



Analisis Logam Cr(III) Hasil Reduksi Cr(VI) dengan Teknik Voltametri Lucutan Menggunakan Elektroda Pasta Karbon Termodifikasi EDTA: Studi Pendahuluan

Annisa Anggitami, Dian Ayu Setyorini, Muhammad Yudhistira Azis*, Ria Sri Rahayu

Program Studi Kimia, FMIPA, Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha No.10, Bandung 40132 telp. (022) 2502103

*Corresponding author: papongrene@gmail.com

DOI: 10.20961/alchemy.17.2.47875.185-191

Received 19 January 2021, Accepted 09 July 2021, Published 09 September 2021

Kata kunci:

Cr(VI);
Cr(III);
EDTA;
elektroda pasta karbon;
teknik voltametri lucutan.

ABSTRAK. Pada penelitian ini dikembangkan suatu metode pengukuran Cr(III) menggunakan elektroda pasta karbon (EPK) yang termodifikasi EDTA yang dapat diaplikasikan dalam penentuan efektivitas reduksi limbah Cr(VI) serta penentuan Cr(VI) dalam suatu sampel secara tidak langsung. Metode analisis voltametri yang dilakukan menggunakan teknik voltametri siklik, *differential pulse voltammetry* dan *square wave voltammetry*. EDTA merupakan ligan polidentat yang dapat mengkelat beberapa logam. Untuk logam kromium, EDTA hanya bisa mengkelat Cr(III). Oleh karena itu, dalam proses pengukurannya dilakukan reduksi Cr(VI) menjadi Cr(III) yang kemudian dapat dianalisis menggunakan EPK yang termodifikasi EDTA. Teknik voltametri dipilih karena memiliki sensitivitas yang tinggi, limit deteksi yang rendah, dan memiliki daerah linier yang lebar. Hasil penelitian memperoleh bahwa Cr(III) dapat dianalisis dengan EPK termodifikasi EDTA menggunakan teknik voltametri lucutan. Kondisi optimum pengukuran yang diperoleh adalah menggunakan elektroda dengan komposisi grafit: EDTA 25% berat (w/w), larutan elektrolit NaCl 0,1 M, waktu deposisi 5 detik, dan potensial deposisi 300 mV.

Keywords:

Cr(VI);
Cr(III);
EDTA;
carbon paste electrode;
stripping voltammetry.

ABSTRACT. Carbon Paste Electrode Modified by EDTA for Determination of Cr(III) Reduced from Cr(VI) by Using Stripping Voltammetry Method: A Preliminary Study. This study presented a method of measuring Cr(III) using carbon paste electrodes (CPE) modified by EDTA, which could be applied in determining Cr(VI) waste indirectly. EDTA is a polydentate ligand that can chelate several metals. For chromium metal, EDTA can only chelate Cr(III). Therefore, a reduction of Cr(VI) to Cr(III) was carried out in the measurement process and then analyzed using an EDTA-modified carbon paste electrode. The technique was chosen because it has a high sensitivity, low detection limit, and has a wide linear area. The results showed that Cr(III) could be analyzed using EDTA-modified CPE using stripping voltammetry. The optimum measurement conditions obtained were using an electrode with a composition of 25% weight (w/w) EDTA, 0.1 M NaCl as supporting electrolyte, 5 seconds for deposition time, and 300 mV for deposition potential.

PENDAHULUAN

Pencemaran limbah industri di lingkungan perairan kini semakin memprihatinkan, di antaranya limbah *electroplating* seperti logam kromium yang merupakan salah satu bahan utama industri *electroplating*. Proses *electroplating* banyak diaplikasikan pada berbagai bidang yaitu industri elektronika, konstruksi pabrik, peralatan rumah tangga dan otomotif. *Electroplating* berfungsi sebagai pelindung dari karat dan memberikan efek mengkilap pada besi dan baja. Berkembangnya industri, khususnya pada proses *electroplating* juga menimbulkan dampak negatif yaitu dihasilkan limbah logam berat yang termasuk dalam limbah B3 (Bahan Beracun Berbahaya) (Khairani *et al.*, 2007). Pencemaran tersebut dapat dalam bentuk larutan, koloid maupun dalam bentuk partikel. Apabila limbah logam kromium dibuang langsung ke dalam lingkungan tanpa melalui pengolahan akan menimbulkan dampak negatif bagi keberlangsungan hidup biota air dan lingkungannya (Gupta *et al.*, 2001).

