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.v5i6.7641

ANALISIS ION MAGNESIUM (Mg^{2+}) DENGAN KROMATOGRAFI MENGGUNAKAN SILIKA GEL-GPTMS TERMODIFIKASI SULFONAT SEBAGAI FASA DIAM

Analysis of Magnesium Ions (Mg^{2+}) by Chromatography Using Sulfonate-Modified Silica Gel-GPTMS as the Stationary Phase

Hellena Ditasya & Budhi Oktavia
Universitas Negeri Padang
hellenaditasya833@gmail.com; budhioktavia@fmipa.unp.ac.id

Article Info:

Submitted:	Revised:	Accepted:	Published:
Sep 9, 2025	Sep 30, 2025	Oct 11, 2025	Oct 16, 2025

Abstract

The limited number of studies on the use of modified silica gel as a stationary phase in ion chromatography, particularly for magnesium ion (Mg^{2+}) analysis, forms the basis of this research. The primary objective is to modify silica gel with 3-glycidyloxypropyltrimethoxysilane (GPTMS) and sulfonate groups to develop a novel stationary phase selective for Mg^{2+} analysis. A quantitative experimental method was employed using Mg^{2+} samples at concentrations of 100, 200, and 300 ppm. Analysis was conducted using High-Performance Liquid Chromatography (HPLC) with two types of eluents: tartaric acid (0.05 M, 0.07 M, 0.09 M) and methanesulfonic acid (0.01 M). The results show that tartaric acid failed to produce distinct chromatographic peaks at all concentrations, likely due to its low ionic strength, which caused Mg^{2+} ions to remain strongly bound to the stationary phase, resulting in signal-to-noise (S/N) ratios below the quantification limit. In contrast, methanesulfonic acid generated sharp peaks with a retention time of 7.47 minutes, peak height of 53.68 mAU, and peak area of 4.42, indicating effective Mg^{2+} detection. These findings suggest that the high ionic strength

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

of methanesulfonic acid makes it a more suitable eluent for silica gel GPTMS-sulfonate-based ion-exchange chromatography systems. The main conclusion of this study is that GPTMS-sulfonate silica gel exhibits high potential as a stationary phase for Mg^{2+} ion analysis using ion chromatography, with optimal performance when methanesulfonic acid is used as the eluent.

Keywords: GPTMS-Sulfonate Silica Gel; Magnesium Ion; Ion Chromatography; HPLC; Methanesulfonic Acid; Tartaric Acid

Abstrak: Terbatasnya studi terkait pemanfaatan silika gel termodifikasi sebagai fasa diam dalam kromatografi ion, khususnya untuk analisis ion magnesium (Mg^{2+}), menjadi latar belakang penelitian ini. Tujuan utama penelitian adalah memodifikasi silika gel dengan *3-glycidyloxypropyltrimethoxysilane* (GPTMS) dan gugus sulfonat guna menghasilkan fasa diam baru yang selektif untuk analisis ion Mg^{2+}. Metode yang digunakan bersifat eksperimental kuantitatif dengan sampel ion Mg^{2+} pada konsentrasi 100, 200, dan 300 ppm. Analisis dilakukan menggunakan kromatografi cair kinerja tinggi (HPLC) dengan dua jenis eluen: asam tartarat (0,05 M, 0,07 M, 0,09 M) dan asam metanasulfonat (0,01 M). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan eluen asam tartarat tidak menghasilkan puncak kromatogram yang jelas untuk semua konsentrasi, diduga akibat kekuatan ioniknya yang rendah sehingga Mg^{2+} tetap terikat kuat pada fasa diam, menghasilkan rasio sinyal terhadap noise (S/N) di bawah batas kuantifikasi. Sebaliknya, eluen asam metanasulfonat mampu menghasilkan puncak tajam pada waktu retensi 7,47 menit dengan tinggi puncak 53,68 mAU dan luas puncak 4,42, menunjukkan deteksi ion Mg^{2+} yang efektif. Hal ini mengindikasikan bahwa kekuatan ionik tinggi dari asam metanasulfonat menjadikannya eluen yang lebih cocok untuk sistem kromatografi pertukaran ion berbasis silika gel GPTMS-sulfonat. Simpulan utama penelitian ini adalah bahwa silika gel GPTMS-sulfonat memiliki potensi tinggi sebagai fasa diam dalam analisis ion Mg^{2+} menggunakan sistem kromatografi pertukaran ion, dengan efektivitas maksimal ketika menggunakan asam metanasulfonat sebagai eluen.

