TSAQOFAH
Jurnal Penelitian Guru Indonesia

p-ISSN: 2810-0395
e-ISSN: 2810-0042

Terindeks : Dimensions, Scilit, Lens, Semantic, Garuda, Google Scholar, Base, etc

https://doi.org/10.58578/tsaqofah.v5i6.7743

APLIKASI RESIN SILIKA GEL-GPTMS (*Glisidoksilpropiltrimetoksisilan*) TERMODIFIKASI SULFONAT SEBAGAI FASA DIAM PADA ANALISIS ION LOGAM K^+ MENGGUNAKAN KROMATOGRAFI ION

Application of Sulfonated Silica Gel-GPTMS (Glycidoxypropyltrimethoxysilane) Resin as a Stationary Phase in the Analysis of K^+ Metal Ions Using Ion Chromatography

Sabay Agustiya & Budhi Oktavia
Universitas Negeri Padang
sabayagust@gmail.com; budhioktavia@fmipa.unp.ac.id

Article Info:

Submitted:	Revised:	Accepted:	Published:
Sep 20, 2025	Oct 10, 2025	Oct 22, 2025	Oct 27, 2025

Abstract

The limited adsorption capacity and chemical stability of pure silica pose challenges to the efficiency of metal ion separation via ion exchange mechanisms. This study aims to enhance the performance of silica by surface modification using γ-glycidyloxypropyltrimethoxysilane (GPTMS) and the introduction of sulfonate groups ($–SO_3^-$) as active ion-exchange sites. The modification process involved a silanization reaction between silica and GPTMS, followed by functionalization with 4-amino-5-hydroxy-2,7-naphthalenedisulfonic acid, resulting in sulfonate-modified silica gel-GPTMS material. The performance of the material was evaluated using Ion Chromatography (IC) with tartaric acid and methanesulfonic acid as mobile phases

Tsaqofah journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License

under various eluent types and concentrations, a flow rate of 0.2 mL/min, and 5-minute sonication prior to sample injection. The results showed that methanesulfonic acid provided the highest effectiveness due to its ability to maintain a stable H^+ ion concentration, thereby enhancing ion exchange between the $–SO_3^-$ groups on the resin and K^+ metal ions in the sample. The modified silica material exhibited high structural stability, strong affinity for metal ions, and sharp, symmetrical chromatographic peaks. Thus, GPTMS- and sulfonate-based silica modification is proven effective in improving the selectivity and efficiency of K^+ ion separation through ion exchange mechanisms.

Keywords: Sulfonate-Modified Silica Gel-GPTMS; K^+ Ions; Ion Chromatography; Ion Exchange; Methanesulfonic Acid

Abstrak: Keterbatasan kemampuan adsorpsi dan kestabilan kimia pada silika murni menjadi hambatan dalam efisiensi pemisahan ion logam melalui mekanisme pertukaran ion. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan performa silika dengan memodifikasi permukaannya menggunakan *γ-glycidyloxypropyltrimethoxysilane* (GPTMS) dan penambahan gugus sulfonat ($–SO_3^-$) sebagai situs aktif penukar ion. Proses modifikasi melibatkan tahap silanisasi antara silika dan GPTMS, dilanjutkan dengan reaksi terhadap senyawa 4-amino-5-hidroksi-2,7-naftalenadisulfonat, menghasilkan material silika gel-GPTMS termodifikasi sulfonat. Evaluasi kinerja material dilakukan dengan *Ion Chromatography* (IC) menggunakan fasa gerak asam tartarat dan asam metanasulfonat pada berbagai variasi jenis dan konsentrasi eluen, laju alir 0,2 mL/menit, serta perlakuan sonifikasi selama 5 menit sebelum injeksi sampel. Hasil analisis menunjukkan bahwa asam metanasulfonat memberikan efektivitas tertinggi karena menghasilkan konsentrasi ion H^+ yang stabil, sehingga meningkatkan laju pertukaran ion antara gugus $–SO_3^-$ pada resin dengan ion logam K^+ dari sampel. Material silika termodifikasi menunjukkan kestabilan struktural tinggi, afinitas kuat terhadap ion logam, serta puncak kromatogram yang tajam dan simetris. Dengan demikian, modifikasi silika berbasis GPTMS dan gugus sulfonat terbukti efektif dalam meningkatkan selektivitas dan efisiensi pemisahan ion logam K^+ melalui mekanisme pertukaran ion.

Kata Kunci: Silika Gel-GPTMS Termodifikasi Sulfonat; Ion K^+; Kromatografi Ion; Pertukaran Ion; Asam Metanasulfonat.

PENDAHULUAN

Silika adalah salah satu mineral yang paling melimpah ketersediaannya di alam, terutama di kerak bumi. Silika atau lebih dikenal sebagai Silikon Dioksida (SiO_2). Silikon dioksida merupakan material utama dalam banyaknya jenis batuan dan mineral alami, yang dapat ditemukan dalam bentuk amorf, gel dan kristal. Silika gel merupakan material silika dalam bentuk struktur amorf (Sefriani & Oktavia, 2021).

Silika gel merupakan material bahan yang banyak dimanfaatkan karena memiliki keunggulan yang signifikan, dan menjadi alasan pemanfaatan silika gel dalam berbagai aplikasi

ilmiah dan industri. Silika gel memiliki titik leleh yang tinggi, membuat silika gel stabil jika dimanfaatkan dalam suhu yang ekstrim, silika gel juga tergolong sebagai material bahan yang mudah untuk dimodifikasi, berdasarkan sifat dan karakteristik yang dimiliki oleh material silika menjadi suatu alasan banyaknya penggunaan silika gel sebagai fase diam dalam laboratorium untuk proses analisis pada kromatografi kolom untuk memisahkan senyawa organik (Wimarsela et al., 2021).

