



## PEMBUATAN ELEKTRODE NANOPARTIKEL EMAS BERBASIS GRAFIT UNTUK SENSOR KROMIUM

Santhy Wyantuti<sup>1</sup>, Yeni Wahyuni Hartati<sup>1</sup>, dan Camellia Panatarani<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Kimia FMIPA Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Bandung-Sumedang KM 21  
Jatinangor Sumedang, Jawa Barat

<sup>2</sup>Departemen Fisika FMIPA Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Bandung-Sumedang KM 21  
Jatinangor Sumedang, Jawa Barat  
santhy.wyantuti@unpad.ac.id

### Abstrak

Kromium digunakan begitu luas dalam perindustrian, sehingga limbah dari senyawa kromium tersebut juga banyak terbentuk. Kromium yang memiliki tingkat toksisitas yang paling tinggi adalah dalam bentuk Cr(VI), dan untuk menurunkan tingkat toksisitasnya, kromium direduksi menjadi Cr(III) karena tingkat toksisitasnya lebih rendah dan dalam jumlah tertentu bersifat esensial bagi tubuh. Untuk itu diperlukan suatu metode yang tepat untuk bisa membedakan antara Cr(III) dan Cr(VI). Prosedur yang akan dilakukan adalah pembuatan nanopartikel emas dan membuat elektrode grafit yang dilapisi nanopartikel emas, mengukur sinyal kromium (VI). Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa nanopartikel emas dapat dibuat dari garam H<sub>2</sub>AuCl<sub>4</sub> dengan pereduksi NaBH<sub>4</sub>, dan elektrode grafit dapat dimodifikasi dengan nanopartikel emas dengan metode *self assembly* dan dapat diaplikasikan untuk mendeteksi Cr(VI) dengan rentang linieritas pada 100-500 µg/mL dengan koefisien regresi 0,965 dan keterulangan yang dinyatakan dalam koefisien variansi sebesar 7,06 %.

**Kata kunci:** Cr(VI), Elektrode grafit, Nanopartikel emas, Voltammetri

### PENDAHULUAN

Penggunaan material berukuran nano sangat luas, salah satunya adalah penggunaan nanopartikel logam dalam bidang biosensor. Penggunaan nanopartikel logam pada biosensor dikarenakan sifat yang dimiliki oleh nanopartikel logam itu sendiri seperti memiliki sifat katalisis dan luas permukaan yang baik. Perkembangan dalam penggunaan material berukuran nano membuat terobosan pada analisis menggunakan teknik elektrokimia, salah satunya elektrode berbasis nanotube yang telah menunjukkan adanya peningkatan sensitivitas yang tinggi. Hal tersebut merupakan dasar dibuatnya elektrode jenis lain yang berbasis nanopartikel emas, mengingat selama ini kedua elektrode tersebut berkompetisi untuk digunakan dalam analisis elektrokimia. Keuntungan lain dari nanopartikel emas dibanding karbon nanotube adalah cara pembuatannya yang lebih sederhana (Li *et al.*, 2010). Modifikasi permukaan elektrode grafit dengan nanopartikel emas menyajikan keuntungan dalam bidang biosensor DNA

karena dapat memfasilitasi transfer elektron antara permukaan elektrode grafit dengan analit.

Penggunaan kromium yang begitu luas dalam perindustrian menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan tanah, udara, dan terutama lingkungan air yang sangat vital bagi kehidupan manusia apabila tidak dikendalikan dengan baik. Senyawa kromium pada sumber-sumber air alam ataupun air limbah industri dapat berada dalam bentuk kromium trivalen (Cr(III)) dan kromium heksavalen (Cr(VI)) yang mempunyai sifat berbeda. Cr(III) esensial bagi mamalia untuk metabolisme gula, protein, dan lemak. Senyawanya lebih stabil di air serta sifat racunnya tidak terlalu besar, sedangkan Cr(VI) bersifat sangat beracun dan sangat oksidatif (Hariyani dkk., 2009). Dengan terjadinya pencemaran lingkungan, kadar logam Cr(VI) yang masuk ke dalam tubuh manusia dapat meningkat melebihi kadar normal (kadar normal : 0,05 mg/kg berat badan) (Masdin, 2010). Terdapat perbedaan yang signifikan dalam toksisitas, reaktivitas, dan bioavailabilitas antara Cr(III) dengan Cr(VI).