Kata Kunci: Silika Gel GPTMS-Sulfonat; Ion Magnesium; Kromatografi Ion; HPLC; Asam Metanasulfonat; Asam Tartarat.

PENDAHULUAN

Silika, sebagai salah satu unsur utama kerak bumi, telah lama dikenal memiliki kemampuan potensial sebagai adsorben (Nayl et al., 2022) karena keberadaan gugus silanol (Si–OH) dan siloksan (Si–O–Si) di dalam strukturnya (Setiowati et al., 2021). Material ini berupa padatan yang stabil dalam kondisi asam, memiliki porositas tinggi, luas permukaan spesifik besar, serta ketahanan terhadap panas yang baik. Meski demikian, kemampuan silika dalam mengadsorpsi ion logam, khususnya logam alkali dan alkali tanah, masih tergolong rendah.

Keterbatasan silika dalam mengadsorpsi ion logam, khususnya logam alkali dan alkali tanah, disebabkan oleh ukuran atom oksigen yang kecil serta polarisabilitasnya yang rendah, sehingga kemampuan silika dalam mengikat ion logam menjadi terbatas (Azmiyawati, 2004). Untuk mengatasi hal ini, salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah memodifikasi permukaan silika dengan senyawa organik, yang telah terbukti mampu meningkatkan kapasitas adsorpsinya terhadap logam (Pasuluran et al., 2017).

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa silika gel yang dimodifikasi menggunakan senyawa epoksida, yaitu glisidoksipropiltrimetoksisilan (GPTMS), sebagai penghubung antara silika gel dan senyawa organik — dalam hal ini garam asam 4–amino–5–hidroksi–2,7–naftalenadisulfonat — terbukti mampu meningkatkan kapasitas adsorpsi secara signifikan (Azmiyawati, 2004).

Kromatografi ion merupakan salah satu metode berbasis prinsip pertukaran ion, di mana interaksi terjadi antara fasa gerak dan gugus penukar ion pada fasa diam di dalam kolom analitik (Amin & Oktavia, 2020). Penerapan metode ini, yang menawarkan sensitivitas tinggi dan spesifisitas baik, sangat penting untuk menentukan kadar magnesium dalam sampel. Kebutuhan akan analisis ion yang akurat sekaligus ramah lingkungan mendorong pemanfaatan kromatografi ion di berbagai bidang, termasuk untuk analisis ion magnesium, karena metode ini unggul dalam hal sensitivitas, kemudahan penggunaan, dan dampak lingkungan yang rendah (Moura et al., 2022)

Magnesium (Mg^{2+}) adalah salah satu ion logam yang penting untuk dianalisis karena berperan dalam berbagai proses biokimia dan kesehatan manusia. Sebagai mineral esensial, keberadaan magnesium yang seimbang sangat diperlukan untuk menjaga fungsi biologis dan kesehatan tubuh (Khadijah & Sulastri, 2017).

Dalam analisis ion magnesium menggunakan kromatografi ion, pemilihan eluen yang tepat sangat menentukan hasil yang optimal. Asam metanasulfonat dan asam tartarat terbukti efektif sebagai eluen untuk logam alkali dan alkali tanah karena keduanya dapat meningkatkan efisiensi pemisahan kation selama proses kromatografi. Penggunaan kedua eluen ini memungkinkan analisis ion dengan waktu yang singkat dan hasil yang akurat, sehingga menjadi pilihan ideal untuk menganalisis logam alkali dan alkali tanah dalam sampel yang kompleks (Bruzzoniti et al., 2009).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penggunaan silika gel-GPTMS yang termodifikasi dengan gugus sulfonat sebagai fasa diam dalam kromatografi ion untuk analisis

kation Mg^{2+} pada sampel. Modifikasi silika gel diharapkan mampu meningkatkan efisiensi dan ketepatan analisis. Selain itu, penelitian ini juga akan meninjau pengaruh berbagai variabel terhadap hasil analisis, termasuk jenis dan konsentrasi eluen yang digunakan.

METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Instrumen dan Laboratorium Kimia Analitik, Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang, dengan memanfaatkan instrumen XRF, FTIR, Spektrofotometer UV DRS, serta HPLC yang dilengkapi detektor UV. Bahan-bahan yang digunakan meliputi silika gel, toluena, GPTMS (Glycidoxypropyltrimethoxysilane), garam sulfonat (asam 4–amino–5–hidroksi–2,7–naftalenadisulfonat), aseton, dietil eter, dan natrium bikarbonat. Penelitian ini menitikberatkan pada penerapan silika gel-GPTMS yang termodifikasi dengan sulfonat sebagai fasa diam untuk analisis ion nitrit menggunakan kromatografi.

Pembentukan Silika gel-GPTMS

Sebanyak 25 gram silika ditimbang, kemudian dicampur dengan 25 mL GPTMS dan 87,5 mL toluena. Campuran ini diaduk menggunakan stirrer pada suhu 90°C selama 24 jam. Setelah proses tersebut, silika yang telah termodifikasi dibilas dengan 12,5 mL metanol. Produk yang diperoleh kemudian dikarakterisasi menggunakan instrumen FTIR dan XRF (Oktavia et al., 2024).

Modifikasi Silika Gel Dengan Sulfonat

Sebanyak 23 gram silika gel-GPTMS direaksikan dengan 11,5 gram senyawa asam 4-amino-5-hidroksi-2,7-naftalenadisulfonat dan 23 mL larutan $NaHCO_3$ 0,1 M. Campuran tersebut diaduk menggunakan stirrer selama 20 jam, kemudian disaring. Padatan yang diperoleh dicuci berturut-turut dengan 15 mL aquades, aseton, dan dietil eter, lalu dikeringkan di dalam desikator. Produk akhir kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR dan XRF untuk menganalisis struktur serta komposisi yang terbentuk (Kauri et al., 2024).

Pengukuran Panjang Gelombang Ion Magnesium (Mg2+)

Larutan ion magnesium (Mg^{2+}) dengan konsentrasi 50 ppm dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis di Laboratorium Instrumen Kimia, Universitas Negeri Padang.

Pembuatan Kolom

Kolom yang digunakan merupakan kolom stainless steel dengan panjang 15 cm dan diameter 0,9 cm, diisi dengan fasa diam berupa silika gel-GPTMS yang telah termodifikasi dengan sulfonat. Sebelum pengisian, kolom dibersihkan terlebih dahulu untuk menghilangkan kontaminan dan mencegah penyumbatan. Fasa diam berbentuk bubuk kering dimasukkan secara hati-hati agar struktur kolom tetap utuh, kemudian dipadatkan hingga rapat tanpa meninggalkan ruang udara. Kolom ini kemudian akan dipasang pada instrumen HPLC untuk analisis sampel.

Pengujian Dengan Variasi Eluen Dan Variasi konsentrasi

Eluen yang digunakan dalam penelitian ini adalah asam metanasulfonat dan asam tartarat, masing-masing diuji pada konsentrasi berbeda, yaitu 0,05 M, 0,07 M, dan 0,09 M, untuk membandingkan kinerjanya. Eluen terlebih dahulu disonikasi selama 5 menit, kemudian laju alir diatur pada 0,5 mL/menit, sampel diinjeksi, dan pengujian dilanjutkan menggunakan HPLC.

