

VALIDASI METODE OKSIDASI ELEKTROKIMIYANG TERMEDIASI – KONDUKTOMETRI UNTUK PENENTUAN KADAR FENOL

Validation of Mediated Electrochemical Oxidation-Conductometry Method to Determine Phenol

EUIS IFAH LATIFAH

Universitas Padjadjaran

email Korespondensi: latifah_euis@yahoo.com

Abstrak

Sel kinerja oksidasi elektrokimia yang termediasi (OET) dapat mendegradasi limbah cair organik yang beracun dan berbahaya khususnya fenol. Kelebihan-kelebihan OET yaitu dapat berlangsung pada suhu rendah, tekanan ambient, dapat diwujudkan pada skala besar serta dapat mentransformasikan suatu senyawa ke bentuk yang aman yang tidak menimbulkan dampak baru untuk lingkungan. OET mendegradasi senyawa fenol menghasilkan CO₂ dan H₂O. Dalam penelitian ini, OET digunakan sebagai alat degradasi dan analisis dengan konduktometer sebagai alat ukurnya. Validasi metode dilakukan dengan menentukan parameter analitik yang meliputi, kepekaan, batas deteksi, batas kuantisasi, ketepatan, kecermatan dan rentang linearitas. Waktu optimum untuk larutan fenol 0,085 mg/L adalah 105 menit dengan efisiensi rata-rata 29%. Konsentrasi larutan fenol yang digunakan untuk membuat kurva kalibrasi metode OET-Konduktometri adalah 0,017; 0,034; 0,051; 0,068, dan 0,85 mg/L. Untuk validasi metode, metode uji dibandingkan dengan metode standar yaitu metode Spektrofotometri UV-Vis. Dari perbandingan parameter analitik, terbukti bahwa komponen parameter analitik metode uji mendekati metode standar, seperti batas deteksi 0,004 mg/L dengan 0,003 mg/L, batas kuantisasi 0,013 mg/L dengan 0,11 mg/L, kecermatan 0,3% sampai dengan 1,3%, dan rentang linearitas dari batas deteksi sampai konsentrasi yang tertinggi. Untuk validasi metode dilakukan uji Least square fitting. Metode OET-Konduktometri tidak berbeda secara signifikan dengan metoda standar untuk konsentrasi sama dan diatas 0,034 mg/L

Kata kunci: OET, degradasi fenol, konduktometri, spektrofotometri UV-Vis. Uji Least Square Fitting.

Abstract

Mediated electrochemical oxidation (MEO) performance can degrade organic liquid wastes that are toxic and dangerous, especially phenol. It has many advantages compared to conventional destruction technologies, including biological treatment and adsorption with activated carbon, e.g it takes place at low temperature and ambient pressure. It also can be realized on a large scale and able to transform a compound into a safe form that does not cause new impact to the environment. MEO degrades phenolic compounds to produce CO₂ and H₂O. In this research, MEO is used as both tools of degradation as well as analysis by using conductometer as measurement. The method of validation was performed by determining analytical parameters that include, sensitivity, detection limit, quantitation limit, precision, accuracy and linearity range. The optimum time for the solution 0.017 mg/L is 5 minutes with an average efficiency of 29%. The concentration of phenol which is used to make MEO-Conductometry calibration curve are 0.017 mg/L; 0.034; 0.051; 0.068, and 0.085 mg/L. For method validation, test method was compared with UV-Visible Spectrophotometric method. The result of the comparison of analytical parameters, there are closeness to the standard method, such as the detection limit of 0.004 mg/L to 0.003 mg/L, limit of quantitation 0.013 mg/L to 0.011 mg/L, and the linearity range of detection limit up to the highest concentration. For method validation test conducted Least Square Fitting. The two methods are similar or not differ significantly with standard method for concentration above 0.034 mg/L.

Key word : MEO, degradation, phenol, conductometry, Spektrophotometry UV-Vis, Least Square fitting.

