

OPTIMASI PERBANDINGAN MONOMER FUNGSIONAL DAN PENGIKAT SILANG (*CROSSLINKER*) UNTUK SINTESIS MIPS-AURAMINE MENGGUNAKAN METODE FOTOPOLIMERISASI

Optimization of the Ratio of Functional Monomer and Crosslinker for the Synthesis of MIPS-Auramine Using the Photopolymerization Method

Aulia Safrika & Alizar Ulianas

Universitas Negeri Padang

auliasafrika@gmail.com; alizarulianas@fmipa.unp.ac.id

Article Info:

Submitted: Revised: Accepted: Published:

Dec 29, 2025 Jan 22, 2026 Feb 3, 2026 Feb 8, 2026

Abstract

The successful synthesis of molecularly imprinted polymers (MIPs) is highly determined by the selection and ratio of functional monomers and cross-linkers, as these components directly affect adsorption capacity. The use of inappropriate types or ratios of functional monomers and cross-linkers can reduce adsorption capacity, either because quantities that are too low produce insufficiently stable polymers or because excessive quantities lead to non-specific interactions and overly dense polymer structures. This study aimed to determine the optimum ratio between the functional monomer and cross-linker for synthesizing MIPS-auramine. Methacrylic acid (MAA) was used as the functional monomer and ethylene glycol dimethacrylate (EGDMA) as the cross-linker, selected for their good stability, with a photopolymerization method that enables rapid MIPs synthesis and the formation of relatively uniform polymer structures. The study employed a quantitative approach with varied amounts of MAA and EGDMA, which were evaluated based on their adsorption capacity toward

auramine dye. Data were collected using a UV-Vis spectrophotometer to determine the concentration of adsorbed auramine. The experimental results showed that the optimum MAA–EGDMA ratio for MIPs synthesis was 0.02 mol : 0.005 mol, with adsorption capacities of 0.580 mg/g and 0.640 mg/g, respectively. This optimum ratio was subsequently used to synthesize MIPs-auramine that effectively adsorb auramine dye, while also contributing to a better understanding of the relationship between monomer–cross-linker composition and the resulting polymer characteristics. The practical implications of this study indicate the potential application of MIPs-auramine in the selective detection and removal of auramine on an industrial scale.

Keywords: Auramine Adsorption; Molecularly Imprinted Polymers; Photopolymerization; Functional Monomer; Cross-Linker

Abstrak: Keberhasilan sintesis *molecularly imprinted polymers* (MIPs) sangat ditentukan oleh pemilihan dan perbandingan monomer fungsional serta pengikat silang karena komponen tersebut secara langsung memengaruhi kapasitas adsorpsi. Penggunaan monomer fungsional dan pengikat silang yang tidak tepat dapat menurunkan kapasitas adsorpsi, baik karena jumlah yang terlalu sedikit sehingga menghasilkan polimer yang kurang stabil, maupun karena jumlah yang terlalu banyak sehingga menimbulkan interaksi non-spesifik dan struktur polimer yang terlalu rapat. Penelitian ini bertujuan menentukan perbandingan optimum antara monomer fungsional dan pengikat silang untuk mensintesis MIPs-auramine. Pada penelitian ini digunakan asam metakrilat (MAA) sebagai monomer fungsional dan etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) sebagai pengikat silang, yang dipilih karena stabilitasnya yang baik, dengan metode fotopolimerisasi yang memungkinkan proses sintesis MIPs berlangsung cepat dan menghasilkan bentuk polimer yang relatif seragam. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan variasi jumlah MAA dan EGDMA yang dievaluasi berdasarkan kapasitas adsorpsinya terhadap zat warna auramine. Data dikumpulkan menggunakan instrumen spektrofotometer *UV-Vis* untuk menentukan konsentrasi auramine yang teradsorpsi. Hasil percobaan menunjukkan bahwa perbandingan optimum MAA dan EGDMA untuk sintesis MIPs adalah 0,02 mol : 0,005 mol, dengan kapasitas adsorpsi masing-masing sebesar 0,580 mg/g dan 0,640 mg/g. Perbandingan optimum ini selanjutnya digunakan untuk mensintesis MIPs-auramine yang efektif mengadsorpsi zat warna auramine, sekaligus memberikan kontribusi terhadap pemahaman hubungan antara komposisi monomer–pengikat silang dan karakter polimer yang dihasilkan. Implikasi praktis penelitian ini menunjukkan potensi penerapan MIPs-auramine dalam proses deteksi dan penghilangan auramine secara selektif pada skala industri.

