

Penentuan Jalur Sintesa Dari Jenis Impuritis Yang Ditemukan Pada Methamfetamin Dengan Metode GC-MS

Hendri Dermawan Ginting,¹ Tamrin,¹ Mimpin Ginting,¹

¹Pascasarjana Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara
email: hendriginting75@gmail.com, tamrin@usu.ac.id, mimpin.ginting@yahoo.com

Article history

Received: 2nd June 2021

Received in revised form:

21st July 2021

Accepted: 13th December 2021

DOI:

10.17977/um0260v5i22021p018

Kata-kata kunci:

Adsorpsi,

Remazol red

Nanokomposit

Abstrak

Dilakukan penelitian tentang penentuan jalur sintesa dari jenis impuritis pada methamfetamin pada sampel yang didapatkan dari barang bukti penyisihan penyidik diuji dengan metode GC-MS. Berdasarkan pengalaman penulis yang melakukan pemeriksaan secara kualitatif senyawa methamfetamina di Laboratorium Forensik Polda Sumut dirasa perlu untuk melakukan pemeriksaan impuritis pada barang bukti, terutama pada sitaan barang bukti yang berjumlah besar agar diketahui rute sintesa, bahan-bahan kimia dan prekursor yang digunakan dalam produksi sehingga dapat dilakukan pemetaan terhadap peredaran barang bukti dan pelacakan perolehan bahan kimia untuk selanjutnya dilakukan pembatasan dan penindakan bagi distributor yang tidak memiliki/menyalahgunakan izin edarnya. Metode yang dilakukan yaitu pengujian dengan GC-MS. Berdasarkan pengujian dengan GC-MS ada 4 impuritis yang diperoleh yaitu n-metil metamfetamin, n-asetil metamfetamin, benzaldehid dan benzyl metil keton. Senyawa n-metil metamfetamin, n-asetil metamfetamin merupakan senyawa yang akan

membentuk n-formil methamfetamina yang merupakan produk antara dan impuritis kunci dari sintesa metamfetamin dengan rute Leuckart. Di dalam rute Leuckart, benzaldehid digunakan sebagai bahan awal untuk sintesa benzil metil keton atau P2P (Phenyl-2-propanone).

Abstract

A study was conducted on determining the synthesis pathway of the type of impurity in methamphetamine in samples obtained from investigators' allowance evidence tested using the GC-MS method. Based on the experience of the author who conducted a qualitative examination of methamphetamine compounds at the Forensic Laboratory of the North Sumatra Regional Police, it was deemed necessary to carry out an impurity examination of evidence, especially on the confiscation of large amounts of evidence so that the route of synthesis, chemicals and precursors used in production could be identified mapping of the circulation of evidence and tracking of the acquisition of chemicals is carried out for further restriction and action for distributors who do not have/abuse their distribution permit. The method used is testing with GC-MS. Based on the GC-MS test, there were 4 impurities obtained, namely n-methyl methamphetamine, n-acetyl methamphetamine, benzaldehyde and benzyl methyl ketone. The compound n-methyl methamphetamine, n-acetyl methamphetamine is a compound that will form n-formyl methamphetamine which is a key intermediate and impurity product of the synthesis of methamphetamine by the Leuckart route. In the Leuckart route, benzaldehyde is used as a starting material for the synthesis of benzyl methyl ketone or P2P (Phenyl-2-propanone).

PENDAHULUAN

Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945 telah menetapkan bahwa tujuan negara kita adalah untuk mewujudkan masyarakat Indonesia yang sejahtera, adil dan

makmur yang merata materiil dan spiritual berdasarkan Pancasila. Kualitas sumber daya manusia Indonesia sebagai salah satu modal pembangunan nasional perlu dipelihara dan ditingkatkan secara terus-menerus, termasuk derajat kesehatannya (UU No. 36 tahun 2009).

Dalam rangka mewujudkan kesejahteraan rakyat perlu dilakukan upaya peningkatan di bidang pengobatan dan pelayanan kesehatan, antara lain dengan mengusahakan ketersediaan Narkotika jenis tertentu yang sangat dibutuhkan sebagai obat serta melakukan pencegahan dan pemberantasan bahaya penyalahgunaan dan peredaran gelap Narkotika dan Prekursor Narkotika (Permenkes No 51/2018).

