



Artikel Penelitian

Pengembangan Metode Penentuan Tiosianat Berdasarkan Pembentukan Hidrindantin Menggunakan *Sequential Injection Analysis-Gas Diffusion* (SIA-GD)

Silvi Avianti Indriana, Akhmad Sabarudin, Hermin Sulistyarti*

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

INFO ARTIKEL

Sejarah artikel:
Revisi 21 September 2016
Diterima 24 Oktober 2016
Tersedia online 31 Oktober 2016

* Penulis korespondensi:
Email: hermin@ub.ac.id

ABSTRAK

Method of sequential injection analysis-gas diffusion (SIA-GD) with a colorimeter RGB (red, green, blue) that is simple and fast has been successfully developed for the determination of thiocyanate. This method is based on the oxidation of thiocyanate into cyanide under acidic condition which then reacts with ninhydrin to form hidrindantin measured at a wavelength range of 455-492 nm (blue). The optimum flow stop time, sample volume, ninhydrin concentration and acid concentration in a sequence of 15 s, 125 μ L, 0.008%, and 0.1 M. The optimum oxidizing agents used is Ce(IV) with a concentration of 0.01 M. The concentration ranges of linear 5-45 mg/L. This method is not bothered by Cl^- to a concentration of 40 mg/L and HCO_3^- to a concentration of 20 mg/L. The method developed this precision and accuracy comparable to standard methods.

Keywords: thiocyanate, sequential injection analysis, gas diffusion, ninhydrin, oxidizing agents

Metode *sequential injection analysis-gas diffusion* (SIA-GD) dengan kolorimeter RGB (*red, green, blue*) yang sederhana dan cepat telah berhasil dikembangkan untuk penentuan tiosianat. Metode ini didasarkan pada proses oksidasi tiosianat menjadi sianida dalam suasana asam yang selanjutnya bereaksi dengan ninhidrin membentuk hidrindantin yang diukur pada kisaran panjang gelombang 455-492 nm (*blue*). Waktu *stop flow* optimum, volume sampel, konsentrasi ninhidrin dan konsentrasi asam secara berurutan sebesar 15 detik, 125 μ L, 0,008%, dan 0,1 M. Oksidator optimum yang digunakan adalah Ce(IV) dengan konsentrasi 0,01 M. Kisaran konsentrasi linier 5-45 mg/L. Metode ini tidak diganggu oleh Cl^- hingga konsentrasi 40 mg/L dan HCO_3^- hingga konsentrasi 20 mg/L. Metode yang dikembangkan ini memiliki presisi dan akurasi yang sebanding dengan metode standar.

Kata kunci: tiosianat, *sequential injection analysis, gas diffusion*, ninhidrin, oksidator

1. Pendahuluan

Tiosianat merupakan senyawa hasil detoksifikasi sianida. Pada umumnya di alam sianida terdapat pada beberapa jenis sayuran dan umbi-umbian seperti terong, sawi, kubis, pepaya, rebung, daun pepaya, singkong, dan kedelai. Tiosianat juga dapat dihasilkan dari proses industri pembuatan baja, pertambangan logam dan elektroplating (Ningtyas, Asdie, Julia, & Prabandari, 2014). Selain itu, tiosianat dapat dihasilkan oleh organisme akuatik selama proses detoksifikasi metabolit sianida dengan adanya enzim rhodanese dan tiosulfat akibat terpapar limbah hasil industri sehingga tiosianat di dalam tubuh dapat ditemukan di urin, saliva, dan darah (Lindsay, 2006). Kadar tiosianat dalam limbah bervariasi. Pada limbah pengolahan emas kadar tiosianat dapat mencapai 168-680 mg/L. Kadar tiosianat yang diperbolehkan dalam air limbah 150 mg/L (Gould, King, Mohapatra, Cameron, Kapoor, & Koren, 2012).

