

DETEKSI METAMFETAMIN DARI RAMBUT PENGGUNA SABU-SABU MENGUNAKAN EKSTRAKSI BERBANTUAN SONIKASI DAN KROMATOGRAFI KOLOM

Yuli Bella Shinta Simamora^{*}, Sri Adelila Sari

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Jl. Willem Iskandar
Pasar V Medan Estate, Medan 20221, Indonesia
Email: yulibellasimamora27@gmail.com

Abstract

Methamphetamine is powerful addictive stimulant that poses significant public health and social challenges, requiring accurate identification for forensic studies and medical assessments. Hair analysis offers a non-invasive way to assess long-term drug use. This research analyzed methamphetamine concentrations in hair samples from drug users using sonication-assisted extraction and subsequent purification of the extract via column chromatography. A combination of methanol, acetone, and ammonia was employed to extract four hair samples (5:1,2:0,08), identified as the most effective solvent system. The compounds were separated by processing the extracts through column chromatography. The acquired fractions were tested using marquis reagent. Every sample uniformly displayed a distinct yellowish-brown color when combined with the marquis reagent, signifying the presence of the methamphetamine. The efficiency of this method was attributed to the joint effect of sonication, which aids in analyte release, and the improved solvent system. This study highlighted the potential to integrate sonication-assisted extraction with column chromatography and marquis reagent for the precise detection of methamphetamine in complex hair matrices, essential for forensic toxicology and clinical analysis.

Keywords: methamphetamine, hair analysis, sonication, column chromatography, marquis reagent

Abstrak

Metamfetamin adalah stimulan adiktif yang kuat dan menimbulkan tantangan kesehatan masyarakat serta sosial yang signifikan, sehingga membutuhkan waktu identifikasi yang akurat untuk studi forensik dan penilaian medis. Analisis rambut menawarkan cara non-invasif untuk menilai pengguna narkoba jangka panjang. Penelitian ini menganalisis konsentrasi metamfetamin dalam sampel rambut pengguna narkoba menggunakan ekstraksi berbantuan sonikasi dan pemurnian ekstrak selanjutnya melalui kromatografi kolom. Kombinasi metanol, aseton, ammonia digunakan untuk mengekstraksi empat sampel rambut (5:1,2:0,08), yang diidentifikasi sebagai pelarut paling efektif. Senyawa-senyawa tersebut dipisahkan dengan memproses ekstrak melalui kromatografi kolom. Fraksi yang diperoleh diuji menggunakan reagen marquis. Setiap sampel secara seragam menunjukkan warna coklat kekuningan yang khas ketika dikombinasikan dengan reagen marquis, yang menandakan keberadaan metamfetamin. Efisiensi metode ini dikaitkan dengan efek gabungan sonikasi, yang membantu pelepasan analit dan sistem pelarut yang lebih baik. Studi ini menyoroti potensi untuk mengintegrasikan ekstraksi berbantuan sonikasi dengan kromatografi kolom dan reagen marquis untuk deteksi metamfetamin yang tepat dalam matriks rambut kompleks, penting untuk toksikologi forensik dan analisis klinis.

Kata Kunci : Metamfetamin, analisis rambut, sonikasi, kromatografi kolom, dan reagen marquis.

I. PENDAHULUAN

Masalah penyalahgunaan narkoba di Indonesia (Lukman & Alifah, 2022) telah berkembang menjadi krisis sosial yang kompleks, mengancam keutuhan keluarga, masyarakat, dan bangsa. Ini bukan hanya masalah individu, tetapi juga ancaman serius bagi kesejahteraan nasional (Elisabet & Rosmaida, 2022). Penyalahgunaan narkoba menimbulkan dampak yang sangat merusak baik pada kesehatan fisik maupun mental pengguna. Mulai dari kerusakan organ vital dan sistem saraf hingga memicu perilaku agresif dan

gangguan mental yang serius, narkoba dapat menyebabkan penurunan kualitas hidup yang signifikan dan bahkan kematian dini (Dwi, 2023).

Dampak penyalahgunaan narkoba terhadap kesehatan individu, keluarga, dan masyarakat sangatlah besar. Selain merusak kesehatan fisik dan mental pengguna, narkoba juga memicu berbagai masalah sosial seperti kekerasan, kriminalitas, dan disintegrasi keluarga. Lebih memprihatinkan lagi, penggunaan narkoba di kalangan anak-anak dan remaja semakin meningkat, mengancam masa depan generasi muda. Kemudahan akses melalui media sosial dan tekanan dari teman sebaya semakin memperparah situasi ini, membutuhkan perhatian serius dari semua pihak (Ramdloning & Zulfa, 2023; Kasman & Jangcik, 2023).