Penurunan kadar ion logam dalam limbah cair maupun industri dapat dilakukan melalui sejumlah metode, seperti adsorpsi, pengendapan, filtrasi, dan ion exchange dengan resin penukar ion (Purwiandono & Haidar, 2022). Metode ion exchange menggunakan resin melibatkan pertukaran ion Na^+ pada resin dengan ion logam yang terkandung dalam limbah cair maupun limbah industri (Oktavia et al., 2024). Namun, pemanfaatan resin silika memiliki kapasitas penukaran ion Na^+ yang lebih rendah. Struktur silika memiliki gugus silanol (Si–OH) dan gugus siloksan (Si–O–Si) yang berperan sebagai gugus aktif pada silika, di mana oksigen dalam gugus tersebut memiliki kemampuan yang rendah dalam mendonorkan pasangan elektron sehingga penyerapan ion pada silika terhadap ion logam menjadi kurang efektif dan ikatan ion pada permukaan silika akan lemah (I Wayan Sudiarta, 2013).

Garam mononatrium asam 4-amino-5-hidroksi-2,7-naftalendisulfat digunakan sebagai gugus organik dalam modifikasi silika yang berfungsi untuk mengoptimalkan efektivitas penyerapan ion logam (Sefriani & Oktavia, 2021). Senyawa ini mengandung gugus sulfonat ($-SO_3^-$), yang memberikan sifat hidrofilik dan meningkatkan kemampuan interaksi silika dengan ion logam. Proses modifikasi silika gel secara keseluruhan berfungsi untuk mengubah komposisi permukaan pada silika. Proses modifikasi pada permukaan silika menggunakan teknik immobilisasi dengan sulfonat bertujuan untuk menambahkan jumlah gugus aktif pada permukaan silika, di mana gugus O^- yang ditambahkan merupakan gugus fungsional (gugus siloksan) yang berfungsi sebagai pengikat ion logam (Mardhatillah & Oktavia, 2023).

Namun, metode penambahan gugus sulfonat ($-SO_3^-$) secara langsung pada permukaan silika kurang stabil karena hanya bergantung pada gaya elektrostatik antara muatan negatif sulfonat dan muatan permukaan silika, serta gaya van der Waals yang relatif lemah. Selain itu, karena silika memiliki gugus silanol (-Si–OH) yang bersifat hidrofilik, interaksi dengan sulfonat tidak cukup kuat untuk membentuk ikatan kovalen yang stabil. Akibatnya, dalam kondisi lingkungan tertentu seperti pH asam atau basa tinggi, suhu tinggi,

serta adanya pelarut organik atau ion kompetitor menyebabkan ikatan yang terbentuk antara sulfonat dan permukaan silika menjadi rentan terputus (Liu et al., 2020).

Dengan adanya gugus epoksi, glisidoksipropiltrimetoksisilan (GPTMS) yang digunakan dalam proses modifikasi silika berfungsi sebagai pereaksi silan yang digunakan sebagai jembatan penghubung antara gugus organik dan permukaan silika dengan membentuk ikatan kovalen (Sefriani & Oktavia, 2021). Pemanfaatan silika dalam dunia industri telah banyak dilakukan, salah satunya sebagai fasa diam dalam kolom kromatografi.

Kromatografi ion termasuk dalam kategori kromatografi cair, di mana kromatografi ion merupakan salah satu metode pemisahan yang digunakan secara luas untuk menganalisis ion anorganik dan senyawa ionik lainnya dalam berbagai jenis sampel. Dalam penggunaannya, kromatografi ion menggunakan resin sebagai fasa diam dalam kolom, yang berfungsi sebagai pemisah. Prinsip utamanya didasarkan pada interaksi antara ion dalam sampel dengan fasa diam bermuatan berlawanan yang terdapat dalam kolom kromatografi. Interaksi ini memungkinkan ion-ion tersebut dipisahkan secara selektif berdasarkan muatan, ukuran, dan afinitasnya terhadap fasa diam.

Resin penukar ion kation asam kuat menunjukkan afinitas yang berbeda terhadap ion-ion tertentu, sehingga pemilihan jenis eluen yang tepat sangat penting karena penggunaan jenis eluen yang sesuai juga dapat meningkatkan selektivitas pertukaran ion serta memperpanjang masa pakai resin (Afifi & Padang, 2024). Pada penelitian ini, silika gel-GPTMS termodifikasi sulfonat digunakan sebagai fasa diam untuk analisis ion logam K^+ dengan instrumen kromatografi ion menggunakan asam tartarat dan asam metanasulfonat sebagai fasa gerak.

Pemilihan asam tartarat sebagai eluen (fase gerak) dalam analisis ion logam alkali termasuk ion logam kalium (K^+) dengan silika termodifikasi sulfonat memiliki kemampuan membentuk kompleks yang stabil. Penggunaan asam karboksilat sebagai eluen dapat mengurangi waktu kontak antara ion K^+ dengan gugus sulfonat pada resin penukar ion. Asam tartarat, dengan dua gugus karboksilat dan hidroksil, memberikan selektivitas yang lebih baik dalam pembentukan kompleks, sehingga memungkinkan kontrol yang lebih presisi terhadap waktu retensi serta meningkatkan sensitivitas deteksi (Błazewicz, 2014).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kadnar (1998), penggunaan asam metanasulfonat sebagai eluen dalam kromatografi ion untuk analisis ion K^+ dan ion logam

alkali lainnya seperti Na^+, NH_4^+, Mg^{2+}, dan Ca^{2+} memberikan keunggulan yang signifikan dalam pemisahan dan kuantifikasi ion. Hasil analisis menunjukkan bahwa eluen ini menghasilkan puncak kromatogram dengan ketajaman dan ketinggian optimal serta waktu retensi yang sesuai, yang menunjukkan sensitivitas tinggi dalam deteksi ion K^+.