Oleh karena itu, penting untuk membedakan antara Cr(III) dengan Cr(VI). Selain itu, diperlukan metode analisis yang sensitif serta spesifik untuk membedakan keduanya.

## BAHAN DAN METODA

### Bahan

$K_2Cr_2O_7$ , HCl, akuades,  $H AuCl_4$  dan  $C_6H_5Na_3O_7 \cdot 2H_2O$  (Merck) serta  $NaBH_4$  (Aldrich).

### Metode

#### Pembuatan Nanopartikel Emas

Nanopartikel emas yang dibuat adalah berbentuk koloid yang dibuat dari bahan baku larutan garam  $H AuCl_4$ , natrium sitrat sebagai *capping agent*, dan agen pereduksi ( $NaBH_4$ ). Larutan koloid terbentuk jika diarahkan sinar laser maka larutan koloid akan meneruskan sinar laser tersebut. Selanjutnya ukuran nanopartikel emas dikarakterisasi dengan TEM.

#### Modifikasi Elektrode Grafit Pensil dengan Nanopartikel Emas

Elektrode grafit pensil mula-mula diaktivasi dulu dengan bantuan sinar UV dan ditempelkan gugus amina, lalu gugus amina tersebut akan mengikat nanopartikel emas.

#### Pengukuran Voltametri Menggunakan Elektrode Modifikasi

Mula-mula dilakukan optimasi waktu deposisi dan potensial deposisi kemudian dilakukan pengukuran Cr(VI) dengan berbagai konsentrasi pada kondisi optimum sehingga menghasilkan voltammogram yang diolah menjadi kurva baku dan parameter analitiknya.

#### Pembuatan Nanopartikel Emas

Larutan nanopartikel emas disiapkan dengan cara menambahkan 15 ml larutan stok  $H AuCl_4$  1,0 mM dengan 5 mL akuades dalam gelas kimia 50 mL, yang selanjutnya diaduk selama 5 menit. Setelah itu ke dalam larutan tersebut ditambahkan sebanyak 0,5 mL natrium sitrat 0,1 M lalu diaduk kembali selama 5 menit dan terakhir ditambahkan  $NaBH_4$  sebanyak 0,4 mL. Nanopartikel emas yang telah dibuat ini dikarakterisasi dengan spektrofotometer UV-Visible dengan mengamati serapannya setiap selang waktu tertentu dan juga dilakukan karakterisasi dengan menggunakan *Transmission Electron Microscopy* (TEM).

#### Modifikasi Elektrode Grafit Pensil dengan Nanopartikel Emas

Permukaan elektrode grafit dicelupkan ke dalam larutan  $NH_4OH$  pekat kemudian diiradiasi di bawah sumber UV ( $\lambda=254nm$ ) selama 6 jam. Setelah itu elektrode dibilas dengan akuades dan dikeringkan. Elektrode ini siap untuk dimodifikasi dengan nanopartikel emas. Modifikasi dilakukan dengan cara mencelupkan elektrode grafit yang telah diaktivasi permukaannya ke dalam larutan nanopartikel emas selama 24 jam. Setelah proses pencelupan selesai, elektrode dibilas dengan akuades. Elektrode yang telah dimodifikasi dengan nanopartikel emas ini selanjutnya dikarakterisasi dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

#### Pengukuran Voltametri Menggunakan Elektrode Modifikasi

Mula-mula dilakukan optimasi waktu deposisi dan potensial deposisi kemudian dilakukan pengukuran Cr(VI) dengan berbagai konsentrasi pada kondisi optimum sehingga menghasilkan voltammogram yang diolah menjadi kurva baku dan parameter analitiknya.