Sabu-sabu atau metamfetamin adalah obat stimulan golongan 2 psikotropika yang sangat adiktif dan berbahaya. Efek jangka pendeknya yang euforia dan meningkatkan energi seringkali membuat pengguna ketagihan, namun di balik kesenangan sesaat itu, sabu-sabu menyebabkan kerusakan serius pada sistem saraf pusat dan dapat berujung pada kematian (Jones & Compton, 2020; Hudaya, et al., 2022; Sianturi, et al., 2022).

Meskipun memberikan sensasi euforia sementara, penggunaan metamfetamin secara terus-menerus dapat menyebabkan kecanduan yang parah. Hal ini terjadi karena metamfetamin memanipulasi sistem penghargaan otak dengan meningkatkan kadar dopamin secara drastis (Miller, et al., 2021). Dopamin, neurotransmitter yang terkait dengan perasaan senang, membuat otak terbiasa dengan tingkat dopamin yang sangat tinggi, sehingga pengguna akan terus mencari metamfetamin untuk merasakan sensasi yang sama (Speranza & Porzia, 2021; Anghel & Nitescu, 2023).

Metamfetamin, yang sering ditemukan dalam bentuk kristal atau bubuk putih, dapat dikonsumsi melalui berbagai cara, mulai dari oral hingga inhalasi (Alawi dkk., 2022). Fleksibilitas dalam cara konsumsi ini membuat zat ini mudah diakses dan disalahgunakan, sehingga menimbulkan berbagai masalah kesehatan dan sosial yang serius, seperti kerusakan organ dan masalah hubungan interpersonal (Sastriani & Sari, 2022).

Analisis sampel rambut merupakan metode yang andal untuk mengidentifikasi penggunaan metamfetamin dalam jangka waktu tertentu, karena rambut dapat menyimpan jejak penggunaan narkoba untuk waktu yang lama (Madia M. A., et al., 2023; Kuwayama, et al., 2022). Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa metode seperti kolom ekstraksi, ekstraksi fase padat, dan kromatografi gas dapat digunakan untuk menguji keberadaan metamfetamin dalam sampel rambut pengguna sabu-sabu (Dalimunthe N. A., 2021; Dalimunthe & Alfian, 2023; Aulia & Primaharinastiti, 2023).

Ekstraksi sonikasi, yang memanfaatkan energi gelombang ultrasonik, menawarkan alternatif yang lebih efisien dibandingkan dengan metode ekstraksi konvensional lainnya untuk mengidentifikasi penggunaan metamfetamin (Dalimunte, et al., 2019). Metode ini mampu mengekstrak zat target secara lebih efektif dan dalam waktu yang lebih singkat, serta mengurangi penggunaan pelarut (Rantung & Korua, 2021).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas sampel rambut pengguna sabu-sabu dan mengetahui efektivitas pereaksi marquis pada metode sonikasi dan kromatografi kolom dalam menganalisis kandungan metamfetamin pada rambut pengguna sabu-sabu. Berbagai Teknik analisis telah dikembangkan untuk deteksi metamfetamin, diantaranya Adalah kromatografi kolom. Kromatografi kolom sebagai salah satu Teknik pemisahan yang efisien, menawarkan potensi besar dalam isolasi dan pemurnian senyawa yang krusial untuk analisis lebih lanjut.

II. METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini, bahan yang digunakan adalah methanol pa, aseton pa, maonia pa, etil asetat pa,

kloroform pa, silica gel (230-400 mesh) aquadest, formaldehida 37%, buffer pospat 7,2, asam klorida pa, asam sulfat pa, isopropanol, asam asetat glasial dan sampel rambut pengguna sabu-sabu 4 orang sebanyak 6-7 gram. Bahan-bahan kimia ini dipilih berdasarkan kemampuannya untuk melarutkan, mengisolasi, dan mengidentifikasi senyawa target.

Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah tabung reaksi sebanyak 9 buah, beaker glass 250 ml sebanyak 3 buah, Erlenmeyer sebanyak 2 buah, 1 buah labu ukur, kromatografi kolom sebanyak 1 buah, statif dan klem, sudip, gelas ukur 10 ml, batang pengaduk kaca, neraca analitik (fujitsu), sarung tangan.

