MASALIQ
Jurnal Pendidikan dan Sains

e-ISSN: 2808-8115
p-ISSN: 2809-1051

Terindeks: Sinta 5, Copernicus, Dimensions, Scilit, Lens, Crossref, Garuda, Google Scholar, Base, etc

https://doi.org/10.58578/masaliq.v5i6.7568

APLIKASI PENGGUNAAN RESIN SILIKA GEL-GPTMS TERMODIFIKASI DIMETILAMINA UNTUK ANALISIS ION KLORIDA (CL^-) SECARA KROMATOGRAFI ION

Application of Dimethylamine-Modified Silica Gel-GPTMS Resin for Chloride Ion (Cl^-) Analysis by Ion Chromatography

Siska Maharani & Budhi Oktavia
Universitas Negeri Padang
mhrnisiska87@gmail.com; budhioktavia@fmipa.unp.ac.id

Article Info:

Submitted:	Revised:	Accepted:	Published:
Sep 1, 2025	Sep 22, 2025	Oct 3, 2025	Oct 8, 2025

Abstract

The limited use of silica gel as an ion-exchange resin in ion chromatography columns forms the background of this study, despite its high potential as a stationary phase. This research aims to apply glycidoxypropyltrimethoxysilane–dimethylamine (GPTMS–DMA) modified silica gel as an ion-exchange resin in ion chromatography for the analysis of chloride ions (Cl^-). A quantitative method was employed, using chloride ion concentrations of 100 ppm, 200 ppm, and 300 ppm. The analysis was conducted using High Performance Liquid Chromatography (HPLC) with a column packed with GPTMS–DMA silica gel and a mixed eluent of Na_2CO_3 and $NaHCO_3$ at concentrations of 0.1 M, 0.05 M, and 0.01 M. The results showed that 0.1 M Na_2CO_3 produced the most optimal chromatogram peaks, with a regression equation of $y = 0.0004x$ and a determination coefficient $R^2 = 0.9733$, indicating high linearity. The study concludes that GPTMS–DMA modified silica gel is effective as a stationary phase for chloride ion analysis via ion chromatography and holds strong potential for further development as an ion-exchange resin in broader chemical analysis applications.

Masaliq Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License

Keywords: Silica Gel; GPTMS; Dimethylamine; Chloride Ion; Ion Chromatography; Ion-Exchange Resin.

Abstrak: Kurangnya pemanfaatan silika gel sebagai resin penukar ion dalam kolom kromatografi ion menjadi latar belakang penelitian ini, meskipun potensinya sebagai fasa diam cukup tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengaplikasikan silika gel termodifikasi *glycidoxypropyltrimethoxysilane–dimetilamina* (GPTMS–DMA) sebagai resin penukar ion dalam kromatografi ion untuk analisis ion klorida (Cl^-). Metode yang digunakan bersifat kuantitatif, dengan variasi konsentrasi ion klorida sebesar 100 ppm, 200 ppm, dan 300 ppm. Analisis dilakukan menggunakan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) dengan kolom yang diisi silika gel GPTMS–DMA dan eluen berupa campuran Na_2CO_3 dan $NaHCO_3$ dengan konsentrasi masing-masing 0,1 M, 0,05 M, dan 0,01 M. Hasil penelitian menunjukkan bahwa eluen Na_2CO_3 0,1 M memberikan puncak kromatogram yang lebih baik, dengan persamaan regresi y = 0,0004x dan koefisien determinasi R^2 = 0,9733, menunjukkan linearitas yang tinggi. Simpulan dari penelitian ini adalah bahwa silika gel termodifikasi GPTMS–DMA efektif digunakan sebagai fasa diam dalam analisis ion klorida melalui kromatografi ion, dan berpotensi dikembangkan lebih lanjut sebagai resin penukar ion dalam aplikasi analisis kimia yang lebih luas.

Kata Kunci: Silika Gel; GPTMS; Dimetilamina; Ion Klorida; Kromatografi Ion; Resin Penukar Ion.

PENDAHULUAN

Silika (SiO_2) merupakan material anorganik berpori dengan luas permukaan besar serta stabilitas termal dan kimia tinggi. Gugus hidroksil (Si–OH) pada permukaannya memudahkan modifikasi untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi, aktivitas katalitik, dan selektivitas. Dalam bentuk silika gel, material ini banyak digunakan sebagai adsorben, meskipun selektivitasnya terhadap ion tertentu masih terbatas, karena terbatasnya kemampuan silika gel maka dilakukanlah modifikasi. (Zikra et al., 2023).

Modifikasi dilakukan dengan 3-Glycidoxypropyltrimethoxysilane (GPTMS), yang memungkinkan pengikatan gugus fungsional baru. GPTMS bereaksi dengan senyawa organik seperti dimetilamina (DMA) sehingga menghasilkan silika termodifikasi dengan afinitas lebih baik terhadap ion anionik, termasuk klorida (Cl^-). Gugus amina dari DMA berinteraksi elektrostatik dengan ion bermuatan negatif, menjadikan material ini ideal untuk analisis ion anorganik, khususnya dengan kromatografi ion (Delfitri et al., 2022).