Di Indonesia, batas maksimal krom total yang diperbolehkan untuk dibuang ke lingkungan diatur oleh PermenLH No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, yaitu bagi kegiatan industri batas kadar Cr(VI) sebesar 0,05 mg/L, sedangkan untuk kadar ion Cr total sebesar 0,5 – 1 mg/L. Batas maksimum kromium total pada air minum yang direkomendasikan oleh WHO adalah 0,05 mg/L (Yusma *et al.*, 2005) sedangkan untuk limbah cair pada industri pelapisan logam, kadar maksimum ion dikromat sebesar 0,3 mg/L dengan beban pencemaran maksimum sebesar 0,03 gram/m². Kadar maksimum ion kromium total pada limbah cair untuk industri pelapisan logam sebesar 2 mg/L dengan beban pencemara maksimum 0,2 gram/m² (Cerar, 2015).

Pencemaran logam berat khususnya logam Cr(VI) jika masuk ke dalam sistem fisiologi dapat menyebabkan terganggunya fungsi-fungsi tertentu yang bekerja dalam proses metabolisme tubuh (Memon *et al.*, 2009). Efek yang ditimbulkan dari Cr(VI) yaitu dapat merusak organ paru-paru, hati dan ginjal. Hal tersebut dikarenakan sifat Cr(VI) yang mutagenik, karsinogenik, persisten, bioakumulatif, toksik dan tidak dapat terurai di dalam lingkungan (Sulastrri *et al.*, 2018). Oleh karena sifat bahaya dari logam Cr(VI) tersebut, maka perlu dilakukan reduksi pada Cr(VI) menjadi Cr(III) (Kristianto *et al.*, 2017). Cr(III) memiliki sifat yang tidak toksik, ion yang paling stabil dan dalam jumlah renik merupakan nutrisi esensial pada manusia untuk metabolisme insulin, gula dan lipid (Irharni *et al.*, 2017). Tingkat toksisitas Cr(VI) sekitar 100 kali dibandingkan dengan Cr(III) (Suprapti, 2008). Oleh karena itu, perlu dilakukan reduksi Cr(VI) menjadi Cr(III) dan efektivitas reduksi serta jumlah Cr(VI) dalam sampel limbah dapat ditentukan secara tidak langsung dari penentuan Cr(III).

Reduksi Cr(VI) menjadi Cr(III) dapat dilakukan dengan metode reaksi kimia, pertukaran ion, adsorpsi dengan karbon aktif. Namun, cara-cara tersebut memiliki kelemahan yaitu diperlukan energi yang sangat tinggi dan bahan kimia yang sangat banyak (Hadi, 2016). Reduksi Cr(VI) menjadi Cr(III) juga dapat dilakukan dengan proses katalisis yang membutuhkan tahapan yang lebih panjang untuk preparasi hingga analisis (Musa, 2009). Selain itu, terdapat proses koagulasi-flokulasi yang memiliki kekurangan dalam pelaksanaannya karena prosesnya terlalu kompleks dan memerlukan biaya yang tinggi (Coelho *et al.*, 2020).

Salah satu metode yang juga umum digunakan untuk menentukan ion Cr(VI) adalah *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS). Namun, metode ini juga memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihannya yaitu memiliki kepekaan yang tinggi karena dapat mengukur kadar logam hingga konsentrasi sangat kecil, memiliki selektivitas yang tinggi karena dapat menentukan beberapa unsur sekaligus dalam suatu larutan sampel tanpa perlu pemisahan, ketepatannya cukup baik, meskipun syarat yang diperlukannya sederhana akan tetapi hasil pengukuran yang diperoleh cukup teliti sehingga dapat menjadi dasar pembuatan kurva kalibrasi. Sedangkan, untuk kekurangannya yaitu dibutuhkan suatu lampu katoda berongga sebagai sumber nyala untuk setiap unsur, ditemukan adanya beberapa gangguan yaitu berupa gangguan spektral, kimia dan fisika (Mujariah *et al.*, 2017), serta hanya dapat menentukan kandungan total dari logam tertentu (Wyantuti *et al.*, 2015). Oleh karena itu, diperlukan suatu metode pengukuran yang ekonomis dan mudah diaplikasikan. Salah satunya dengan teknik voltametri lucutan menggunakan EPK yang termodifikasi EDTA. Keunggulan dari metode ini yaitu ekonomis, dapat dikuantifikasi, serta memiliki daerah linier yang lebar, limit deteksi yang rendah dan sensitivitas yang tinggi (Slamet and Danumulyo, 2003).