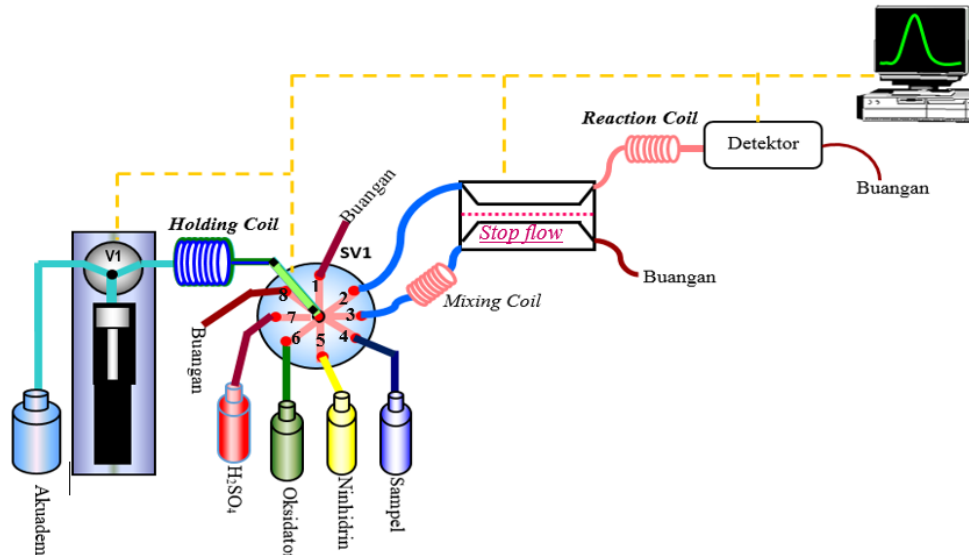
Tiosianat di dalam tubuh merupakan salah satu senyawa yang bersifat goitrogenik, yang dapat menghambat pembentukan hormon tiroid sehingga menyebabkan GAKI (Gangguan Akibat Kekurangan Iodium) (Ningtyas et al., 2014). Penderita GAKI akan mengalami gondok endemik, kematian perinatal (kematian dalam masa kehamilan 28 hari hingga bayi lahir sampai umur 7 hari), dan menyebabkan gangguan fungsi mental (Benoist, Anderson, Egli, Takkouche, & Allen, 2004). Selain menimbulkan GAKI, tiosianat dalam kadar tinggi dapat mengakibatkan kelelahan, mual, spasma otot dan dapat menyebabkan kematian (Behrman, Kliegman, & Arvin, 1996; Hadyana, 2002). Berdasarkan fakta di atas perlu dilakukan *monitoring* terhadap kadar tiosianat untuk menghindari bahaya keracunan.

Metode standar yang umum digunakan untuk analisis tiosianat adalah metode spektrofotometri yang didasarkan pada pembentukan kompleks tiosianat dengan ion besi(III) yang berwarna merah (Greenberg, Clesceri, & Eaton, 1992). Namun, metode ini hanya dapat mendeteksi tiosianat dengan kisaran konsentrasi 0,1-2 mg/L. Metode lain yang dapat digunakan untuk analisis tiosianat adalah metode kolorimetri, fluorometri, kromatografi dan elektroanalitik. Metode analisis tiosianat yang telah dikembangkan adalah teknik injeksi alir yang didasarkan pada oksidasi tiosianat menjadi sianida menggunakan oksidator permanganat kemudian dikomplekskan dengan

nikel(II) membentuk tetrasianonikelat. Metode ini memiliki limit deteksi sebesar 0,07 mg/L dengan linieritas hingga 50 mg/L (Sulistiyarti, Kolev, & Lim, 2010). Akan tetapi, kemampuan oksidasi permanganat sangat dipengaruhi oleh konsentrasi asam dan terjadi pembentukan endapan mangan dioksida (MnO_2) sepanjang pipa kapiler. Selain itu, endapan MnO_2 yang terbentuk akan menutupi permukaan mikropori membran sehingga menyebabkan permeabilitas membran dan tingkat ketepatan analisis menurun.