Penggunaan silika termodifikasi GPTMS–DMA pada kromatografi ion meningkatkan sensitivitas, akurasi, dan stabilitas deteksi ion klorida, bahkan pada konsentrasi rendah. Metode ini juga efektif membandingkan klorida dengan anion lain seperti sulfat

dalam sampel. Pendekatan ini diharapkan dapat menghasilkan resin penukar anion alternatif yang tidak hanya menekan biaya tetapi juga memiliki kinerja analitis yang kompetitif, sekaligus mengatasi ketergantungan terhadap resin komersial yang mahal (Chen et al., 2021).

Klorida sendiri penting dalam lingkungan sebagai indikator pencemaran dan dalam tubuh manusia untuk keseimbangan osmotik. Oleh karena itu, analisisnya sangat relevan di bidang lingkungan, industri, dan medis (Kang et al., 2019). Penelitian menunjukkan bahwa GPTMS–DMA meningkatkan adsorpsi dan stabilitas pemisahan ion, sehingga deteksi berlangsung lebih presisi, cepat, dan sensitif, baik untuk klorida maupun ion lain seperti logam berat (Zikra et al., 2023).

Kromatografi ion memisahkan anion berdasarkan afinitas terhadap fase diam, menjadikannya metode sensitif dan presisi untuk pemantauan kualitas air jangka panjang. Kolom silika termodifikasi GPTMS–DMA terbukti meningkatkan selektivitas dan kapasitas pemisahan anion (Zhang et al., 2021).

Selain itu, pemilihan eluen sangat menentukan keberhasilan analisis. Eluen natrium karbonat (Na_2CO_3) dan natrium bikarbonat ($NaHCO_3$) banyak digunakan karena stabil, bersifat buffer, dan efektif memisahkan anion dalam berbagai matriks. Keduanya menghasilkan ion hidroksida (OH^-) melalui hidrolisis karbonat, menciptakan lingkungan pH stabil yang kompatibel dengan kolom penukar anion dan memungkinkan pemisahan ion klorida secara sensitif dengan gangguan minimal (Lu et al., 2020).

Sebelumnya, berbagai modifikasi pada silika gel telah diteliti untuk aplikasi adsorpsi ion. Dalam Zikra melaporkan bahwa modifikasi silika dengan 3-Glycidoxypropyltrimethoxysilane (GPTMS) dan Dimethylamine (DMA) meningkatkan kapasitas adsorpsi dan selektivitas terhadap ion klorida (Zikra et al., 2023). Penelitian lain oleh Hafni dan Sastika menunjukkan kapasitas adsorpsi ion klorida sebesar 0.301 mg/g dan 0,0531 mg/g pada silika termodifikasi GPTMS-DMA (Hafni Hasibuan et al., 2023; Sastika, 2023). Demikian pula, modifikasi serupa telah berhasil diaplikasikan untuk adsorpsi ion fosfat, nitrat, nitrit, sulfat dan logam berat seperti kromat (Arianti & Oktavia, 2021; Delfitri et al., 2022; Riswinia Aulia & Oktavia, 2021; Weni & Oktavia, 2021)juga desorpsi pada ion fosfat, nitrat, nitrit juga kromat (Anggraini et al., 2023; Maulana & Oktavia, 2022; Ramadha Yanti et al., 2022; Syafitriza et al., 2023). Namun, sebagian besar penelitian terdahulu berfokus pada studi adsorpsi dan desorpsi, bukan pada aplikasinya secara langsung sebagai fase diam dalam kolom kromatografi.

Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan silika gel modifikasi GPTMS–DMA sebagai fasa diam (stationary phase) dalam kolom kromatografi ion untuk analisis ion klorida, bukan hanya sebagai adsorben pada mode batch. Secara teoritis, modifikasi GPTMS memungkinkan pengikatan gugus organik ke permukaan silika, sementara gugus DMA menciptakan situs bermuatan positif pada permukaan untuk menarik ion Cl^- melalui interaksi elektrostatik. Prinsip kerja ini sejalan dengan strategi fasa bertukar ion positif (anion exchanger) yang menahan ion negatif, dan pelepasannya dapat dikontrol melalui eluen dengan buffer atau kekuatan ionik (Amin & Oktavia, 2020). Tujuan dari penelitian ini adalah mengaplikasikan resin silika gel-GPTMS-DMA yang disintesis sebagai resin penukar ion dalam analisis ion klorida secara kromatografi ion.

METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik dan Laboratorium Instrumen Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Instrumen yang digunakan yaitu Spektrofotometer UV-VIS, FTIR, dan HPLC dengan detector UV. Bahan yang dipakai yaitu Silika gel, GPTMS (*Glycidoxypropyltrimethoxysilane*), DMA (*Dimethylamine*), Toulena, Metanol, Etanol, KCl, Na_2CO_3, dan $NaHCO_3$. Penelitian ini memfokuskan pada aplikasi silika gel GPTMS-DMA sebagai fase diam dalam analisis ion klorida secara kromatografi.\

Sintesis Silika gel GPTMS-DMA

Timbang 25 gram silika, tambahkan 25 mL GPTMS dan 87,5 mL toluena, kemudian stirer dengan suhu 90°C selama 24 jam. Lalu dibilas dengan 12,5 mL metanol. Kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 65°C selama 2 jam. Hasil yang diperoleh dikarakterisasi dengan instrumen FTIR (Elvina et al., 2024).