HASIL

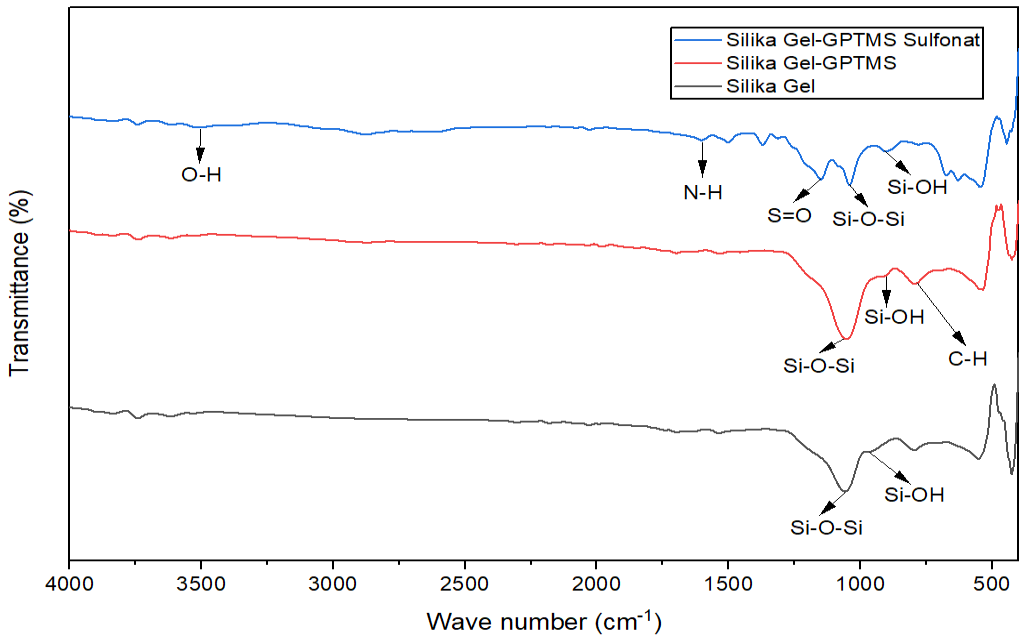
Karakterisasi Dengan XRF

Tabel 1. Hasil karakterisasi dengan XRF

Silika gel-GPTMS		Silika gel-GPTMS Sulfonat	
Elemen		Elemen	
Unsur	Konsentrasi %	Unsur	Konsentrasi %
Na	0	Na	6,54
Si	98,16	Si	61,01
S	0	S	30,63
Cl	0,45	Cl	0,97
Ca	0,29	Ca	0
Sb	1,07	Sb	0,84

Pada **Tabel 1** terlihat bahwa silika gel memiliki kandungan Si tertinggi sebesar 98,16 %. Setelah penambahan sulfonat, kadar Si menurun menjadi 61,01 %, sedangkan kandungan S meningkat menjadi 30,63 % peningkatan jumlah S pada silika gel GPTMS sulfonat menandakan modifikasi telah berhasil dilakukan (Trisna et al., 2024).

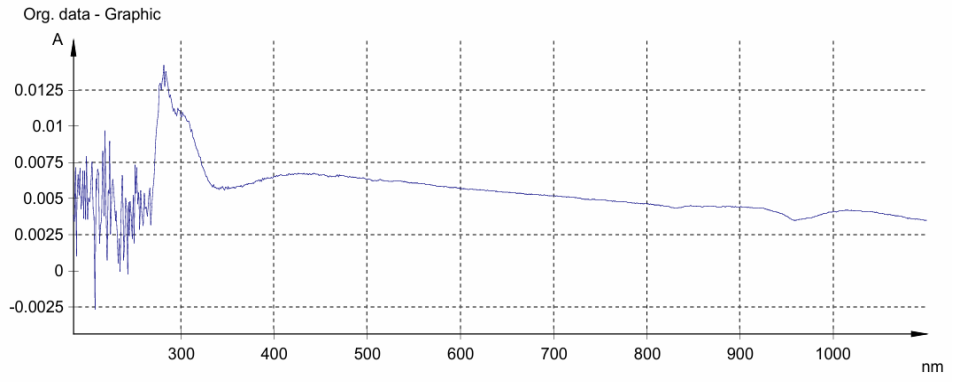
Penentuan Gugus Fungsi Dengan FTIR



Gambar 1. FTIR Silika gel, Silika gel GPTMS, dan Silika gel GPTMS Sulfonat

Spektrum FTIR pada **Gambar 1.** menunjukkan bahwa silika gel komersial memiliki gugus Si–O–Si pada 1058 cm^{-1} dan Si–OH pada 910 cm^{-1}. Silika gel-GPTMS memperlihatkan gugus Si–OH (910 cm^{-1}), Si–O–Si (1052 cm^{-1}) (Khoshraftar dkk., 2021), serta getaran C–H dari GPTMS pada 794 cm^{-1} (Nahari dkk., 2022). Sementara itu, silika gel-GPTMS-Sulfonat menampilkan puncak Si–O–Si pada 1041 cm^{-1}, Si–OH pada 902 cm^{-1}, S=O pada 1150 cm^{-1}, O–H pada 3505 cm^{-1}, dan N–H pada 1601 cm^{-1}, yang menandakan keberhasilan fungsionalisasi permukaan (Afifi & Padang, 2024).