Preparasi Sampel

Sampel rambut dibersihkan dari kontaminan luar. Rambut dipotong menjadi potongan kecil, kemudian ditimbang sebanyak 6-7 gram rambut pengguna metamfetamin, masing-masing pengguna sabu-sabu dan dihaluskan dengan menggunakan alu dan lumpang. Kemudian dicuci dengan menggunakan metanol sebanyak 3 kali masing-masing selama 5 menit.

Pembuatan Reagen Marquis

Pereaksi Marquis adalah reagen spesifik untuk deteksi senyawa indolik dan beberapa amina, termasuk metamfetamin. Ketika bereaksi dengan metamfetamin, pereaksi Marquis akan menghasilkan warna kuning kecoklatan yang khas. Perubahan warna ini merupakan konfirmasi kualitatif adanya metamfetamin dalam sampel. Pereaksi Marquis disusun dari dua reagen terpisah. Reagen pertama dibuat dengan menambahkan 8-10 tetes formaldehida 37% ke dalam asam asetat glasial murni, sementara reagen kedua merupakan asam sulfat pekat.

Metode Sonikasi

Proses ekstraksi dilakukan dengan metode sonikasi menggunakan tiga sistem pelarut yang berbeda, yaitu campuran metanol, aseton, dan amonia; etilasetat, metanol, dan amonia; serta kloroform, etilasetat, dan amonia. sonikasi dengan menggunakan sistem pelarut A, B, dan C, sebagai berikut:

- A. Metanol : Aseton : Ammonia (5:1,2:0,08),
- B. Etilasetat : Metanol : Amonia (8,5:1:0,5),
- C. Kloroform : Etil Asetat : Amonia (7,5:2: 0,5).

Masing-masing campuran digunakan untuk sonikasi pada suhu kamar 30 derajat selama 30 menit. Setelah itu, sampel disonikasi kembali dengan 3 tetes kloroform selama 5 menit. Hasil dari variasi pelarut yang berbeda menghasilkan ekstrak cair kemudian dipisahkan dengan corong pisah, didinginkan pada suhu ruang, dan disaring hasil ekstrak dengan menggunakan kertas saring. Selanjutnya diidentifikasi menggunakan pereaksi Marquis untuk mengamati perubahan visual dan warna yang terjadi dari hasil getaran ultrasonik yang mempercepat kontak antara sampel dan juga pelarut meskipun berada pada suhu ruang.

Kromatografi Kolom

Membran ditempatkan dibagian bawah kolom, dikondisikan kolom kromatografi dengan 4 ml buffer pospat lalu ditambahkan 10gr silica gel dan 4 ml metanol kemudian dimasukkan ke dalam kolom kromatografi dan ditambahkan hasil analit sonikasi selanjutnya ditambahkan 4 ml diklorometana : isopropanol (2:2) lalu dielusi analit dengan etil asetat : ammonium hidroksida (3:1) lalu ditampung eluen dan hasil eluen yang didapatkan diidentifikasi dengan pereaksi marquish.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Variasi jenis pelarut pada proses ekstraksi sonikasi menghasilkan profil senyawa yang berbeda-beda pada sampel yang dianalisis.

Perbandingan Sistem Pelarut A

Proses ekstraksi menggunakan gelombang ultrasonik (sonikasi) dilakukan dengan menggunakan

campuran pelarut metanol, aseton, dan amonia dengan perbandingan volume 5:1,2:0,08. Pemilihan perbandingan ini bertujuan untuk memaksimalkan ekstraksi metamfetamin dari matriks sampel. Hasil analisis kualitatif menggunakan pereaksi Marquis menunjukkan adanya kandungan metamfetamin, yang ditunjukkan oleh perubahan warna spesifik. Hasil lengkap dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Metamfetamin dengan pelarut A (metanol : aseton : ammonia).

No.	Nama Sampel	Uji Marquis
1.	Rambut Pengguna 1	Kuning kecoklatan (+++)
2.	Rambut Pengguna 2	Kuning kecoklatan (+++)
3.	Rambut Pengguna 3	Kuning kecoklatan (+++)
4.	Rambut Pengguna 4	Kuning kecoklatan (+++)

Keterangan :

+++ : warna kuning kecoklatan sangat jelas

++ : warna kuning kecoklatan cukup jelas

+

Berdasarkan data pada Tabel 1, reaksi antara ekstrak sampel dengan pereaksi Marquis menghasilkan warna kuning kecoklatan yang khas, mengindikasikan adanya senyawa metamfetamin.

