², dan Patsamon Rijiravanich³

¹Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya

²Sensor Technology Laboratory, King Mongkut University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand

³Sensor Technology Laboratory, King Mongkut University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand
farah.dilla@gmail.com

ABSTRAK

Pada penelitian ini, modifikasi *Screen Printed Carbon Electrode* (SPCE) secara fisik dilakukan dengan menggunakan *poly (3,4-ethylenedioxythiophene)*–*poly (styrene sulfonic acid)* (PEDOT-PSS) untuk meningkatkan sensitivitas penentuan fenol secara voltametri. Pengukuran fenol dilakukan dengan metode *differential pulse voltammetry* (DPV) pada kisaran potensial -0,5-1 Volt, durasi 180 detik, potensial deposisi -0,5 Volt, dan kecepatan penyapuan 100 mV/s pada pH 6-9, rentang konsentrasi fenol 0-100 µM, serta konsentrasi PEDOT-PSS sebesar 0-100%. Berdasarkan hasil penelitian, peningkatan konsentrasi PEDOT-PSS berpengaruh terhadap respon arus. Kondisi optimum dicapai pada pH 8 dengan konsentrasi PEDOT-PSS 50%, sensitivitas sebesar 0.009 µA/µM dengan batas deteksi 0.1595 µM.

Kata kunci: Fenol, PEDOT-PSS, SPCE (*Screen Printed Carbon Electrode*), Voltametri, Modifikasi Elektroda

PENDAHULUAN

Fenol merupakan salah satu limbah organik yang dihasilkan dari aktifitas industri. Senyawa ini dapat dikatakan aman bagi lingkungan jika konsentrasinya berkisar antara 0,5 – 1,0 mg/l sesuai dengan KEP No. 51/MENLH/ 10/1995 dan ambang batas fenol dalam air baku air minum adalah 0,002 mg/l seperti dinyatakan oleh BAPEDAL. Fenol dapat berbahaya bagi manusia dan lingkungan jika melebihi ambang batas. Metode standar yang digunakan untuk penentuan fenol adalah metode spektrofotometri (UV-VIS). Metode ini dapat mendeteksi fenol dalam konsentrasi yang cukup rendah. Akan tetapi, metode spektrofotometri ini memiliki kelemahan jika analit yang berada pada sampel air mengandung banyak ion pengganggu. Sehingga pada penelitian ini dikembangkan metode voltametri sebagai metode alternatif untuk analisis fenol.

Voltametri merupakan salah satu teknik elektroanalitis dengan prinsip dasar elektrolisis. Dalam teknik voltametri, potensial yang diberikan dapat diatur sesuai keperluan. Potensial elektroda kerja diubah selama pengukuran, dan arus yang dihasilkan dialurkan terhadap potensial yang diberikan pada elektroda kerja. Arus yang diukur pada analisis voltametri terjadi akibat adanya reaksi redoks pada permukaan elektroda. Kelebihan dari metode voltametri adalah sensitivitas yang tinggi, limit deteksi yang rendah dan memiliki daerah linier yang lebar.

Analisis fenol dengan metode voltametritelah banyak dilakukan dengan menggunakan elektroda kerja berupa *glassy carbon*. Namun, elektroda *glassy carbon* dapat berkurang sensitivitasnya apabila digunakan terus menerus. Alternatif lain yang dapat dilakukan adalah mengembangkan sensor kimia berupa *screen printed carbon electrode* (SPCE) (Dien, 2011; Swee *et al.*, 2010). Untuk meningkatkan sensitivitas dari SPCE, digunakan bahan berupa polimer konduktif yang dapat meningkatkan respon arus pada permukaan elektroda. Beberapa artikel ilmiah melaporkan bahwa modifikasi permukaan elektroda dengan polimer konduktif telah terbukti berpotensi dalam aplikasi analitis. Polimer konduktif adalah polimer organik yang dapat menghantarkan arus listrik.