Panjang Gelombang ion Magnesium

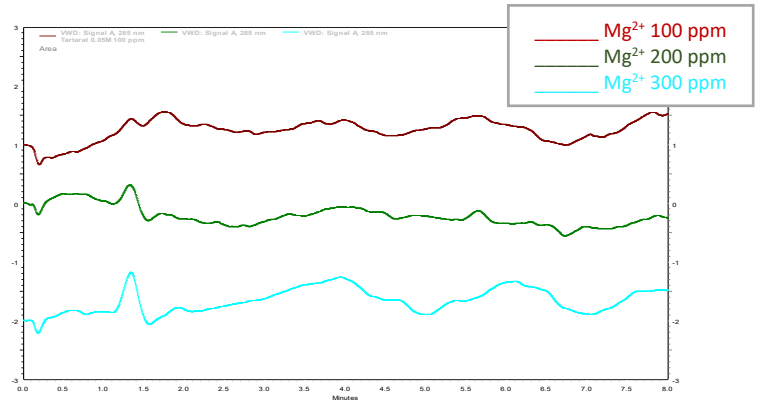


Gambar 2. Spektrum UV-Vis Ion Magnesium

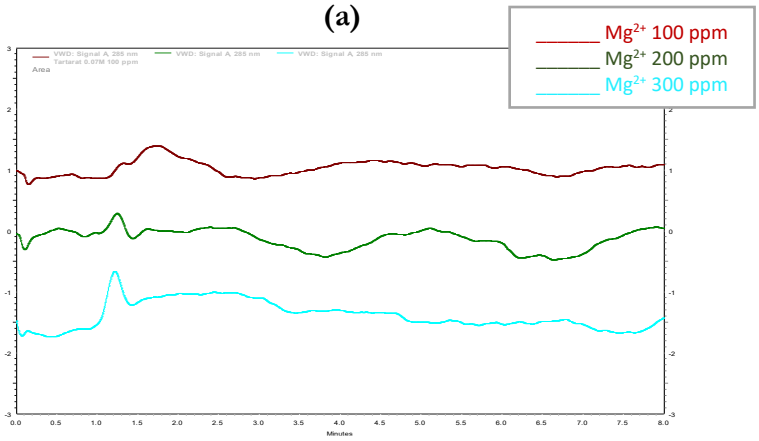
Hasil pengujian menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada **Gambar 2.** menunjukkan bahwa ion magnesium (Mg^{2+}) dalam sampel memiliki serapan maksimum pada panjang gelombang 283 nm dengan absorbansi sebesar 0,0134 A (Krüger et al., 2024).

Analisis ion Magnesium (Mg2+) Menggunakan HPLC

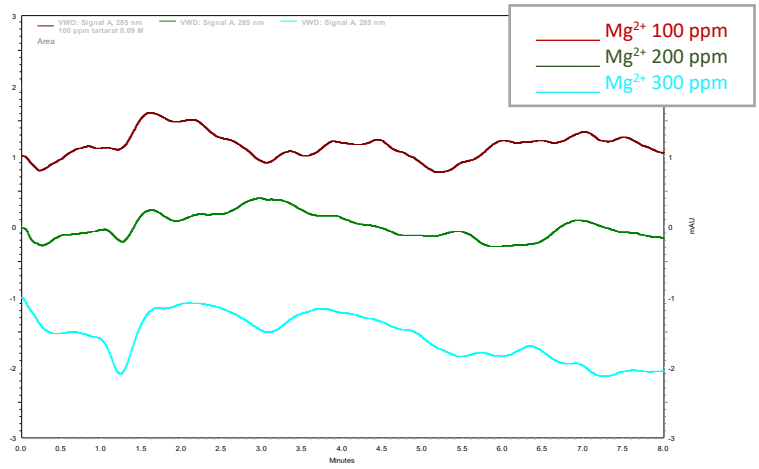
1. Dengan Menggunakan Eluen Asam Tartarat



(a)



(b)