Dewasa ini, analisis sianida dengan menggunakan ninhidrin telah dikembangkan. Nagaraja, Kumar, Yathirajan, & Prakash, (2002) telah berhasil menganalisis sianida berdasarkan pembentukan kompleks hidrindantin yang dianalisis secara spektrofotometri. Metode ini memiliki beberapa keuntungan diantaranya adalah sangat sensitif, selektif, tidak membutuhkan pemanasan atau ekstraksi, serta mudah dilakukan dan penggunaan ninhidrin sebagai reagen yang harganya relatif murah. Kusumaningtyas, Sulistiyarti, & Fardiyah (2015) juga telah mengembangkan metode analisis tiosianat berdasarkan pembentukan hidrindantin dengan menggunakan oksidator hipoklorit secara spektrofotometri. Metode analisis yang berbasis teknik alir dengan menggunakan sistem *Sequential Injection Analysis* (SIA) telah diperkenalkan sebagai metode analisis yang memiliki beberapa keuntungan diantaranya reagen yang dibutuhkan sedikit, proses analisis cepat dan otomatis. Limbah yang dihasilkan sedikit sehingga dapat menghemat pemakaian reagen (Ruzicka & Marshall, 1990).

Berdasarkan uraian di atas, maka pada penelitian ini dikembangkan suatu metode analisis tiosianat berdasarkan pembentukan hidrindantin menggunakan sistem *Sequential Injection Analysis-Gas Diffusion* (SIA-GD). Penentuan tiosianat ini dilakukan dengan cara mengoksidasi tiosianat menjadi sianida yang selanjutnya direaksikan dengan ninhidrin. Hasil dari reaksi tersebut dideteksi secara *on-line* menggunakan kolorimeter RGB. Untuk memaksimalkan metode ini, maka dilakukan beberapa tahap uji, tahap pertama optimasi metode yang meliputi penentuan waktu *stop flow*, volume sampel, konsentrasi asam, konsentrasi ninhidrin, jenis oksidator dan konsentrasi oksidator. Tahap kedua penentuan linieritas pengukuran tiosianat dan tahap ketiga uji selektivitas dan uji validasi metode.



Gambar 1. Sistem *Sequential Injection Analysis-Gas Diffusion* (SIA-GD)

2. Bahan dan metode

2.1. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah NH_4SCN (Merck), Na_2CO_3 (Merck), NaHCO_3 (TCI), Ninhidrin (Merck), NaOCl (Merck), KMnO_4 (Merck), H_2O_2 , (Merck), $(\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$ (Merck), $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$, HNO_3 , dan akuadem.

2.2. Prosedur operasional SIA-GD untuk penentuan tiosianat secara on-line dan otomatis

Prosedur operasional SIA-GD untuk penentuan tiosianat secara on-line dan otomatis ditunjukkan pada Gambar 1. Prosedur ini terdiri dari tiga tahapan. Tahap pertama adalah pencucian line dan detektor yang dilakukan dengan cara sebagai berikut: *syringe pump* pada posisi *in* dan mengambil akuadem sebanyak 2000 μL dengan kecepatan alir 100 $\mu\text{L/s}$. Selanjutnya, *syringe pump* diubah pada posisi *out* sehingga akuadem dipompa menuju *holding coil* dan dialirkan menuju port 4, 5, 6, dan 7 dengan volume masing-masing 200 μL . Sisa akuadem dialirkan menuju detektor pada port 2 dan 3 dengan kecepatan 50 $\mu\text{L/s}$.

Tahap kedua adalah pengisian line yang dilakukan dengan cara sebagai berikut: *syringe pump* diposisikan *out* dan mengambil 500 μL larutan ninhidrin pada port 5 dengan kecepatan alir 50 $\mu\text{L/s}$. *Syringe pump* juga secara berurutan untuk mengambil sampel (port 4), oksidator (port 6) dan asam (port 7) masing-masing sebanyak 500 μL dengan kecepatan alir 50 $\mu\text{L/s}$.

Tahap ketiga adalah penentuan tiosianat yang dilakukan dengan cara *syringe pump* pada posisi

