

EKSTRAKSI METAMFETAMIN BERBANTUAN SONIKASI DARI RAMBUT UNTUK ANALISIS FORENSIK

S. A. Sari* dan Y. B. S. Simamora

¹Universitas Negeri Medan, Jl. Willem Iskandar Pasar V, Medan, Sumatera Utara, Indonesia

**Email: sriadelilasari@unimed.ac.id*

Article Received on: 15th September 2025

Revised on: 16th November 2025

Accepted on: 21st January 2026

ABSTRAK

Metamfetamin merupakan stimulan yang sangat adiktif, yang menimbulkan risiko kesehatan dan tantangan sosial yang besar. Mendeteksi obat ini secara akurat dan andal sangat penting untuk investigasi forensik dan penilaian klinis. Analisis rambut sebagai teknik non-invasif menawarkan cara unik untuk memahami pola penggunaan zat dalam jangka waktu yang panjang. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan dan membandingkan efisiensi tiga sistem pelarut dalam metode ekstraksi sonikasi untuk mendeteksi metamfetamin dalam sampel rambut. Metode yang digunakan adalah ekstraksi berbantuan sonikasi dengan tiga sistem pelarut berbeda yaitu: i) metanol : aseton : amonia (5:1,2 :0,08); ii) etilasetat : metanol : amonia (8,5:1:0,5) dan; iii) kloroform : etil asetat : amonia (7,5:2: 0,5). Hasil penelitian menunjukkan bahwa metanol:aseton:amonia paling efektif dalam melarutkan dan mengekstrak metamfetamin dari matriks rambut yang kompleks. Ekstrak yang dihasilkan ketika diuji dengan reagen Marquis menunjukkan warna kuning kecokelatan yang jelas, menandakan adanya kadar metamfetamin yang signifikan. Keunggulan metode ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu: (i) sonikasi, yang membuat matriks rambut terdistorsi, sehingga pelarut dapat masuk lebih mudah dan analit target dapat dilepaskan, dan (ii) sistem pelarut metanol:aseton:amonia memiliki kemampuan untuk meningkatkan efektivitas ekstraksi. Secara keseluruhan, metode sonikasi yang dikombinasikan dengan sistem pelarut optimal dan pemurnian kolom mampu memberikan informasi yang lebih andal mengenai keberadaan metamfetamin, sehingga berpotensi mendukung analisis paparan narkotika jangka panjang dalam konteks forensik.

Kata kunci: analisis forensik, analisis rambut, ekstraksi, metamfetamin, dan sonikasi

ABSTRACT

Methamphetamine is a highly addictive stimulant that poses significant health risks and social challenges. Accurate and reliable detection of this drug is essential for forensic investigations and clinical assessments. Hair analysis as a non-invasive technique offers a unique way to understand patterns of substance use over a long period of time. This study aimed to develop and compare the efficiency of three solvent systems in the sonication extraction method for detecting methamphetamine in hair samples. The method used was sonication-assisted extraction with three different solvent systems, namely: i) methanol:acetone:ammonia (5:1.2:0.08); ii) ethyl acetate:methanol:ammonia (8.5:1:0.5); and iii) chloroform:ethyl acetate:ammonia (7.5:2:0.5). The results showed that methanol:acetone:ammonia was most effective in dissolving and extracting methamphetamine from the complex hair matrix. The extract produced when tested with the Marquis reagent showed a distinct brownish-yellow color, indicating a significant level of methamphetamine. The advantages of this method can be attributed to several factors, namely: (i) sonication, which distorts the hair matrix, allowing the solvent to penetrate more easily and release the target analyte, and (ii) the methanol:acetone:ammonia solvent system can increase extraction efficiency. Overall, the sonication method combined with an optimal solvent system and column purification provides more reliable information regarding the presence of methamphetamine, thereby potentially supporting long-term drug exposure analysis in a forensic context.

Keywords: forensic analysis, hair analysis, extraction, methamphetamine, and sonication

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 (Ramdlonaning & 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, *et al.*, 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).