Timbang 23 gram silika gel-GPTMS dimodifikasi dengan 11,5 mL DMA yang dilarutkan dalam 11,5 mL etanol (1:1 v/v). Silika ini kemudian dioven selama 4 jam pada suhu 80°C. Setelah dioven, silika tersebut dibilas dengan metanol. Selanjutnya, silika gel-GPTMS termodifikasi DMA dikarakterisasi dengan menggunakan instrumen FTIR (Hafni Hasibuan et al., 2023).

Penentuan Panjang Gelombang Ion Nitrit

Larutan ion klorida dengan konsentrasi 1000 ppm diuji menggunakan spektrofotometer UV-Vis yang ada di laboratorium instrumen kimia Universitas Negeri Padang.

Pembuatan Kolom

Kolom yang digunakan yaitu kolom stainless steel dengan panjang 15 cm lalu diisi dengan resin silika gel termodifikasi GPTMS-DMA. Sebelum pengisian, kolom harus dibersihkan terlebih dahulu untuk menghilangkan kotoran dan memastikan tidak ada penyumbatan agar tidak mempengaruhi proses pengujian. Resin atau fase diam yang dipakai dalam bentuk bubuk kering kemudian dimasukkan langsung pada kolom dengan hati-hati tanpa merusak kolom dan diisi sepadat mungkin dan pastikan tidak ada rongga dengan cara diketuk-ketuk pelan. Kolom ini nanti dipasangkan pada HPLC dengan detektor UV, sehingga digunakan sebagai kromatografi ion karena kolom yang dipakai adalah kolom penukar ion.

Analisis ion klorida (Cl^-)

Analisis ion Klorida (Cl^-) dengan eluen Na_2CO_3

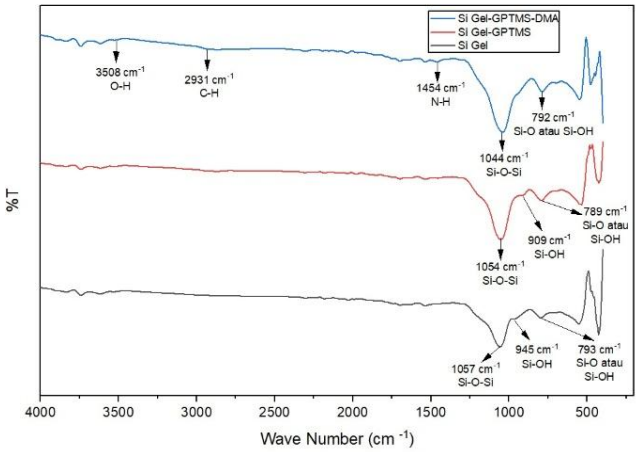
Kolom penukar ion yang mengandung resin silika gel GPTMS termodifikasi Dimetilamina yang telah disiapkan sebelumnya kemudian dipasang pada alat HPLC. Selanjutnya eluen Na_2CO_3 disonikasi terlebih dahulu selama 5 menit. Setelah disonikasi eluen dipasangkan selang yang terhubung ke pompa. Atur laju alir pada intrumen menjadi 0,5 mL/menit. Kemudian alirkan terlebih dahulu selama paling kurang 30 menit, lalu injeksikan ion Klorida menggunakan suntik sebanyak 20 μL untuk masing-masing konsentrasi ion yaitu 100 ppm, 200 ppm, dan 300 ppm. Lakukan pengujian dan amati perubahan yang terjadi pada saat hasil kromatogram didapatkan.

Analisis ion Klorida (Cl^-) dengan eluen $NaHCO_3$

Kolom penukar ion yang mengandung resin silika gel GPTMS termodifikasi Dimetilamina yang telah disiapkan sebelumnya kemudian dipasang pada alat HPLC. Selanjutnya eluen $NaHCO_3$ disonikasi terlebih dahulu selama 5 menit. Setelah disonikasi eluen dipasangkan selang yang terhubung ke pompa. Atur laju alir pada intrumen menjadi 0,5 mL/menit. Kemudian alirkan terlebih dahulu selama paling kurang 30 menit, lalu injeksikan ion Klorida menggunakan suntik sebanyak 20 μL untuk masing-masing konsentrasi ion yaitu 100 ppm, 200 ppm, dan 300 ppm. Lakukan pengujian dan amati perubahan yang terjadi pada saat hasil kromatogram didapatkan.

HASIL

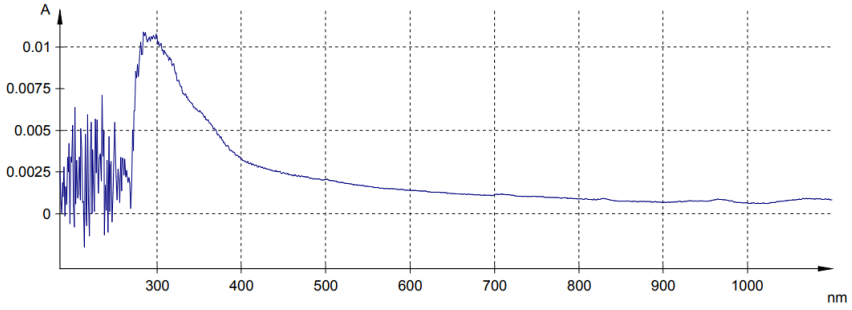
Karakterisasi FTIR



Gambar 1. Spektrum FTIR silika gel; silika gel GPTMS; silika gel GPTMS-DMA.