Methamfetamina merupakan salah satu jenis narkotika yang sangat tinggi tingkat penyalahgunaannya, menurut data dari Badan Narkotika Nasional sekitar 70% pengguna narkoba mengalami kecanduan senyawa ini dan dari tahun ke tahun ditemukan kecenderungan peningkatan kasus yang menyebabkan banyaknya tindak kejahatan.

Produksi metamfetamin terbesar di Indonesia ditemukan di Cikande (Banten) pada tahun 2005 kemudian menjalar ke Pulau Batam pada tahun 2008. Senyawa tersebut ditemukan dalam bentuk kristal putih dan merupakan jenis Narkotika yang sangat populer digunakan sebagai stimulan, dipasaran gelap dikenal dengan sebutan shabu, crack, speed, ice atau istilah lain yang merupakan sandi dikalangan pengguna dan pengedar. Methamfetamina merupakan jenis narkotika golongan I pada lampiran Undang-Undang No. 35 tahun 2009 tentang Narkotika. Methamfetamina cenderung menyebabkan kedekatan emosional dan suasana hati menjadi baik (Kunalan et al. 2009).

Efek samping dari penggunaan methamfetamina yaitu kecanduan, gangguan memori, paranoia, sulit tidur, penglihatan kabur, keringat berlebih, dan detak jantung yang cepat. Pada penggunaan yang over dosis dapat menyebabkan depresi, kelelahan, dehidrasi yang buruk bahkan kematian (Lee et al. 2008).

Upaya untuk menekan produksi senyawa ini melibatkan semua komponen bangsa termasuk para Ilmuwan yang berkolaborasi dengan pihak kepolisian. Kegiatan untuk memproduksi senyawa ini bersifat terorganisir, memiliki jaringan yang terputus satu dengan lainnya. Karena itu jika proses investigasi hanya mengandalkan pengakuan seseorang yang berada di tempat kejadian saat penggerebekan maka akan sulit mengungkap jaringannya.

Pelacakan kembali jejak sintesa metamfetamin dari pengotor (impurities) yang ditemukan dalam produk akhir adalah petunjuk yang sangat berguna untuk menelusuri bahan-

bahan dan prekursor yang digunakan serta melacak dari mana sumber bahan-bahan tersebut. Informasi ini sangat diperlukan bagi penyidikan proses produksinya untuk mengungkap jaringan dengan bantuan laboratorium forensic (Khajeamiri et al. 2012).

Penelitian tentang analisa pengotor (impuritis) ini telah dilakukan di Indonesia dengan mengambil sampel senyawa methamfetamina yang beredar di Jakarta (Kuswardani, 2012). Negara Korea dan Jepang telah melakukan penentuan pengotor pada senyawa metamfetamin yang beredar secara ilegal (Lee et al. 2008). Penentuan impuritis senyawa metamfetamin dengan rute sintesa Emde dan Nagai telah dilakukan di Korea (Ko et al. 2007). Negara Iran telah melakukan penentuan impuritis yang terdapat pada senyawa methamfetamina dengan metode GC-MS dan LC-MS dan hasilnya memenuhi jalur sintesa Leuckart (Khajeamiri et al. 2012). Penelitian tersebut umumnya berkembang ke arah metoda analisis yang digunakan, baik menggunakan instrumen kromatografi gas (KG), kromatografi gas spektroskopi massa (KGSM), kromatografi cair kinerja tinggi (KCKT), elektroforesis kapiler (EK), dan juga penelitian rasio isotop spektroskopi massa (Cody, 1992; Cui et al., 2020; Makino et al., 2002; Toske et al., 2014).

Sedikitnya terdapat 6 (enam) rute sintesis yang umumnya digunakan oleh sindikat dalam mensintesis/memproduksi metamfetamin secara ilegal, yaitu Leuckart, Nagai, Emde, Moscow, Rosenmund dan Nazi (Kunalan et al. 2009; Mat Desa and Ismail 2017). Jalur sintesa Leuckart berbahan awal benzaldehid yang akan membentuk benzyl metil keton dan produk antara nya adalah n-formilmethamfetamin, Jalur sintesa Nagai, Emde, Moscow, Rosenmund dan Nazi menggunakan bahan ephedrine/pseudoephedrine sebagai bahan awal. Rute Nagai akan menghasilkan produk antara dimetil-3-fenilaziridine, rute Emde menghasilkan propenilbenzen, rute Moscow menghasilkan aziridin serta rute Rosenmund dan Nazi sikloheksadienil-2-propanamine(CMP). (Cunningham et al. 2013; Maas, Losacker, and Hess 2018; Onoka et al. 2020; Power et al. 2014)