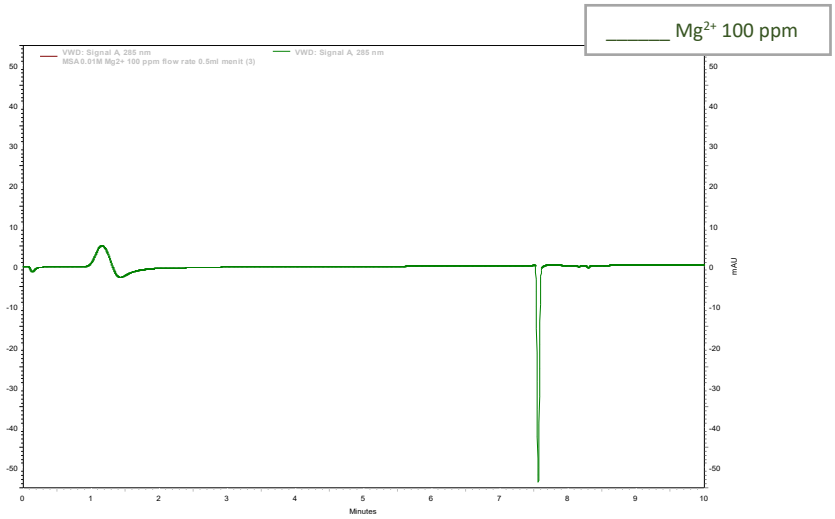


(c)

Gambar 3. Kromatogram Ion Magnesium, dengan konsentrasi eluen (a) 0,05M, (b) 0,07 M, dan (c) 0,09 M.

Pada **Gambar 3**. terlihat bahwa kromatogram tidak menampilkan puncak yang jelas. Tinggi puncak sinyal hampir sama dengan level noise pada baseline, sehingga rasio sinyal terhadap noise (S/N) berada di bawah batas kuantifikasi (LOQ = 10:1) (Wulansari & Lubada, 2020).

Dengan Eluen Asam Metanasulfonat



Gambar 4. Kromatogram sampel Mg^{2+} dengan konsentrasi eluen 0,01 M.

Kromatogram sampel Mg^{2+} 100 ppm dengan eluen asam metanasulfonat 0,01 M menunjukkan respons detektor yang jelas pada menit ke-7(Bruzzoniti et al., 2008), ditandai oleh munculnya puncak negatif besar antara menit 7,05909 hingga 7,72379, dengan puncak maksimum pada menit 7,46593. Tinggi puncak tercatat sebesar 53,6810 mAU dan luas puncak sebesar 4,420630.

PEMBAHASAN

Panjang Gelombang ion Magnesium

Sebelum sampel larutan Mg^{2+} dianalisis menggunakan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) dengan detektor UV, perlu dilakukan penentuan panjang gelombang maksimum (λmaks) terlebih dahulu. Hal ini penting karena detektor UV pada HPLC bekerja berdasarkan prinsip serapan cahaya oleh senyawa pada panjang gelombang tertentu. Jika panjang gelombang yang dipilih tidak sesuai dengan λmaks senyawa target, sensitivitas deteksi akan menurun dan hasil analisis dapat menjadi kurang akurat.

Hasil pengujian dengan spektrofotometer UV-Vis menunjukkan bahwa ion magnesium (Mg^{2+}) dengan konsentrasi 50 ppm dalam sampel memiliki serapan maksimum pada 283 nm dengan absorbansi 0,0134 A. Nilai ini kemudian digunakan sebagai panjang gelombang pada detektor UV HPLC, sehingga deteksi magnesium dalam sampel dapat dilakukan secara optimal.

Penentuan λmaks merupakan langkah penting dalam validasi metode HPLC, karena memastikan detektor UV beroperasi pada kondisi paling sensitif untuk senyawa yang dianalisis. Dengan demikian, analisis magnesium (Mg^{2+}) menggunakan HPLC dapat menghasilkan data yang lebih akurat dan dapat diandalkan.

Pengaruh Variasi Eluen dan Konsentrasi Eluen Pada Analisis Ion Magnesium

1. Dengan Eluen Asam Tartarat

Berdasarkan pengujian ion Mg^{2+} pada konsentrasi 100, 200, dan 300 ppm menggunakan HPLC dengan fasa diam silika gel-GPTMS yang dimodifikasi dengan gugus sulfonat dan eluen asam tartarat pada konsentrasi 0,05 M, 0,07 M, dan 0,09 M, kromatogram yang diperoleh tidak menampilkan puncak yang jelas. Tinggi puncak sinyal hampir sama dengan level noise pada baseline, sehingga rasio sinyal terhadap noise (S/N) berada di bawah batas kuantifikasi (LOQ = 10:1) (Wulansari & Lubada, 2020).