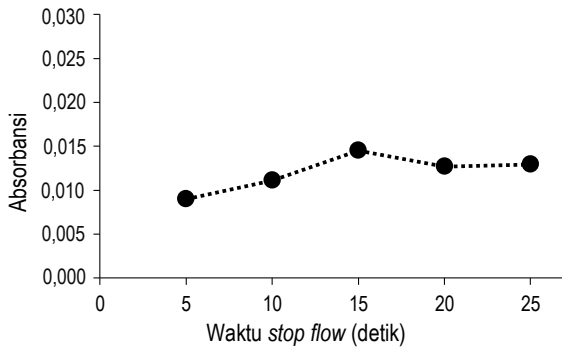
out dan mengambil 100 μL ninhidrin dengan kecepatan 50 $\mu\text{L/s}$ menuju *holding coil* dan dialirkan menuju port 2 sehingga ninhidrin akan berada pada sel *diffusion gas*. Selanjutnya, *syringe pump* mengambil asam-oksidator-sampel-oksidator-asam masing-masing dengan volume 75-50-125-50-75 μL dengan kecepatan alir 50 $\mu\text{L/s}$ menuju *holding coil*. Kemudian, larutan dialirkan menuju sel *diffusion gas* pada port 3 dan dilakukan *stop flow*. Selanjutnya, *syringe pump* pada posisi *in* dan mengambil 1000 μL akuadem dengan kecepatan 250 $\mu\text{L/s}$ yang dialirkan menuju ke port 2 dengan kecepatan 50 $\mu\text{L/s}$ sehingga larutan hasil reaksi pada aliran akseptor sel *gas diffusion* (hidrindantin merah) masuk menuju detektor dan dilakukan pembacaan absorbansi oleh detektor kolorimeter RGB yang akan terbaca pada komputer. Setelah itu, *syringe pump* pada posisi *in* dan mengambil 500 μL akuadem dengan kecepatan 250 $\mu\text{L/s}$ yang dialirkan menuju ke port 3 dengan kecepatan 50 $\mu\text{L/s}$ (untuk membilas aliran donor pada sel *gas diffusion* aliran pembuangan).

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Optimasi parameter fisik

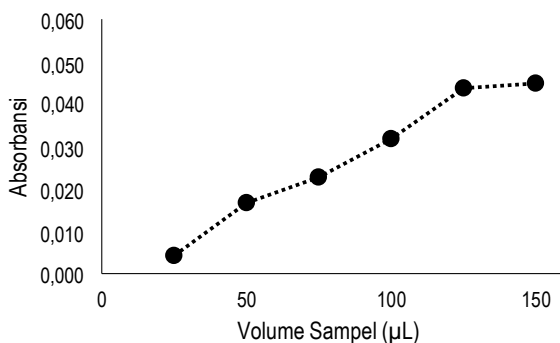
Parameter fisik yang dioptimasi pada penelitian ini adalah waktu *stop flow* dan volume sampel. Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin lama waktu *stop flow* pada sel *diffusion gas* maka absorbansi hidrindantin semakin meningkat hingga kondisi optimum pada waktu *stop flow* 15 detik. Absorbansi mengalami penurunan ketika waktu

stop flow lebih dari 15 detik karena terjadi dispersi hidrindantin ke dalam *carrier* (akuadem).



Gambar 2. Kurva hubungan antara waktu *stop flow* dengan absorbansi. Kondisi: 50 μL tiosianat 20 mg/L, 150 μL H_2SO_4 0,1 M, 100 μL oksidator ($\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$ 0,01 M), ninhidrin 0,006 %, kecepatan alir 50 $\mu\text{L}/\text{detik}$, lima segmen (asam-oksikator-sampel-oksikator-asam) dengan perbandingan volume (75:50:50:50:75) μL .

Pengaruh volume sampel terhadap absorbansi hidrindantin ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan gambar tersebut menunjukkan bahwa peningkatan volume sampel berbanding lurus dengan peningkatan absorbansi hingga keadaan *steady state*. Hasil optimasi ini menunjukkan bahwa pada volume sampel 25-125 μL terjadi peningkatan absorbansi dan pada volume sampel 125 dan 150 μL diperoleh perbedaan hasil yang tidak signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa pada volume sampel 125 μL seluruh tiosianat yang ada tepat bereaksi dengan sejumlah reagen yang telah tersedia sehingga pada penelitian ini, volume sampel optimum yang digunakan adalah sebesar 125 μL .