Berdasarkan pengalaman penulis yang melakukan pemeriksaan secara kualitatif senyawa methamfetamina di Laboratorium Forensik Polda Sumut dirasa perlu untuk melakukan pemeriksaan impuritis pada barang bukti, terutama pada sitaan

barang bukti yang berjumlah besar agar diketahui rute sintesa, bahan-bahan kimia dan prekursor yang digunakan dalam produksi sehingga dapat dilakukan pemetaan terhadap peredaran barang bukti dan pelacakan perolehan bahan kimia untuk selanjutnya dilakukan pembatasan dan penindakan bagi penyedia/distributor yang tidak memiliki/menyalahgunakan izin edarnya. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah barang bukti metamfetamin yang disita dari wilayah hukum Polda Sumatera Utara dengan jumlah sitaan yang cukup besar yaitu antara 500 gram-1000 gram.

METODE

Ekstraksi sampel dengan dapar fosfat pH 10,5-etil asetat

100 mg kristal methamfetamina dilarutkan dengan 3 ml dapar fosfat pH 10.5, kemudian ditambah 0,6 ml etil asetat. Larutan dicampurkan dengan cara digoyang dengan alat vortex mixer selama ± 5 menit. Campuran disentrifuge pada kecepatan 3000 rpm selama ± 5 menit, kemudian larutan organik (atas) diambil dan ditempatkan dalam vial. Cairan diambil dengan *micro syringe* 1 μ l dan diinjeksikan ke instrumen kromatografi gas spektroskopi massa untuk dianalisis.

Ekstraksi sampel langsung dengan etil asetat

100 mg kristal methamfetamina ditambah dengan 50 μ l larutan difenilamin (16 mg/ml etil asetat) kemudian ditambahkan 2 ml buffer pospat pH 7. Larutan ini dibuat dalam suasana basa dengan penambahan 0,5 ml Na_2CO_3 , lalu ditambah 1 ml etil asetat dan divortex selama ± 5 menit, kemudian disentrifius pada kecepatan 3000 rpm selama ± 5 menit. Diambil cairan bagian atas dan ditempatkan dalam vial dengan *micro syringe* 1 μ l dan diinjeksikan ke instrumen kromatografi gas spektroskopi massa untuk dianalisis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis impuritis pada sampel yang mengandung methamfetamin dilakukan dengan menggunakan kromatografi gas spektroskopi massa, sampel dilarutkan dengan etil asetat dengan penambahan dapar pospat pH 7 untuk mempertahankan suasana selama proses ekstraksi. Pemilihan etil asetat sebagai pelarut dinilai lebih efisien dibandingkan pelarut lainnya. Dalam pelarut tersebut lebih banyak senyawa impuritis yang tertarik dan terdeteksi berdasarkan