Dalam konteks forensik dan monitoring penggunaan narkotika jangka panjang, analisis rambut menjadi salah satu metode yang banyak digunakan karena bersifat non-invasif dan mampu menyimpan jejak metabolit narkotika selama periode waktu yang panjang (Madia, *et al.*, 2023; Kuwayama *et al.*, 2022). Berbagai teknik ekstraksi telah diterapkan untuk mendeteksi amfetamin dan metamfetamin dari rambut, antara lain ekstraksi cair-cair (LLE) yang sederhana namun membutuhkan pelarut banyak dan waktu lama, serta ekstraksi fase

padat (SPE) yang lebih efisien dan menghasilkan ekstrak lebih bersih meskipun biayanya relatif tinggi (Dalimunthe, 2021; Dalimunthe & Alfian, 2023). Selain itu, metode pemurnian melalui ekstraksi kolom menggunakan tanah diatomae atau fase padat memungkinkan isolasi senyawa target, namun waktu ekstraksi lebih lama dibandingkan metode modern (Aulia & Primaharinastiti, 2023). Untuk identifikasi dan kuantifikasi, teknik kromatografi seperti GC-MS dan HPLC sering digunakan karena sensitif dan spesifik, meskipun memerlukan persiapan sampel yang kompleks dan biaya yang lebih tinggi (Dalimunthe, 2021; Rantung & Korua, 2021).

Sebagai alternatif, ekstraksi berbantuan sonikasi menawarkan efisiensi yang lebih tinggi dengan penggunaan pelarut lebih sedikit dan waktu ekstraksi lebih singkat. Metode ini memanfaatkan gelombang ultrasonik untuk memecah matriks rambut dan mempercepat pelepasan senyawa target, sehingga meningkatkan sensitivitas deteksi dan potensi aplikasi dalam analisis forensik (Dalimunte, *et al.*, 2019; Rantung & Korua, 2021). Berdasarkan pertimbangan efisiensi, kecepatan, dan penggunaan pelarut yang lebih rendah, penelitian ini memilih metode sonikasi sebagai metode utama, yang kemudian akan dikombinasikan dengan tiga sistem pelarut berbeda untuk mengembangkan dan membandingkan efisiensi ekstraksi metamfetamin dari rambut. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan metode yang lebih andal dan efektif untuk deteksi paparan metamfetamin jangka panjang pada pengguna narkoba dalam konteks forensik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan membandingkan efisiensi tiga sistem pelarut dalam metode ekstraksi sonikasi untuk mendeteksi metamfetamin dalam sampel rambut. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang lebih akurat mengenai paparan metamfetamin jangka panjang pada pengguna narkoba.

MATERI DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah metanol p.a, aseton p.a, amonia p.a, etil asetat p.a, kloroform p.a, silica gel (230-400 mesh), aquadest, formaldehida 37% p.a, buffer fosfat 7.2, HCl pa, asam sulfat p.a, isopropanol p.a, asam asetat glasial p.a, dan sampel rambut pengguna sabu-sabu sebanyak 6-7 gram (Taufik, 2017).

Peralatan

Alat-alat yang digunakan adalah tabung reaksi sebanyak 9 buah (20x150), beaker glass 250 ml sebanyak 3 buah, erlenmeyer 250 ml sebanyak 2

buah, kromatografi kolom 5 mm–50 mm sebanyak 1 buah, statif dan klem, lumpang dan alu, sudip, gelas ukur 10 ml, batang pengaduk kaca, neraca analitik (*Fujitsu*) 0,1 mg, sarung tangan, alat sonikasi dengan frekuensi 20 kHz, daya 300 W, dan *micro-tip* 3 mm, mikropipet, *vortex mixer*, sentrifug, kertas saring, ven, *water bath*, pH meter, dan mikroskop untuk memeriksa kualitas sampel rambut sebelum analisis.

Prosedur Penelitian

Penelitian ini diawali dengan pembuatan pereaksi Marquis yang akan digunakan untuk mengidentifikasi senyawa target. Selanjutnya, rambut disiapkan sebagai sampel, kemudian diekstrak menggunakan sonikasi untuk memisahkan senyawa dari matriks rambut. Tahap akhir adalah pemurnian ekstrak menggunakan kolom kromatografi.