Kata Kunci: Adsorpsi Auramine; *Molecularly Imprinted Polymers*; Fotopolimerisasi; Monomer Fungsional; Pengikat Silang

PENDAHULUAN

Molecularly Imprinted Polymers (MIPs) adalah polimer yang telah diproses melalui proses pencetakan molekuler sehingga meninggalkan rongga-rongga dalam polimer yang spesifik dengan molekul target (Urriza-arsuaga & Guadaño-s, 2023)(Paper, 2024). Pembuatan MIPs melibatkan penggabungan molekul template dengan monomer fungsional. Kompleks stabil

akan terbentuk melalui interaksi antara monomer fungsional dan molekul template (Hasanah et al., 2021)(Gonçalves et al., 2025). Molekul template adalah molekul target yang ingin dikenali dan diikat secara khusus oleh MIPs (Murdaya et al., 2022)(Hasanah et al., 2021). Monomer fungsional adalah molekul yang berinteraksi secara khusus dengan molekul template melalui ikatan non-kovalen. Pengikat silang juga ditambahkan untuk menciptakan polimer silang yang kuat dan stabil (Kubo et al., 2024)(Y. Liu et al., 2023). Inisiator adalah zat yang memicu reaksi polimerisasi dengan menghasilkan radikal bebas yang dapat menyebabkan monomer fungsional dan pengikat silang membentuk rantai polimer (Sajini & Mathew, 2021).

Keberhasilan sintesis MIPs sangat ditentukan oleh pemilihan monomer fungsional, pengikat silang (cross-linker) dan kondisi polimerisasi yang sesuai dengan sifat analit template yang digunakan (Zamruddin et al., 2022). Pemilihan komponen ini sangat penting supaya polimer yang dihasilkan memiliki afinitas dan selektivitas tinggi terhadap molekul template (Pratama et al., 2020)(Z. Liu et al., 2021)(Yuan et al., 2024). Berbagai metode konvensional telah dikembangkan untuk membuat MIPs seperti polimerisasi termal dan bulk. Akan tetapi, metode tersebut memerlukan waktu reaksi lama dan menggunakan energi tinggi (Shen et al., 2023) dan bentuk polimer yang dihasilkan tidak seragam dan menggunakan jumlah pelarut organik yang banyak (Viveiros, 2018). Oleh karena itu, dibutuhkan metode untuk mengatasi masalah tersebut dengan mengganti metode yang digunakan dengan metode fotopolimerisasi. Metode ini memiliki keunggulan diantaranya memerlukan waktu untuk sintesis MIPs yang lebih cepat dan menghasilkan bentuk polimer yang seragam serta ramah lingkungan (Andrzejewska, 2017). Adapun tujuan dari penelitian ini untuk mencari perbandingan antara monomer fungsional dan pengikat silang yang baik untuk sintesis MIPs-auramine dengan menggunakan metode fotopolimerisasi.

METODE

Penelitian ini termasuk kedalam pendekatan kuantitatif karena penelitian ini mengoptimasikan variasi perbandingan monomer fungsional (MAA) dan pengikat silang (EGDMA) untuk mensintesis MIPs-auramine dengan melihat hasil kapasitas penyerapannya yang banyak terhadap adsorpsi zat warna auramine. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober-November 2025 di Laboratorium Kimia, Universitas Negeri Padang. Bahan yang digunakan adalah zat warna auramine sebagai molekul template, *Methacrylic Acid* (MAA)

sebagai monomer fungsional, *Ethylene Glycol Dimethylacrylate* (EGDMA) sebagai pengikat silang, *2-2 Dimethoxy-2-Phenylacetophenone* (DMPP) sebagai inisiator, *Asetonitrile* (C_2H_3N) sebagai pelarut dan aquades. Alat yang digunakan adalah cawan petri, aluminium foil, micropipet, labu ukur, pipet volume, timbangan analitik, sonikasi dan spektrofotometer UV-Vis.

Cara kerja

Mencampurkan 1 mg (0,003 mmol) auramine, *Methacrylic Acid* (MAA), *Ethylene Glycol Dimethylacrylate* (EGDMA) dengan perbandingan jumlah tertentu dan 0,03 g *2-2 Dimethoxy-2-Phenylacetophenone* (DMPP). Campuran tersebut disonikasi sampai homogen dan dimasukkan ke alat fotopolimer. Dalam penelitian ini, metode fotopolimerisasi dipilih sebagai metoda untuk mensintesis MIPs. Pada metode ini ada tiga tahap yaitu tahap inisiasi untuk mengaktifkan inisiator sehingga inisiator tersebut menghasilkan radikal bebas pada monomer. Tahap propagasi atau perpanjangan rantai yaitu monomer bergabung dengan monomer lainnya. Tahap terminasi yaitu semua monomer yang memiliki gugus reaktif telah mengalami reaksi (Ribas-massonis, 2022).