Gambar ini menunjukkan spektrum FTIR dari silika gel, silika gel-GPTMS, dan silika gel GPTMS-DMA. Puncak khas pada silika murni ditandai oleh vibrasi Si–O–Si sekitar 1057 cm^{-1}. Setelah dimodifikasi dengan GPTMS, muncul pita serapan pada 909 cm^{-1} yang menunjukkan keberadaan gugus epoksi. Pada silika GPTMS-DMA, pita tersebut berkurang intensitasnya dan muncul serapan baru 1454 cm^{-1} yang mengindikasikan keberadaan gugus amina. Hal ini membuktikan bahwa reaksi ikatan kovalen antara GPTMS dan DMA berhasil terjadi.

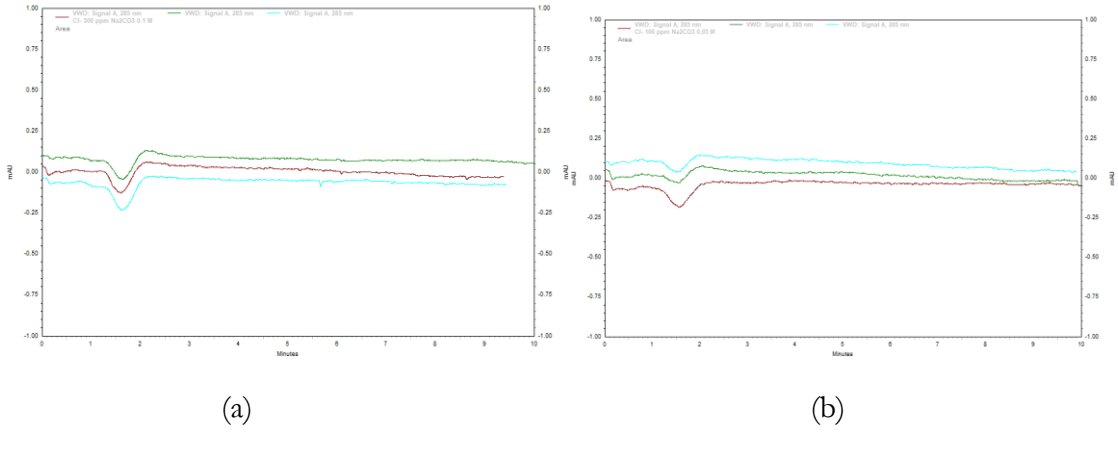
Penentuan Panjang Gleombang Ion Klorida



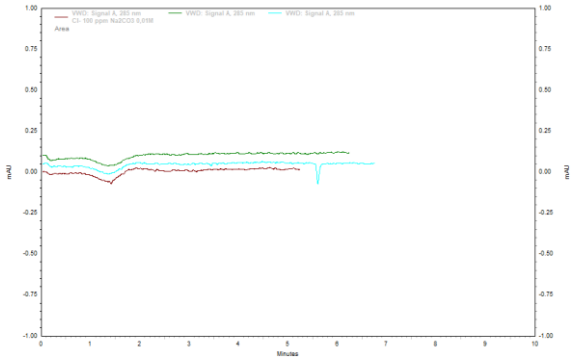
Gambar 2. Spektrum UV-VIS ion Klorida

Spektrum UV-Vis menunjukkan puncak serapan utama pada 287-292 nm dengan absorbansi sekitar 0,01. Panjang gelombang ini dipilih sebagai λ maksimum untuk deteksi ion klorida karena memberikan sensitivitas terbaik.

Pengaruh eluen Na_2CO_3 terhadap Ion Klorida



(a) (b)



(c)

Gambar 3. Kromatogram ion Klorida (a) Na_2CO_3 0,1 M (b) Na_2CO_3 0,05 M (c) Na_2CO_3 0,01 M