Pendahuluan

Oksidasi Elektrokimia yang Termediasi (OET) adalah suatu proses yang melibatkan mediator redoks, suatu generasi elektron yang bertindak sebagai generator elektron, yang dapat mengoksidasi senyawa organik terlarut. Daya oksidasi dari mediator dalam suatu medium cair dapat menghancurkan senyawa organik berbahaya dan beracun, baik alifatik maupun aromatik. Proses tersebut digunakan secara signifikan untuk limbah dan perlakuan air limbah yang akan mentransformasi ke bentuk gas CO₂ dan air serta produk kimia yang sederhana dan aman. Proses kinerja OET yaitu bila catu daya diaktifkan, elektron akan mengalir melalui kawat penghantar dan diteruskan ke elektroda yang selanjutnya akan terjadi suatu reaksi oksidasi/reduksi dari larutan elektrolit termasuk mediator, peristiwa ini umumnya dikatakan sebagai redoks elektron-generator. Mekanisme reaksi akibat redoks-generator menyebabkan terjadilah suatu mata rantai oksidasi oleh mediator yang berkesinambungan

terhadap substrat atau senyawa disekitar (Lubis, 2009).

Fenol merupakan senyawa karbon dengan rumus kimia C₆H₅OH, pada suhu kamar berupa kristal padat putih. Senyawa fenol mengandung 6 cincin aromatik yang mengikat gugus hidroksil (-OH), fenol bersifat racun, apnya menimbulkan korosif pada mata, kulit dan saluran pernafasan. Bila terjadi kontak dengan kulit akan menimbulkan dermatitis, lebih lanjut akan menyebabkan luka bakar, bahkan dapat menimbulkan kanker. Oleh karena itu dalam penanganannya harus hati-hati (IARC, 1989).

Senyawa fenolik merupakan polutan berbahaya dan termasuk limbah B3. Limbah B3 adalah limbah bahan beracun dan berbahaya bagi manusia, lingkungan dan kelangsungan hidup makhluk hidup baik langsung maupun tidak langsung (PP 74/2001). Penentuan fenol dalam limbah berdasarkan SNI adalah menggunakan metode spektrofotometri aminoantipirin.

OET merupakan teknologi elektrokimia yang ideal untuk memecahkan masalah lingkungan, kinerja alat ini aman, tidak menambah zat baru yang berbahaya, tidak menambah volume limbah, berlangsung pada suhu rendah dan dapat mendegradasi senyawa berbahaya menjadi komponen yang tidak berbahaya seperti karbondioksida dan air serta tidak menimbulkan limbah sekunder (Lubis, 2009). Berdasarkan sifat ini maka OET juga dapat digunakan sebagai alat pengukur penentuan kadar zat organik yaitu dengan mengukur CO₂ yang terbentuk. Penelitian Lubis (2009) dengan elektrode platina-platina dalam destruksi fenol 0,2 M, medium larutan asam sulfat 2 M dan mediator kobal sulfat 1M dengan kondisi arus 3A potensial 6volt dalam sistem OET menghasilkan efisiensi 99,3-100%.

Penelitian yang akan dilakukan mengaplikasikan OET untuk menganalisis zat organik khususnya fenol dengan cara degradasi dan penentuan kadar fenol dengan menggunakan kobalt (II) sulfat sebagai mediator dan medium asam sulfat dengan anode logam platina dan wolfram sebagai katode, sedangkan untuk mengukur hasil degradasi fenol berupa gas CO₂ yang terbentuk digunakan alat konduktometer setelah direaksikan dengan larutan Ba(OH)₂ sebagai absorber. Dengan demikian alat ini dapat digunakan untuk analisis dengan cara membuat persamaan linier antara perubahan konduktivitas Ba(OH)₂ dan konsentrasi fenol. Sebagai metode baru, berdasarkan SNI akan ditentukan parameter analitiknya dibandingkan dengan metode standar yaitu spektrofotometri aminoantipirin.

Metode

Bahan: Larutan fenol, larutan kobal sulfat, larutan asam sulfat pekat (98%), larutan barium hidroksida, larutan natrium tiosulfat, larutan pati, larutan asam klorida pekat, larutan kalium yodida, larutan kalium bromat, larutan kalium bromida, larutan amonium hidroksida, larutan heksasianoferat (III), larutan aminoantipirin.

Alat: Sel reaksi Oksidasi Elektrokimia yang Termediasi (OET), Voltmeter, amperemeter, catu daya arus searah, magnetik stirrer, tabung pengumpul 500 ml, stopwatch, konduktometer, spektrofotometer UV-Vis dan peralatan kimia lainnya.