Pereaksi 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.

Preparasi Sampel Rambut

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.

Metode Sonikasi

Proses ekstraksi dilakukan dengan metode sonikasi tiga sistem pelarut yang berbeda: campuran metanol, aseton, dan amonia; etilasetat, metanol, dan amonia; serta kloroform, etilasetat, dan amonia. sonikasi dengan sistem pelarut A, B, dan C (Dalimunthe, 2021).

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

Setiap campuran disonikasi pada suhu kamar selama 30 menit. Selanjutnya, sampel disonikasi ulang dengan kloroform. Ekstrak cair yang

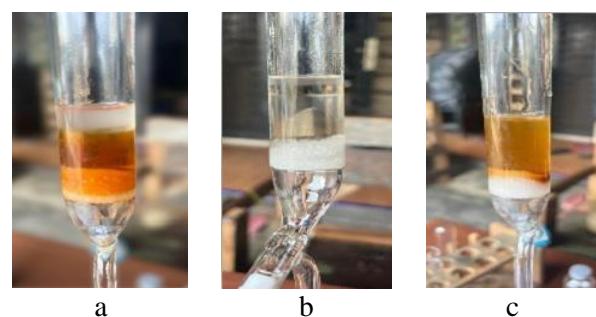
dihasilkan kemudian dipisahkan, didinginkan pada suhu kamar, dan disaring menggunakan kertas saring. Filtrat yang dihasilkan dari proses penyaringan diidentifikasi menggunakan pereaksi Marquis untuk mengamati perubahan warna yang terjadi.



Gambar 1. Hasil Sonikasi Ketiga Sistem Pelarut dari Kiri ke Kanan (Pelarut A, Pelarut B, Pelarut C)

Ekstraksi Kolom

Sebelum digunakan pada sampel, metode ekstraksi kolom telah melalui proses optimasi kondisi untuk mendapatkan efisiensi pemisahan senyawa target yang maksimal. Tahap optimasi mencakup beberapa parameter, antara lain: jenis dan jumlah fase diam, volume dan komposisi pelarut elusi, serta kondisi pH *buffer*.



Gambar 2. Isolasi Senyawa Target Ketiga Sistem Pelarut, a) Pelarut A, b) Pelarut B, dan c) Pelarut C

Hasil optimasi menunjukkan bahwa penggunaan silica gel 100 mg sebagai fase diam, dikondisikan terlebih dahulu dengan 4 mL *buffer* fosfat untuk menjaga kestabilan pH, diikuti dengan 4 mL metanol untuk meningkatkan kekuatan elusi, memberikan hasil pemisahan yang optimal. Selanjutnya, elusi matriks kontaminan dilakukan dengan 4 mL diklorometana-isopropanol, dan elusi senyawa target menggunakan campuran etil asetat-

ammonium hidroksida (3 mL : 1 mL) menghasilkan ekstrak metamfetamin yang murni dan siap dianalisis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

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.

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

Tabel 1. Metamfetamin dengan Pelarut A

Nama Sampel	Tes Marquis
Rambut pengguna 1	Kuning kecoklatan (+++)
Rambut pengguna 2	Kuning kecoklatan (+++)
Rambut pengguna 3	Kuning kecoklatan (+++)
Rambut pengguna 4	Kuning kecoklatan (+++)

Keterangan :

+++ : warna kuning kecoklatan sangat jelas
++ : warna kuning kecoklatan cukup jelas
+ : warna kuning kecoklatan pudar

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.

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.

Tabel 2. Metamfetamin dengan Pelarut B

Nama Sampel	Tes Marquis
Rambut pengguna 1	Kuning kecoklatan (+)
Rambut pengguna 2	Kuning kecoklatan (+)
Rambut pengguna 3	Kuning kecoklatan (+)
Rambut pengguna 4	Kuning kecoklatan (+)

Keterangan :

+++ : wara kuning kecoklatan sangat jelas
++ : warna kuning kecoklatan cukup jelas
+ : warna kuning kecoklatan pudar

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.