Karena tidak diperoleh puncak yang memenuhi kriteria LOQ dalam analisis ini, dapat disimpulkan bahwa eluen asam tartarat tidak efektif untuk penentuan Mg^{2+}. Asam tartarat ($C_4H_6O_6$) merupakan asam organik lemah yang hanya sebagian terionisasi, sehingga kekuatan ionik eluen menjadi rendah dan tidak cukup kuat untuk menggantikan Mg^{2+} yang berikatan erat dengan gugus sulfonat pada fasa diam silika GPTMS (DuPont, 2019).

2. Dengan Eluen Asam Metanasulfonat

Munculnya puncak pada waktu tersebut menunjukkan bahwa ion Mg^{2+} berhasil terelusi dari fasa diam silika-GPTMS–sulfonat. Hal ini disebabkan oleh kemampuan eluen asam metanasulfonat sebagai ion pesaing yang efektif, yang menggantikan ion Mg^{2+} pada gugus sulfonat sehingga analit dapat mencapai detektor (Schnepf et al., 2020).

Asam metanasulfonat (CH_3SO_3H) adalah asam kuat monoprotik dengan pKa sekitar –1,9, yang menunjukkan bahwa hampir seluruh molekulnya terionisasi menjadi H^+ dan $CH_3SO_3^-$ dalam air. Ion metanasulfonat ini bertindak sebagai anion pesaing yang kuat,

mampu menggantikan ion logam bermuatan positif seperti Mg^{2+} yang menempel pada situs SO_3^- di permukaan fasa diam kolom silika gel GPTMS–sulfonat (Kulkarni, 2015).

Pengujian ion Mg^{2+} menggunakan kolom silika GPTMS-sulfonat menunjukkan respons yang kurang optimal karena fasa diam buatan sendiri kurang stabil. Ketidakstabilan ini disebabkan oleh ikatan siloksan (Si–O–Si) antara silika dan gugus GPTMS yang mudah terhidrolisis dalam kondisi berair atau asam, sehingga sebagian gugus sulfonat dapat terlepas dari permukaan kolom. Akibatnya, kapasitas pertukaran ion menurun, kemampuan kolom menahan ion menjadi lemah dan tidak konsisten (Wonnacott & Patton, 1987).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa asam metanasulfonat lebih efektif dibandingkan asam tartarat sebagai eluen untuk mendeteksi ion Mg^{2+} menggunakan kolom silika GPTMS–sulfonat. Kekuatan ioniknya yang tinggi membuat eluen ini sangat sesuai untuk sistem HPLC berbasis pertukaran ion. Sebaliknya, eluen tartarat gagal menghasilkan puncak karena kekuatan ioniknya yang rendah, sehingga Mg^{2+} tetap menempel kuat pada fasa diam (Essert et al., 2024)

KESIMPULAN

Silika gel-GPTMS termodifikasi sulfonat dapat digunakan sebagai fase diam pada kolom kromatografi untuk analisis ion magnesium (Mg^{2+}) akan tetapi kurang efisien untuk beberapa eluen tertentu seperti eluen asam tartarat yang bersifat asam lemah. Jenis dan konsentrasi eluen berpengaruh signifikan terhadap proses elusi ion Mg^{2+}. Eluen asam tartarat (0,05 M, 0,07 M, 0,09 M) tidak menghasilkan puncak karena ion Mg^{2+} terikat kuat pada gugus sulfonat. Sebaliknya, eluen asam metanasulfonat (0,01 M) mampu menghasilkan puncak negatif yang jelas pada waktu retensi sekitar tujuh menit, menandakan bahwa ion Mg^{2+} berhasil terelusi dan terdeteksi, sehingga kondisi optimum analisis diperoleh dengan penggunaan asam metanasulfonat 0,01 M sebagai eluen.

DAFTAR PUSTAKA

Afifi, R., & Padang, U. N. (2024). *CHEDS : Journal of Chemistry , Education , and Science Penentuan Kondisi Optimum Desorpsi Kation Cd 2 + Dari Adsorben Silika Gel-Gptms Termodifikasi Sulfonat*. *8*(2), 164–172.