Pengujian kinerja sel oksidasi elektrokimia yang termediasi

Pengujian kinerja OET dilakukan dengan memasukkan 50 ml larutan fenol 0,1 mg/L, 1 ml larutan kobal sulfat 2M, larutan asam sulfat pekat (98%) 1 ml, kedalam sel uji kinerja yang dihubungkan dengan selang ke larutan pengumpul barium hidroksida 0,01 M. Sebelum rangkaian diaktifkan, diukur daya hantar larutan barium hidroksida dengan konduktometer. Rangkaian diaktifkan, pada menit ke 15, 30, 45, 60, 75, 90 dan seterusnya ukur daya hantar larutan sampai didapat efisiensi maksimum dengan waktu optimum dengan pengulangan 6 kali pada beda potensial 6 volt, kuat arus 3A. Setelah didapat efisiensi maksimum waktu optimum, dilakukan pengukuran perubahan konduktivitas Ba(OH)₂ dari masing-masing konsentrasi

fenol 0,017; 0,034; 0,051; 0,068 mg/L dengan pengulangan 6 kali.

Efisiensi alat uji OET

Daya hantar Ba(OH)₂ sebelum proses adalah A μmhos/cm

Daya hantar Ba(OH)₂ setelah proses adalah B μmhos/cm

Nilai A > Nilai B

Konsentrasi CO₂ = perubahan konduktivitas Ba(OH)₂ berbanding lurus dengan konsentrasi fenol = (A - B) μmhos/cm

Efisiensi = $\frac{(A-B)}{A} \times 100\% = \dots$

Hubungan kadar fenol dengan perubahan konduktivitas Ba(OH)₂

Penentuan kadar fenol dengan perubahan konduktivitas Ba(OH)₂ dilakukan dengan beberapa konsentrasi fenol yaitu 0,017; 0,034; 0,051; 0,068, dan 0,85 mg/L dibuat kurva konsentrasi fenol terhadap perubahan konduktivitas Ba(OH)₂ menentukan persamaan regresi $y = bx + a$.

Membandingkan Metode

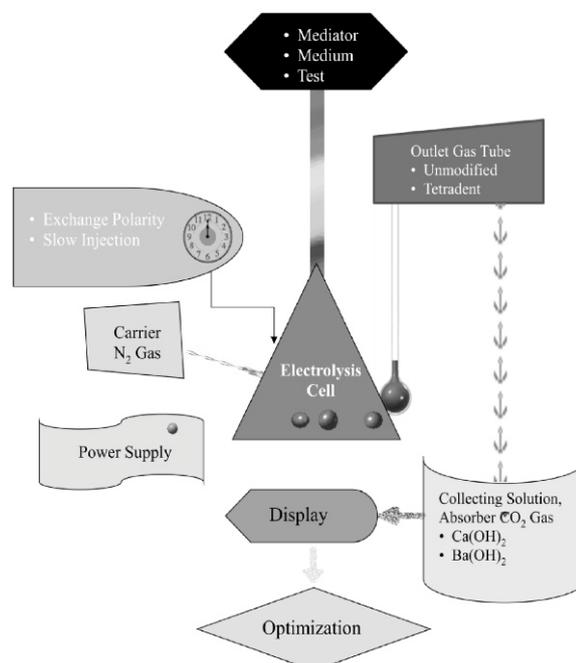
Hasil yang diukur dengan metode standar yaitu metode spektrofotometri aminoantipirin dibandingkan dengan yang diukur dengan metode uji (OET-Konduktometri) dengan menggunakan uji least square fitting untuk membandingkan metode apakah sama atau tidak sama kedua metode tersebut. Konsentrasi yang diukur yaitu 0,017; 0,034; 0,051; 0,068, dan 0,85 mg/L sama dengan konsentrasi yang digunakan pada metode uji (OET-Konduktometri).

Hasil dan Pembahasan

Sel Oksidasi Elektrokimia Yang Termediasi (OET)

Sel OET yang dibuat untuk penelitian ini hampir mirip dengan yang dibuat oleh Lubis (2009) dengan sedikit modifikasi (Gambar 1).