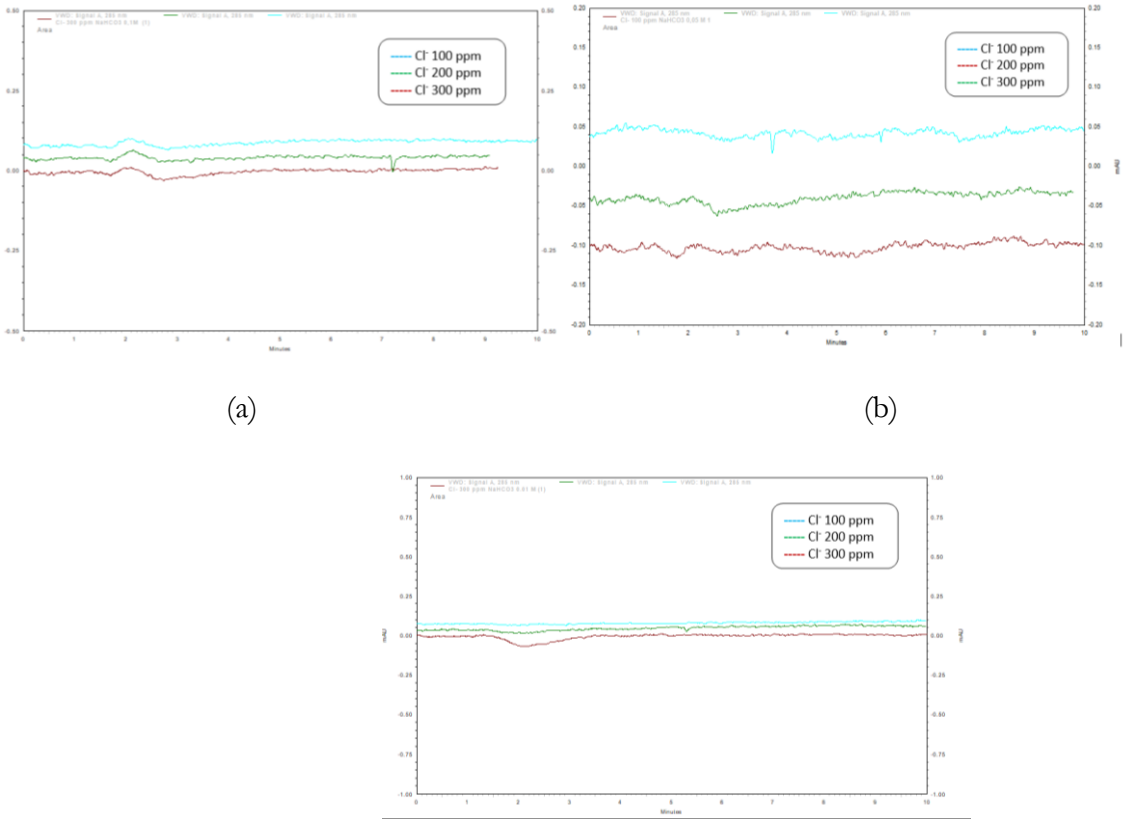
Tabel 1. Variasi Konsentrasi Ion Klorida dengan Eluen Na_2CO_3

No	Konsetrasi Ion Klorida (ppm)	Na_2CO_3 0,1 M			Na_2CO_3 0,05 M			Na_2CO_3 0,01 M		
		Tinggi Puncak (mAU)	Waktu Retensi (menit)	Luas Puncak [(alas x tinggi)/2]	Tinggi Puncak (mAU)	Waktu Retensi (menit)	Luas Puncak [(alas x tinggi)/2]	Tinggi Puncak (mAU)	Waktu Retensi (menit)	Luas Puncak [(alas x tinggi)/2]
1.	100	0,145	1,60	0,0594	0,062	1,53	0,025	0,062	1,32	0,31
2.	200	0,155	1,60	0,0682	0,080	1,53	0,028	0,064	1,32	0,32
3.	300	0,195	1,60	0,1092	0,100	1,53	0,05	0,072	1,32	0,36

Gambar 3 memperlihatkan kromatogram ion klotida pada konsentrasi 100, 200, dan 300 ppm menggunakan eluen Na_2CO_3 dengan variasi konsentrasi 0,1 M, 0,05 M, dan 0,01 M. Tabel 1 menunjukkan data tinggi puncak, waktu retensi, dan luas puncak. Hasilnya, eluen

Na_2CO_3 0,1 M memberikan puncak agak melebar (retensi 1,32–1,60menit) dengan intensitas tertinggi (hingga 0,195 mAU) dibandingkan konsentrasi eluen yang lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa Na_2CO_3 lebih efektif dalam memisahkan ion nitrit karena kekuatan basanya yang lebih tinggi.

Pengaruh eluen $NaHCO_3$ terhadap Ion Klorida



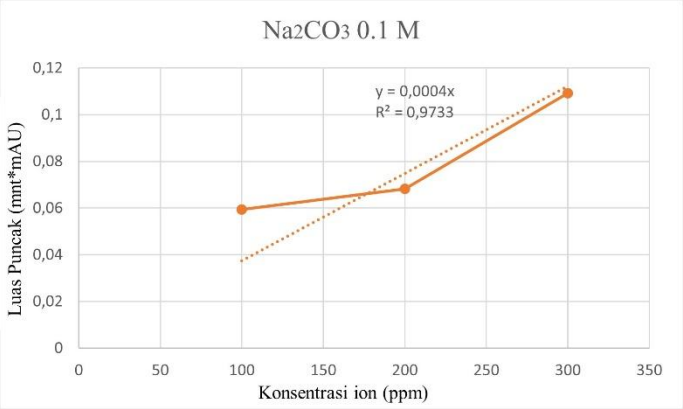
Gambar 4. Kromatogram ion Klorida (a) $NaHCO_3$ 0,1 M (b) $NaHCO_3$ 0,05 M (c) $NaHCO_3$ 0,01 M