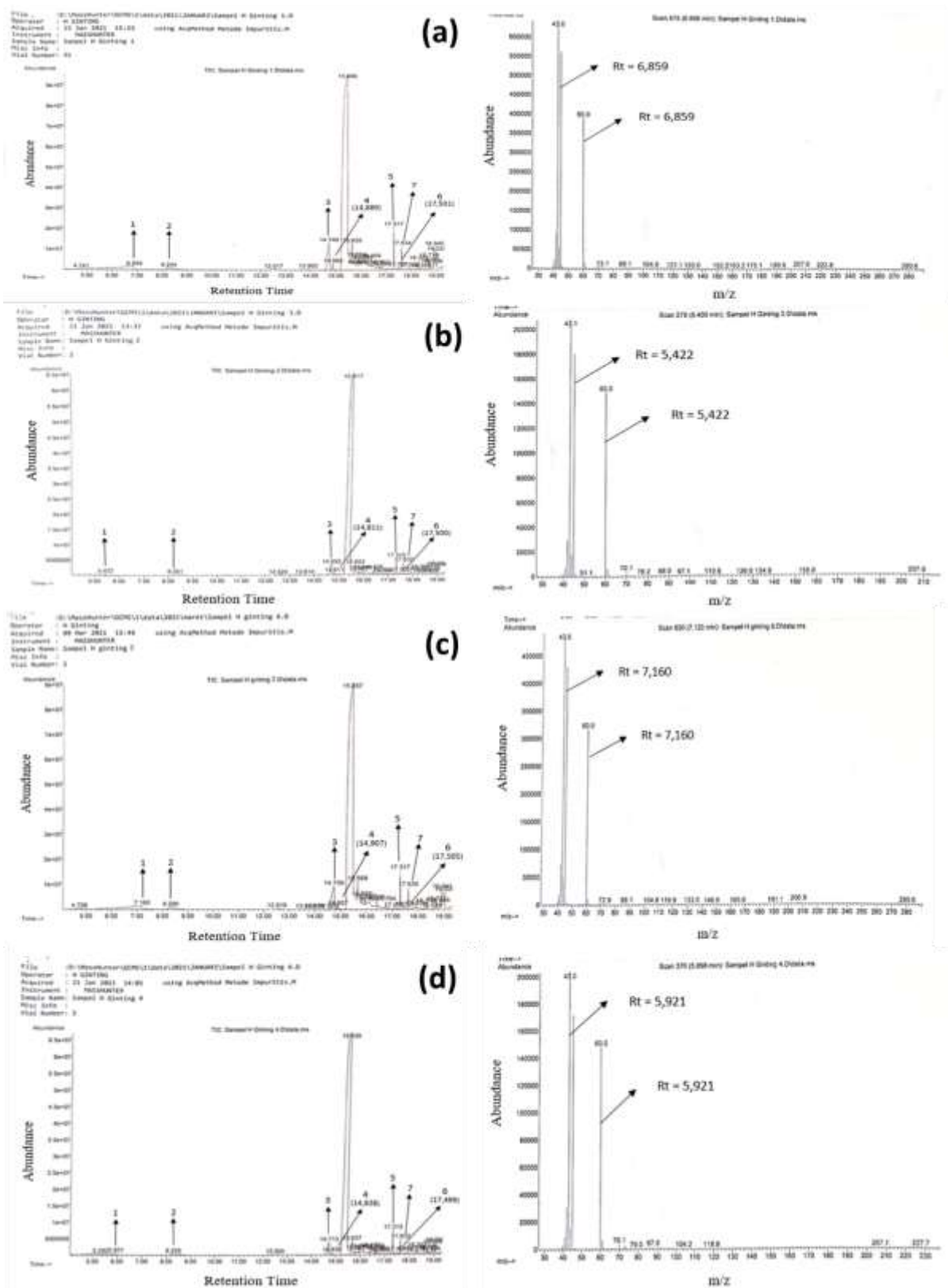
kromatogram dan spektrum MS yang dihasilkan (Gambar 1a-d). Senyawa-senyawa yang terdapat pada sampel tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Senyawa-senyawa impuritis pada sampel 1-4