Voltametri lucutan (*Stripping Voltammetry*) yaitu salah satu teknik voltametri dengan dua tahap dalam proses analisisnya yaitu prakonsentrasi dan *stripping* (pelarutan kembali). Dalam teknik voltametri, potensial yang diberikan dapat diatur sesuai keperluan. Selama proses pengukuran, konsentrasi analit praktis tidak berubah karena hanya sebagian kecil analit yang dielektrolisis. Potensial elektroda kerja diubah selama pengukuran, dan arus yang dihasilkan dialirkan terhadap potensial yang diberikan pada elektroda kerja. Arus yang diukur pada analisis voltametri terjadi akibat adanya reaksi redoks pada permukaan elektroda. Sementara itu, kelemahan dari teknik voltametri lucutan yaitu diperlukan suatu optimasi pada kinerja EPK yang dibuat. Dengan demikian, pada penelitian ini kadar Cr(VI) dianalisis melalui penentuan Cr(III) yang merupakan hasil reduksi Cr(VI). Untuk meningkatkan sensitivitas pengukuran maka dilakukan optimasi EPK termodifikasi EDTA pada berbagai kondisi, serta optimasi pengukuran Cr(III) menggunakan elektroda tersebut.

METODE PENELITIAN

Beberapa peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain peralatan gelas, potensiostat (eDAQ) dengan *software* Echem, elektroda referensi Ag/AgCl (NaCl 3M), elektroda pembantu platina, *hot plate*, dan pH-meter. Sementara itu, bahan-bahan yang digunakan untuk penelitian ini merupakan bahan *analytical grade* yang tidak perlu melalui pemurnian, seperti serbuk grafit, parafin cair, kromium nitrat dihidrat, *ethylenediaminetetraacetic acid* (EDTA), dan etanol 96%.