Tabel 2. Variasi Konsentrasi Ion Klorida dengan Eluen $NaHCO_3$

No	Konsetrasi Ion Klorida (ppm)	$NaHCO_3$ 0,1 M			$NaHCO_3$ 0,05 M			$NaHCO_3$ 0,01 M		
		Tinggi Puncak (mAU)	Waktu Retensi (menit)	Luas Puncak [(alas x tinggi)/2]	Tinggi Puncak (mAU)	Waktu Retensi (menit)	Luas Puncak [(alas x tinggi)/2]	Tinggi Puncak (mAU)	Waktu Retensi (menit)	Luas Puncak [(alas x tinggi)/2]
1.	100	0,02	2,70	0,0075	0,013	2,50	0,0078	0,02	2,17	0,006
2.	200	0,04	2,70	0,023	0,010	2,50	0,0075	0,03	2,17	0,015
3.	300	0,07	2,70	0,07	0,015	2,50	0,0056	0,08	2,17	0,078

Gambar 4 menampilkan kromatogram ion klorida pada konsentrasi yang sama dengan eluen $NaHCO_3$. Berdasarkan Tabel 2, puncak terdeteksi pada waktu retensi sekitar 2,17–2,70 menit, dengan intensitas lebih rendah dibandingkan Na_2CO_3. Puncak yang dihasilkan hamper menyerupai baseline. Hal ini menunjukkan bahwa $NaHCO_3$ kurang efektif dibandingkan Na_2CO_3 dalam mendeteksi klorida pada kondisi ini.

Kurva Standar Eluen Optimum



Gambar 5. Kurva standar larutan ion klorida

Tabel 3. Hasil nilai LOD dan LOQ

x	y	y'	y-y'	(y-y')2
100	0,0594	0,04	0,0194	0,000376
200	0,0682	0,08	-0,0118	0,000139
300	0,1092	0,12	-0,0108	0,000117
Total				0,000632
Persamaan Regresi				0,0004x
S(y/x)^2				0,000632
S(y/x)				0,025144
Nilai LOD				188,582
Nilai LOQ				628,609

Kurva standar pada gamber 5 dibuat berdasarkan hasil luas puncak dengan konsentrasi klorida yaitu 100, 200, 300 ppm menggunakan eluen Na_2CO_3 0,1 M. persamaan regresi yang didapatkan adalah y=0,0004x dan dengan R^2 =0,9733, yang menunjukkan

linieritas yang cukup baik. Tabel 3 menampilkan perhitungan LOD (Limit of Detection) sebesar 188,582 ppm dan LOQ (Limit of Quantification) sebesar 628,609 ppm, menandakan metode cukup mampu untuk menganalisis ion klorida namun menggunakan konsentrasi yang cukup tinggi.

PEMBAHASAN

Penentuan Panjang Gleombang Ion Klorida

Dari spektrum yang ditunjukkan, dapat diamati bahwa ion klorida memiliki serapan maksimum (λmaks) pada panjang gelombang sekitar 287-292 nm dengan nilai absorbansi relatif 0,01 A. Puncak ini menunjukkan transisi elektronik akibat interaksi ion klorida dalam larutan dengan radiasi UV, meskipun perlu dicatat bahwa ion anorganik sederhana seperti Cl^- umumnya tidak memiliki pita serapan intens yang khas di daerah UV-Vis. Meskipun demikian, walau ion klorida bukan penyerap UV-Vis yang kuat secara intrinsik, penggunaan panjang gelombang optimal sekitar 288–290 nm atau pendekatan tidak langsung dengan pereaksi spesifik memungkinkan deteksi yang valid dan akurat.

Analisis Ion Klorida dengan Eluen Na_2CO_3

Analisis kromatografi ion terhadap larutan ion klorida dengan eluen Na_2CO_3 pada tiga konsentrasi (0,1; 0,05; dan 0,01 M) menunjukkan pola retensi singkat, puncak broad, serta hubungan yang kurang linier antara konsentrasi dan respon detektor (R^2 = 0,9733). Pada eluen 0,1 M, klorida terdeteksi pada 1,60 menit dengan puncak broad yang mengindikasikan keterbatasan resolusi namun tetap valid untuk kuantifikasi. Eluen 0,05 M menghasilkan retensi 1,53 menit yang konsisten di berbagai konsentrasi analit, sedangkan 0,01 M memberi retensi lebih singkat, 1,32 menit, dengan puncak broad serupa. Secara teori, eluen lebih pekat seharusnya mempercepat retensi, namun hasil penelitian menunjukkan tren sebaliknya, di mana eluen pekat justru memperpanjang retensi. Penyimpangan ini diduga akibat interaksi spesifik klorida dengan fase stasioner pada kondisi pekat, efek matriks karbonat pada baseline detektor UV, serta keterbatasan sensitivitas UV terhadap ion klorida. Nilai R^2=0,9733 yang didapat dalam kurva menunjukkan sedikit efektif sebagai eluen untuk analisis ion klorida dengan fasa diam silika gel GPTMS-DMA. Hal ini sejalan dengan pernyataan Schäfer bahwa hubungan konsentrasi eluen dan retensi tidak selalu linear karena dipengaruhi kondisi kolom, fase stasioner, dan instrumen deteksi (Schäfer et al., 2023).