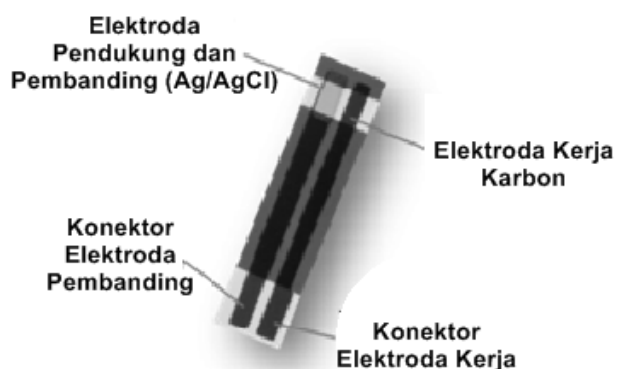
Pada penelitian ini digunakan polimer konduktif *poly (3,4-ethylenedioxythiophene)*–*poly (styrene sulfonic acid)* (PEDOT-PSS). Poli (3,4-ethylenedioxythiophene):poli (styrene sulfonate) (PEDOT-PSS), salah satu polimer konduktor, telah digunakan dalam beberapa aplikasi seperti pelapis antistatik serta sebagai tinta konduktif (Jonas, *et al.*, 2000; Kirchmeyer & Reuter, 2005). Secara khusus, PEDOT-PSS dan polimer konduktor lain telah diteliti sebagai sensor kimia dan biologi, karena memiliki

biokompatibilitas tinggi, sifat kimia dan fisika yang mudah disintesis, sensitifitas tinggi dan waktu respon pendek, dan fabrikasi suhu rendah pada substrat yang fleksibel (Mabeck & Malliaras, 2006; Bernards, *et al.*, 2008; Bai dan Shi, 2007; Wang, 2009). PEDOT-PSS diimmobilisasi pada permukaan elektroda secara adsorpsi fisik dengan metode *drop-dry*.

BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah bahan-bahan dengan derajat pro-analisis (pa), yaitu Buffer Fosfat pH 8 dibuat dari Dinatrium Hidrogen Fosfat ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Natrium Dihidrogen Fosfat ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) dan fenol didapat dari Merck KgaA Darmstadt, Jerman. Larutan induk yang dibuat dipreparasi menggunakan air ultrapure Milli-Q dari KIA, Jerman (tahanan listrik > 18.2 m Ω). Larutan Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) - Poly (Styrene Sulfonic Acid) (PEDOT-PSS) komersil (clevios P jet N dari HC Starck, USA).

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah SPCE (sistem 2 elektroda, elektroda karbon sebagai elektroda kerja dan elektroda pasta Ag/AgCl sebagai elektroda pembanding) SPCE yang digunakan seperti pada gambar 4.1.



Gambar 1. Screen Printed Carbon Electrode (SPCE) sistem 3 elektroda

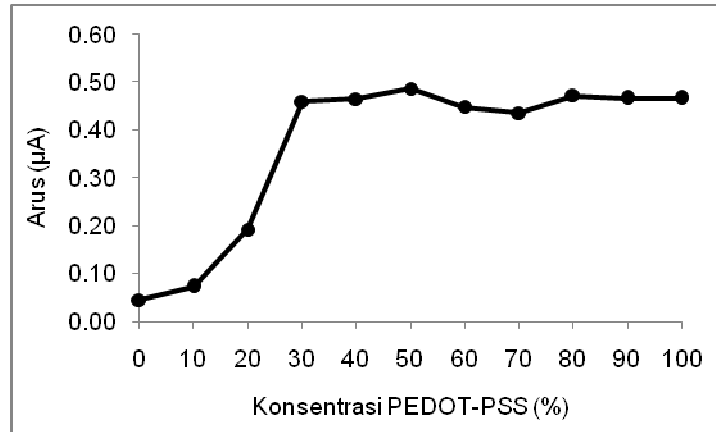
Alat yang lain adalah neraca analitik (*Ohaus Pioneer*), oven (*Memmert*), mikropipet (*Eppendorf*), pH meter, alat gelas, pengaduk magnetik, *microtube* dan *microwall glass*. Sedangkan pengukuran secara elektrokimia dilakukan dengan menggunakan *Autolab PGSTAT 12 computer controlled potensiotat* (*EcoChemie, Netherlands*) dengan software GPES versi 4.9 menggunakan sistem tiga elektroda.