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.

Tabel 3. Metamfetamin dengan Pelarut C

Nama Sampel	Tes Marquis
Rambut pengguna 1	Kuning kecoklatan (++)
Rambut pengguna 2	Kuning kecoklatan (++)
Rambut pengguna 3	Kuning kecoklatan (++)
Rambut pengguna 4	Kuning kecoklatan (++)

Keterangan :

+++ : warna kuning kecoklatan sangat jelas
++ : warna kuning kecoklatan cukup jelas
+ : warna kuning kecoklatan pudar

Pengujian dengan Metode Ekstraksi Kolom

Tahap selanjutnya, sampel rambut dianalisis secara kualitatif untuk mengetahui keberadaan metamfetamin. Metode yang digunakan adalah ekstraksi kolom, yang merupakan teknik pemisahan yang umum digunakan dalam analisis forensik. Sebelum digunakan pada sampel, metode ekstraksi kolom telah melalui proses optimasi kondisi untuk mendapatkan efisiensi pemisahan senyawa target yang maksimal. Tahap optimasi mencakup beberapa parameter, antara lain: jenis dan jumlah fase diam, volume dan komposisi pelarut elusi, serta kondisi pH buffer. Hasil lengkap analisis ini disajikan secara rinci pada Tabel 4.

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 ini merupakan indikasi positif adanya metamfetamin dalam sampel rambut.

Tabel 4. Metamfetamin dengan Ekstraksi Kolom

Nama Sampel	Tes Marquis
Rambut pengguna 1	Kuning kecoklatan (+++)
Rambut pengguna 2	Kuning kecoklatan (+++)
Rambut pengguna 3	Kuning kecoklatan (+++)
Rambut pengguna 4	Kuning kecoklatan (+++)

Keterangan :

+++ : warna kuning kecoklatan sangat jelas

++ : warna kuning kecoklatan cukup jelas

+ : warna kuning kecoklatan pudar

Pembahasan

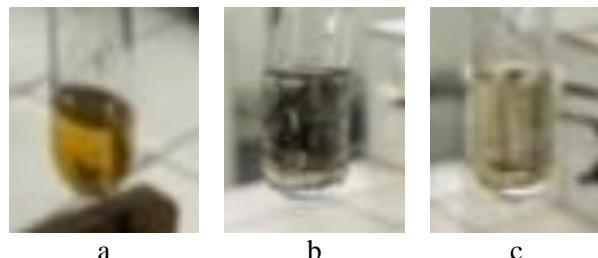
Penelitian ini berhasil menunjukkan keefektifan metode sonikasi dalam mengekstrak metamfetamin dari sampel rambut. Perbandingan warna ketiga sistem pelarut disajikan pada Gambar 3. Di antara ketiga sistem pelarut yang diuji, sistem pelarut A memberikan hasil yang paling baik ketika dikombinasikan dengan metode ekstraksi kolom. Hal ini dibuktikan dengan terbentuknya warna kuning kecoklatan yang mencolok pada uji kualitatif dengan pereaksi Marquis, yang merupakan indikator spesifik untuk keberadaan metamfetamin.

Penelitian Dalimunte, *et al.*, (2019) 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.

Verdiana, *et al.*, (2018) menjelaskan bahwa metanol, sebagai pelarut polar kuat, efektif dalam menembus matriks sel dan melarutkan senyawa polar serta semi-polar. Aseton, dengan polaritas yang lebih rendah (Rachmawati & Wisaniyasa, 2020), 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 (Hanifa & Dwandaru, 2021), terbukti meningkatkan efisiensi ekstraksi metamfetamin dari matriks rambut, seperti yang telah dilaporkan oleh Maharani, *et al.*, (2019).

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 mende protonasi metamfetamin, membuatnya lebih mudah larut dalam pelarut organik.



Gambar 3. Warna Ketiga Sistem Pelarut Setelah Uji Marquis, a) Pelarut A, b) Pelarut B, dan c) Pelarut C

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.