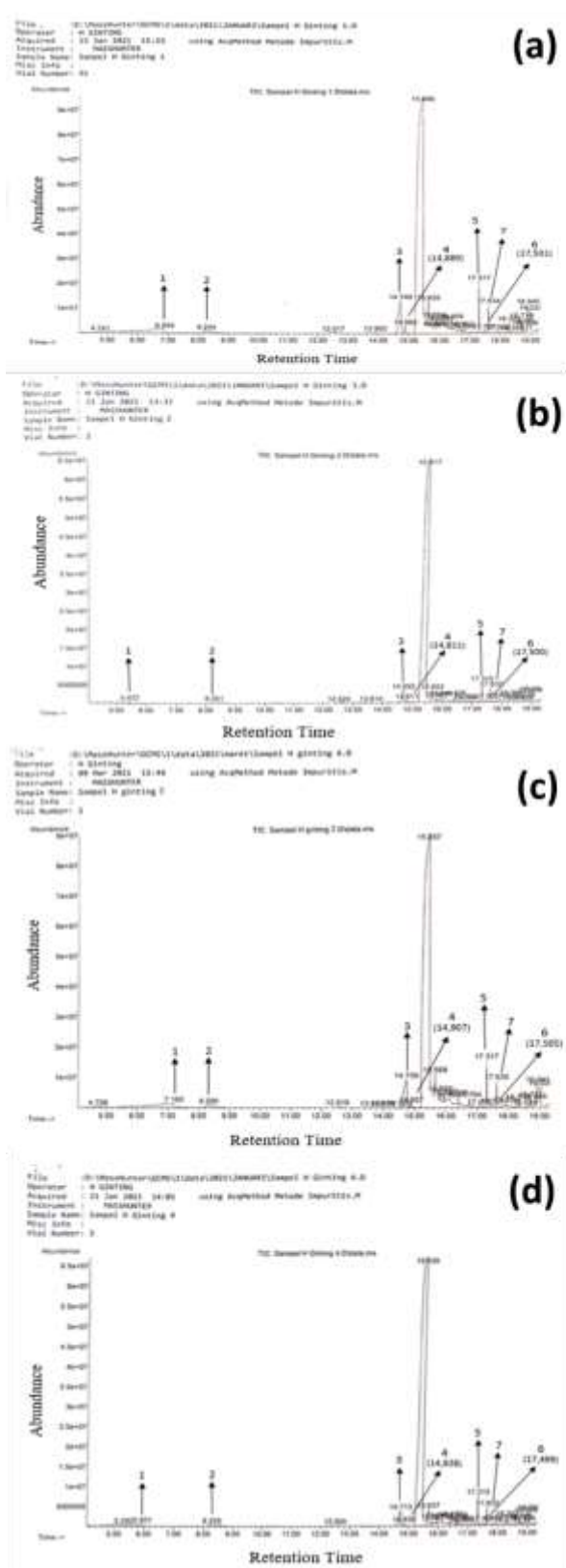
No	Rt (menit)	Massa fragmen ion (m/z)	Senyawa
1.	6,859 ^a	43, 60, 88	Asam asetat
	5,422 ^b		
	7,160 ^c		
	5,921 ^d		
2.	8,244 ^a	51,77,106	Benzaldehyde
	8,251 ^b		
	8,290 ^c		
	8,256 ^d		
3.	14,740 ^a	43,91,134	Benzil Metil Keton (P ₂ P)
	14,692 ^b		
	14,739 ^c		
	14,713 ^d		
4.	14,889 ^a	41, 65, 91	Amfetamin
	14,811 ^b		
	14,907 ^c		
	14,838 ^d		
5.	17,317 ^{a,c}	65, 91, 182	Bibenzyl
	17,315 ^{b,d}		
6.	17,501 ^a	58, 86, 118	n-metil metamfetamin
	17,500 ^b		
	17,505 ^c		
	17,499 ^d		
7.	17,634 ^a	39, 58, 101	n-asetil metamfetamin
	17,632 ^b		
	17,635 ^c		
	17,633 ^d		

Keterangan: a = sampel 1; b = sampel 2; c = sampel 3; dan d = sampel 4

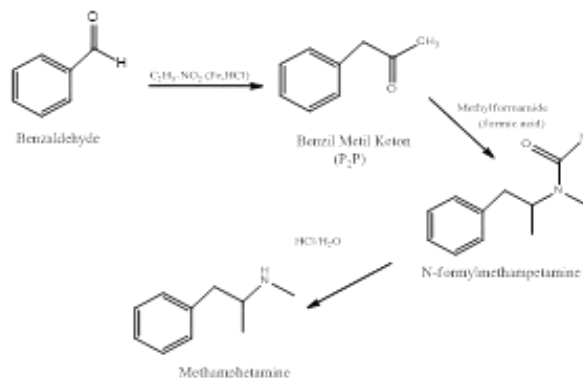
Berdasarkan kromatogram sampel-1 (Gambar 1a) didapatkan puncak tertinggi yaitu pada waktu retensi 14,740 dengan intensitas sebesar 4,69%, sedangkan puncak terendah yaitu pada waktu retensi 6,859 dengan intensitas sebesar 0,07%. Pada kromatogram sampel-2 (Gambar 1b) diperoleh puncak tertinggi yaitu pada waktu retensi 14,692 dengan intensitas sebesar 2,08%, sedangkan puncak terendah yaitu pada waktu retensi 5,422 dengan intensitas sebesar 0,07%. Pada kromatogram sampel-3 (Gambar 1c) diperoleh puncak tertinggi yaitu pada waktu retensi 7,160 dengan intensitas sebesar 4,78%, sedangkan puncak terendah yaitu pada waktu retensi 17,505 dengan intensitas sebesar 0,18%. Pada kromatogram sampel-4 (Gambar 1d) diperoleh puncak tertinggi yaitu pada waktu retensi 14,713 dengan intensitas sebesar 2,31%, sedangkan puncak terendah yaitu pada waktu retensi 14,838 dengan intensitas sebesar 0,09%.