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap antara lain: preparasi larutan induk fenol, optimasi pH larutan elektrolit buffer fosfat, modifikasi SPCE dengan PEDOT-PSS, optimasi konsentrasi PEDOT-PSS dan tahap terakhir adalah pengujian sensor fenol dengan menggunakan larutan fenol dalam berbagai konsentrasi. Optimasi pH buffer fosfat dilakukan pada rentang pH 7-9, sedangkan konsentrasi PEDOT-PSS yang diimmobilisasi pada permukaan SPCE sebesar 10-90%. Modifikasi SPCE dilakukan dengan metode *drop-dry* dimana PEDOT-PSS diimmobilisasi pada permukaan karbon dari SPCE yang sudah diaktifasi dan dibersihkan dengan etanol. SPCE dibiarkan kering pada temperatur ruang sebelum dikeringkan dengan oven pada temperatur 60°C selama kurang lebih 2 jam untuk membentuk suatu lapisan tunggal pada permukaan elektroda. SPCE yang sudah dimodifikasi disimpan pada wadah tertutup yang dilengkapi dengan *silica gel* untuk menghindari kelembaban berlebih. Pengukuran fenol dilakukan dengan menggunakan metode *differential pulse voltammetry* (DPV) pada kisaran potensial -0.5 V sampai 1 V, waktu deposisi 180 detik, potensial deposisi -0.5 Volt, dan scan rate 100 mV/s. Pengukuran dilakukan masing-masing sebanyak 3 kali pada kondisi optimum.

Analisa data dilakukan dengan membuat kurva hubungan antara konsentrasi fenol (x) terhadap arus (y). Dari kurva ini dapat ditentukan sensitifitas dan rentang konsentrasi linear dan batas deteksi. Sensitifitas didapatkan dari kurva linear yang memiliki persamaan regresi $y = ax + b$. Sensitifitas sensor fenol ditunjukkan pada slope atau kemiringan garis (a). Rentang konsentrasi linear ditentukan dari daerah linear respon arus terhadap perubahan konsentrasi fenol. Sedangkan batas deteksi ditentukan dengan menggunakan rentang konsentrasi linear yaitu tiga kali standar deviasi dibagi dengan slope persamaan garis linear yang diperoleh. Standar deviasi yang digunakan adalah standar deviasi dari data yang memberikan respon arus linear.

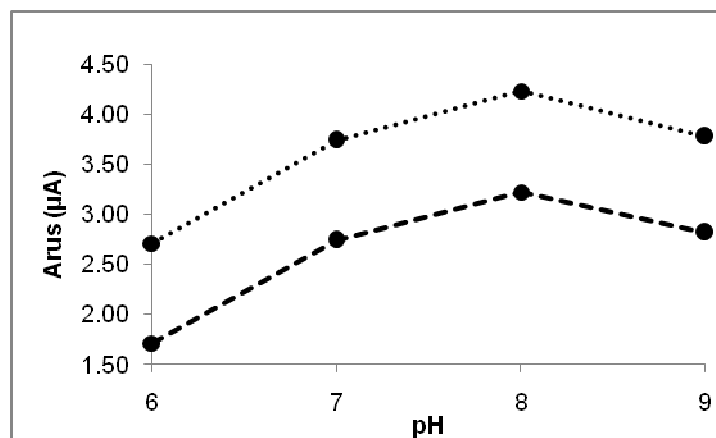
HASIL DAN PEMBAHASAN

Variasi konsentrasi PEDOT-PSS dilakukan untuk mengetahui respon arus terhadap peningkatan konsentrasi PEDOT-PSS. Kondisi optimum didapatkan dari nilai arus tertinggi dari variasi konsentrasi PEDOT-PSS pada SPCE. Respon arus pada variasi konsentrasi PEDOT-PSS ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Kurva Konsentrasi PEDOT-PSS Terhadap Respon Arus