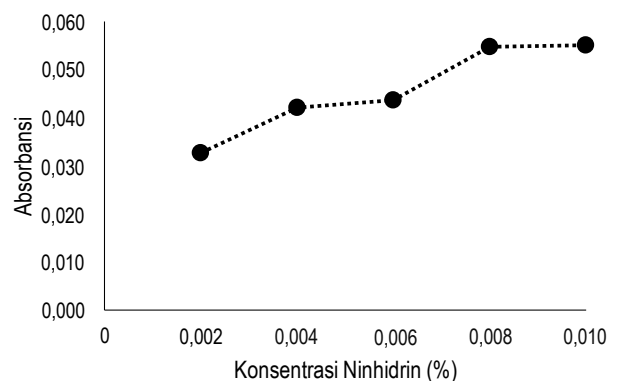


Gambar 3. Kurva hubungan antara volume sampel terhadap absorbansi. Kondisi sama dengan Gambar 2 dengan waktu *stop flow* sebesar 15 detik.

3.2. Optimasi parameter kimia

Parameter kimia yang dioptimasi pada penelitian ini adalah konsentrasi ninhidrin, konsentrasi asam, jenis dan konsentrasi oksidator. Pada penentuan konsentrasi ninhidrin optimum (Gambar 4). menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi ninhidrin maka semakin besar absorbansi yang dihasilkan. Hal ini disebabkan pada konsentrasi 0,002-0,008% sianida yang tersedia sebagai katalisator mampu mengkatalisis ninhidrin menjadi hidrindantin merah sehingga dengan adanya peningkatan konsentrasi ninhidrin maka hidrindantin yang terbentuk semakin besar hingga keadaan optimum. Namun, pada konsentrasi ninhidrin 0,008 dan 0,01% diperoleh perbedaan hasil yang tidak signifikan akibat ketersediaan sianida yang hanya mampu mengkatalisis seluruh ninhidrin pada konsentrasi 0,008% sehingga pada penelitian ini kondisi optimum yang dipilih adalah 0,008%.

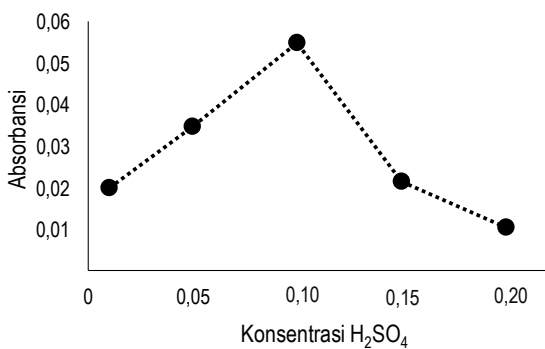
Pada Gambar 5 menunjukkan bahwa hingga kondisi optimum terjadi peningkatan absorbansi. Hal ini dikarenakan semakin besar konsentrasi asam maka jumlah H^+ yang terkandung dalam larutan semakin tinggi sehingga asam sianida yang terbentuk juga akan semakin tinggi. Semakin tinggi asam sianida yang terbentuk maka hidrindantin yang terbentuk juga akan semakin tinggi sehingga akan terjadi peningkatan absorbansi. Pada penelitian ini konsentrasi asam optimum adalah 0,1 M.



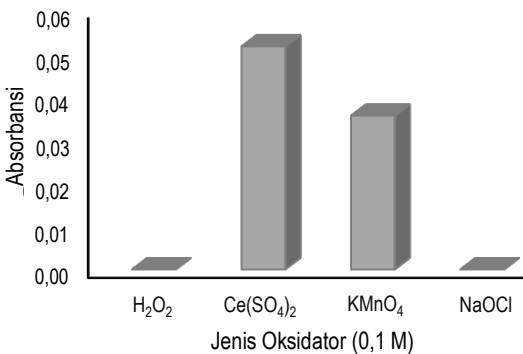
Gambar 4. Kurva hubungan antara konsentrasi ninhidrin terhadap absorbansi. Kondisi sama dengan Gambar 3 dengan volume sampel 125 μL .