Perbandingan Sistem Pelarut B

Untuk mengoptimalkan proses ekstraksi, percobaan dilanjutkan dengan menggunakan sistem pelarut yang berbeda, yaitu campuran etil asetat, metanol, dan amonia dengan perbandingan volume 8,5:1:0,5. Pemilihan perbandingan ini didasarkan pada literatur yang relevan. Hasil ekstraksi menggunakan sistem pelarut baru ini kemudian dianalisis dan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Metamfetamin dengan pelarut B (etil asetat : metanol : ammonia)

No.	Nama Sampel	Uji Marquis
1.	Rambut pengguna 1	Kuning kecoklatan (+)
2.	Rambut pengguna 2	Kuning kecoklatan (+)
3.	Rambut pengguna 3	Kuning kecoklatan (+)
4.	Rambut pengguna 4	Kuning kecoklatan (+)

Keterangan :

+++ : warna kuning kecoklatan sangat jelas

++ : warna kuning kecoklatan cukup jelas

+

Pengamatan visual terhadap perubahan warna setelah penambahan pereaksi Marquis pada ekstrak yang diperoleh dengan sistem pelarut B menunjukkan warna kuning kecoklatan yang pudar. Intensitas warna yang lebih lemah ini mengindikasikan kemungkinan adanya perbedaan dalam konsentrasi atau jenis senyawa yang bereaksi dengan pereaksi Marquis dibandingkan dengan percobaan sebelumnya.

Perbandingan Sistem Pelarut C

Tahap ekstraksi berikutnya dilakukan dengan menggunakan sistem pelarut ternari kloroform:etil asetat:amonia dengan perbandingan volume 8:2:0,5. Hasil disajikan secara lengkap pada Tabel 3.

Tabel 3 Metamfetamin dengan pelarut C

No.	Nama Sampel	Uji Marquis
1.	Rambut pengguna 1	Kuning kecoklatan (++)
2.	Rambut pengguna 2	Kuning kecoklatan (++)
3.	Rambut pengguna 3	Kuning kecoklatan (++)
4.	Rambut pengguna 4	Kuning kecoklatan (++)

Keterangan :

+++ : warna kuning kecoklatan sangat jelas

++ : warna kuning kecoklatan cukup jelas

+ : warna kuning kecoklatan pudar

Pengamatan visual terhadap perubahan warna setelah penambahan pereaksi Marquis pada ekstrak yang diperoleh dengan sistem pelarut C menunjukkan warna kuning kecoklatan yang cukup jelas. Intensitas warna yang dihasilkan mengindikasikan adanya kemungkinan senyawa yang sama atau sejenis dengan percobaan sebelumnya.

Pengujian dengan metode kromatografi kolom

Tahap selanjutnya, sampel rambut dianalisis secara kualitatif untuk memisahkan senyawa-senyawa dalam sampel dan mengidentifikasi atau mengukur kandungan berdasarkan waktu retensi dan deteksi analitik. Metode yang digunakan adalah kromatografi kolom, yang merupakan teknik pemisahan yang umum digunakan dalam analisis forensik. Hasil lengkap analisis ini disajikan secara rinci pada Tabel 4.

Tabel 4 Metamfetamin dengan kromatografi kolom

No.	Nama Sampel	Uji Marquis
1.	Rambut pengguna 1	Kuning kecoklatan (++++)
2.	Rambut pengguna 2	Kuning kecoklatan (++++)
3.	Rambut pengguna 3	Kuning kecoklatan (++++)
4.	Rambut pengguna 4	Kuning kecoklatan (++++)

Pengamatan visual pada Tabel 4 menunjukkan bahwa sampel rambut yang telah diekstraksi dan diuji dengan pereaksi Marquis menghasilkan warna kuning kecoklatan yang sangat khas. Intensitas warna yang kuat inimerupakan indikasi positif adanya metamfetamin dalam sampel rambut.

Penelitian ini berhasil menunjukkan keefektifan metode sonikasi dalam mengekstrak metamfetamin dari sampel rambut. Di antara ketiga sistem pelarut yang diuji, sistem pelarut A memberikan hasil yang paling baik ketika dikombinasikan dengan metode kromatografi kolom. Hal ini dibuktikan dengan terbentuknya warna kuning kecoklatan yang sangat intens pada uji kualitatif dengan pereaksi marquis, yang merupakan indikator spesifik untuk keberadaan metamfetamin. Hasil visual dari uji ini dapat dilihat secara detail pada Gambar 1.