Gambar 2 menunjukkan bahwa, peningkatan persen konsentrasi PEDOT-PSS berpengaruh pada respon arus. Konsentrasi PEDOT-PSS yang terlalu sedikit dapat berpengaruh pada rendahnya respon arus yang dihasilkan. Terjadi peningkatan pada respon arus pada konsentrasi PEDOT-PSS 10% hingga 50% dan cenderung stabil pada komposisi di atas 50%. Kondisi optimum didapatkan pada konsentrasi PEDOT-PSS sebesar 50%. Optimasi pH buffer fosfat dilakukan dengan cara mengukur respon arus pada rentang pH dari 6 hingga 9 untuk mengetahui arus puncak oksidasi yang paling tinggi. Untuk mengetahui respon arus tertinggi dilakukan dengan cara interplotasi hubungan antara pH terhadap arus (mikroAmpere) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

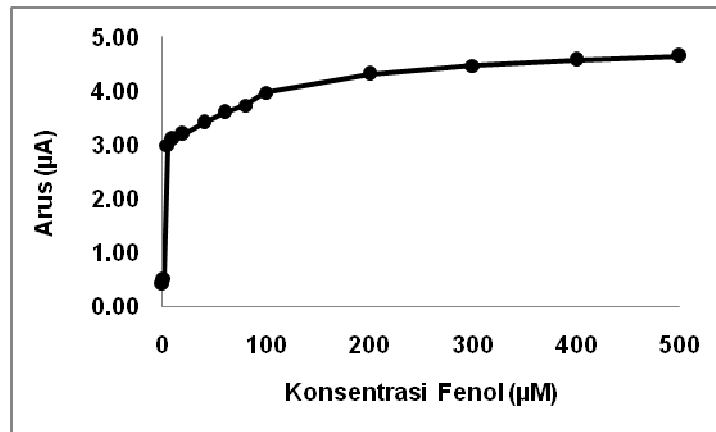


Gambar 3. Pengaruh pH Terhadap Arus

Keterangan: SPCE dengan modifikasi PEDOT-PSS
 - - - SPCE tanpa modifikasi PEDOT-PSS

Berdasarkan kurva di atas, didapatkan nilai pH optimum untuk *buffer* fosfat sebesar 8. Arus puncak oksidasi meningkat seiring peningkatan pH, akan tetapi kembali menurun pada pH 9. Hal ini didapatkan karena fenol akan lebih stabil jika disimpan dalam kondisi basa, akan tetapi jika terlalu basa, fenol lebih mudah mengalami reduksi. Sehingga ketika dilakukan pengukuran, terjadi penurunan arus puncak oksidasi karena fenol sudah mulai mengalami reduksi pada pH 9.

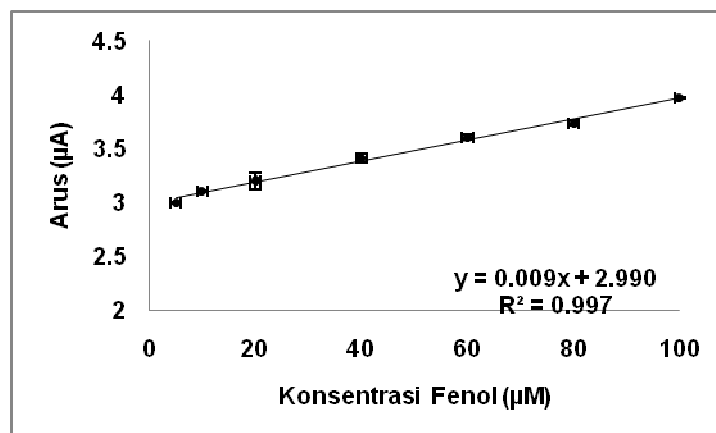
Pengukuran fenol pada kondisi optimum dilakukan pada konsentrasi fenol sebesar 0, 1, 5, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 200, 300, 400 dan 500 µM. Profil konsentrasi fenol terhadap respon arus ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva Konsentrasi Fenol Terhadap Respon Arus

Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi fenol yang terdapat dalam larutan, semakin besar pula arus yang dihasilkan. Pada konsentrasi fenol di atas 100 µM, respon arus tidak menunjukkan peningkatan secara signifikan dan cenderung stabil hingga konsentrasi fenol 600 µM hal ini bisa terjadi karena permukaan elektroda sudah terlampaui jenuh karena seluruh fenol yang ada di permukaan SPCE telah membentuk radikal fenolat yang memiliki struktur resonansi stabil sehingga menghalangi pertukaran elektron pada elektroda sehingga arus tidak lagi meningkat.