Pada penelitian ini dilakukan percobaan membuat MIPs-auramine dengan variasi monomer fungsional dan pengikat silang. Adapun cara untuk mendapatkan perbandingan yang optimum dari jumlah MAA dan EGDMA dilakukan percobaan sesuai data ditabel 1 sebagai berikut :

Tabel 1. Jumlah perbandingan MAA dan EGDMA yang digunakan pada penelitian

No	MAA (mol)	EGDMA (mol)
1	0,005	0,005
2	0,01	0,005
3	0,015	0,005
4	0,02	0,005
5	0,025	0,005
6	Optimum	0,0025
7	Optimum	0,005
8	Optimum	0,01
9	Optimum	0,015
10	Optimum	0.02

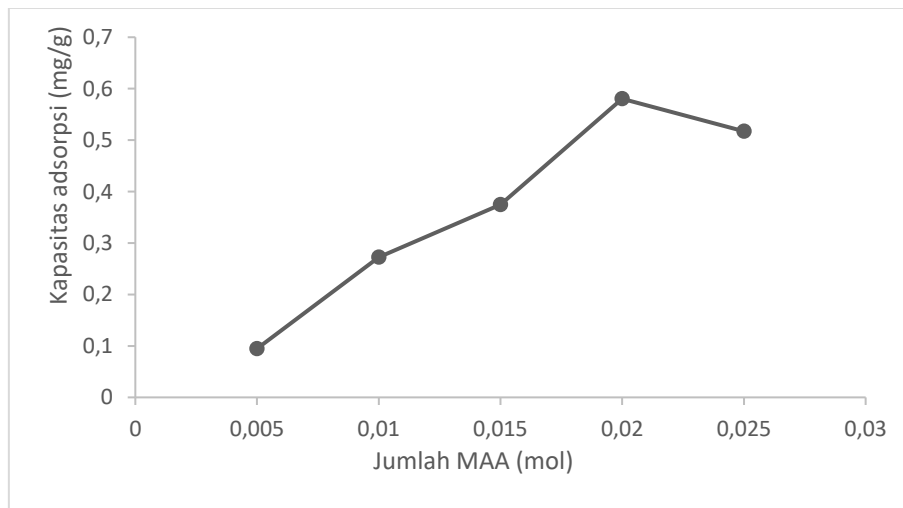
Polimer MIPs-auramine dengan variasi perbandingan MAA dan EGDMA yang telah terbentuk masing-masing 0,1 g MIPs-auramine diestraksi selama 24 jam dengan menggunakan pelarut asetonitril sebanyak 5 mL untuk melepaskan molekul template yang terdapat dalam polimer MIPs sehingga MIPs menghasilkan rongga yang akan mengikat molekul target yaitu auramine. Setelah itu MIPs dikontakkan pada larutan auramine sebanyak 5 mL dengan konsentrasi 18,8006 ppm selama 24 jam kemudian larutan auramine yang telah dikontakkan dengan MIPs diuji dengan spektrofotometer UV-Vis untuk menentukan konsentrasi akhir larutan auramine tersebut dan selanjutnya menghitung kapasitas adsorpsi dengan rumus sebagai berikut (Patil et al., 2024) :

$$q = \frac{V(C_0 - C_t)}{m}$$

q adalah kapasitas adsorpsi (mg/g), C_0 adalah konsentrasi awal larutan (ppm atau mg/L), C_t adalah konsentrasi akhir larutan (ppm atau mg/L), V adalah volume larutan (mL), m adalah massa adsorben (g).