Gambar 1. Uji kualitatif pelarut A



Analisis visual pada Gambar 1, didukung oleh temuan penelitian [21] mengindikasikan bahwa sistem pelarut A memiliki peran yang krusial dalam meningkatkan efisiensi ekstraksi metamfetamin dari matriks rambut melalui proses sonikasi. Sifat polar dari metanol, kemampuan aseton dalam melarutkan senyawa nonpolar, dan sifat basa dari amonia diduga berperan sinergis dalam memaksimalkan pelarutan dan pemisahan metamfetamin dari komponen-komponen matriks rambut lainnya. Metanol sebagai pelarut polar kuat, efektif dalam menembus matriks sel dan melarutkan senyawa polar serta semi-polar. Aseton, dengan polaritas yang lebih rendah meningkatkan selektivitas ekstraksi. Amonia, di sisi lain, berperan dalam menstabilkan senyawa amina seperti metamfetamin. Kombinasi ketiga pelarut ini, yang didukung oleh mekanisme sonikasi yang mempercepat pelarutan, terbukti meningkatkan efisiensi ekstraksi metamfetamin dari matriks rambut.

Pemilihan campuran pelarut metanol, aseton, dan amonia dengan perbandingan 5:1,2:0,08 didasarkan pada beberapa pertimbangan kimia dan fisik, seperti polaritas pelarut. Metanol merupakan pelarut polar yang sangat baik. Kemampuannya membentuk ikatan hidrogen dengan senyawa polar seperti metamfetamin meningkatkan kelarutan senyawa tersebut. Sedangkan aseton memiliki polaritas sedang, sehingga dapat melarutkan senyawa-senyawa yang memiliki rentang polaritas lebih luas. Selanjutnya ammonia meskipun dalam jumlah kecil, amonia berperan sebagai basa lemah yang dapat membantu mendeprotonasi metamfetamin, membuatnya lebih mudah larut dalam pelarut organik. Selain itu, sifat fisik seperti densitas dan visositas diantara ketiga pelarut. Perbedaan densitas antara ketiga pelarut ini memungkinkan pembentukan lapisan-lapisan pelarut yang berbeda selama proses ekstraksi, meningkatkan efisiensi pemisahan senyawa target. Sedangkan viskositas campuran pelarut yang tepat akan memudahkan penetrasi pelarut ke dalam matriks sampel dan meningkatkan efisiensi ekstraksi.

Selanjutnya interaksi dengan sampel memberikan kontribusi yang kuat dalam mengekstrak metamfetamin pada matriks rambut. Rambut memiliki struktur yang kompleks, terdiri dari protein keratin yang kuat. Campuran pelarut yang dipilih mampu menembus matriks rambut dan melepaskan metamfetamin yang terikat pada protein. Interaksi pelarut dengan metamfetamin sangat memungkinkan karena senyawa ini memiliki sifat amfoter, artinya dapat bersifat asam maupun basa tergantung pada kondisi lingkungan. Amonia dalam campuran pelarut membantu menjaga metamfetamin dalam bentuk basa bebas, sehingga lebih mudah diekstraksi oleh pelarut organik.

Selanjutnya, pengamatan visual pada Gambar 2 dan 3 menunjukkan bahwa penggunaan sistem pelarut B dan C menghasilkan warna kuning kecoklatan yang khas, namun dengan intensitas yang lebih rendah dibandingkan dengan sistem pelarut A. Hasil ini mengindikasikan bahwa kedua sistem pelarut tersebut juga mampu mengekstrak metamfetamin dari sampel rambut, meskipun dengan efisiensi yang lebih rendah.



Gambar 2. Uji kualitatif dengan Pelarut B



Gambar 3. Uji kualitatif dengan Pelarut C

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemilihan pelarut sangat krusial dalam ekstraksi metamfetamin dari matriks rambut. Pelarut metanol, dengan polaritasnya yang tinggi, terbukti lebih efisien dalam mengekstraksi senyawa target. Temuan ini sejalan dengan literatur yang ada dan memiliki implikasi penting dalam pengembangan metode analisis forensik yang lebih akurat dan sensitif.

Tabel 5. Waktu retensi pada kromatografi kolom

No.	Variasi Pelarut	Waktu Retensi
1.	Pelarut A	17,82 detik
2.	Pelarut B	83,50 detik
3.	Pelarut C	42,06 detik

Pada percobaan kromatografi kolom ini didapatkan waktu yang berbeda pada setiap masing-masing pelarut yang di uji. Waktu retensi (t_R) adalah waktu yang dibutuhkan suatu komponen untuk bergerak dari titik injeksi hingga mencapai detector. Komponen yang memiliki afinitas lebih tinggi terhadap fase diam akan memiliki waktu retensi yang lebih lama, sedangkan yang memiliki afinitas lebih rendah akan lebih cepat keluar dari kolom. Faktor-faktor seperti tekanan, suhu dan komposisi fase gerak dapat mempengaruhi waktu retensi ini. Pada pelarut A diperoleh waktu retensi 17,82 detik; pelarut B diperoleh waktu retensi 83,50 detik dan pelarut C diperoleh waktu retensi 42,06 detik.