Penentuan batas deteksi pada SPCE yang sudah dimodifikasi dengan PEDOT-PSS dilakukan dengan mengukur konsentrasi fenol yang memberikan respon arus yang linear. Batas deteksi ditentukan untuk mengetahui berapa konsentrasi terendah yang masih dapat dideteksi oleh SPCE termodifikasi PEDOT-PSS. Batas deteksi didapatkan dengan menggunakan rentang konsentrasi linear seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Kurva Konsentrasi Fenol Terhadap Respon Arus Linear

Gambar 5 menunjukkan kurva linear fenol yang didapat dari rentang konsentrasi linear fenol dengan respon arus. Persamaan regresi linier yang diperoleh adalah $y = 0,09x + 2,990$ dengan harga koefisien korelasi (R^2) = 0,997 pada rentang konsentrasi 0-100 µM. Batas deteksi adalah konsentrasi terkecil fenol yang dapat dideteksi dengan kepastian 95%. Dari perhitungan didapat nilai batas deteksi sebesar 0,1595 µM. Konsentrasi fenol yang dapat dideteksi oleh sensor ini berada di bawah ambang batas yang ditentukan oleh Menteri Negara Lingkungan Hidup dengan Surat keputusannya No. 42/MENLH/10/1996 tanggal 29 Oktober 1996, tentang batasan baku mutu limbah cair dari kegiatan eksplorasi dan produksi migas untuk kandungan fenol sebesar 2,0 mg/L atau 21,25 µM. Dengan demikian sensor fenol yang dihasilkan dapat digunakan untuk deteksi fenol pada konsentrasi sangat kecil.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa untuk meningkatkan sensitifitas dari elektroda dapat dilakukan modifikasi SPCE dengan PEDOT-PSS menggunakan teknik *drop-dry*. Kondisi optimum diperoleh pada pH buffer fosfat sebesar 8 dan pada konsentrasi PEDOT-PSS sebesar 50% (v/v). Hasil yang diperoleh didapatkan linearitas sebesar 0,997 pada rentang konsentrasi fenol 0-100 μM dan batas deteksi sebesar 0,1595 μM dan sensitifitas sebesar 0.009 $\mu\text{A}/\mu\text{M}$. Sensor fenol yang dihasilkan dapat digunakan untuk deteksi fenol dalam konsentrasi di bawah ambang batas.

Saran

Penelitian ini hanya digunakan untuk senyawa fenol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$), belum dipelajari tentang pengaruh turunan senyawa fenol lain terhadap pengukuran, sehingga pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan uji selektifitas untuk turunan senyawa fenol lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Assoc. Prof. Werasak Surareungchai, Assoc. Prof. Patsamon Rijiravanich, yang telah menyediakan dana, tempat, alat dan bahan selama penelitian berlangsung di Sensor Technology Laboratorium, King Mongkut University of Technology Thonburi Bangkok. Serta penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Dr. Ani Mulyasuryani selaku Dosen Pembimbing Utama, Dr. Barlah Rumhayati selaku Dosen Pembimbing Kedua. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat untuk masyarakat pada umumnya dan pengembangan ilmu Elektrokimia pada khususnya.