Gambar 1. (a) Kromatogram dan Spektrum MS Metamfetamin sampel-1, (b) Kromatogram dan Spektrum MS Metamfetamin sampel-2, (c) Kromatogram dan Spektrum MS Metamfetamin sampel-3, (d) Kromatogram dan Spektrum MS Metamfetamin sampel-4



Gambar 1. (a) Kromatogram dan Spektrum MS Metamfetamin sampel-1, (b) Kromatogram dan Spektrum MS Metamfetamin sampel-2, (c) Kromatogram dan Spektrum MS Metamfetamin sampel-3, (d) Kromatogram dan Spektrum MS Metamfetamin sampel-4



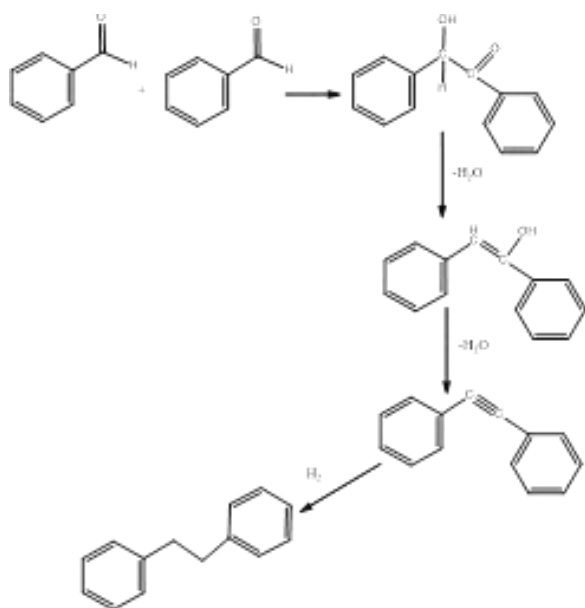
Gambar 2. Jalur Sintesis Methamfetamin Jalur Leuckart

Berdasarkan hasil pengujian dengan GC-MS ada 4 impuritis yang diperoleh yaitu n-metil metamfetamin, n-asetil metamfetamin, benzaldehid dan benzyl metil keton. Senyawa n-metil metamfetamin, n-asetil metamfetamin merupakan senyawa yang akan membentuk n-formil methamfetamina yang merupakan produk antara dan impuritis kunci dari sintesa metamfetamin dengan rute Leuckart. Di dalam rute Leuckart, benzaldehid digunakan sebagai bahan awal untuk sintesa benzil metil keton atau P₂P (Phenyl-2-propanone) (Mat Desa and Ismail 2017; Onoka et al. 2020). Reaksi sintesis Jalur Leuckart dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 1 menunjukkan senyawa-senyawa impuritis yang ditemukan pada sampel 1-4. Hasil ini diperoleh dengan menyesuaikan massa fragmen ion (m/z) dari masing-masing sampel terhadap *Standard Library for GC-MS*. Ketika n-formil metamfetamin, P₂P dan benzaldehid secara bersamaan terdeteksi dalam suatu analisa impuritis methamfetamina maka dapat ditentukan bahwa proses sintesa menggunakan rute Leuckart (Mat Desa and Ismail 2017; Onoka et al. 2020).

Berbeda dengan rute sintesis lainnya yaitu rute Nagai, Emde, Moscow, Rosenmund dan Nazi dimana bahan awal yang digunakan yaitu *ephedrine* atau *pseudoephedrine*. Kemudian bahan awal tersebut akan direduksi menggunakan reagen tertentu untuk menghasilkan produk antara yang khas untuk masing-masing rute sintesis (Cunningham et al. 2013; Mikuma et al. 2015; Onoka et al. 2020).