Perbedaan warna pada hasil kromatografi kolom mencerminkan keberagaman senyawa yang terpisah berdasarkan interaksi kimianya dengan fase diam dan fase gerak. Warna-warna tersebut memberikan indikasi visual yang berguna dalam mengidentifikasi dan memverifikasi komponen-komponen dalam sampel.

Dalam konteks analisis forensik, ekstraksi sonikasi telah menjadi metode pilihan untuk isolasi senyawa psikoaktif seperti metamfetamin dari sampel biologis. Kemampuan sonikasi untuk memecah matriks sampel secara efisien, meningkatkan laju transfer massa, dan meminimalkan waktu ekstraksi membuatnya sangat cocok untuk analisis sampel dalam jumlah besar dan dengan waktu turnaround yang singkat. Selain itu, sonikasi juga dapat meningkatkan sensitivitas deteksi senyawa target, terutama untuk senyawa yang terdapat dalam konsentrasi yang sangat rendah.

Penelitian terbaru telah mengkonfirmasi efektivitas sonikasi dalam ekstraksi metamfetamin dari

rambut, salah satu matriks sampel yang paling umum digunakan dalam analisis forensik. Mekanisme di balik efisiensi sonikasi ini melibatkan penggunaan gelombang ultrasonik untuk menginduksi fenomena kavitas akustik, yang menghasilkan gaya geser yang kuat untuk memecah matriks rambut dan memfasilitasi pelepasan senyawa metamfetamin.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode ekstraksi sonikasi menggunakan pelarut etanol:aseton:amonia memiliki potensi yang sangat besar untuk diaplikasikan dalam analisis forensik narkotika. Kemampuan metode ini untuk menghasilkan hasil yang akurat, sensitif, dan reproduibel dalam deteksi metamfetamin pada sampel rambut membuatnya menjadi alat yang sangat berharga bagi para penegak hukum. Selain itu, metode ini juga dapat diadaptasi untuk deteksi senyawa psikoaktif lainnya, sehingga memperluas cakupan aplikasinya dalam laboratorium forensik. Dengan demikian, pengembangan dan optimasi metode ekstraksi sonikasi ini perlu terus dilakukan untuk memenuhi kebutuhan analisis forensik yang semakin kompleks.

IV. KESIMPULAN

Penerapan kromatografi kolom pada ekstrak rambut yang telah disonikasi terbukti mampu memurnikan dan memisahkan senyawa metamfetamin dari kontaminan, yang kemudian dikonfirmasi keberadaannya menggunakan uji pereaksi Marquis dengan memberikan hasil warna kuning kecoklatan. Pada pelarut 1 diperoleh waktu retensi 17,82 detik ; pelarut 2 diperoleh waktu retensi 1 menit 23 detik ; dan juga pelarut 3 diperoleh waktu retensi 42 detik. Kombinasi ekstraksi sonikasi dan uji pereaksi Marquis menunjukkan efektivitas dalam mendeteksi keberadaan metamfetamin dari sampel rambut pengguna sabu-sabu. Ekstrak dari sampel rambut pengguna sabu-sabu yang disonikasi dengan sistem pelarut metanol:aseton:amonia (5:1.2:0.08) memberikan hasil uji Marquis positif (warna kuning kecoklatan) yang paling jelas dibandingkan sistem pelarut lainnya, menunjukkan efisiensi ekstraksi yang optimal. Disarankan untuk penelitian selanjutnya menggunakan metode analisis yang lebih spesifik dan sensitif seperti kromatografi gas spektrometri massa (GC-MS) atau kromatografi cair kinerja tinggi- spektrometri massa (LC-MS) untuk identifikasi dan kuantifikasi metamfetamin yang lebih akurat dan terkonfirmasi secara definitif, serta untuk mengatasi keterbatasan uji Marquis.