REFERENSI

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2012. *Toxicology Profiles*. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/phs115.html>, Accessed 17 October 2012.
- Arya Sunil K Datta, Monika and Malhotra, Bansi D. 2007. *Recent Advances in Cholesterol Biosensor*. pp.1083-1100.
- Baker, EL., Landrigan, PJ., Bertozzi PE, Field PH, Basteys BJ, & Skinner HG. 1978. *Phenol Poisoning due to Contaminated Drinking Water*. Arch. Environ. Health 33:89-94.
- Bard, A.J. & Faulkner, L.R. 2001. *Electrochemical Methods: Fundamental and Applications* (2nd edition). John Wiley: New York.
- Brain, R. E. 2002. Chemical sensors and biosensors John Willey and sons, Ltd., 2nd edition pp 52.
- Bre´das, J.L., Chance, R.R. & Silbey, R. 1982. *Comparative Theoretical Study Of The Doping Of Conjugated Polymers: Polarons in Polyacetylene and Polyparaphenylene*. Phys. Rev. B 26, 5843–5854.
- Bruce RM, Santodonato J, and Neal MW. 1987. *Summary Review of the Health Effects Associated with Phenol*. Toxicol. Ind. Health 3:535-568.
- Canada, M.J.A., Reguera, M.I.P., Medina, A.R., Cordova, M.L.F. & Diaz, A.M.J. 2002. *Pharm. Biomed. Anal.* 22, 59.
- Clarke, T.C., Geiss, R.H., Kwak, J.F. & Street, G.B. 1978. Highly Conducting Transition Metal Derivatives of Polyacetylene. *Journal of Chemical Society Chemical Communication*, 338: 489-490.
- D. Bernards, R. Owens, G. Malliaras. 2008. *Organic Semiconductors in Sensor Application*, Springer Verlag.
- Deichmann WB, & Keplinger ML. 1962. Phenols and phenolic compounds. In: *Industrial Hygiene and Toxicology*, Patty FA (ed.) Vol II. Toxicology, 2nd ed., pp.1363-1408. New York: Interscience Publishers, Inc.
- Dobay, R.; Harsanyi, G.; Visy, C. 1999. Detection of uric acid with a new type of conducting polymerbased enzymatic sensor by bipotentiostatic technique. *Anal. Chim. Acta* 1999, 385, 187-194.
- Dosemeci M, Blair A, Stewart PA, Chandler J, and Trush MA. 1991. Mortality among industrial workers exposed to phenol. *Epidemiology* 2(3):188-193.
- Fang-Chi Hsu, Vladmir N. Prigodin and Arthur J. Epstein., *Phys.Rev.B* 2006, 235219.
- G.F. Jonas, D. Freitag, and H. Pielartzik. 2000. Poly (3,4-ethylenedioxythiophene) and Its Derivatives: Past, Present, and Future J. Reynolds, Adv. Mater., vol. 12, pp. 481-494.
- Gauglitz, G., Brecht, A., Kraus, G. & Nahm, W. *Chemical and biochemical sensors based on*