Dengan demikian, percobaan ini difokuskan pada pemanfaatan silika gel-GPTMS termodifikasi sulfonat sebagai fasa diam dalam kromatografi ion untuk analisis ion logam kalium (K^+). Kajian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan material fungsional berbasis silika termodifikasi yang stabil dan efisien untuk aplikasi analisis kimia serta pemisahan ion logam dalam limbah cair industri.

METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik, dan Laboratorium Instrumen Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah silika gel-GPTMS, garam mononatrium asam 4-amino-5-hidroksi-2,7-naftalena sulfat, metanol p.a, aquades, aseton p.a, dietil eter p.a, dan natrium bikarbonat. Adapun instrumen yang digunakan adalah Fourier Transform Infrared (FTIR), X-Ray Fluorescence (XRF), HPLC (High Performance Liquid Chromatography) dan Ion Chromatography (IC).

Pengikatan GPTMS pada Silika Gel

Silika gel ditimbang 25 gram lalu direaksikan dengan 25 mL GPTMS dan 87,5 mL toluena. Campuran dishaker pada suhu 90°C selama 24 jam. Silika gel-GPTMS yang diperoleh kemudian dicuci dengan 12,5 mL metanol lalu dikeringkan. Selanjutnya, silika gel-GPTMS yang didapatkan dianalisis dengan instrumen XRF.

Pengikatan Gugus Sulfonat pada Silika Gel-GPTMS

Silika gel-GPTMS ditimbang sebanyak 23 gram lalu direaksikan dengan 11,5 mL garam mononatrium asam 4-amino-5-hidroksi-2,7-naftalena disulfonat dalam larutan natrium bikarbonat 0,1 M selama 20 jam. Kemudian padatan disaring dan dicuci dengan aquades, aseton dan dietil eter. Selanjutnya dilakukan pengeringan dalam desikator hingga diperoleh hasil silika gel-GPTMS termodifikasi sulfonat, kemudian dianalisis menggunakan instrumen FTIR dan XRF.

Titrasi Potensiometri pada Silika gel-GPTMS

Silika gel-GPTMS ditimbang sebanyak 0,2 gram, lalu ditambahkan 2 mL natrium tiosulfat 3 M, lalu stirrer dengan skala 5 selama 2 jam. Kemudian titrasi dengan HCl 0,05 M, ukur pH dan volume HCl yang ditambahkan.

Penentuan Panjang Gelombang Ion Logam K^+ dengan Spektrofotometer UV-Vis

Larutan ion logam K^+ dengan konsentrasi 50 ppm dimasukkan ke dalam kuvet Spektrofotometer UV-Vis. Kemudian, ukur panjang gelombang maksimum ion logam K^+ pada rentang panjang gelombang 185-1100 nm menggunakan alat instrumen Spektrofotometer UV-Vis. Sehingga diperoleh panjang gelombang ion logam K^+.

Pembuatan Kolom

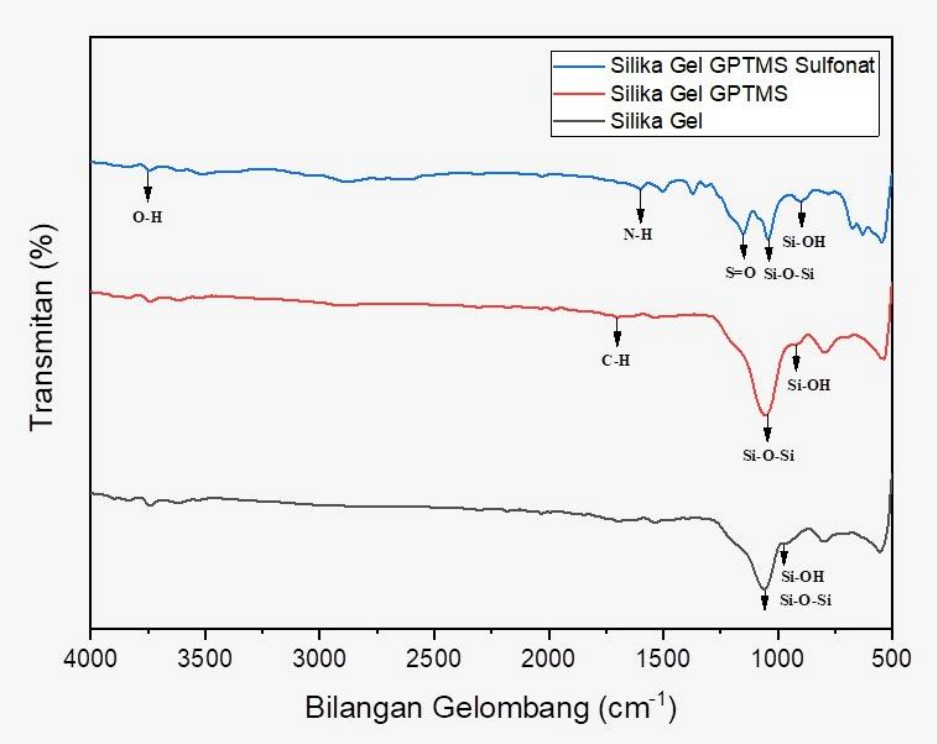
Kolom kromatografi konvensional stainless steel yang berukuran 15 cm dan diameter 0,9 cm, lalu diisi dengan resin silika gel-GPTMS termodifikasi sulfonat hingga kolom terisi dengan penuh dan padat, dan memastikan bahwa tidak ada ruang kosong atau rongga yang terdapat di dalam kolom. Setelah kolom padat dan penuh, tutup kolom dengan erat pada kedua bagian tutup kolom.