#### Penentuan rentang konsentrasi linier kromium (VI) dan keterulangan

Penentuan kurva kalibrasi linier pada elektrode *glassy* karbon yang sudah dimodifikasi dengan nanopartikel emas dilakukan dengan variasi konsentrasi Cr(VI) 100, 200, 300, 400, dan 500 ppm dengan larutan elektrolit pendukung HCl 0,1 M. Selanjutnya dikarakterisasi secara elektrokimia menggunakan teknik voltametri pulsa differensial dengan kisaran potensial -0,5 sampai +0,75 V terhadap Ag/AgCl, waktu deposisi optimum, potensial deposisi optimum dan *scan rate* 100 mV/s. Selanjutnya dibuat kurva antara konsentrasi dan arus yang dihasilkan sebagai x terhadap y. Hubungan yang linier dinyatakan dengan koefisien regresi (r) yang mengikuti persamaan:

$$r = \frac{\sum[(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\left\{ \sum(x_i - \bar{x})^2 \right\} \left\{ \sum(y_i - \bar{y})^2 \right\}}^{1/2}$$

Nilai r dalam rentang  $-1 \leq r \leq 1$ .

Penentuan keterulangan dihitung dengan persamaan

$$KV = \frac{S_B}{\bar{x}}$$

$S_B$  adalah simpangan baku dari beberapa kali pengukuran, dinyatakan dengan

$$S_B = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1}}$$

(Miller dan Miller, 2000).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

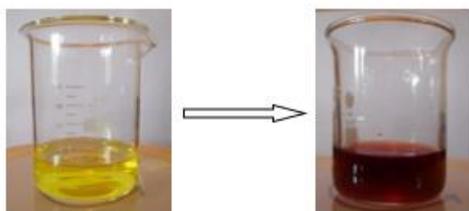
### Pembuatan Nanopartikel Emas

Reaksi yang terjadi pada pembuatan nanopartikel emas yang dibuat dari garam  $\text{HAuCl}_4$  dan *capping agent* sekaligus pereduksi emas yaitu natrium sitrat (sodium sitrat) adalah:



Bilangan oksidasi dari emas dalam garam  $\text{HAuCl}_4$  adalah Au(III) dan natrium sitrat memiliki fungsi untuk mereduksi Au(III) menjadi Au(0) dan juga natrium sitrat sebagai *capping agent* yang berguna untuk melapisi Au(0) sehingga mencegahnya teroksidasi kembali menjadi bentuk Au(III) kembali. Namun setelah dilakukan beberapa kali pembuatan nanopartikel emas didapati bahwa natrium sitrat merupakan pereduksi yang lemah atau dengan kata lain Au(III) direduksi kurang kuat oleh natrium sitrat sehingga nanopartikel emas yang dihasilkan berukuran relatif besar yang diindikasikan dari puncak panjang gelombang dan warna larutan partikel nano tersebut.

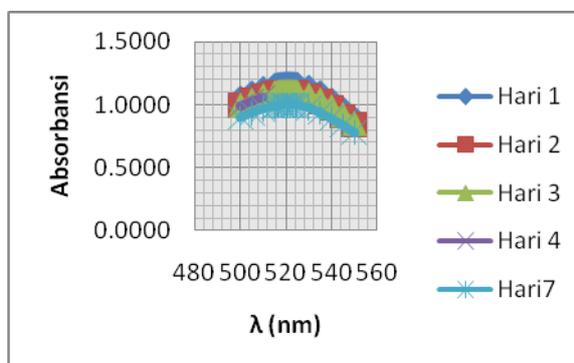
Dalam penelitian ini, diharapkan dihasilkan ukuran nanopartikel emas yang memiliki ukuran kurang dari 20 nm, maka ditambahkan suatu pereduksi yang lebih kuat yaitu  $\text{NaBH}_4$ , dan didapatkan larutan nanopartikel emas yang berwarna merah dan puncak panjang gelombang 520 nm yang diindikasikan ukurannya adalah 16 nm. **Gambar 1** merupakan suatu larutan  $\text{HAuCl}_4$  (kiri) dan setelah ditambah natrium sitrat dan  $\text{NaBH}_4$  menjadi nanopartikel emas (kanan).