- interferometry at thin (multi-) layers*. Sensors and Actuators B 1993, 11, 21-27.
- Gosselin RE, Smith RP, Hodge HC, and Braddock JE. 1984. *Phenol in Clinical Toxicology of Commercial Products*. Baltimore: Williams and Wilkins. pp. III-345-346.
- Grieshaber D, Robert Mackenzie, Janos V and Erik R. 2008. *Electrochemical Biosensor-Sensor Principles and Architectures*. Sensors, 8, 1400-1458.
- Griffiths GJ. 1973. *Fatal Acute Poisoning by Intra-dermal Absorption of Phenol*. Med. Sci. Law 13:46-48.
- Guenbour, A., Kacemi, A., & Benbachir, A. 2000. *Corrosion Protection of Copper by Polyaminophenol Films*. Prog. Org. Coat. 39, 151-155.
- H. Bai & G. Shi. 2007. Gas Sensors Based on Conducting Polymers, Sensors, vol., 7, pp. 267-307.
- Hyo Joong Lee, Joowook Lee, and Su-Moon Park. 2010. Electrochemistry of Conductive Polymers. 45. Nanoscale Conductivity of PEDOT and PEDOT:PSS Composite Films Studied by Current-Sensing AFM. *Journal of Physical Chemistry B*, 114, 2660-2666.
- J.T. Mabeck, G.G. Malliaras. 2006. *Chemical and Biological Sensors Based on Organic Thin-Film Transistors*. Anal. Bioanal. Chem., vol. 384, pp. 343-353, 2006.
- Jordan W., et al. 1991. "Phenol," In: *Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry*. 5th ed. VCH Verlagsgesellschaft, A 19.:299-312.
- Kissinger, P.T., Heinemann, W.R. 1996. *Laboratory Techniques in Electro Analytical Chemistry*. Marcel Dekker, Inc., New York, 2nd edition. pp 254 - 255.
- Kounaves, S.P. 2008. *Hand Book of Instrumental Techniques for Analytical Chemistry*, John Willey and Sons, Inc., chapter 37, New York, pp 711.
- Lacourse, W.R. 1997. *Pulsed Electrochemical Detection in HPLC*. John Willey and Sons, Inc., New York. pp 47.
- Lund, H. & Hummerich, O. 2001. *Organic Electrochemistry (4th Edition)*. New York. Marcel Dekker, Inc.
- M. S. Ureta-Zanartu, P. Bustos, C. Berrios, M. C. Diez, M. L. Mora, and C. Gutierrez. 2002. *Electrooxidation of 2,4-Dichlorophenol and Other Polychlorinated Phenols at a Glassy Carbon Electrode*, Electrochim. Acta, 47, 2399-2002
- Merrit, L.L., Dean, Sttle. J.A., Willard, F. 1981. *Instrumental Methods of Analysis Litton Educational Publishing, Inc.*, 6th edition. New York. pp 712 - 713.
- Mohd HH, Elias S, Anuar K, Noorhana Y, Ekramul M. 2007. *Conjugated Conducting Polymers: A Brief Overview*. JASA. 2:63-68.
- Murray, R. W. 1984. *Chemically Modified Electrodes*. pp 13.
- Proti, P. 2001. *Introduction To Modern Voltammetric And Polarographic Analysis Techniques, Amel Electrochemistry (4th edition)*. New York. pp 75-77.
- Reinaldo F. Teófilo, Rudolf Kiralj, Helder J. Ceragioli, Alfredo C. Peterlevitz, Vitor Baranauskas, Lauro T. Kubota, & Márcia M. C. Ferreira. 2008. QSPR Study of Passivation by Phenolic Compounds at Platinum and Boron-Doped Diamond Electrodes. *Journal of The Electrochemical Society*, 155-10. D640-D650.
- Ross, S. D., Finkelstein, M. & Rudd, E.F. 1975. *Anodic Oxidation*. New York. Academic Press.
- S. Kirchmeyer, K. Reuter. 2005. *Scientific Importance Properties and Growing Applications of Poly (3,4-Ethylenedioxi-thiophene)*, J. Mater. Chem., vol. 15, pp. 2077-2088, February 2005.
- Sawyer, D.T., Heimeman, W.R. & Beebe, J.M. chemical experiments for instrumental methods, John Willey and sons. New York. 1984, pp 80 - 85.
- Scott RD, "Chrom-Ed Series; Analyte Categories: Phenols," <http://www.chromatographyonline.org/directory/analcat-50/page.html>. Accessed 13 October 2012.
- Truppmann ES, and Ellenby JD. Major electrocardiographic changes during chemical face peeling. *Plast. Reconstr. Surg.* 63:44-48. 1979.
- U.S. Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System (IRIS) on Phenol. National Center for Environmental Assessment, Office of Research and Development, Washington, DC. 1999.
- Wallace J. 1996. "Phenol," In: *Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology*. 4th ed., John Wiley and Sons, 18:592-602.
- Wang J. 1994. *Analytical Electrochemistry*. Las Cruces: VCH Publishers, inc.
- Wan-Yu Su, Shu-Hua Cheng. 2010. "Electrochemical Oxidation and Sensitive Determination of

- Acetaminophen in Pharmaceuticals at Poly (3,4-ethylenedioxythiophene)-Modified Screen-Printed Electrodes*" *Electroanalysis*, 22, 707.
- Warner MA, & Harper JV. *Cardiac Dysrhythmias Associated with Chemical Peeling with Phenol*. *Anesthesiology* 62:366-367. 1985.
- Wicaksono DHB. 2000. *Mengenal Biosensor dan Generasi Terbaru Biosensor*. Zemi on Air no 31, Tokyo 6-11 Mei 2000.
- Wzodzimierz Kutner., Joseph Wang., Maurice, L'her., Richard Buck, P. 1998. *Pure and App. Chem.* 70, 1301.
- Y. Wang. 2009. *Research progress on a novel conductive polymer-poly(3,4-ethylenedioxythiophene) (PEDOT)*, *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 152.
- Z. Ezerskis E Z. 2001. *Jusys, "Electropolymerization Of Chlorinated Phenols On A Pt Electrode In Alkalinesolution Part - I: A Cyclic Voltammetry Study"*. *J APPL ELEC*, 31(10), pp. 1117-1124.