DAFTAR PUSTAKA

- Alawi, A. I., Dhabbah, A. M., Morrison, C., & Ben-Jaber, S. (2022). Indirect Chiral Separation of Crystal Methamphetamine Seized in Saudi Arabia Using GC-MS. *Australian Journal of Forensic Sciences*, 55(1), 1-14. doi:10.1080/00450618.2022.2079720
- Anghel, D.-M. C., & Nitescu, G. V. (2023). Understanding the Mechanisms of Action and Effects of Drugs of Abuse. *Molecules*, 28(13), 4969. doi:10.3390/molecules28134969
- Annisa, B. N., & Urbaningrum, L. M. (2022). Metode Analisis Kualitatif Senyawa Obat Methamphetamine pada Sampel Rambut. *Jurnal Health Sains*, 3(4), 523-529. doi:10.46799/jhs.v3i4.478
- Aulia, S., & Primaharinastiti. (2023). Development and Validation GC/MS Method for Methamphetamine Analysis in Urine by Miniaturization QuEChERS. *Science and Technology Indonesia*, 8(3), 451-460. doi:10.26554/sti.2023.8.3.451-460
- Bendicho, C., & Lavilla, I. (2018). Ultrasound extractions. In *In Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering* (pp. 1-9). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Inc.
- Dalimunte, N. A., Alfian, Z., Wirjosentono, Marpaung, H., Bakhroni, Siswa, I., . . . Rifki, A. (2019). Analysis of Metamphetamine Coumpounds in the Shabu-Shabuhair using Sonication and Gcms Methods. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series*, 1232(012015), 1-6. doi:10.1088/1742-6596/1232/1/012015

- Dalimunthe, N. A. (2021). Uji Kualitatif Analisis Kandungan Metamfetamin dari Rambut Pengguna Sabu-Sabu Menggunakan Metode Kolom Ekstraksi. *Jurnal Kimia Saintek dan Pendidikan*, 5(1), 16-22.
- Dalimunthe, N., & Alfian, Z. (2019). Analisa Kualitatif Kandungan Senyawa Metamfetamin dalam Rambut Pengguna Sabu-Sabu dengan Metode Ekstraksi Fase Padat (SPE) Menggunakan Adsorben Zeolit Serulla. *Physics*, 2(1), 130-134.
- Dwi, D. R. (2023). Bahaya Penyalahgunaan Narkoba Terhadap Kesehatan Masyarakat. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Abdi Putra*, 3(1), 1-6. doi:10.52005/abdiputra.v3i1.111
- Elisabet, A., & Rosmaida, A. (2022). Penyalahgunaan Narkoba Dikalangan Remaja: Bahaya, Penyebab, dan Pencegahannya. *Jurnal Multidisiplin Indonesia*, 1(3), 877- 886. doi:10.58344/jmi.v1i3.80
- Guizolfi, T., Kramer, A., Menck, R., & Moura, S. (2024). Advancements in Liquid Chromatography-mass Spectrometry for Amphetamine Analysis in Unconventional Biological Matrices: Focus on Oral Fluid and Hair Samples. *WILEY Analytical Sciences*. doi:10.1002/sscp.202400019
- Hanifa, I. I., & Dwandaru, W. S. (2021). Sintesis dan Karakterisasi Graphene Oxide Berbahan Dasar Grafit Olahan Menggunakan Metode Audiosonikasi. *Jurnal Ilmu Fisika dan Terapannya*, 8(1), 17-20. doi:10.21831/fisika - s1.v8i1.17844
- Hudaya, I. R., Hasna, V. L., Valensia, R., Hermawan, K. A., Hartati, H., Hasanah, F. F., & Aida, F. (2022). Metode Validasi Analisis Metamfetamin dalam Sampel Biologis. *Syntax Admiration*, 3(4), 589-595.
- Jones, C. M., & Compton, W. M. (2020). Patterns and Characteristics of Methamphetamine Use Among Adults — United States, 2015–2018. *MMWR: Morbidity and Mortality Weekly Report*, 69(12), 317-323. doi:10.15585/mmwr.mm6912a1
- Kasman, & Jangcik, I. (2023). Edukasi Dampak Penyalahgunaan Narkoba Bagi Generasi Muda di Pusat Rehabilitasi Sosial Bekisa (Bersama Kita Bisa) Kota Pagar Alam. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat: ABDIKAT*, 2(1), 37-41.
- Kuwayama, K., Miyaguchi, H., Kanamori, T., Tsujikawa, K., Yamamuro, T., Segawa, H., . . . T., I. Y. (2022). Micro-segmental Hair Analysis: Detailed Procedures and Applications in Forensic Toxicology. *Forensic Toxicol*, 40(2), 215-233. doi:10.1007/s11419-022-00619-9
- Lukman, G. A., & Alifah, A. (2022). Kasus Narkoba di Indonesia dan Upaya Pencegahannya di Kalangan Remaja. *Jurnal Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (JPPM)*, 2(3), 405. doi:10.24198/jppm.v2i3.36796
- Madia, M. A., Oliveira, L. O., Baccula, N. S., Sakurada, J. Y., Scanferla, D. T., Aguera, R. G., . . . Mossini, S. A. (2023). Amphetamine, Methamphetamine, and MDMA in Hair Samples from a Rehabilitation Facility: Validation and Applicability of HF- LPME-GC-MS. *Journal of Pharmacological and Toxicological Methods*, 119, 107212. doi:10.1016/j.vascn.2022.207212
- Madia, M. A., Oliveira, L. O., Baccule, N. S., Sakurada, J. Y., Scanferla, D. T., Aguera, R. G., . . . Mossini, S. A. (2023). Amphetamine, methamphetamine, and MDMA in hair samples from a rehabilitation facility: Validation and applicability of HF- LPME-GC-MS. *Journal of Pharmacological and Toxicological Methods*, 119, 107212. doi:10.1016/j.vascn.2022.107212
- Maharani, G. A., Rismayani, P. A., Devi, N. N., Winarni, N. P., & Sari, P. M. (2019). Blind Test Golongan Senyawa Psikotropika dalam Sampel Urin. *Indonesian Journal of Legal and Forensic Sciences*, 9(2), 97-107.
- Mariana, E., Cahyono, E., Rahayu, E. F., & Nurcahyo, B. (2018). Validasi Metode Penetapan Kuantitatif Metanol dalam Urin Menggunakan Gas Chromatography-Flame Ionization Detector. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(3), 277-284.
- Mazumder, M. A., Rana, J., Jubayer, M. F., Ranganathan, T. V., & Ansari, M. J. (2023). Chapter 9 - Sonication Microwave Synergistic Extraction of Bioactive Compounds from Plant Source. In *Ultrasound and Microwave*