Pembuatan EPK dan EPK Termodifikasi EDTA

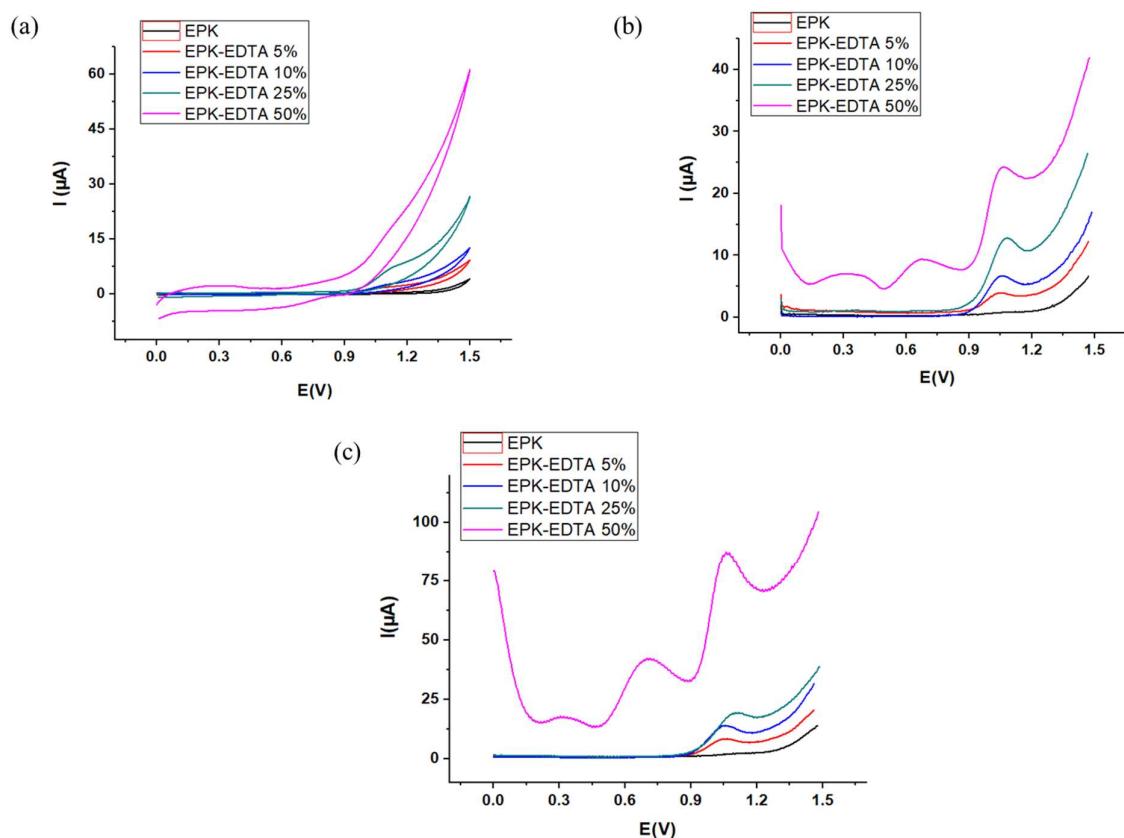
EPK dibuat dengan cara mencampurkan parafin cair 0,0450 g dengan grafit 0,1051 g. Pencampuran dilakukan ketika suhu parafin cair telah mencapai 80 °C. Campuran yang telah homogen tersebut kemudian dimasukkan ke dalam badan elektroda dan dihubungkan dengan kawat tembaga. EPK termodifikasi EDTA dibuat dengan cara yang hampir sama dengan pembuatan EPK. Namun, pada pembuatan EPK termodifikasi EDTA, dilakukan beberapa variasi massa EDTA (terhadap grafit) yaitu 5%, 10%, 25%, dan 50%. Parafin cair yang telah

dipanaskan hingga suhu 80 °C dan 0,2 mL etanol dicampurkan dengan campuran EDTA dan grafit. Campuran kemudian dimasukkan ke dalam badan elektroda dan dihubungkan dengan kawat tembaga.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Optimasi Komposisi Grafit dan EDTA serta Larutan Elektrolit Pendukung

Elektroda pasta karbon merupakan elektroda universal yang memiliki jendela pengukuran yang lebar dan luas sehingga banyak digunakan dalam pengukuran secara voltametri. Pada studi kali ini, EPK dimodifikasi dengan EDTA untuk meningkatkan kinerja pengukuran dalam analisis Cr(VI) secara tidak langsung yaitu dengan cara mengukur hasil reduksinya dalam bentuk Cr(III). EDTA dipilih menjadi zat pemodifikasi karena EDTA merupakan senyawa ligan heksadentat yang dapat berikatan dengan ion logam melalui nitrogen dan gugus karboksilnya (Djunaidi *et al.*, 2017; Touzara *et al.*, 2019). Untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan kinerja EPK dan EPK termodifikasi EDTA, maka keduanya digunakan untuk mengukur larutan Cr(III) dalam NaCl 0,1 M menggunakan voltametri siklik (*cyclic voltammetry*-CV), voltametri denyut diferensial (*differential pulse voltammetry*-DPV), dan voltametri gelombang persegi (*square wave voltammetry*-SWV). Komposisi EPK termodifikasi EDTA divariasikan dan diperoleh hasil seperti pada Gambar 1 dan Tabel 1. Pada Gambar 1(a-c), dapat terlihat bahwa terdapat puncak oksidasi pada potensial 1,1 V yang mengindikasikan terjadinya oksidasi dari Cr(III) menjadi Cr(VI).