Senyawa Bibenzyl yang diperoleh pada analisis GC-MS berasal dari kondensasi senyawa benzaldehid yang diikuti dengan dehidrasi kemudian diikuti reduksi. Reaksinya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Reaksi Pembentukan Bibenzyl

KESIMPULAN

Kapasitas adsorpsi nanokomposit silika aerogel-karbon aktif terhadap *remazol red* pada variasi pH mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya pH dan diperoleh pH optimum yaitu pH 2. Kapasitas adsorpsi maksimum *remazol red* pada waktu kontak 80 menit dengan konsentrasi 40 mg/L sebesar 3,9375 mg/g. Kapasitas adsorpsi *remazol red* mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya temperatur dan mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya konsentrasi *remazol red*. Selain itu, diperoleh kinetika adsorpsi *remazol red* mengikuti kinetika orde dua semu (*Pseudo Second-Order*). Kajian termodinamika adsorpsi *remazol red* menunjukkan energi bebas Gibbs ($\Delta G^\circ = -454,478$ J/mol) pada temperatur 45°C dan perubahan entalpi ($\Delta H^\circ = -13659,902$ J/mol) sehingga proses adsorpsi secara spontan, eksotermik. Nilai perubahan entropi ($\Delta S^\circ = -40,662$ J/Kmol) menunjukkan entropi setelah adsorpsi lebih rendah, sehingga kondisi menjadi lebih teratur. Adsorpsi *remazol red* menggunakan nanokomposit silika aerogel-karbon aktif mengikuti model isotherm Freundlich.

DAFTAR RUJUKAN

Adjid, F. 2019. Adsorpsi Kadmium menggunakan Adsorben Nanokomposit Silika Aerogel-Karbon Aktif. Skripsi tidak diterbitkan.

Malang: Fakultas MIPA Universitas Negeri Malang.

Aeni N. 2012. Spektrofotometer UV-Visible. Palu (ID): Untad press.

Affandi, S., Setyawan, H., Winardi, S., Purwanto, A., & Balgis, R. 2009. A Facile Method for Production of High-Purity Silica Xerogels from Bagasse Ash. *Advanced Powder Technology*, 20(5), 468–472.

<https://doi.org/10.1016/j.ap.2009.03.008>

Akhinov, A. F., Hati, D. P., & Setyawan, H. 2010. Pengeringan pada Tekanan Ambient E-01-2. *Seminar Rekayasa Kimia Dan Proses*, 1–7.

Ara, N. J., Hasan, M. A., Rahman, M. A., Salam, M. A., Salam, A., & Alam, A. S. 2013. Removal of Remazol Red from Textile Waste Water Using Treated Sawdust - An Effective Way of Effluent Treatment. *Bangladesh Pharmaceutical Journal*, 16(1), 93–98.

<https://doi.org/10.3329/bpj.v16i1.14501>

Ardiyansyah, M., & Rafi, M. 2009. Spektrofotometri UV-Vis dan Spektroskopik 20D+. Laporan Praktikum Analisis Instrumental. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Pertanian Bogor.

Babaei, A. A., Kakavandi, B., Rafiee, M., Kalantarhormizi, F., Purkaram, I., Ahmadi, E., & Esmaeili, S. 2017. Comparative treatment of textile wastewater by adsorption, Fenton, UV-Fenton and US-Fenton using magnetic nanoparticles-functionalized carbon (MNPs@C). *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 56, 163–174.

<https://doi.org/10.1016/j.jiec.2017.07.009>

de Luna, M. D. G., Flores, E. D., Genuino, D. A. D., Futralan, C. M., & Wan, M. W. 2013. Adsorption of Eriochrome Black T (EBT) Dye Using Activated Carbon Prepared from Waste Rice Hulls-Optimization, Isotherm and Kinetic Studies. *Journal of The Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 44(4), 646–653.

<https://doi.org/10.1016/j.jtice.2013.01.010>

Firdiyono, F., Handayani, M., Sulistiyono, E., Antoro, I. D., & Serpong, K. P. 2012. *Unsur Minor dalam Larutan Natrium Silikat*. Majalah Metalurgi V, ISSN 0216-3188, 15–26.