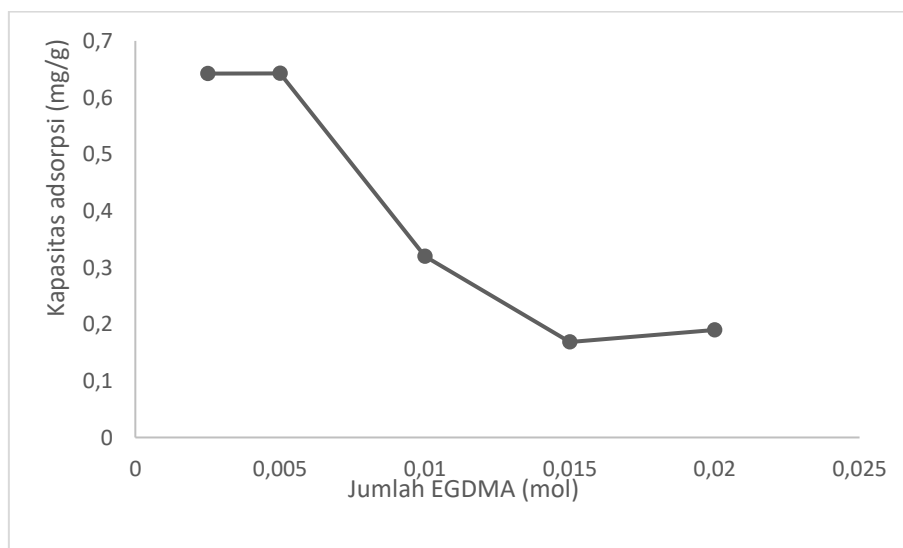
HASIL

Pada penelitian ini dilakukan optimasi perbandingan MAA dan EGDMA hal ini bertujuan untuk mendapatkan perbandingan MAA sebagai monomer fungsional dan EGDMA sebagai pengikat silang yang baik untuk mensintesis MIPs-auramine yang digunakan untuk adsorpsi auramine yang dilihat dari kapasitas adsorpsi yang tertinggi. Percobaan pertama membuat polimer MIPs dengan memvariasikan jumlah MAA yaitu 0.005, 0.01, 0.015, 0.02 dan 0.025 mol dengan jumlah EGDMA sebanyak 0.005 mol. Berikut ini grafik yang menggambarkan pengaruh jumlah MAA terhadap kapasitas adsorpsi auramine yang dapat dilihat pada gambar 1 dibawah berikut



Gambar 1 Pengaruh jumlah MAA terhadap kapasitas adsorpsi auramine

Percobaan kedua membuat polimer MIPs-auramine dengan memvariasikan jumlah EGDMA yaitu 0,0025, 0,005, 0,01, 0,015 dan 0,02 mol dengan jumlah MAA yang optimum yaitu 0,02 mol. Berikut ini grafik yang menggambarkan pengaruh variasi jumlah EGDMA terhadap kapasitas adsorpsi auramine yang dapat dilihat pada gambar 2 dibawah berikut



Gambar 2 Pengaruh jumlah EGDMA terhadap kapasitas adsorpsi auramine

PEMBAHASAN

Beberapa monomer fungsioanl yang umum digunakan yaitu *acrylic acid*, *methacrylic acid*, *itaconic acid* dan *styrene* (Sajini & Mathew, 2021). Dalam penelitian ini menggunakan monomer fungsional yaitu MAA (methacrylic acid) karena MAA stabil pada tekanan dan suhu ruang, mempunyai kemampuan yang baik untuk membentuk ikatan hidrogen serta donor dan

akseptor proton pada ikatan hidrogen (Nishchaya et al., 2023). Sedangkan beberapa pengikat silang yang umum digunakan yaitu *divinylbenzene*, *ethylene glycol dimethacrylate*, *pentaerythritol triacrylate* dan *N,N-ethylenebismethacrylamide* (Sajini & Mathew, 2021). Dalam penelitian ini menggunakan pengikat silang yaitu *ethylene glycol dimethacrylate* (EGDMA) karena mampu membentuk situs pengikatan yang stabil dan spesifik (Alizar et al., 2025). Selain itu, EGDMA memiliki dua gugus metakrilat yang dihubungkan oleh rantai etilen glikol sehingga dapat berpolimerisasi dengan monomer fungsional untuk membentuk polimer.

Dari gambar 1 diatas tentang pengaruh jumlah MAA terhadap kapasitas adsorpsi auramine didapatkan kapasitas adsorpsi tertinggi adalah 0,580 mg/g diperoleh pada penggunaan jumlah MAA sebanyak 0,02 mol dengan jumlah auramine sebagai template sebanyak 0,003 mmol. Hasil ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa penambahan jumlah MAA secara berlebihan terhadap jumlah mol template akan berikatan dengan semua situs aktif pada molekul template auramine (Hasanah et al., 2021). Namun, jika jumlah MAA terlalu banyak dibandingkan template maka akan timbul interaksi non-spesifik. Dimana monomer yang berlebih tersebut tidak semuanya bisa berikatan dengan molekul template auramine secara tepat menyebabkan kapasitas adsorpsi menurun (Shafqat et al., 2023). Penelitian sebelumnya juga telah dilakukan oleh (Pratama et al., 2020)(Thach et al., 2021) dimana jumlah monomer fungsional yang digunakan lebih banyak dari jumlah monomer template.