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

Azmiyawati, C. (2004). Modifikasi Silika Gel dengan Gugus Sulfonat untuk Meningkatkan Kapasitas Adsorpsi Mg(II). *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, *7*(1), 10–16. https://doi.org/10.14710/jksa.7.1.10-16

Bruzzoniti, M. C., De Carlo, R. M., Fiorilli, S., Onida, B., & Sarzanini, C. (2009). Functionalized SBA-15 mesoporous silica in ion chromatography of alkali, alkaline earths, ammonium and transition metal ions. *Journal of Chromatography A*, *1216*(29), 5540–5547. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2009.05.052

Bruzzoniti, M. C., De Carlo, R. M., & Fungi, M. (2008). Simultaneous determination of alkali, alkaline earths and ammonium in natural waters by ion chromatography. *Journal of Separation Science*, *31*(18), 3182–3189. https://doi.org/10.1002/jssc.200800319

DuPont. (2019). *Ion Exchange Resins Fundamentals of Ion Exchange Figure 1 : Cation Exchange Resin Schematic Showing Negatively Charged Matrix and Exchangeable Positive Ions*. *177*, 1–13.

Essert, G. M., de Souza, J. P., Schwaminger, S. P., Bazant, M. Z., & Berensmeier, S. (2024). Understanding electrostatic interaction on strong cation-exchanger via co-ion valency effects. *Separation and Purification Technology*, *342*(February), 126860. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.126860

Kauri, D., Oktavia, B., Sari, T. K., & Khair, M. (2024). Optimum Condition of Ni2+ Cation Desorption from Adsorbent Sulfonate-modified Silica gel-GPTMS. *Jurnal Pijar Mipa*, *19*(5), 906–910. https://doi.org/10.29303/jpm.v19i5.7448

Khadijah, M., & Sulastri, S. (2017). Isoterm Adsorpsi Kation Mg(II) oleh Silika Gel dari Bagasse Tebu. *Jurnal Kimia Dasar*, *6*(3), 90–97.

Krüger, D., Weng, A., & Baecker, D. (2024). Development and Application of an Atomic Absorption Spectrometry-Based Method to Quantify Magnesium in Leaves of Dioscorea polystachya. *Molecules*, *29*(1). https://doi.org/10.3390/molecules29010109

Kulkarni, P. (2015). Methane sulphonic acid is green catalyst in organic synthesis. *Oriental Journal of Chemistry*, *31*(1), 447–451. https://doi.org/10.13005/ojc/310154

Moura, A. V., da Silva, J. D. S., & Gubert, P. (2022). Ion Chromatography: Principles and Instrumentation. *Orbital*, *14*(2), 110–115. https://doi.org/10.17807/orbital.v14i2.15871

Nayl, A. A., Abd-Elhamid, A. I., Aly, A. A., & Bräse, S. (2022). Recent progress in the applications of silica-based nanoparticles. *RSC Advances*, *12*(22), 13706–13726. https://doi.org/10.1039/d2ra01587k

Oktavia, B., Nasra, E., & Zainul, R. (2024). *Optimation of Fe 3 + Ion Desorption Using Sulfonate Modified Silica Gel-GPTMS*. *1744*, 933–937.

Pasuluran, N., Erwin, & Hindryawati, N. (2017). Pembuatan dan karakterisasi sulfonat terimpregnasi pada silika dari abu sekam padi (rice husk ash). *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, 65–68. http://jurnal.kimia.fmipa.unmul.ac.id/index.php/prosiding/article/view/547

Schnepf, A., Kolb, M., Seubert, A., & Läubli, M. (2020). *Practical Ion Chromatography: An Introduction 3rd edition*.

Setiowati, F. S., Oktavia, B., Sanjaya, H., & Putra, A. (2021). *PENGARUH pH DAN WAKTU KONTAK TERHADAP PENYERAPAN ION Cu (II) MENGGUNAKAN SILIKA GEL – GPTMS TERMODIFIKASI SULFONAT*. *10*(1), 1–4.

Trisna, V., Putri, D., Oktavia, B., & Dewata, I. (2024). *Penentuan pH dan Waktu Kontak Optimum Penyerapan Ion Zn 2 + Pada Silika Modifikasi Sulfonat*. *13*(2), 26–29.

Wonnacott, D. M., & Patton, E. V. (1987). Hydrolytic stability of aminopropyl stationary phases used in the size-exclusion chromatography of cationic polymers. *Journal of Chromatography A*, *389*(C), 103–113. https://doi.org/10.1016/S0021-9673(01)94415-2

Wulansari, S. A., & Lubada, E. I. (2020). Validasi Metode Analisa Pada Penetapan Kadar Koenzim Q10 Dalam Sediaan Mikroemulsi Menggunakan Metode Spektrophotometer Uv-Vis. *Jurnal Kimia Riset*, *5*(1), 29. https://doi.org/10.20473/jkr.v5i1.19241