Gambar 1. Voltammogram hasil pengukuran larutan Cr(III) 1 mM dalam NaCl 0,1 M menggunakan (a) CV, (b) DPV, dan (c) SWV pada laju pindai 100 mV/detik untuk CV dan 50 mV/detik untuk DPV dan SWV.

Berdasarkan Tabel 1, dapat dilihat bahwa EPK termodifikasi EDTA memberikan potensial puncak oksidasi yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan EPK di semua pengukuran CV, DPV, dan SWV yang menandakan bahwa adanya EDTA memberikan efek elektrokatalitik terhadap pengukuran. Selain itu, EPK yang termodifikasi EDTA lebih sensitif dibandingkan dengan EPK tidak termodifikasi yang ditunjukkan oleh tingginya arus oksidasi yang diperoleh di setiap pengukuran. Berdasarkan data yang diperoleh tersebut, maka komposisi grafit dan EDTA yang digunakan lebih lanjut adalah 25%. Pemilihan komposisi ini juga mengacu pada voltammogram yang

ditunjukkan pada Gambar 1, yaitu selain memberikan potensial oksidasi yang lebih rendah dan arus oksidasi yang lebih tinggi dibanding EPK, komposisi ini menghasilkan satu puncak saja pada voltammogramnya. Sementara itu, komposisi 50% walaupun memberikan efek elektrokatalitik dan sensitivitas yang tinggi, elektroda ini memberikan dua puncak pada voltammogram yang artinya ada senyawa lain yang juga ikut terukur.

Tabel 1. Hasil pengukuran larutan Cr(III) 1 mM dalam NaCl 0,1 M menggunakan CV, DPV, dan SWV pada potensial 0,0 hingga 1,5 V dengan laju pindai 100 mV/detik untuk CV dan 50 mV/detik untuk DPV dan SWV.

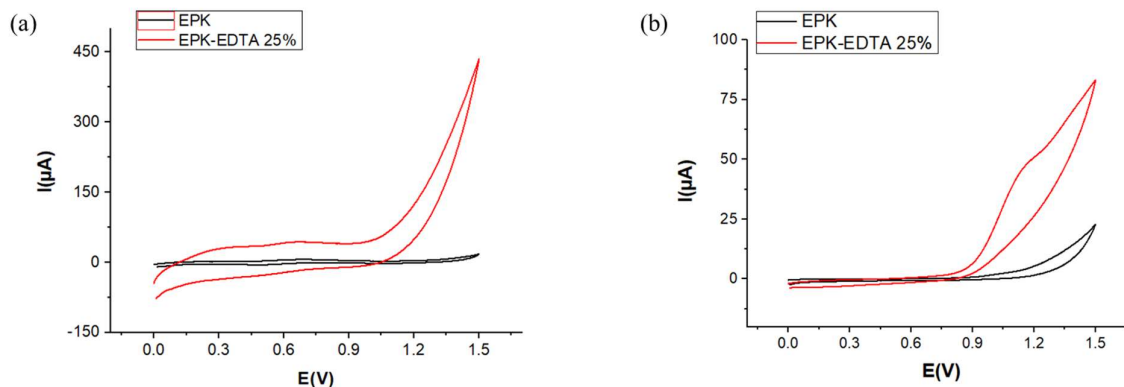
Variasi EDTA terhadap EPK	Epa (V)					Ipa(μA)				
	0%	5%	10%	25%	50%	0%	5%	10%	25%	50%
CV	1,154	1,074	1,088	1,120	1,120	0,0	1,9	1,9	4,8	0,8
DPV	1,120	1,045	1,045	1,073	1,050	0,1	2,7	5,3	9,7	9,3
SWV	1,110	1,035	1,040	1,090	1,045	0,1	3,7	7,2	19,7	37,7

Keterangan:

Epa: potensial puncak anodik

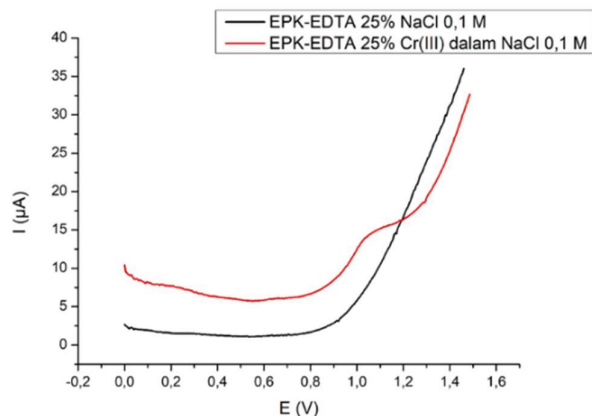
Ipa: arus puncak anodik

Selain komposisi elektroda, kinerja metode pengukuran menggunakan voltametri juga dapat bergantung pada pH larutan elektrolit pendukung, Setelah dilakukan optimasi komposisi maka langkah selanjutnya adalah optimasi pH larutan elektrolit pendukung dengan menggunakan variasi larutan, yaitu HNO₃ 0,1 M dan larutan penyangga asetat 0,1 M pH 4. Hasil voltammogram pengukurannya ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Voltammogram pengukuran larutan Cr(III) menggunakan CV dan elektrolit pendukung (a) HNO₃ 0,1 M; (b) larutan penyangga asetat 0,1 M pH 4. Kondisi pengukuran yaitu menggunakan laju pindai 100 mV/detik pada rentang pengukuran 0,0 hingga 1,5 V.

Voltammogram pada Gambar 2 menunjukkan bahwa larutan HNO₃ 0,1 M dan larutan penyangga asetat 0,1 M pH 4 tidak memberikan puncak yang spesifik terhadap pengukuran larutan Cr(III). Voltammogram yang dihasilkan berbeda dengan voltammogram pada Gambar 1, saat pengukuran dilakukan dengan menggunakan larutan NaCl 0,1 M sebagai elektrolit pendukung. Oleh karena itu, larutan NaCl 0,1 M dipilih sebagai larutan elektrolit pendukung untuk analisis berikutnya. Gambar 3 menunjukkan voltammogram hasil pengukuran menggunakan EPK-EDTA 25% dalam larutan NaCl 0,1 M dengan atau tanpa Cr(III) menggunakan Teknik *differential pulse voltammetry*.



Gambar 3. Voltammogram hasil pengukuran menggunakan EPK-EDTA 25% dalam larutan NaCl 0,1 M dan Cr(III) dalam NaCl 0,1 M dengan menggunakan teknik *differential pulse voltammetry*.

Optimasi Potensial dan Waktu Deposisi

Pada penelitian ini, potensial dan waktu deposisi dioptimasi menggunakan voltametri lucutan denyut diferensial (*differential pulse stripping voltammetry*-DPSV). Pengukuran dilakukan terhadap larutan Cr(III) 1 mM dalam NaCl 0,1 M. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran larutan Cr(III) dalam NaCl 0,1 M menggunakan EPK termodifikasi EDTA 25% dengan DPSV pada variasi potensial dan waktu deposisi.

Waktu Deposisi (detik)	Epa pada Potensial Deposisi (V)			Ipa pada Potensial Deposisi (µA)		
	-100 mV	100 mV	300 mV	-100 mV	100 mV	300 mV
10	1,045	1,040	1,055	7,580	6,800	7,930
20	1,150	1,185	1,055	5,730	5,700	5,720
30	1,090	1,175	1,045	4,830	6,200	6,800

Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa EPK termodifikasi EDTA 25% lebih sensitif untuk mengukur Cr(III) dengan potensial deposisi 300 mV pada waktu deposisi 10 detik. Dari hasil ini maka dilanjutkan analisis waktu deposisi yang lebih cepat dengan variasi waktu 3, 5, 10, 20, dan 30 detik pada potensial deposisi 300 mV dan menghasilkan data seperti pada Tabel 3 berikut.

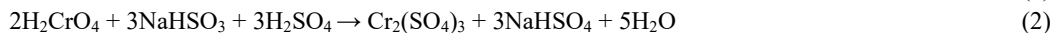
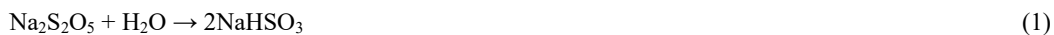
Tabel 3. Hasil pengukuran larutan Cr(III) 1 mM dalam NaCl 0,1M menggunakan EPK termodifikasi EDTA 25% dengan DPSV pada potensial deposisi 300 mV dengan variasi waktu deposisi.