Analisis Ion Logam K+ menggunakan instrumen HPLC dengan Kolom Penukaran Ion pada Variasi Jenis dan Konsentrasi Eluen

Kolom kromatografi ion yang mengandung resin silika gel–GPTMS termodifikasi sulfonat dipersiapkan terlebih dahulu, kemudian disiapkan fase gerak berupa asam tartarat dan asam metana sulfonat yang selanjutnya disonikasi selama 5 menit untuk memperoleh campuran yang homogen. Laju alir sistem diatur pada kecepatan 0,5 mL/menit. Variasi dilakukan terhadap jenis dan konsentrasi eluen, yaitu dengan menggunakan dua jenis eluen (asam tartarat dan asam metana sulfonat) serta lima variasi konsentrasi fase gerak, masing-masing sebesar 0,01 M, 0,07 M, dan 0,09 M. Setelah sistem mencapai kondisi stabil, sampel diinjeksikan ke dalam kromatografi ion dan dilakukan pengujian menggunakan instrumen *Ion Chromatography (IC)* untuk mengevaluasi pengaruh jenis dan konsentrasi eluen terhadap efisiensi pemisahan ion.

HASIL

Karakterisasi Menggunakan FTIR (Fourier Transform Infrared)



Gambar 1. Hasil Karakterisasi FTIR

Spektrum inframerah (IR) pada **Gambar 1.** Menunjukkan bahwa Silika Gel menunjukkan dua pita serapan utama, yaitu pada bilangan gelombang 1060 cm-1 dan 931 cm-1, gugus siloksan (Si-O-Si) pada bilangan gelombang 1058 cm-1 dan gugus silanol (Si-OH) pada bilangan gelombang 973 cm-1. Daerah bilangan gelombang 1050-1150 cm-1 merupakan karakteristik serapan kuat gugus siloksan (Si-O-Si), sedangkan pita pada rentang bilangan gelombang 900-980 cm-1 merupakan rentang daerah bilangan gelombang gugus silanol (Si-OH). Keberadaan gugus siloksan (Si-O-Si) dan gugus silanol (Si-OH) merupakan gugus fungsi utama silika gel (Koshraftar et al., 2021). Adanya gugus C-H dari gugus propil GPTMS pada rentang bilangan gelombang 794 cm^{-1}. Hal ini disebabkan oleh terbentuknya ikatan kovalen melalui reaksi kondensasi antara gugus metoksi (-OCH3) pada GPTMS dengan gugus silanol (Si-O-Si) pada permukaan silika. Perubahan ini menunjukkan keberhasilan proses pengikatan GPTMS pada permukaan silika gel (Maulana & Oktavia, 2022). Puncak pada bilangan gelombang 1150 cm-1 yang menunjukkan keberadaan gugus sulfonat (S(=O)2) dari senyawa organik. Kemudian pada puncak 3744 cm-1 mengindikasikan adanya gugus -OH, membuktikan bahwa senyawa organik telah menempel pada silika gel-GPTMS akibat

terbukanya cincin epoksi. Kemunculan pita lemah pada bilangan gelombang 1601 cm-1 yang menunjukkan adanya tekukkan N-H amina sekunder yang berada pada rentang bilangan gelombang 1620-1560 cm-1 (Fitriningsih & Oktavia, 2023).

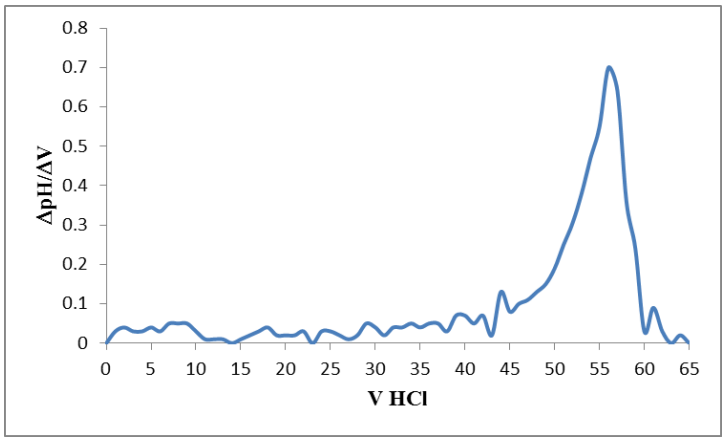
Karakterisasi Menggunakan XRF (X-ray Fluorescence Spectrometer).

Tabel 1. Hasil Karakterisasi XRF

Silika gel-GPTMS		Silika gel-GPTMS termodifikasi Sulfonat	
Unsur	**Konsentrasi (%)**	**Unsur**	**Konsentrasi (%)**
Na	-	Na	6,54
Si	98,16	Si	61,012
S	-	S	30,63
Ca	0,15	Ca	0,97
Cl	0,29	Cl	0,84
Sb	1,07	Sb	-

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa kandungan Si pada Silika gel-GPTMS merupakan kandungan terbanyak yaitu 98,16%. Sedangkan kandungan Si pada Silika gel-GPTMS termodifikasi Sulfonat mengalami penurunan menjadi 61,012%, hal ini disebabkan karena adanya penambahan unsur S sebesar 30,63% sehingga menyebabkan kandungan Si menurun. Dari hasil tersebut membuktikan bahwa sulfonat telah berhasil terikat pada GPTMS (Kauri et al., 2024).