Pada penelitian ini digunakan beberapa jenis oksidator diantaranya peroksida (H_2O_2), serum ($\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$), permanganat (KMnO_4), dan hipoklorit (NaOCl). Gambar 6 menunjukkan bahwa oksidator

KMnO₄ dan Ce(SO₄)₂ mampu mengoksidasi tiosianat menjadi sianida dengan baik. Hal ini ditandai dengan nilai absorbansi yang dihasilkan memiliki nilai yang cukup tinggi. Akan tetapi, pada penelitian ini larutan KMnO₄ sering tertinggal disepanjang pipa kapiler sehingga akan mempengaruhi absorbansi hidrindantin. Selain itu, KMnO₄ sangat dipengaruhi oleh tingkat keasamaan dan mudah membentuk endapan mangan dioksida (MnO₂). Endapan ini dapat menutupi permukaan mikropori membran sehingga menyebabkan permeabilitas membran dan tingkat ketepatan analisis menurun. Oleh karena itu, pada penelitian ini dipilih Ce(SO₄)₂ sebagai jenis oksidator optimum.



Gambar 5. Kurva hubungan antara konsentrasi H₂SO₄ terhadap absorbansi. Kondisi sama dengan Gambar 4 dengan konsentrasi ninhidrin 0,008%.



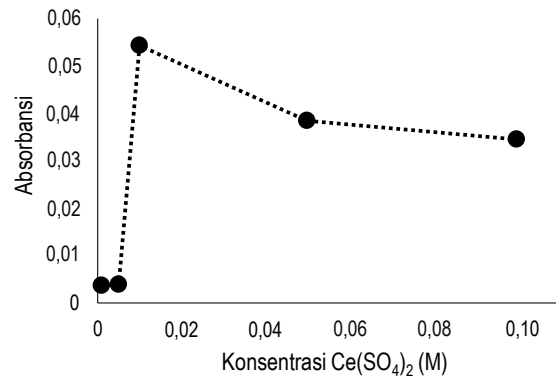
Gambar 6. Kurva hubungan antara jenis oksidator terhadap absorbansi. Kondisi sama dengan Gambar 5 dengan konsentrasi oksidator 0,01 M dan konsentrasi asam 0,1 M.

Pada optimasi konsentrasi oksidator diperoleh kondisi optimum sebesar 0,01 M. Gambar 7 menunjukkan bahwa pada konsentrasi 0,001-0,01 M terjadi peningkatan absorbansi. Hal ini menunjukkan semakin besar konsentrasi serium(IV) maka jumlah tiosianat yang teroksidasi menjadi

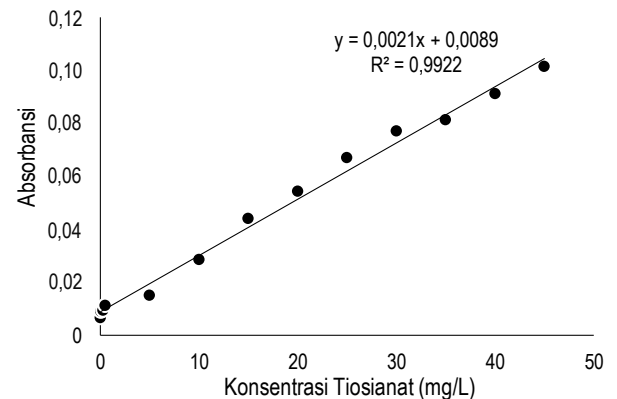
sianida semakin banyak sehingga hidrindantin yang terbentuk semakin banyak yang ditandai dengan peningkatan absorbansi. Konsentrasi serium(IV) yang terlalu tinggi melebihi optimum akan terjadi penurunan absorbansi.

3.3. Uji linieritas

Hasil penentuan linieritas pengukuran tiosianat ditunjukkan pada Gambar 8. Semakin besar konsentrasi tiosianat maka hidrindantin yang terbentuk akan semakin banyak sehingga nilai absorbansi yang terukur akan semakin meningkat. Hal ini sesuai dengan hukum Lambert-Beer yang menyatakan bahwa semakin tinggi konsentrasi analit maka absorbansi yang terukur akan semakin meningkat. Kurva hubungan antara konsentrasi tiosianat terhadap absorbansi (Gambar 8) dapat diketahui bahwa persamaan regresi liniernya adalah $y=0,0021x + 0,0089$ dengan koefisien korelasi $R^2 = 0,9922$. Y merupakan nilai absorbansi yang terukur dan x merupakan nilai konsentrasi.



Gambar 7. Kurva hubungan antara konsentrasi serium(IV) sebagai oksidator terhadap absorbansi. Kondisi sama dengan Gambar 6 dengan oksidator serium(IV).