Gambar 1. Larutan  $\text{HAuCl}_4$  (kiri) dan setelah ditambah Natrium sitrat dan  $\text{NaBH}_4$  menjadi nanopartikel emas (kanan)

Larutan nanopartikel emas dikarakterisasi mula-mula dengan menggunakan spektrofotometer UV-Visible dengan rentang

panjang gelombang adalah 500-550 nm dan larutan blanko yang dipakai adalah akuades. Spektra serapan yang diberikan oleh nanopartikel emas diamati setiap harinya selama seminggu untuk melihat pergeseran puncak panjang gelombang maksimumnya (Gambar 2).



Gambar 2. Spektra serapan UV-Visible nanopartikel emas pada selang waktu tertentu

Tabel pergeseran panjang gelombang maksimum pada selang waktu tertentu dapat dilihat pada Tabel 1. Pada hari pertama  $\lambda_{maks}$  adalah 520 nm. Serapan maksimum dari nanopartikel emas pada panjang gelombang tertentu dapat menunjukkan ukuran dari nanopartikel tersebut. Hal ini disebabkan oleh karakteristik sifat optikal dari nanopartikel emas. Seiring dengan berjalannya waktu, nanopartikel emas ini akan terus tumbuh, namun pertumbuhannya masih terkontrol atau dengan kata lain nanopartikel emas yang dibuat relatif stabil, walaupun setelah 7 hari terlihat penurunan absorbansi sebanyak 14%. Hal ini menunjukkan bahwa larutan nanopartikel ini sebaiknya dipakai dalam jangka waktu seminggu.

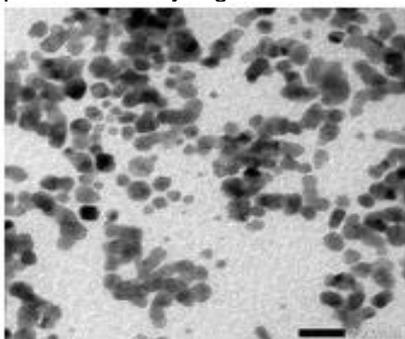
Tabel 1. Tabel pergeseran panjang gelombang pada absorbansi maksimum

Hari	Maksimum	Absorbansi
1	520	1164
2	520	1099
3	521	1098
4	521	1096
7	522	1000

Nanopartikel emas yang dibuat ini relatif stabil karena adanya natrium sitrat yang bertindak sebagai zat penstabil (*capping agent*). Natrium sitrat menstabilkan nanopartikel emas secara elektrostatis. Muatan negatif dari ion sitrat yang teradsorpsi pada permukaan nanopartikel emas akan dapat mencegah terjadinya agregasi antar sesama

nanopartikel karena adanya gaya tolakan antar muatan negatif pada permukaannya.

Nanopartikel emas yang dibuat kemudian dikarakterisasi kembali dengan menggunakan *Transmission Electron Microscopy* di Universitas Gadjah Mada. Melalui karakterisasi dengan TEM didapatkan informasi mengenai bentuk dan ukuran nanopartikel emas yang telah dibuat.



Gambar 3. Hasil karakterisasi nanopartikel emas dengan TEM

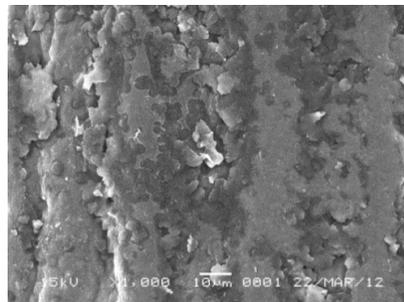
Gambar 3 adalah hasil TEM dari nanopartikel emas. Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa nanopartikel emas yang terbentuk tampak membentuk kelompok atau kluster. Ukuran kluster terkecil kurang dari 20 nm. Adanya perbedaan ukuran pada kluster menunjukkan bahwa natrium sitrat tidak terlalu kuat untuk mencegah nanopartikel emas beragregasi satu sama lain. Hal ini dikarenakan natrium sitrat menstabilkan nanopartikel emas hanya dengan adsorpsi muatan negatif dari ion sitrat pada permukaan nanopartikel emas sehingga masih memungkinkan terjadinya agregasi.