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 (Mariana, *et al.*,

2018; Guizolfi, *et al.*, 2024) dan memiliki implikasi penting dalam pengembangan metode analisis forensik yang lebih akurat dan sensitif.

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 oleh Mazumder, *et al.*, (2023) 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 reproduksibel 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.

SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan membandingkan efisiensi tiga sistem pelarut dalam metode ekstraksi sonikasi untuk mendeteksi metamfetamin pada sampel rambut. Berdasarkan analisis kualitatif menggunakan pereaksi Marquis, sistem pelarut A (metanol:aseton:amonia) menunjukkan kemampuan ekstraksi paling tinggi, ditandai dengan intensitas warna kuning kecoklatan (+++) pada seluruh sampel. Sistem pelarut C menghasilkan intensitas sedang (++) , sedangkan sistem pelarut B memberikan respons warna paling rendah (+). Temuan ini menunjukkan bahwa

pemilihan komposisi pelarut memiliki peranan penting dalam meningkatkan efektivitas ekstraksi metamfetamin dari matriks rambut.

Selain itu, tahap pemurnian menggunakan ekstraksi kolom memberikan hasil warna (+++) yang konsisten pada seluruh sampel, menandakan efektivitas teknik ini dalam meningkatkan kejernihan dan konsentrasi fraksi ekstrak untuk tujuan deteksi kualitatif. Secara keseluruhan, kombinasi metode sonikasi dengan pemilihan pelarut yang optimal serta pemurnian kolom mampu meningkatkan keandalan deteksi metamfetamin dalam sampel rambut, sehingga dapat mendukung analisis kualitatif paparan narkotika dalam konteks forensik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Keberhasilan penelitian ini tidak terlepas dari dukungan dana yang diberikan oleh PNBP UNIMED melalui Program Penelitian Student Grant Batch II Tahun Anggaran 2024 (No. 00299/UN33/KPT/2024). Kami juga ingin menyampaikan apresiasi yang sebesar-besarnya kepada Laboratorium Kimia dan Fisika FMIPA UNIMED serta Laboratorium Teknik Kimia USU yang telah memfasilitasi pelaksanaan penelitian ini dengan menyediakan sarana dan prasarana yang memadai.

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.
<https://doi.org/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): 49-69.
<https://doi.org/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.
<https://doi.org/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.
<https://doi.org/10.26554/sti.2023.8.3.451-460>
- Bendicho, C., & Lavilla, I. 2018. Ultrasound extractions. In *Reference Module in Chemistry*,

- Molecular Sciences and Chemical Engineering*,
1-9.
- Dalimunte, N. A., Alfian, Z., Wirjosentono, Marpaung, H., Bakhroni, Siswa, I., Rifki, A. 2019. Analysis of Metamfetamine Compounds in the Shabu-Shabuhair using Sonication and Gcms Methods. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series*, 1232(012015): 1-6.
<https://doi.org/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.
<https://doi.org/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*.
<https://doi.org/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.
<https://doi.org/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.
<https://doi.org/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., Yamamoto, T., Segawa, H.T. I.Y. 2022. Micro-segmental Hair Analysis: Detailed Procedures and Applications in Forensic Toxicology. *Forensic Toxicol*, 40(2): 215-233.
<https://doi.org/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. <https://doi.org/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
- 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*, 239-267.
- 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. <https://doi.org/10.1124/jpet.121.000767>
- Rachmawati, R. A., & Wisaniyasa, N. W. 2020. Pengaruh Jenis Pelarut Terhadap Aktivitas Antioksidan Ekstrak Meniran (Phylianthes niruri L.). *Jurnal Itapa*, 9(4): 458-467.
- Ramdlonaning, A., & Zulfa, E. A. 2023. Analisis Kebijakan Rehabilitasi Bagi Penyalahgunaan Narkotika di Indonesia. *Jurnal Ius Constituendum*, 8 (1): 50.
<https://doi.org/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.
<https://doi.org/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.
<https://doi.org/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.