Gambar 8. Kurva hubungan antara konsentrasi tiosianat terhadap absorbansi. Kondisi sama dengan Gambar 7 dengan konsentrasi oksidator serium(IV) 0,01 M.

3.4. Uji selektivitas

Penentuan pengaruh ion asing terhadap pembentukan hidrindantin bertujuan untuk mengetahui tingkat selektivitas metode SIA-GD. Pada penelitian ini dilakukan penambahan ion asing yaitu ion Cl^- dan HCO_3^- yang didasarkan pada keberadaannya bersama tiosianat dalam *saliva* sehingga dimungkinkan mengganggu pengukuran.

3.5. Uji validasi

Uji validasi dilakukan untuk mengetahui apakah metode SIA-GD dapat diterima atau tidak dalam penentuan tiosianat. Pada uji ini metode SIA-GD dibandingkan dengan metode spektrofotometri yang diaplikasikan pada sampel sintetis yang dikondisikan sesuai sampel alami.

Tabel 1.

Pengaruh ion asing terhadap pembentukan

| Jenis Ion Asing | Rasio (mg/mL) $\text{SCN}^- : \text{X}^{n-}$ | Absorbansi | Konsentrasi terukur (x) (mg/L) | % Recovery* |
|------------------|---|------------|-----------------------------------|----------------|
| HCO_3^- | 20 : 00 | 0,0515 | 20,3 | 101,5 ± 0,1354 |
| | 20 : 01 | 0,0519 | 20,5 | 102,3 ± 0,1344 |
| | 20 : 10 | 0,0515 | 20,3 | 101,3 ± 0,1356 |
| | 20 : 20 | 0,0522 | 20,6 | 103,2 ± 0,1332 |
| | 20 : 40 | 0,0568 | 22,8 | 114,0 ± 0,1607 |
| Cl^- | 20 : 100 | 0,0618 | 25,2 | 125,9 ± 0,1092 |
| | 20 : 00 | 0,0515 | 20,3 | 101,5 ± 0,1354 |
| | 20 : 01 | 0,0507 | 19,9 | 99,60 ± 0,1380 |
| | 20 : 10 | 0,0517 | 20,4 | 101,8 ± 0,1350 |
| | 20 : 20 | 0,0518 | 20,4 | 102,1 ± 0,1347 |
| | 20 : 40 | 0,0532 | 21,1 | 105,4 ± 0,1304 |
| | 20 : 100 | 0,0966 | 41,7 | 208,7 ± 0,0659 |

* % Recovery dilakukan dengan tiga kali pengulangan

Berdasarkan Tabel 1 menunjukkan bahwa ion asing Cl^- pada konsentrasi 1-40 mg/L dan ion asing HCO_3^- pada konsentrasi 1-20 mg/L belum menunjukkan pengaruh terhadap pembentukan hidrindantin yang dibuktikan dengan nilai % *recovery* yang berada >95%. Absorbansi yang dihasilkan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan apabila dilihat dari kenaikan konsentrasi ion asing. Ion asing Cl^- mulai mengganggu pada konsentrasi 100 mg/L (5 kali konsentrasi tiosianat) sedangkan HCO_3^- pada konsentrasi 40 mg/L (2 kali konsentrasi tiosianat). Keduanya ditandai dengan terjadinya kenaikan absorbansi.

Konsentrasi sampel sintetis yang diujikan pada SIA-GD adalah 5, 10 dan 15 mg/L sedangkan pada metode spektrofotometri sampel tersebut diencerkan 10 kali. Pada metode spektrofotometri diperoleh kurva baku dengan persamaan regresi linier $y = 0,0696x - 0,0029$ dengan koefisien korelasi sebesar $R^2 = 0,9939$. Pada metode SIA-GD diperoleh kurva baku dengan persamaan regresi linier $y = 0,002x + 0,0078$ dengan koefisien korelasi sebesar $R^2 = 0,9917$. Pengujian sampel sintetis menggunakan SIA-GD dan metode spektrofotometri ditunjukkan pada Tabel 2. Untuk mengetahui apakah kedua metode berbeda atau tidak pada penentuan sampel sintetis maka dilakukan uji-t.