Waktu Deposisi (detik)	Epa (V)	Ipa (µA)
3	1,035	1,400
5	1,035	3,000
10	1,055	1,900

Berdasarkan hasil yang tertera Tabel 3, dapat dilihat bahwa arus tertinggi dihasilkan pada potensial deposisi 5 detik. Terjadi kenaikan arus 1,600 µA dari waktu deposisi 3 detik ke 5 detik. Arus yang rendah pada waktu deposisi 3 detik menunjukkan bahwa ion Cr(III) yang terdeposisi di permukaan elektroda masih sedikit sehingga arus yang dihasilkan pun kecil. Sementara itu, terjadi penurunan arus 1,100 µA dari waktu deposisi 5 detik ke 10 detik yang memungkinkan terjadinya kejenuhan terhadap permukaan elektroda kerja sehingga menyebabkan penurunan arus.

Potensi Pengukuran Cr(VI) melalui Pengukuran Cr(III)

Ion logam Cr(III) merupakan salah satu ion logam yang dapat berikatan dengan EDTA membentuk suatu kompleks [Cr-EDTA]⁻ dengan tetapan pembentukan kompleks Cr-EDTA yaitu 1×10^{23} . Sementara itu, ion Cr(VI) tidak dapat membentuk kompleks dengan EDTA sehingga analisis Cr(VI) dapat dilakukan secara tidak langsung dengan mereduksi Cr(VI) terlebih dahulu dengan penambahan metabisulfit sehingga terjadi reaksi sebagai berikut (Verma, 2020) dan akan terbentuk Cr(III) yang kemudian dapat diukur secara voltametri menggunakan EPK termodifikasi EDTA.



KESIMPULAN

Berdasarkan serangkaian hasil penelitian, Cr(III) dapat dianalisis menggunakan voltametri lucutan dengan menggunakan elektroda kerja EPK termodifikasi EDTA. EPK yang telah termodifikasi EDTA ini memberikan respon yang lebih baik dibandingkan dengan EPK tidak termodifikasi. Kondisi optimum dicapai dengan menggunakan komposisi grafit dan EDTA 25% dengan elektrolit pendukung NaCl 0,1 M. Waktu deposisi optimum diperoleh pada 5 detik dengan potensial deposisi 300 mV menggunakan teknik voltametri lucutan denyut diferensial. Metode ini berpotensi untuk digunakan dalam mengukur Cr(VI) secara tidak langsung dengan mereduksinya terlebih dahulu menjadi Cr(III).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Kelompok Keilmuan Analitik, Program Studi Kimia, Institut Teknologi Bandung dan hibah LPPM P2MI ITB.