#### Modifikasi Elektrode Grafit Pensil dengan Nanopartikel Emas

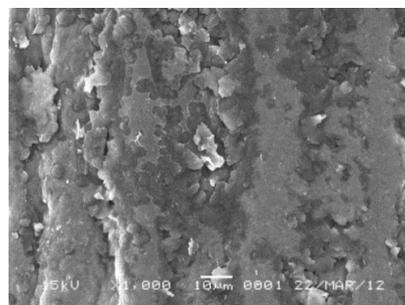
Elektrode yang sudah dimodifikasi selanjutnya dikarakterisasi dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) yang dapat memberikan informasi mengenai ukuran nanopartikel emas yang menempel pada permukaan elektrode. Pada awalnya, dilakukan modifikasi elektroda yang yaitu dengan adsorpsi nanopartikel emas secara fisik, dan terbukti partikel nano emas yang menempel tidak banyak seperti yang ditunjukkan oleh hasil SEM pada Gambar 4.

Dari hasil SEM dapat kita simpulkan bahwa cara adsorpsi secara fisik saja tidak bisa membuat nanopartikel emas menempel

pada permukaan elektrode. Karena itu dilakukan cara lain dengan cara *self assembly* dan dapat dilihat pada Gambar 5 bahwa pada permukaan elektrode lebih banyak nanopartikel emas yang menempel.



Gambar 4. Hasil SEM modifikasi tanpa gugus amina

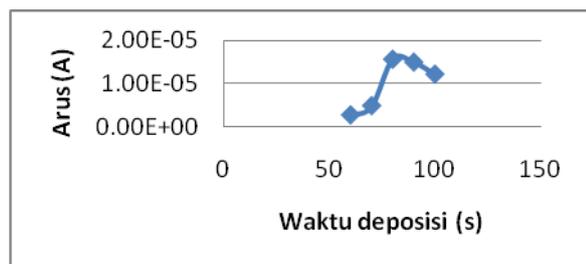


Gambar 5. Hasil SEM modifikasi dengan gugus amina

#### Pengukuran Voltametri Menggunakan Elektrode Modifikasi

Waktu deposisi adalah waktu yang dibutuhkan untuk mereduksi Cr(VI) yang ada pada larutan menjadi Cr(III) pada permukaan elektrode. Untuk mendeteksi Cr(VI) pada konsentrasi yang rendah dibutuhkan waktu yang lebih lama. Sedangkan untuk konsentrasi Cr(VI) yang lebih tinggi dapat digunakan waktu deposisi yang singkat untuk mencegah terjadinya penjumlahan pada permukaan elektroda sehingga diperlukan penentuan waktu deposisi optimum.

Penentuan waktu deposisi optimum dilakukan dengan melakukan variasi waktu deposisi 60,70,80,90, dan 100 detik pada larutan uji Cr(VI) 100 ppm dengan larutan elektrolit pendukung HCl 0,1 M. Dikarakterisasi secara elektrokimia menggunakan teknik voltametri pulsa differensial dengan kisaran potensial -0,5 – 0,75 V terhadap Ag/AgCl, potensial deposisi 0,8V dan *scan rate* 100mV/s.

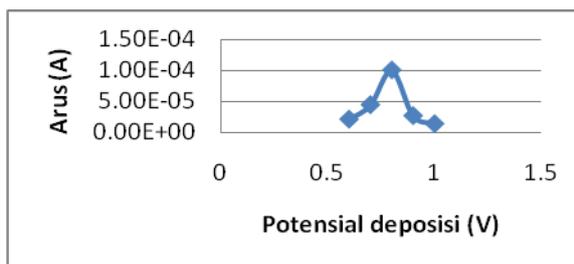


Gambar 6. Plot respon arus kromium(VI) 100 ppm terhadap variasi waktu deposisi pada elektrode grafit yang dimodifikasi nanopartikel emas

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa dengan bertambahnya waktu deposisi maka arus yang dihasilkan semakin besar. Hal ini dikarenakan dengan bertambahnya waktu deposisi maka kesempatan untuk mereduksi Cr(VI) yang ada dalam larutan menjadi Cr(III) akan semakin besar sehingga akan semakin banyak Cr(VI) yang dapat direduksi. Dengan demikian jumlah Cr(III) yang berinteraksi dengan partikel nano emas pada permukaan elektroda akan semakin banyak.