Dari gambar 2 diatas tentang pengaruh jumlah EGDMA terhadap kapasitas adsorpsi auramine didapatkan kapasitas adsorpsi tertinggi adalah 0,643 mg/g dengan jumlah EGDMA sebanyak 0.005 mol. Pemilihan jumlah pengikat silang yang sesuai sangat penting untuk mempertahankan stabilitas rongga pencetakan dan menciptakan polimer silang yang kuat dan stabil setelah cetakan dilepas. Apabila jumlah pengikat silang sedikit, pengikatan MIPs akan menurun karena polimer yang dihasilkan kurang stabil sebaliknya jika jumlah pengikat silang berlebihan, polimer akan terlalu rapat dan kaku sehingga proses ekstraksi molekul template menjadi sulit dilakukan sehingga mengurangi situs pengenalan terhadap analit target menyebabkan kapasitas adsorpsi menurun (Fremiella Lim & Holdsworth, 2018).

Keterbatasan dalam penelitian ini yaitu perbandingan monomer fungsional (MAA) dan pengikat silang (EGDMA) yang didapatkan pada penelitian itu khusus untuk molekul template zat warna auramine. Sehingga diperlukan untuk melakukan penelitian terkait

perbandingan optimum antara monomer fungsional dan pengikat silang untuk molekul template lainnya yang bertujuan untuk menyerap zat warna selain auramine.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian variasi jumlah MAA dan EGDMA didapatkan perbandingan optimum untuk sintesis MIPs antara MAA dan EGDMA sebanyak 0,02 mol : 0,005 mol dengan kapasitas adsorpsinya secara berurutan untuk MAA dan EGDMA adalah 0,580 mg/g dan 0,64 mg/g.

Temuan ini memberikan kontribusi terhadap penambahan pemahaman tentang bentuk polimer yang dihasilkan dari jumlah bahan yang digunakan dan MIPs-auramine yang dihasilkan dapat digunakan untuk mendeteksi dan penghilangan zat warna auramine secara selektif.

Rekomendasi pada penelitian selanjutnya supaya mengoptimasikan perbandingan monomer fungsional (MAA) dan pengikat silang (EGDMA) dengan menggunakan molekul template yang berbeda sehingga bisa menghasilkan polimer MIPs yang digunakan sebagai adsorben untuk mengadsorpsi zat warna yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Alizar, U., Djaha, N. A., Mawardi, Suryani, O., Dewata, I., Safitri, E., Hidayat, N., Hanifah, S. A., & Hassan, R. A. (2025). Synthesis and characterization of molecularly imprinted polymers (MIPs) as adsorbents for methylene blue dye. *Rasayan Journal of Chemistry*, 18(1), 352–359. <https://doi.org/10.31788/rjc.2025.1819126>
- Andrzejewska, E. (2017). Recent advances in photo-induced free-radical polymerization. *MOJ Polymer Science*, 1(2), 58–60. <https://doi.org/10.15406/mojps.2017.01.00009>
- Fremielle Lim, K., & Holdsworth, C. I. (2018). Effect of formulation on the binding efficiency and selectivity of precipitation molecularly imprinted polymers. *Molecules*, 23(11), 2996. <https://doi.org/10.3390/molecules23112996>
- Gonçalves, M. A., de Almeida, F., Candido, A., Ramalho, T. C., & de Aquino, S. F. (2025). Molecularly imprinted polymer-supported ceramic catalysts for environmental applications: A comprehensive review. *Ceramics*, 8(2), 53. <https://doi.org/10.3390/ceramics8020053>
- Hasanah, A. N., Safitri, N., Zulfa, A., Neli, N., & Rahayu, D. (2021). Factors affecting preparation of molecularly imprinted polymer and methods on finding template-monomer interaction as the key of selective properties of the materials. *Molecules*, 26(18), 5612. <https://doi.org/10.3390/molecules26185612>