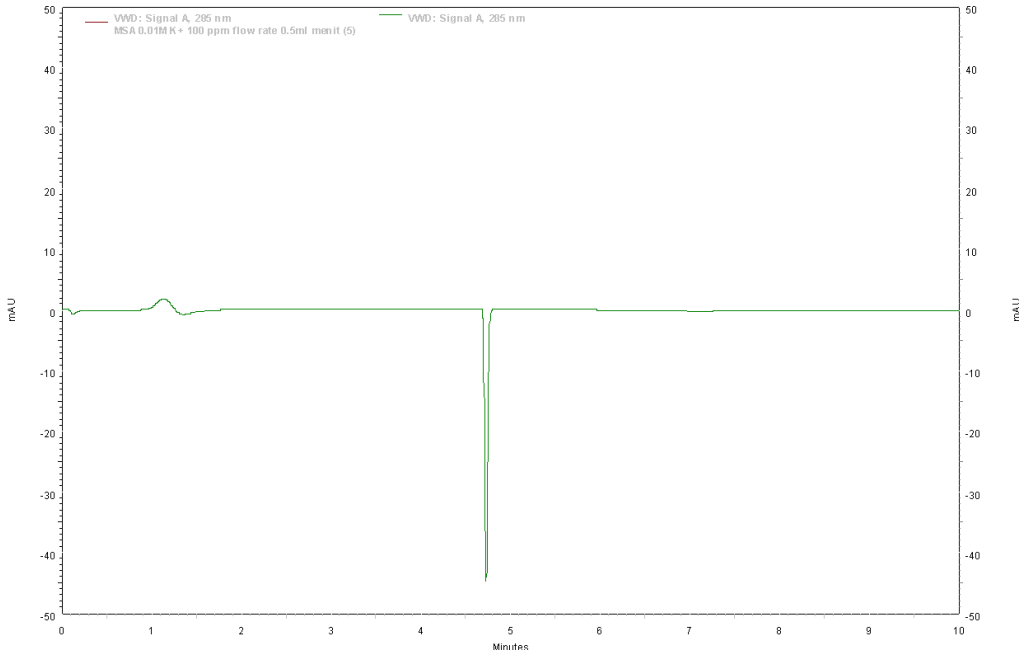
Titrasi Potensiometri



Gambar 2. Grafik Titrasi Potensiometri Silika gel-GPTMS

Berdasarkan hasil kurva diatas didapatkan kadar epoksida yang terikat pada silika gel sebesar 55,9%. Jumlah banyaknya gugus epoksida GPTMS yang terikat pada silika gel ditentukan oleh banyaknya gugus silanol yang berada di permukaan terbuka dan dapat bereaksi dengan GPTMS, bukan seluruh gugus silanol yang ada pada struktur silika gel (Mardhatillah & Oktavia, 2023).

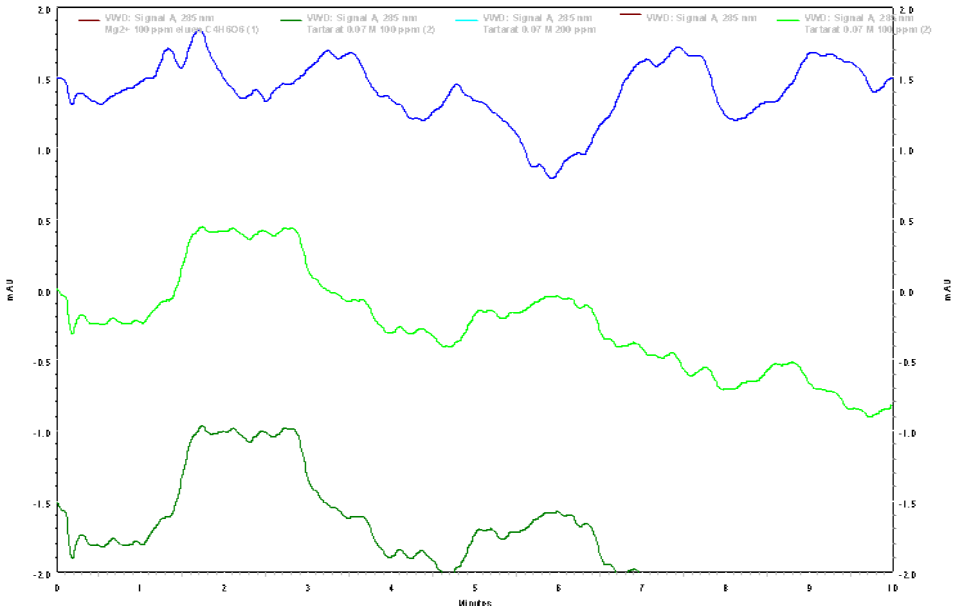
Hasil Analisis Ion Logam K+ Menggunakan Fasa Gerak (Mobile Phase) Asam Metanasulfonat 0,01 M menggunakan Kolom (Fasa Diam) Silika gel-GPTMS termodifikasi Sulfonat.