Fisli, A., Ariyani, A., Wardiyati, S., & Yusuf, S. 2012. Adsorben Magnetik Nanokomposit

- Fe₃O₄-Karbon Aktif untuk Menyerap Thorium. *Indonesian Journal of Material Science*, 13(3), 192–197.
- Givianrad, M. H., Rabani, M., Saber-Tehrani, M., Aberoomand-Azar, P., & Hosseini Sabzevari, M. 2013. Preparation and Characterization of Nanocomposite, Silica Aerogel, Activated Carbon and its Adsorption Properties for Cd (II) Ions from Aqueous Solution. *Journal of Saudi Chemical Society*, 17(3), 329–335. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2011.07.006>
- Irfan. 2018. Pengaruh Komposisi Silika Aerogel-Karbon Aktif terhadap Karakteristik Nanokomposit yang disintesis dengan Metode Sol-Gel. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Fakultas MIPA Universitas Negeri Malang.
- Karim, A. M., Juniar, H., & Ambarsari, P. F. M. 2017. Adsorpsi Ion Logam Fe dalam Limbah Tekstil Sintesis dengan menggunakan Metode Batch. *Distilasi*, 2(2), 68-81.
- Karomah, R. 2017. Aplikasi Nanokomposit Silika Aerogel-Karbon Aktif sebagai Adsorben Rhodamin-B. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Fakultas MIPA Universitas Negeri Malang.
- Mufrodi, Z., Widiastuti, N., & Kardika, R. C. 2002. Adsorpsi Zat Warna Tekstil dengan menggunakan Abu Terbang (*Fly Ash*) untuk Variasi Massa Adsorben dan Suhu Operasi. *Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Universitas Ahmad Dahlan*, 90–93.
- Nazriati, Setyawan, H., Winardi, S., Arizanova, R., & Eka V., E. 2011. Sintesis Silika Aerogel dengan Bahan Dasar Abu Bagasse. *Reaktor*, 13(4), 220–224.
- Putri, K. Y. V. 2018. Aplikasi Nanokomposit Silika Aerogel-Karbon Aktif sebagai Adsorben Metilen Biru. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Fakultas MIPA Universitas Negeri Malang.
- Rahayu, Isma. 2019. Adsorpsi Kadar Cd²⁺ menggunakan Adsorben Silika Xerogel Berbasis Abu Bagasse. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Fakultas MIPA Universitas Negeri Malang.
- Rosmawati, A., Tjahjanto, R. T., & Prananto, Y. P. 2013. Variasi Metode Preparasi Gel Pada Sintesis Aerogel Silika Dari Lumpur Lapindo. *Kimia Student Journal*, 1(2), 161–167.
- Sastrawidana, K. D. I., Lay, W. B., Fauzi, M. A., Santosa, A. D. 2008. Pengolahan Limbah Tekstil Sistem Kombinasi Anaerobik , Aerobik Menggunakan Biofilm Bakteri Konsorsium. *Ecotrophic*, 3(2), 74–80.
- Sastrawidana, K. D. I. 2011. Studi Perombakan Zat Warna Tekstil Remazol Red RB secara Aerob menggunakan Bakteri Enterobacter Aerogenes yang diisolasi dari Lumpur Limbah Tekstil. *Jurnal Kimia* 5 (2), 117-124
- Setiyanto, Riwayati, I., & Kurniasari, L. 2007. Adsorpsi Pewarna Tekstil Rhodamin B Menggunakan Senyawa Xanthat Pulpa Kopi. 24–28.
- Setyawan, H., Winardi, S., & Arizanova, R. 2010. Sintesis Silika Aerogel Berbasis Abu Bagasse. *Seminar Rekayasa Kimia Dan Proses 2010, 2009*, E-10-1-E-10-5.
- Sutrisno. 2018. Struktur Organik dari Spektromassa, UV-Vis, dan IR. Malang: PT. Bookmart Indonesia.
- Shin W E, Karthikeyan G K. 2006. Adsorption Mechanism of Cadmium On Juniper Bark And Wood. *Bioresource Technology*. 98.588–594
- Ubit, P. D., Yusmaniar, Erdawati. 2019. Adsorpsi Pewarna Direct Black 38 menggunakan Komposit Silika Mesopori dari Abu Sekam Padi/Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa. *Jurnal Riset Sains Dan Kimia Terapan*, 8(1), 14–20. <https://doi.org/10.21009/JRSKT.081.05>