Dari plot hubungan arus terhadap waktu deposisi, terjadi peningkatan arus yang signifikan sampai pada waktu 80 detik. Hal ini menunjukkan sebelum waktu deposisi 80 detik di dalam larutan masih terdapat Cr(VI) yang belum direduksi menjadi Cr(III). Namun peningkatan arus tidak terjadi lagi secara signifikan setelah waktu deposisi 80 detik. Hal ini berarti pada waktu deposisi 80, seluruh Cr(VI) yang ada pada larutan telah direduksi secara optimal menjadi Cr(III) sehingga setelah waktu deposisi 80 detik arus tidak lagi meningkat secara signifikan.

Potensial deposisi adalah potensial yang diberikan untuk mereduksi Cr(VI) atau Cr(III) yang ada pada larutan menjadi Cr(III) atau Cr(0) pada permukaan elektrode. Penentuan potensial deposisi optimum dilakukan dengan melakukan variasi potensial deposisi 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; dan 0,9 V pada larutan uji Cr(VI) 100 ppm dengan larutan elektrolit pendukung HCl 0,1 M. Selanjutnya dikarakterisasi secara elektrokimia menggunakan teknik voltammetry pulsa differensial dengan kisaran -0,5 sampai +0,75V terhadap Ag/AgCl, waktu deposisi 80 detik dan *scan rate* 100mV/s.



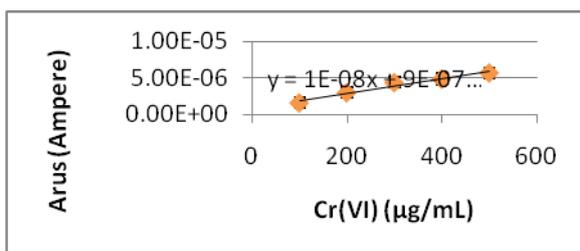
Gambar 7. Plot respon arus Cr(VI) 100 ppm terhadap variasi potensial deposisi pada elektrode grafit yang dimodifikasi nanopartikel emas

Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa semakin besar potensial deposisi yang diberikan maka arus yang dihasilkan akan semakin besar. Hal ini karena semakin besar potensial deposisi yang diberikan maka kemampuan untuk mereduksi Cr(VI) yang ada dalam larutan menjadi Cr(III) akan semakin besar sehingga akan semakin banyak Cr(VI) yang tereduksi menjadi Cr(III). Dengan demikian akan semakin banyak jumlah Cr(III) yang berinteraksi dengan nanopartikel emas pada permukaan elektroda sehingga pada saat proses stripping akan semakin banyak pula Cr(III) yang akan dioksidasi kembali menjadi Cr(VI).

Arus terus meningkat sampai pada potensial +0,8 V. Namun, setelah potensial deposisi +0,8 V terjadi penurunan arus. Hal ini menunjukkan bahwa pada potensial deposisi +0,8 V semua Cr(VI) telah tereduksi secara optimal menjadi Cr(III). Pada potensial deposisi yang lebih besar akan memungkinkan terjadinya persaingan reduksi antara Cr(VI) menjadi Cr(III) dengan reduksi H<sup>+</sup> menjadi H<sub>2</sub> yang dapat menutupi permukaan elektroda sehingga arus oksidasi akan menurun.

#### Penentuan rentang konsentrasi linier kromium(VI) dan keterulangan

Penentuan kurva kalibrasi linier dilakukan dengan variasi konsentrasi Cr(VI) 100, 200, 300, 400, dan 500 ppm dengan larutan elektrolit pendukung HCl 0,1 M. Selanjutnya dikarakterisasi secara elektrokimia menggunakan teknik voltammetry pulsa differensial dengan kisaran potensial -0,5 sampai +0,75 V terhadap Ag/AgCl, waktu deposisi 80 detik, potensial deposisi 0,8 V dan *scan rate* 100mV/s.