Gambar 1. Rangkaian OET (Lubis, 2009)



Fenol merupakan zat higroskopis, oleh karena itu untuk mengetahui konsentrasi yang sebenarnya perlu distandarisasi. Setelah distandarisasi konsentrasi fenol adalah 85 mg/ L.± 0,46. Untuk selanjutnya konsentrasi yang digunakan dalam penelitian ini dikali 85 %.

Tabel 1. Konsentrasi Fenol

Konsentrasi Fenol Pengukuran (X)	Konsentrasi Fenol setelah distandarisasi 85 % .X
0,02	0,017
0,04	0,034
0,06	0,051
0,08	0,068
0,1	0,085

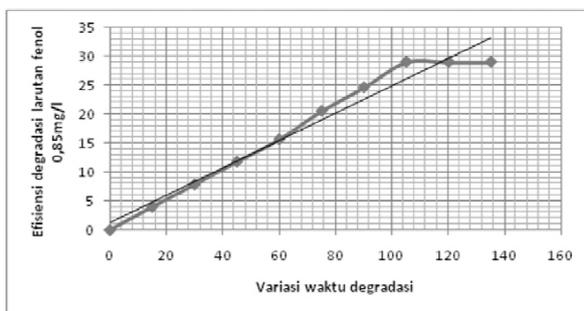
Efisiensi fenol

Untuk menentukan kurva kalibrasi fenol dengan merode OET-Konduktometri, mencari dulu waktu optimum untuk efisiensi maksimum pada variasi waktu.

Tabel 2. Efisiensi degradasi larutan fenol 0,085 mg/L terhadap variasi waktu

Waktu (menit)	Efisiensi degradasi larutan fenol (%)
0	0
15	4
30	7,86
45	11,79
60	15,65
75	20,53
90	24,59
105	29
120	29
135	29

Gambar 2. Kurva efisiensi maksimum degradasi larutan fenol (0,085 mg/L)



Berdasarkan kurva efisiensi degradasi fenol terhadap variasi waktu, didapat waktu optimum dengan efisiensi maksimum adalah 105 menit.

Kurva kalibrasi larutan fenol dengan metode OET-Konduktometri dan penentuan Parameter Analitik.

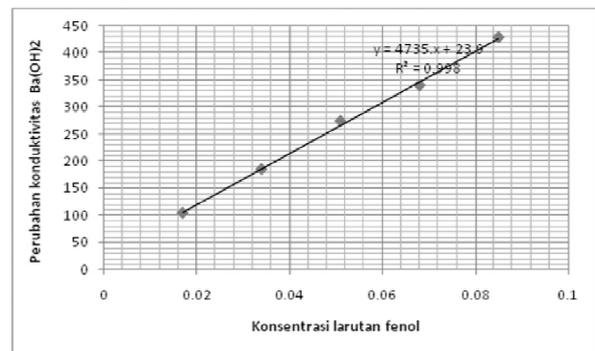
Pada pembuatan kurva kalibrasi metode OET-Konduktometri, menggunakan waktu optimum dengan konsentrasi larutan fenol yang digunakan adalah 0,017; 0,034; 0,051; 0,068, dan 0,85 mg/L.

Kemudian diukur dengan pengulangan sebanyak 6 kali dari masing-masing konsentrasi.

Tabel 3. Perubahan konduktivitas larutan Ba(OH)2 dalam degradasi fenol dengan variasi konsentrasi fenol

Konsentrasi Fenol mg/L	Rata-rata perubahan konduktivitasµs/cm	Rata-rata prediksi konsentrasi y= 4735x + 23,9
0,017	103 ± 0,89	0,0176 ± 0,001617
0,034	184 ± 0,89	0,0345 ± 0,001617
0,051	273 ± 0,89	0,0516 ± 0,001617
0,068	339 ± 0,89	0,0657 ± 0,001675
0,085	428 ± 0,89	0,0827 ± 0,006525

Gambar 3. Kurva Kalibrasi konsentrasi larutan fenol dengan metode OET- Konduktometri.