Tabel 2.

Hasil pengukuran sampel sintetis

| Konsentrasi sampel sintetis (mg/L) | Metode SIA-GD | | Metode Spektrofotometri ^a | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|-------------|--|-------------|
| | Konsentrasi terukur (x) (mg/L) | % Ketetapan | Konsentrasi terukur (x) ^b (mg/L) | % Ketetapan |
| 5 | 5,150 | 103,0 | 5,210 | 104,1 |
| 10 | 10,22 | 102,2 | 10,19 | 101,9 |
| 15 | 14,90 | 99,31 | 14,98 | 99,84 |

^a Didasarkan pada pembentukan kompleks tiosianat dengan besi(III), ^b Diencerkan 10 kali pada pengukurannya

Hasil uji-t pada sampel sintesis secara berurutan diperoleh t_{hitung} sebesar 1,160; 1,611 dan 1,362 dengan t_{tabel} (df=4, 95%) sebesar 2,776. Berdasarkan data yang diperoleh tersebut menunjukkan bahwa $t_{hitung} < t_{tabel}$ sehingga metode SIA-GD yang dikembangkan tidak memiliki perbedaan yang signifikan dengan metode standar dengan tingkat kepercayaan 95%. Berdasarkan uji tersebut metode yang dikembangkan ini dapat digunakan sebagai metode alternatif dalam penentuan tiosianat.

4. Kesimpulan

Metode SIA-GD yang dikembangkan memiliki presisi dan akurasi yang sebanding dengan metode standar sehingga dapat digunakan sebagai metode alternatif untuk penentuan tiosianat. Konsentrasi linier tiosianat adalah 5-45 mg/L dengan kecepatan analisis sampel 130 detik/sampel.

5. Daftar pustaka

- Behrman, R.E., Kliegman, R.M., & Arvin, A.M. (1996). *Ilmu kesehatan anak* (15 ed.). Jakarta: Buku Kedokteran EGC.
- Benoist, B., Anderson, M., Egli, I., Takkouche, B., & Allen, H. (2004). *Iodine status worldwide WHO Global Database on Iodine Deficiency*. Department of Nutrition for Health and Development . Geneva: World Health Organization.
- Gould, W.D., King, M., Mohapatra, B.R., Cameron, R.A., Kapoor, A., & Koren, D.W. (2012). A critical review on destruction of thiocyanate in mining effluents. *Minerals Engineering*, 34, 38-47.
- Greenberg, A.E., Clesceri, L.S., & Eaton, A.D. (1992). *Standard methods: for the examination of water and wastewater* (18 ed.). American Public Health Association.
- Hadyana, P. (2002). *Kamus kimia*. Jakarta: Balai Pustaka.
- Kusumaningtyas, N.M., Sulistyarti, H., & Fardiyah, Q. (2015). Optimasi metode spektrofotometri untuk penentuan tiosianat berdasarkan pembentukan senyawa hidrindantin menggunakan oksidator hipoklorit. *Kimia Student Journal*, 1(1), 677-683.
- Lindsay, A. (2006, April 19). *NakedScientists*. Retrieved July 31, 2016, from <http://www.thenakedscientists.com/HTML/articles/article/alexandralindsaycolumn1.htm/>
- Nagaraja, P., Kumar, M.S.H, Yathirajan, H.S., & Prakash, J.S. (2002). Novel sensitive spectrophotometric method for the trace determination of cyanide in industrial effluent. *Analytical Science*, 18, 1027-1030.
- Ningtyas, F.W., Asdie, A.H., Julia, M., & Prabandari, Y.S. (2014). Eksplorasi kearifan lokal masyarakat dalam mengkonsumsi pangan sumber zat goitrogenik terhadap gangguan akibat kekurangan yodium. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional*, 8(7), 306-312.
- Ruzicka, J., & Marshall, G.D. (1990). Sequential injection: a new concept for chemical sensors, process analysis and laboratory assays. *Analytica Chimica Acta*, 237, 329-343.
- Sulistyarti, H., Kolev, S.D., & Lim, S. (2010). Development of flow injection method for online determination of thiocyanate based on oxidation by permanganate. *Indonesia Journal of Chemistry*, 10(2), 167-171.