Gambar 8. Kurva baku Cr(VI)

Dari Gambar 8 dapat dilihat bahwa elektroda grafit pensil yang telah dimodifikasi menunjukkan peningkatan arus seiring dengan kenaikan konsentrasi larutan kromium. Hal ini dikarenakan dengan bertambahnya konsentrasi Cr(VI) yang ada pada larutan menjadi Cr(III) pada permukaan elektroda. Dari hasil pengukuran sinyal Cr(VI) 100 µg/mL pada kondisi optimum dengan perulangan sebanyak tiga kali, diperoleh harga koefisien variansi sebesar 7,0.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Nanopartikel emas dapat dibuat dari garam  $\text{HAuCl}_4$  dengan pereduksi  $\text{NaBH}_4$  dan *capping agent* natrium sitrat.
2. Elektrode grafit pensil dapat dimodifikasi dengan nanopartikel emas dengan metode *self assembly*.
3. Pengukuran Cr(VI) dengan variasi konsentrasi memberikan rentang linieritas pada 100-500 µg/mL dengan koefisien regresi 0,965 dan keterulangan yang dinyatakan dalam koefisien variansi sebesar 7,0586 %.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Kepada Universitas Padjadjaran atas pendanaan penelitian Hibah Kompetitif juga kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Padjadjaran.

## DAFTAR PUSTAKA

- Hariani, P.W., N. Hidayati & M. Oktaria. (2009). Penurunan konsentrasi Cr (VI) dalam air dengan koagulan  $\text{FeSO}_4$ . *Jurnal Penelitian Sains*. **2**: 1-4
- Jugade, R & Joshi, A. P. (2006). Highly sensitive adsorptive stripping voltammetric method for the ultra-trace determination of chromium(VI). *Analytical Science* 571-574.
- Kattumuri, V., (2006). Gold Nanoparticles For Biomedical Applications : Synthesis, Characterization, In Vitro and In Vivo Studies. Ph. D. Dissertation, The Faculty of the Graduate School, University of Missouri. Columbia.
- Kounaves, S. P. (2007). Handbook of Instrumental Techniques for Analytical Chemistry. Department of Chemistry Tufts University. New York.
- Kurniawan, F., Tsakova, V., dan Vladimir, M.M., (2006). Gold Nanoparticles in Nonenzymatic Electrochemical Detection of Sugars. *Electroanalysis*. **18**: 1937-1942.
- Li, Y. Herman, J. Schluesener and Xu, S. (2010). Gold nanoparticles-based biosensors. *Gold Bulletin*. **43**: 29-41
- Masdin. (2010). Interaksi Kromium dengan Mikroorganisme dan Tanaman. <http://www.pajjakadoi.co.tv/2010/01/interaksi-kromium-dengan-mikroorganisme.html>.
- Protti, P. (2001). AMEL Electrochemistry: Introduction to Modern Voltammetric and Polarographic Analysis Techniques. Fourth Edition. AMEL. New York.
- Setyo, B.P. (2006). Efek Konsentrasi Kromium (Cr+3) dan Salinitas Berbeda Terhadap Efisiensi Pemanfaatan Pakan untuk Pertumbuhan Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). Tesis Magister, Fakultas Manajemen Sumber Daya Pantai. Universitas Diponegoro.

- Taylor, R. F. And Schultz, J. S. (1996). Handbook of Chemical and Biological Sensors. Institute of Physics Publishing, Bristol, UK.
- Tribidasari, A., and Ivandini. (2006). Electrochemical Detection of Arsenic (III) Using Iridium-Implanted Boron-Doped Diamond Electrode. *Analytical Science* **78**: 6291-6298.
- Wang, J. (2000). *Analytical Electrochemistry*. Second Edition. Wiley-VCH. New York.
- Wang, J., Sun, X., Cai, X., Lei, Y., Song, L., dan Xie, S. (2007). Nonenzymatic Glucose Sensor Using Freestanding Single-Wall Carbon Nanotube Films. *Electrochemistry Solid State*. **10**(5): J58-J60.
- Winter, J. (2007). *Gold Nanoparticle Biosensors*. The University of Wisconsin Material Research Science and Engineering Center.
- Widowati, W., Sastiono A & Jusuf R. (2008). *Efek Toksik Logam Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*. Andi. Jakarta