DAFTAR PUSTAKA

- Cerar, J., 2015. Reaction Between Chromium(III) and EDTA Ions: An Overlooked Mechanism of Case Study Reaction of Chemical Kinetics. *Acta Chimica Slovenica* 62, 538-545. doi: 10.17344/acsi.2015.1492.
- Coelho, F.E.B., Candelario, V.M., Araújo, E.M.R., Miranda, T.L.S., dan Magnacca, G., 2020. Photocatalytic Reduction of Cr(VI) in The Presence of Humic Acid Using Immobilized Ce-ZrO₂ Under Visible Light. *Nanomaterials* 10(4), 779. doi: 10.3390/nano10040779.
- Djunaidi, M.C., Khabibi, K., dan Nurfitriana, R., 2017. Separation of Cr(VI) from Electroplating Waste Using Polymer Inclusion Membrane (PIM) Method. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia* 13(1), 119-132. doi: 10.20961/alchemy.13.1.4562.119-132.
- Gupta, V.K., Shrivastava, A.K., dan Jain, N., 2001. Biosorption of Chromium(VI) from Aqueous Solutions by Green Algae *Spirogyra species*. *Water Research* 35, 4079-4085. doi:10.1016/S0043-1354(01)00138-5.
- Hadi, S., 2016. Pengaruh Komposisi Larutan Kimia dan Waktu Pelapisan Chrom Terhadap Ketebalan Dan Kekerasan Lapisan Permukaan Pada Plat Kuningan. *Jurnal Teknik Mesin Institut Teknologi Padang* 6(1), 38-42.
- Irharni, Pandia, S., Purba, E, dan Hasan, W., 2017. Serapan Logam Berat Esensial dan Non Esensial pada Air Lindi TPA Kota Banda Aceh dalam Mewujudkan Pembangunan Berkelanjutan. *Serambi Engineering* 2(1), 134-140. doi: 10.32672/jse.v2i1.337.
- Khairani, N., Azam, M., Sofjan, K.F., dan Soeleman, S., 2007. Limbah Tekstil dengan Metode Analisis. *Berkala Fsika* 10(1), 35-43.
- Kristianto, S., Wilujeng, S., dan Wahyudiarto, D. 2017. Analisis Logam Berat Cr(VI) Pada Kali Pelayaran Sebagai Bentuk Upaya Penanggulangan Pencemaran Lingkungan Di Wilayah Sidoarjo. *Biota* 3, 66.
- Memon, J.R., Memon, S.Q., Bhangar, M.I., dan Khuhawar, M.Y. 2009. Use of Modified Sorbent for The Separation and Preconcentration of Chromium Species From Industrial Waste. *Journal of Hazardous Material* 163(2-3), 511-516. doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.07.001.
- Mujariah, M., Abram, P.H., dan Jura, M.R., 2017. Penggunaan Gel Lidah Buaya (*Aloe vera*) sebagai Koagulan Alami Dalam Penjernihan Air Sumur Di Desa Sausu Tambu Kecamatan Sausu. *Jurnal Akademika Kimia* 5, 16. doi: 10.22487/j24775185.2016.v5.i1.7995.
- Musa, A., 2009. Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) dan Timbal (Pb) pada Air dan Sedimen Kolam Tanah di Loka Riset Budidaya Ikan Hias Air Tawar, Depok. *Media Akuakultur* 4, 89. doi:10.15578/ma.4.1.2009.89-92.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah.
- Slamet, R.S. dan Danumulyo, W., 2003. Pengolahan Limbah Logam Berat Chromium (VI) dengan Fotokatalis TiO₂. *Makara Teknologi* 7, 27-32.
- Sulastri, H., Prilitasari, N.M., dan Natalina, 2018. Penurunan Kadar Kromium Total Pada Limbah Electroplating Menggunakan Adsorben Dari Daun Sukun (*Artocarpus altilis*) dengan Aliran Kontinu. *Teknik* 39, 114-119. doi:10.14710/teknik.v39n2.17657.

- Suprpti, N.H., 2008. Kandungan Chromium pada Perairan, Sedimen dan Kerang Darah (*Anadara granosa*) di Wilayah Pantai Sekitar Muara Sungai Sayung Desa Morosari Jembatan Ke Demak. *Bioma* 10, 36-40. doi: 10.14710/bioma.10.2.36-40.
- Touzara, S., Amili, A., Saadane, H., Laghlimi, C., dan Chtaini, A., 2019. EDTA-Modified Carbon Paste Composite for Electrochemical Determination of Pb(II) ions. *Journal of Materials Science and Engineering* 8(6), 1-5.
- Verma, B., 2020. Hexavalent Chromium Reduction from Real Electroplating. *Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia* 34,67-74. doi: 10.4314/bcse.v34i1.6.
- Wyantuti, S., Hartati, Y.W., Panatarani, C., dan Tjokronegoro, R., 2015. Cyclic Voltammetric Study of Chromium (VI) and Chromium (III) on the Gold Nanoparticles-Modified Glassy Carbon Electrode. *Procedia Chemistry* 17, 170-176. doi: 10.1016/j.proche.2015.12.109.
- Yusma Yennie dan Jovita Tri Murtini. 2005. Kandungan Logam berat Air Laut, Sedimen dan Daging Kerang Darah (*Anadara granosa*) di Perairan Menthok dan Tanjung Jabung Timur, *Jurnal Ilmu-ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia* 12, 27-32.