Dari hasil penelitian tersebut didapat hubungan garis lurus antara konsentrasi dan perubahan konduktivitas Ba(OH)2 dengan persamaan garis y= 4735x+23,9 untuk kurva kalibrasi dengan nilai R2=0,998. Setelah dilakukan uji linearitas dan rentang kepercayaan terhadap a, didapat bahwa rentang kepercayaan a dengan tingkat kepercayaan 95% antara-1448,1 hingga 1495,9 karena nilai a melewati 0, maka persamaan regresi yang disarankan adalah y=bx. Karena persamaan regresi y=bx maka akan terjadi penyesuaian sehingga persamaan regresi menjadi y=5118,7x.

Rentang linearitas

Dari hasil perhitungan didapat t uji = 0,53 sedangkan t- tabel = 3,18, sehingga dapat disimpulkan bahwa larutan standar dengan konsentrasi tertinggi termasuk ke dalam hubungan linier kurva kalibrasi dengan rentang linearitas 0,004-0,085 mg/L.

Batas Deteksi (LOD) dan Batas Kuantisasi (LOQ)

Penentuan batas deteksi digunakan persamaan y=yb+3 Sb. Maka akan didapat harga batas deteksi dari alat adalah 0,004 mg/ L. Batas kuantisasi digunakan persamaan y=yb+10 sb, didapat harga batas kuantisasi nya adalah 0,013 mg/L.

Ketepatan dan Kecermatan

Penentuan kecermatan dan ketepatan dilakukan dngan menggunakan variasi konsentrasi yaitu 0,017; 0,034; 0,054; 0,068 dan 0,085 mg/ L, perulangan 6 kali masing-masing konsentrasi. Perubahan konduktivitas Ba (OH)2 yang diperoleh dimasukkan ke dalam persamaan y=5118,7 x, hasilnya adalah sebagai berikut: kecermatan dari 0,3 % sampai 1 % dan ketepatan dari -

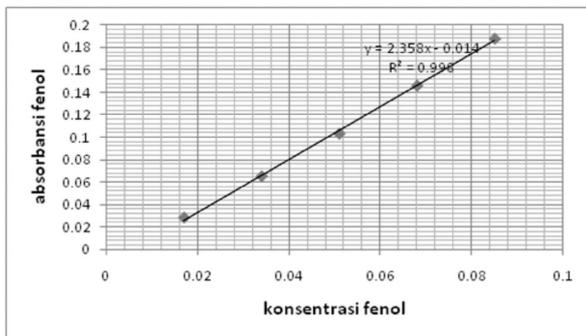
1,3% sampai 18,2%.

Kurva baku larutan fenol dan Penentuan Parameter Analitik dengan metode Spektrofotometri UV-Visible

Tabel 4. Absorbansi larutan standar

Konsentrasi fenol (mg/L)	Rata-rata absorbansi percobaan	Rata-rata konsentrasi perhitungan
0,017	0,028 ± 0,001	0,018 ± 0,0004
0,034	0,065 ± 0,001	0,034 ± 0,0005
0,051	0,103 ± 0,002	0,050 ± 0,0008
0,068	0,146 ± 0,0006	0,068 ± 0,0002
0,085	0,188 ± 0,0006	0,086 ± 0,0003

Gambar 4. Kurva baku larutan fenol dengan metode Spektrofotometri UV-Visible



Dari hasil pengukuran akan didapat persamaan garis lurus $y=2,358x-0,014$ untuk kurva kalibrasi larutan fenol dengan metode Spektrofotometri UV-Vis aminoantipirin dengan nilai $R^2= 0,998$. Namun setelah dilakukan uji linearitas dan rentang kepercayaan terhadap a, didapat bahwa rentang kepercayaan a dengan tingkat kepercayaan 95% antara -1,07354 hingga 1,04554. Karena rentang kepercayaan nilai a melewati 0, maka persamaan regresi yang disarankan adalah $y=bx$ sehingga persamaan regresi $y=2,358x$. Karena persamaan regresi $y=bx$ maka akan terjadi penyesuaian sehingga persamaan regresi menjadi $y=2,129x$ (lampiran 5.4).

Pada penentuan parameter analitik, yang akan ditentukan adalah penentuan rentang linearitas, batas deteksi, batas kuantisasi, kecermatan dan ketepatan.

Penentuan Rentang Linearitas

Dari hasil perhitungan didapat t-uji=0,75, sedangkan t- tabel (95%,3) adalah 3,18, sehingga dapat disimpulkan bahwa larutan standar dengan konsentrasi tertinggi termasuk kedalam hubungan linearitas kurva kalibrasi dengan rentang linearitas 0,003–0,085 mg/L.