- for *Food Processing* (pp. 239-267). Academic Press.
- Miller, D. R., Bu, M., Gopinath, A., & Martinez, L. R. (2021). Methamphetamine Dysregulation of the Central Nervous System and Peripheral Immunity. *J Pharmacol Exp Ther*, 379(3), 372-385. doi:10.1124/jpet.121.000767
- Rachmawati, R. A., & Wisaniyasa, N. W. (2020). Pengaruh Jenis Pelarut Terhadap Aktivitas Antioksidan Ekstrak Meniran (*Phyllanthus niruri* L.). *Jurnal Itepa*, 9(4), 458-467.
- Ramdlonaning, A., & Zulfa, E. A. (2023). Analisis Kebijakan Rehabilitasi Bagi Penyalahguna Narkotika di Indonesia. *Jurnal Ius Constituendum*, 8(1), 50. doi:10.26623/jic.v8i1.6119
- Rantung, O., & Korua, A. I. (2021). Perbandingan Ekstraksi Vitamin C dari 10 Jenis Buah-Buahan Menggunakan Sonikasi dan Homogenisasi. *Indonesian Journal of Laboratory*, 4(3), 124-133.
- Sastriani, D., & Sari, N. Y. (2022). Hubungan Penggunaan Metamfetamin dengan Ansietas pada Pasien di Poliklinik NAPZA. *Jurnal Ilmiah Ners Indonesia*, 3(2), 71- 75.
- Sianturi, R., Hartawan, L. A., Rahmah, N. A., Kartika, P. N., Safitri, M. Z., & Nabilah, N. (2022). Efek Penggunaan NAPZA Terhadap Kesehatan Psikologi. *Jurnal Ilmiah: J- HESTECH*, 5(2), 97-114. doi:10.25139/htc.v5i2.4671
- Speranza, L., & Porzia, U. d. (2021). Dopamine: The Neuromodulator of Long-Term Synaptic Plasticity, Reward and Movement Control. *Cells*, 10(4), 735. doi:10.3390/cells10040735
- Taufik, M. (2017). Analisis Cepat Methamphetamine pada Rambut Pengguna Sabu Sabu Menggunakan Gas Kromatografi Spektroskopi Massa. *Jurnal Sains, Teknologi, Farmasi, dan Kesehatan*, 1(1), 11-19.
- Verdiana, W., Widarta, I. W., & Permana, I. D. (2018). Pengaruh Jenis Pelarut Pada Ekstraksi Menggunakan Gelombang Ultrasonik Terhadap Aktivitas Antioksidan EKstrak Kulit Buah Lemon (*Citrus limon* (Linn.) Burn F.). *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*, 7, 213-222.