Analisis Ion Klorida dengan Eluen $NaHCO_3$

Analisis ion klorida dengan kromatografi ion menggunakan eluen $NaHCO_3$ menunjukkan waktu retensi konstan pada berbagai konsentrasi, yaitu 2,70 menit (0,1 M), 2,50 menit (0,05 M), dan 2,17 menit (0,01 M). Secara teori, konsentrasi eluen yang lebih tinggi seharusnya mempercepat retensi, namun hasil ini justru menunjukkan tren sebaliknya. Respon instrumen berupa tinggi dan luas puncak juga relatif kecil, bahkan negatif, menandakan adanya gangguan baseline pada detektor UV dan rendahnya sensitivitas UV terhadap ion klorida yang tidak memiliki kromofor. Kondisi ini diperburuk oleh sifat eluen bikarbonat yang kurang stabil akibat kesetimbangan ion karbonat-bikarbonat yang dipengaruhi pH (Michalski, 2018).

Pengaruh Variasi Eluen Dan Konsentrasi Eluen Yang Digunakan

Jenis eluen sangat memengaruhi analisis ion klorida pada kromatografi ion, terutama terkait waktu retensi, efisiensi pemisahan, dan kualitas kromatogram. Eluen Na_2CO_3 umumnya menghasilkan retensi lebih singkat dibandingkan $NaHCO_3$ karena ion karbonat (CO_3^{2-}) bermuatan ganda sehingga lebih kompetitif terhadap situs aktif fasa diam, menghasilkan puncak lebih tajam (Schäfer et al., 2023). Sebaliknya, $NaHCO_3$ memberikan retensi lebih lama akibat kesetimbangannya yang dipengaruhi pH larutan (Michalski, 2018). Pada konsentrasi rendah (0,01 M), kedua eluen justru menunjukkan retensi lebih cepat, diduga akibat degradasi pemodifikasi fasa diam seperti GPTMS-DMA pada silika, yang menurunkan kestabilan kolom (Joachim Weiss, 2016). Dari sisi luas puncak, Na_2CO_3 pada konsentrasi tinggi menghasilkan respon detektor lebih besar dan konsisten, sedangkan $NaHCO_3$ cenderung lebih kecil dan tidak stabil (Hamilton, 2012). Secara keseluruhan, keberhasilan analisis ion klorida dipengaruhi oleh kekuatan ionik eluen sekaligus kestabilan fasa diam kolom.

Nilai LOD dan LOQ

Berdasarkan hasil perhitungan regresi linier antara konsentrasi natrium karbonat 0,1 M dengan respon instrumen diperoleh persamaan regresi y = 0,0004x dan standar deviasi residual sebesar 0,025144. Dari data tersebut, nilai limit of detection (LOD) dan limit of quantification (LOQ) dihitung menggunakan rumus LOD = 3,3 × SD/slope dan LOQ = 10 × SD/slope, sehingga diperoleh nilai LOD sebesar 188,582 dan LOQ sebesar 628,609. Nilai LOD menunjukkan bahwa metode ini baru mampu mendeteksi keberadaan natrium

karbonat pada konsentrasi setara dengan 188,582 ppm, namun pada level ini kuantifikasi belum dapat dilakukan secara akurat. Sedangkan nilai LOQ yang lebih tinggi menunjukkan bahwa untuk dapat diukur secara kuantitatif dengan presisi yang baik, konsentrasi natrium karbonat harus minimal berada pada kisaran 628,609 ppm. Dengan demikian, pada larutan natrium karbonat 0,1 M, instrumen dapat mendeteksi keberadaan analit, tetapi hanya sampel dengan konsentrasi yang lebih tinggi dari nilai LOQ yang dapat dikuantifikasi secara tepat. Hasil ini mengindikasikan bahwa sensitivitas metode masih terbatas sehingga pengukuran natrium karbonat pada konsentrasi rendah mungkin kurang akurat.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa silika gel termodifikasi GPTMS-DMA berhasil diaplikasikan sebagai fasa diam penukar anion yang efektif untuk analisis kuantitatif ion klorida, eluen Na_2CO_3 0,1 M terbukti paling efektif menghasilkan pemisahan optimal dengan respon linear dan waktu retensi konsisten pada konsentrasi 100,200,300 ppm. Penelitian ini membuktikan material ini sebagai alternatif ekonomis dan layak sebagai pengganti resin komersial, memperkaya perkembangan material fasa diam berbasis silika. Pada penelitian selanjutnya diperlukan eksplorasi lebih lanjut pada matriks sampel kompleks (air limbah, biologis), pengujian umur pakai kolom, serta modifikasi gugus fungsional untuk meningkatkan selektivitas dan kapasitas terhadap berbagai anion.

DAFTAR PUSTAKA

Amin, M., & Oktavia, B. (2020). Aplikasi Teknik Kromatografi Ion pada Penentuan Kadar Mineral Mikro Kation (Na+, NH4+, K+, Mg2+, Ca2+, Ba2+, dan Sr2+) dan Anion (F-, Cl-, Br-, NO2-, NO3-, SO42–, dan PO43-) dalam Sampel Air Panas Bumi untuk Tujuan Balneoterapi. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, *16*(2), 171. https://doi.org/10.20961/alchemy.16.2.36210.171-178

Anggraini, S., Oktavia, B., Dewata, I., & Azra, F. (2023). Desorpsi Anion Kromat (CrO 4 2-) dari Adsorben Silika Mesopori Termodifikasi DMA (Dimethylamine). *Chemistry Journal of Universitas*, *12*(2). http://ejournal.unp.ac.id/index.php/kimia