Batas Deteksi

Penentuan batas deteksi digunakan persamaan $y=yb+3 Sb$, maka akan didapat harga batas deteksi dari alat 0,003 mg/L dengan kepekaan=slope=2,4. Batas kuantisasi digunakan persamaan $y=yb+10 sb$. Jadi batas kuantisasinya adalah 0,011 mg/L.

Ketepatan dan Kecermatan

Penentuan kecermatan dan ketepatan dilakukan

dengan menggunakan variasi konsentrasi yaitu 0,017; 0,034; 0,051; 0,068, dan 0,85 mg/L. Perulangan 3 kali masing-masing konsentrasi. Absorbansi yang diperoleh dimasukkan ke dalam persamaan $y=2,354x$, hasilnya adalah sebagai berikut :

Kecermatan dari 0,33% sampai dengan 3,5% dan ketepatan 1,5% sampai dengan 22%.

Validasi Metode

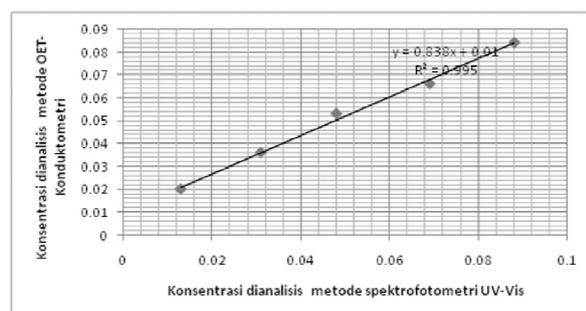
Validasi metode dilakukan dengan membandingkan parameter analitik antara metode OET-Konduktometri dengan metode Spektrofotometri UV-Vis. Pengujian validitas metode baru dengan uji Least Square Fitting. Uji Least Square Fitting, hasil yang diperoleh dari sejumlah sampel diplotkan terhadap hasil yang diperoleh dari prosedur acuan (Spektrofotometri UV-Vis) garis regresi yang lurus akan diperoleh. Tidak adanya galat, garis akan memiliki slope $b=1$, intersep $a=0$ dan semua titik akan tepat berada pada garis. Persamaan $Y=x$, dimana $y=$ hasil uji sampel dan x hasil uji bahan acuan.

Perbandingan Parameter Analitik antara 2 metode

Tabel 5. Perbandingan Parameter Analitik Dua metode

Parameter Analitik	Metode OET- Konduktometri	Metode spektrofotometri UV-VIS
Batas deteksi	0,004 mg/L	0,003 mg/L
Batas kuantisasi	0,013 mg/L	0,011 mg/L
Kecermatan	0,3 % s/d 1.3 %	0,33 % s/d 3,5 %
Ketepatan	1,3 % s/d 18.2%	1,5 % s/d 22 %
Rentang linearitas	0,004 – 0,085 mg/L	0,003 - 0,085 mg /L

Gambar 5. Kurva perbandingan konsentrasi dianalisis metode OET-Konduktometri dan Spektrofotometri UV-V



Uji Least Square Fitting untuk Fenol

Tabel 6 Data konsentrasi fenol yang dianalisis secara OET-Konduktometri dan dianalisis secara spektrofotometri UV-Vis

Konsentrasi fenol yang dianalisis OET-Konduktometri (mg/L)	Konsentrasi awal larutan fenol (mg/L)	Konsentrasi fenol yang dianalisis Spektrofotometri UV-Visible (mg/L)
0,020	0,017	0,013
0,036	0,034	0,031
0,053	0,051	0,048
0,066	0,068	0,069
0,084	0,085	0,088

Persamaan regresi linier $y=0,838x+0,01$
Nilai Slope (b) yang sebenarnya berada pada

rentang 0,715 sampai 0,961
 $0,01 \pm 0,007$ (a antara 0,003 sampai 0,017)

Nilai intersep (a) yang sebenarnya berada pada rentang -0,0082 hingga 0,0102. Berdasarkan perhitungan diperoleh bahwa interval intersep (a) melewati titik nol, sehingga persamaan garis $y=bx+a$ tidak dapat digunakan. Oleh karena itu dilakukan penyesuaian kurva, maka persamaan linear adalah $y=bx$. Nilai slope (b) pada rentang 0,876 hingga 1,104.