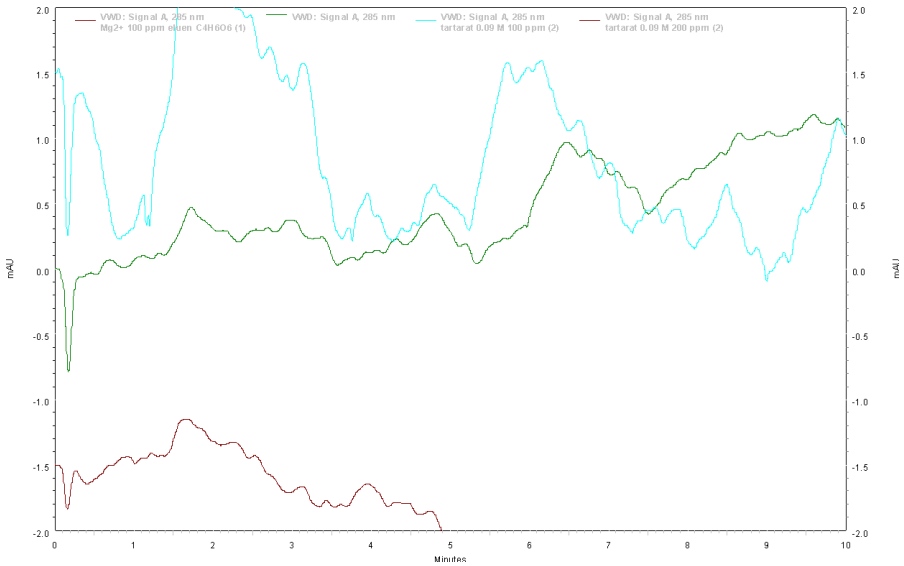
Gambar 3. Hasil Puncak Uji Coba Ion Kalium Menggunakan Eluen Asam Metanasulfonat 0,01 M Menggunakan Kolom (Fasa Diam).

Hasil kromatogram analisis ion logam kalium (K+) menggunakan HPLC menunjukkan bahwa ion logam kalium (K^+) menghasilkan puncak kromatogram yang jelas dan presisi pada waktu retensi 4,7 menit. Nilai ini sesuai dengan kisaran waktu retensi ion K^+ yang umumnya dilaporkan antara 4 hingga 5 menit (Kadnar, 1998). Kesesuaian tersebut menandakan bahwa fasa diam hasil modifikasi bekerja efektif dalam memisahkan ion logam, serta kondisi eluen yang digunakan sudah berada pada tingkat keasaman yang optimal.

Hasil Analisis Ion Logam K+ Menggunakan Fasa Gerak (Mobile Phase) Asam Tartarat menggunakan Kolom (Fasa Diam) Silika gel-GPTMS termodifikasi Sulfonat.



(a) Hasil Puncak menggunakan eluen Asam Tartarat 0,07 M (Konsentrasi 100 ppm, 200 ppm dan 300 ppm).



(b) Hasil Puncak menggunakan eluen Asam Tartarat 0,09 M (Konsentrasi 100 ppm, 200 ppm, dan 300 ppm)

Gambar 3. Hasil Puncak Uji Coba Ion Kalium Menggunakan Eluen Asam Tartarat Menggunakan Kolom (Fasa Diam).

Hasil **Gambar 3**. Menunjukkan bahwa penggunaan eluen asam tartarat dengan konsentrasi 0,09 M dan 0,07 M tidak menunjukkan hasil kromatogram untuk analisis ion logam kalium (K^+) menggunakan fase diam berupa silika gel-GPTMS termodifikasi sulfonat. Berdasarkan data yang diperoleh, tinggi puncak sinyal ion K^+ hampir sama besar dengan nilai noise pada baseline. Kondisi ini menunjukkan bahwa rasio antara sinyal dan noise (Signal to Noise, S/N) berada jauh di bawah batas kuantifikasi yang disyaratkan, yaitu 10:1 (ICH, 2005). Dengan kata lain, intensitas sinyal yang dihasilkan tidak cukup kuat untuk dibedakan secara jelas dari fluktuasi dasar instrumen (puncak ion logam dengan puncak noice yang dihasilkan) (Wulansari & Lubada, 2020).

PEMBAHASAN

1. Modifikasi Silika

Pada penelitian ini proses modifikasi silika dilakukan dengan menggantikan gugus silanol pada silika (–Si-OH) dengan –Si-OM, dimana M pada penelitian ini menggunakan senyawa organik 4-amino-5-hidroksi-2,7-naftalena disulfonat, yang berfungsi untuk mengoptimalkan efektivitas penyerapan ion logam. Senyawa ini mengandung gugus sulfonat (–SO3-) yang memberikan sifat hidrofilik dan meningkatkan kemampuan interaksi silika dengan ion logam. Sebelum dimodifikasi dengan senyawa organik, silika gel direaksikan dengan senyawa glisidoksipropiltrimetoksisilan (GPTMS) yang berfungsi sebagai pereaksi silan yang digunakan sebagai jembatan penghubung antara gugus organik dan permukaan silika, dimana gugus epoksi yang terdapat pada pereaksi silan dapat terbuka dan dengan garam 4-amino-5-hidroksi-2,7-naftalena disulfonat membentuk ikatan kovalen (Sefriani & Oktavia, 2021).

Proses modifikasi pada permukaan silika menggunakan teknik silanisasi dengan sulfonat bertujuan untuk menambahkan jumlah gugus aktif pada permukaan silika, di mana gugus O- yang ditambahkan merupakan gugus fungsional (gugus siloksan) yang berfungsi sebagai pengikat ion logam K^+ pada permukaan silika gel yang telah dimodifikasi dengan gugus sulfonat (Mardhatillah & Oktavia, 2023).

Reaksi fungsional silika gel dengan γ-GPTMS, gugus silanol (–Si–OH) yang terdapat pada permukaan silika mengalami reaksi kondensasi dengan gugus metoksi ($–OCH_3$) dari γ-GPTMS (γ-glycidyloxypropyl trimethoxysilane), di mana proton yang terdapat pada gugus

silanol membentuk suatu ikatan kovalen antara atom silikon dari silika gel dengan gugus metoksi O- yang terdapat pada senyawa γ-GPTMS pada permukaan silika, dan membentuk produk silika termodifikasi epoksi (Si-Ep), dengan metanol sebagai produk samping (Azmiyawati, 2004).