- Kubo, T., Yagishita, M., Tanigawa, T., Konishi-Yamada, S., & Nakajima, D. (2024). Enhanced molecular recognition with longer chain crosslinkers in molecularly imprinted polymers for an efficient separation of tr active substances. *RSC Advances*, *14*(17), 12021–12029. <https://doi.org/10.1039/d3ra08854e>
- Liu, Y., Xian, W., He, J., & Li, Y. (2023). Interplay between entanglement and crosslinking in determining mechanical behaviors of polymer networks. *International Journal of Smart and Nano Materials*, *14*(4), 474–495. <https://doi.org/10.1080/19475411.2023.2261777>
- Liu, Z., Xu, Z., Liu, H., Wang, D., Yang, Y., Duan, Y., Ma, L., & Lin, T. (2021). A review on molecularly imprinted polymers preparation by computational simulation-aided methods. *Polymers*, *13*(16), 2657. <https://doi.org/10.3390/polym13162657>
- Murdaya, N., Triadenda, A. L., Rahayu, D., & Hasanah, A. N. (2022). A review: Using multiple templates for molecular imprinted polymer: Is it good? *Polymers*, *14*(20), 4441. <https://doi.org/10.3390/polym14204441>
- Nishchaya, K., Rai, V. K., & Bansode, H. (2023). Methacrylic acid as a potential monomer for molecular imprinting: A review of recent advances. *Results in Materials*, *18*, 100379. <https://doi.org/10.1016/j.rinma.2023.100379>
- Paper, R. (2024). Molecular imprinted polymers: Important advances in biochemistry, biomedical and biotechnology. *Polymer Bulletin*, *81*(12), 10439–10459. <https://doi.org/10.1007/s00289-024-05238-5>
- Patil, P., Jeppu, G., Girish, C. R., & Mohan, B. (2024). Development of a comprehensive analytical solution for modeling adsorption kinetics and equilibrium. *Separation Science and Technology*, *59*(3), 373–394. <https://doi.org/10.1080/01496395.2024.2319146>
- Pratama, K. F., Erwanta, M., Manik, R., & Rahayu, D. (2020). Effect of the molecularly imprinted polymer component ratio on analytical performance. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, *68*(11), 1013–1024. <https://doi.org/10.1248/cpb.c20-00551>
- Ribas-Massonis, A., Cicujano, M., Duran, J., Besalú, E., & Poater, A. (2022). Free-radical photopolymerization for curing products for refinish coatings market. *Polymers*, *14*(14), 2856. <https://doi.org/10.3390/polym14142856>
- Sajini, T., & Mathew, B. (2021). A brief overview of molecularly imprinted polymers: Highlighting computational design, nano and photo-responsive imprinting. *Talanta Open*, *4*, 100072. <https://doi.org/10.1016/j.talo.2021.100072>
- Shafqat, S. R., Bhawani, S. A., Bakhtiar, S., Nasir, M., & Ibrahim, M. (2023). Template-assisted synthesis of molecularly imprinted polymers for the removal of methyl red from aqueous media. *BMC Chemistry*, *17*, 46. <https://doi.org/10.1186/s13065-023-00957-8>
- Shen, Y., Miao, P., Liu, S., Gao, J., Han, X., & Zhao, Y. (2023). Preparation and application progress of imprinted polymers. *Polymers*, *15*(10), 2344. <https://doi.org/10.3390/polym15102344>
- Thach, U. D., Nguyen Thi, H. H., Pham, T. D., & Mai, H. D. (2021). Synergetic effect of dual functional monomers in molecularly imprinted polymer preparation for selective solid phase extraction of ciprofloxacin. *Polymers*, *13*(16), 2757. <https://doi.org/10.3390/polym13162757>

- Urriza-Arsuaga, I., & Guadaño-Sánchez, M. (2023). Current trends in molecular imprinting: Strategies, applications and determination of target molecules in Spain. *Polymers*, *15*(3), 656. <https://doi.org/10.3390/polym15030656>
- Viveiros, R. (2018). Green strategies for molecularly imprinted polymer development. *Polymers*, *10*(3), 306. <https://doi.org/10.3390/polym10030306>
- Yuan, J., Gao, J., Meng, X., Jia, T., & Yin, R. (2024). Computational and experimental comparison of molecularly imprinted polymers prepared by different functional monomers—Quantitative parameters defined based on molecular dynamics simulation. *Molecules*, *29*(17), 4236. <https://doi.org/10.3390/molecules29174236>
- Zamruddin, N. M., Herman, H., Rijai, L., & Hasanah, A. N. (2022). Factors affecting the analytical performance of magnetic molecularly imprinted polymers. *Polymers*, *14*(15), 3008. <https://doi.org/10.3390/polym14153008>