Arianti, Y., & Oktavia, B. (2021). Optimization of Nitrate and Nitrite Anions Adsorption on Modified Silica using Batch Method. *Journal of Physics: Conference Series*, *1940*(1), 012042. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1940/1/012042

Chen, Y., Zou, C., Bin, J., Yang, M., & Kang, C. (2021). Multilinear mathematical separation in chromatography. In *Separations* (Vol. 8, Issue 3). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/separations8030031

Delfitri, D., Oktavia, B., Kurniawati, D., & Nizar, U. K. (2022). Silika Gel Termodifikasi Dimetilamin Sebagai Penyerap Anion Fosfat. *Jurnal Periodic Jurusan Kimia UNP*, *11*(3), 14. https://doi.org/10.24036/p.v11i3.116103

Elvina, E., Oktavia, B., Nasra, E., & Zainul, R. (2024). Optimation of Fe3+ Ion Desorption Using Sulfonate Modified Silica Gel-GPTMS. *Jurnal Pijar Mipa*, *19*(5), 933–937. https://doi.org/10.29303/jpm.v19i5.7453

Hafni Hasibuan, N., Oktavia, B., Nasra, E., Kurniawati, D., Negeri Padang Jln Hamka, U., & Tawar Padang, A. (2023). Optimasi Penyerapan Anion Klorida Menggunakan Silika Gel (SiO 2)-GPTMS Dimodifikasi dengan Dimetilamina. *Chemistry Journal*, *12*. http://ejournal.unp.ac.id/index.php/kimia

Hamilton. (2012). *Influence of Mobile Phase Composition on the Retention Behavior of Hamilton Anion Resolution and Fast Columns*.

Joachim Weiss. (2016). *Three-volume set*. http://dnb.d-nb.de.

Kang, J. K., Lee, S. C., & Kim, S. B. (2019). Synthesis of quaternary ammonium-functionalized silica gel through grafting of dimethyl dodecyl [3-(trimethoxysilyl)propyl]ammonium chloride for nitrate removal in batch and column studies. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, *102*, 153–162. https://doi.org/10.1016/j.jtice.2019.05.019

Lu, Y., Lin, S., Zhang, F., Sun, Y., & Yang, B. (2020). A two-membrane electrodialytic carbonate eluent generator for ion chromatography. *Journal of Chromatography A*, *1622*, 461095. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2020.461095

Maulana, F., & Oktavia, B. (2022). Kondisi Optimum Desorpsi Anion Nitrit Dari Silika Gel Termodifikasi Dimetilamina Menggunakan Hcl Dan H2So4. *CHEDS: Journal of Chemistry, Education, and Science*, *6*(2), 104–112. https://doi.org/10.30743/cheds.v6i2.6074

Michalski, R. (2018). Ion chromatography applications in wastewater analysis. *Separations*, *5*(1). https://doi.org/10.3390/separations5010016

Ramadha Yanti, D., Oktavia, B., Hamka, J., & Tawar Padang, A. (2022). *DESORPSI NITRAT (NO3-) DARI SILIKA GEL TERMODIFIKASI DIMETILAMINA (DMA) MENGGUNAKAN ELUEN ASAM DESORPTION NITRATE (NO3-) FROM SLICA GEL MODIFIED BY DIMETHYLAMINE (DMA) WITH ACID ELUENT*. *6*(2).

Riswinia Aulia, I., & Oktavia, B. (2021). Modified Natural Silica Dimethylamine for Optimization of Sulfate Ion Absorption Using the Batch Method. *Journal of Physics: Conference Series*, *1940*(1), 012035. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1940/1/012035

Sastika, A. A. (2023). Desorpsi Anion Klorida Dari Silika Gel Termodifikasi Dimetilamin (Dma). *CHEDS: Journal of Chemistry, Education, and Science*, *7*(1), 24–29. https://doi.org/10.30743/cheds.v7i1.6594

Schäfer, H., Läubli, M., & Dörig, R. (2023). *Ion Chromatography 2 nd Edition*.

Syafitriza, H., Oktavia, B., Sanjaya, H., Negeri Padang Jln Hamka, U., & Tawar Padang, A. (2023). Uji Kondisi Optimum Desorpsi Anion Fosfat pada Silika Mesopori Termodifikasi DMA (Dimethylamine). *Chemistry Journal of Universitas*, *12*(2). http://ejournal.unp.ac.id/index.php/kimia

Weni, N. K., & Oktavia, B. (2021). Optimization of hexavalent chromium ion adsorption using natural silica modified with DMA (Dimethylamine) by batch method. *Journal of Physics: Conference Series*, *1788*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1788/1/012014

Zhang, D., Gurunathan, P., Valentino, L., Lin, Y., Rousseau, R., & Glezakou, V. (2021). Atomic scale understanding of organic anion separations using ion-exchange resins. *Journal of Membrane Science*, *624*. https://doi.org/10.1016/j.memsci.2020.118890

Zikra, F., Oktavia, B., Putra, A., & Kurniawati, D. (2023). Optimization of Chloride (Cl-) on Dimethylamine (DMA) Modified Mesoporous Silica. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1228*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/1228/1/012043