Mekanisme reaksi pertukaran ion (ion exchange) pada resin silika gel–GPTMS yang termodifikasi gugus sulfonat berlangsung melalui proses berurutan yang melibatkan perpindahan kation antar fase cair dan fase padat. Resin hasil modifikasi ini memiliki gugus aktif $–SO_3^-$ yang berperan sebagai situs pertukaran ion, di mana gugus tersebut awalnya terikat dengan ion natrium (Na^+) dari tahap aktivasi sebelumnya. Ketika eluen asam, seperti asam tartarat atau asam metanasulfonat, dialirkan melalui kolom, ion H^+ dari eluen akan menggantikan ion Na^+ yang terikat pada gugus sulfonat ($–SO_3^-$). Pergantian ini terjadi karena proton dari eluen memiliki afinitas yang lebih tinggi terhadap gugus $–SO_3^-$ dibandingkan Na^+, sehingga ion H^+ terdorong untuk melekat kuat pada situs aktif resin. Setelah resin berada dalam bentuk asam ($R–SO_3H$), tahap pertukaran ion utama terjadi ketika larutan sampel yang mengandung ion K^+ dialirkan melalui resin. Ion H^+ yang terikat pada gugus sulfonat akan bertukar dengan ion K^+ dari larutan, menghasilkan kompleks $R–SO_3^-K^+$ di permukaan resin, sementara ion H^+ berpindah ke fase larutan.

Mekanisme reaksi ion exchange terjadi berdasarkan gaya elektrostatik antara gugus bermuatan negatif ($–SO_3^-$) dengan kation bermuatan positif (Na^+, H^+, dan K^+). Arah reaksi pertukaran ditentukan oleh afinitas ion terhadap situs aktif serta konsentrasi ion dalam fase cair, di mana ion dengan muatan lebih tinggi umumnya memiliki kecenderungan adsorpsi yang lebih kuat. Proton (H^+) dari eluen asam berperan penting karena memiliki radius ionik (jari-jari ion) yang kecil dan densitas muatan tinggi, sehingga mudah menembus lapisan hidrat di sekitar gugus sulfonat. Hal ini membuat ion H^+ lebih kompetitif dalam menggantikan ion Na^+ dari resin dan selanjutnya bertukar dengan ion kation (K^+) dari larutan (Azizah et al., 2024).

Analisis Ion Logam K^+ Menggunakan Fase Gerak (Mobile Phase) Asam Metanasulfonat 0,09 M menggunakan Kolom (Fase Diam) Silika gel-GPTMS termodifikasi Sulfonat.

Eluen Asam Metanasulfonat yang tergolong asam kuat, dimana eluen asam metanasulfonat (asam kuat) mampu terionisasi secara sempurna dalam larutan, sehingga

menghasilkan konsentrasi ion H^+ yang tinggi dan konsisten selama proses pemisahan berlangsung. Ion H^+ inilah yang berperan dalam mekanisme reaksi pertukaran ion (Ion Exchange), di mana ion logam kalium (K^+) dari sampel akan mendorong (menggantikan) ion H^+ yang terikat pada gugus sulfonat (pada gugus silanol Si-OH) pada permukaan silika (Silika gel-GPTMS termodifikasi sulfonat). Mekanisme ini berjalan efisien karena eluen mampu mempertahankan lingkungan yang sangat asam dan stabil, membuat interaksi antar ion berlangsung cepat dan seimbang. Akibatnya, puncak K^+ muncul dalam waktu retensi yang ideal dengan bentuk puncak yang tajam dan simetris (Essert et al., 2024).

Ciri puncak yang stabil ini juga mengindikasikan bahwa proses modifikasi silika dengan GPTMS dan penambahan gugus sulfonat berhasil dilakukan dengan baik. Gugus – SO_3H yang terbentuk berperan sebagai situs aktif yang secara selektif dan efektif mengikat ion bermuatan positif seperti K^+.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Kadnar, 1998), penggunan asam metanasulfonat sebagai eluen dalam kromatografi ion untuk analisis ion K^+ dan ion logam alkali lainnya, seperti Na^+, NH^{4+}, Mg^{2+}, dan Ca^{2+} memberikan keunggulan yang signifikan dalam pemisahan dan kuantifikasi ion. Hal ini ditunjukkan pada hasil analisis yang ditampilkan memiliki ketajaman dan ketinggian puncak dengan waktu retensi yang optimal menunjukkan sensitivitas optimal dalam deteksi ion K^+ . Selain itu, analisis ion Mg^{2+} menggunakan resin silika gel-GPTMS termodifikasi sulfonat mengggunakan kromatografi ion juga menunjukkan hasil analisis yang optimal dengan waktu retensi proses analisis untuk ion logam Mg2+ yaitu pada menit ,05909 hingga 7,72379, dengan puncak maksimum pada menit 7,46593 (Ditasya, et al., 2025).

Analisis Ion Logam K^+ Menggunakan Fasa Gerak (Mobile Phase) Asam Tartarat menggunakan Kolom (Fasa Diam) Silika gel-GPTMS termodifikasi Sulfonat.