Menurut Massart et al., (1983) kondisi ideal adalah apabila kurva Least Square fitting mengikuti persamaan regresi linier $y=bx+a$, dimana $b=1$ dan $a=0$. Hasil pengujian pada penelitian ini memberikan $a=0$ dan $b=1$, persamaan regresinya memenuhi $y=x$, maka hipotesa bahwa kedua metode ini adalah sama, diterima, sehingga disimpulkan bahwa kedua metode ini adalah tidak berbeda secara signifikan. Metode OET-Konduktometri tidak berbeda secara signifikan dengan metode standar dengan konsentrasi di atas 0,017 mg/L.

Simpulan

Hasil uji kinerja OET-Konduktometer diperoleh Parameter Analitik sebagai berikut, batas deteksi: 0,004 mg/L, batas kuantisasi: 0,013 mg/L, ketepatan 1,3% sampai 18,2% dan kecermatan: 0,3% sampai 5,6%, rentang linearitas 0,004 sampai 0,085 mg/L. Efisiensi maksimal degradasi fenol adalah 29% dengan waktu optimum 105 menit untuk larutan fenol 0,085 mg/L.

Uji Least square fitting menunjukkan bahwa metode analisis OET-Konduktometri adalah tidak sama secara signifikan dengan metode Spektrofotometri UV-Vis untuk konsentrasi 0,017 mg/L dan sama secara signifikan untuk konsentrasi di atas dan sama dengan 0,034 mg/L.

Daftar Pustaka

- Andersen, G.L. In Cominelis, CH, & Pulgarin, 1993c, *Electrochemical Oxidation Of Phenol For Wastewater Treatment using SnO2 Anodes*, J. Appl. Electrochem 23; 108-112.
- Chiba, Z, S, Schumacher, B, Lewis P, Murguia L, 1995, *Mediated Electrochemical Oxidation as an alternative to Incineration for Mixed Wastes*, MW 95 Symposia March, 1: 1-10
- Farmer, J, and Chiba. Z. 1994. *Fundamental Studies of the Mediated Electrochemical Oxidation of wastes*. Edited by T.L., Rose, O. Murphy, E. Rudd, and B.E. Conway, Proc, V 94-19, *Water purification by photocatalytic, Photoelectrochemical, and Electrochemical Processes, Selected Reading*, pp144-149, Pennington : The electrochemical society, Inc
- Huitle, C.A.M, 2004, *Direct and indirect Electrochemical Oxidation of Organic Pollutans, Thesis in Chemical Science*, Departement of Chemistry . University of Ferrara, Italy.
- Ibanez, J., Singh, M.M., Pike, R.M., and Szafram, Z. 1997. *Laboratory Experiments on Electrochemical Remediation of the Environment*, Part 2, Microscale indirect electrolytic destruction of organic wasters. J. Chem, Educ 74, 12: 1449-1450.
- Jara, C.C., C.A. Martinez-Huitle, & R.A. Torres-Palma, 2009. *Distribution of Nitrogen Ions Generated in the Electrochemical Oxidation of Nitrogen Containing Organic Compounds*, Portugalie Electrochimica Acta 2009, 27(3), 203-213.
- Lubis, R.A., 2009, *Optimization in Mediated Electrochemical Oxidation using Cobalt sulfat as the mediator system*, Diertation, UniSA-South Australia
- Skoog, D.A & D.M. West, 1980, *Principles of instrument analysis*, Second Edition, Sounders college Publishing, San Fransisco.

- Slamet, R.A. & Daryanto, 2005, *Pengolahan Limbah Organik (Fenol) dan Logam Berat (Cr6+ atau Pt4+) secara Simultan dengan Fotokatalisis TiO2, ZnO-TiO2, dan CdS-TiO2*, Makara Teknologi, Vol 9. No 2, November 2005, 66-71.
- S. E. Howland and Coworkers, 1994, "Phenol- A world Outbook", *De Witt Petrochemical Review*, Houston,
- Warner, MA; Harper, JV (1985), *Cardiac dysrhythmiae associated with Chemical peeling with phenol*, Anesthesiology.