Penggunaan eluen asam tartarat dengan konsentrasi 0,09 M dan 0,07 M tidak menunjukkan hasil kromatogram untuk analisis ion logam kalium (K^+) menggunakan fase diam berupa silika gel-GPTMS termodifikasi sulfonat. Berdasarkan data yang diperoleh, tinggi puncak sinyal ion K^+ hampir sama besar dengan nilai noise pada baseline. Kondisi ini menunjukkan bahwa rasio antara sinyal dan noise (Signal to Noise, S/N) berada jauh di bawah batas kuantifikasi yang disyaratkan, yaitu 10:1 (Schnepf et al., 2020).

Hal tersebut mengindikasikan bahwa keasaman dan kekuatan ionisasi eluen asam tartarat tidak cukup untuk mendukung proses pertukaran ion secara efisien di permukaan

fasa diam sulfonat. Hal tersebut dipengaruhi oleh sifat keasaman dari eluen asam tartarat yang tergolong asam lemah, yang menyebabkan proses ionisasi eluen menjadi H+ dilepaskan ke dalam larutan relatif sedikit. Akibatnya, kompetisi antara ion H^+ dari eluen dengan ion logam K^+ di situs aktif $–SO_3^-$ menjadi lemah, menyebabkan efisiensi pertukaran ion menurun dan sinyal deteksi menjadi rendah. Hasilnya, kromatogram menunjukkan puncak yang tidak terdefinisi jelas, disertai noise yang relatif tinggi (Bruzzoniti et al., 2008).

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Resin silika gel-GPTMS termodifikasi Sulfonat dapat digunakan sebagai fasa diam dalam menganalisis ion logam K^+.

2. Jenis eluen yang optimum untuk analisis ion logam K^+ yaitu menggunakan eluen Asam Metanasulfonat 0,01 M dengan waktu retensi 4,7 menit.

3. Untuk memperoleh hasil analisis ion logam kalium (K^+) yang lebih presisi dan memenuhi batas kuantifikasi (LOQ), disarankan untuk menggunakan eluen yang bersifat asam kuat, seperti asam metanasulfonat (CH_3SO_3H), HCl, atau HNO_3, dengan mempertimbangkan kestabilan sistem dan kompatibilitas material kolom terhadap eluen yang digunakan.

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.

Azizah, A., Oktavia, B., Dewata, I., & Away, R. D. Y. (2024). Optimation of Adsorpsi and Desorpsi of Mn2+ Ions on Gel-GPTMS Silica (Glycidoxypropyltrimethoxysilane) Modified with Sulfonates. *Jurnal Pijar Mipa*, *19*(5), 911–915. https://doi.org/10.29303/jpm.v19i5.7449

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

Błazewicz, A. (2014). Ion Chromatography. *Wiley Blackwell 6*, *9781118466*, 25–54. https://doi.org/10.1002/9781118909911.ch4

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

Ditasya, H., Oktavia, B., & Padang, U. N. (n.d.). *M a s l i q*. *5*(November 2025), 2785–2796.

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*(January), 126860. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.126860

Fitriningsih, A., & Oktavia, B. (2023). Optimasi Adsorpsi Ion Co 2+ Menggunakan Silika Gel-GPTMS (Glycidoxyproyltrimethoxysilane) Dimodifikasi dengan Sulfonat. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, *7*(3), 24102–24110.

I Wayan Sudiarta, N. P. D. dan P. S. J. (2013). Modifikasi Silika Gel Dari Abu Sekam Padi Dengan Ligan Difenilkarbazon I. *Jurnal Kimia*, *7*(1), 57–63.

Kadnar, R. (1998). Determination of alkali and alkaline earth metals in oilfield waters by ion chromatography. *Journal of Chromatography A*, *804*(1–2), 217–221. https://doi.org/10.1016/S0021-9673(98)00024-7

Kauri, D., Oktavia, B., Sari, T. K., & Khair, M. (2024). *Optimum Condition of Ni 2 + Cation Desorption from Adsorbent Sulfonate-modified Silica gel-GPTMS*. *1744*, 906–910.

Koshraftar, Z., Ghaemi, A., & Mashhadimoslem, H. (2021). Evaluation of Silica gel adsorbent potential for carbon dioxide capture: experimental and modeling. *Iranian Journal of Chemical Engineering*, *18*(4), 65–81. https://doi.org/10.22034/ijche.2022.335792.1425

Liu, Z., Hedayati, P., Sudhölter, E. J. R., Haaring, R., Shaik, A. R., & Kumar, N. (2020). Adsorption behavior of anionic surfactants to silica surfaces in the presence of calcium ion and polystyrene sulfonate. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *602*(April), 125074. https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.125074

Mardhatillah, L. A., & Oktavia, B. (2023). Optimasi Adsorpsi Ion Logam Ag+ Pada Silika Gel GPTMS Termodifikasi Gugus Sulfonat. *Jpt*, *7*(3), 24774–24779.

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

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

Purwiandono, G., & Haidar, A. S. (2022). Studi Adsorpsi Logam Pb(II) Menggunakan Adsorben Kulit Rambutan Teraktivasi HNO3 dan NaOH. *Indonesian Journal of Chemical Research*, *7*(1), 8–16. https://doi.org/10.20885/ijcr.vol7.iss1.art2

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

Sefriani, R., & Oktavia, B. (2021). Modification of natural silica using dimethylamine and the application as a phosphate ion absorption. *Journal of Physics: Conference Series*, *1788*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1788/1/012015

Wimarsela, S., Junaidi, R., & Silviyati, I. (2021). Sintesis Silika Gel dari Abu Cangkang dan Serabut Kelapa Sawit Terimobilisasi Difenilkarbazon dengan Metode Sol-Gel. *Jurnal Penelitian Inovatif*, *1*(2), 165–174. https://doi.org/10.54082/jupin.24

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