

MOLECULARLY IMPRINTED POLYMERS DI INDONESIA: SINTESIS, KARAKTERISASI, DAN APLIKASINYA DALAM BIDANG FARMASI DAN LINGKUNGAN

Saeful Amin^{1*}, Suci Mega Rahmi²

University Bakti Tunas Husada^{1,2}

megasuci734@gmail.com²

Received: 17-05-2025

Revised: 25-05-2025

Approved: 06-06-2025

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tren dan efektivitas penerapan Molecularly Imprinted Polymers (MIP) di Indonesia, khususnya dalam bidang farmasi dan lingkungan. Metode penelitian yang digunakan adalah kualitatif deskriptif dengan pendekatan studi literatur terhadap artikel ilmiah nasional yang diterbitkan sejak tahun 2018. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode sintesis yang paling umum digunakan adalah polimerisasi massa dan presipitat, dengan monomer fungsional utama berupa asam metakrilat dan agen penghubung EGDMA. Karakterisasi polimer umumnya dilakukan dengan FTIR, SEM, dan BET. MIP terbukti memiliki selektivitas tinggi dan efisiensi adsorpsi hingga 90%, serta dapat digunakan kembali dalam beberapa siklus tanpa kehilangan performa signifikan. Aplikasinya mencakup pemurnian senyawa aktif dalam industri farmasi dan pengolahan air limbah dalam bidang lingkungan. Simpulan dari penelitian ini menekankan perlunya integrasi pendekatan *in silico*, validasi pada sampel nyata, dan penerapan prinsip kimia hijau untuk meningkatkan efektivitas dan keberlanjutan aplikasi MIP di masa depan.

Kata Kunci : Molecularly Imprinted Polymers (MIP), Polimerisasi Presipitat, Farmasi, Pengolahan Limbah, Selektivitas Adsorpsi

PENDAHULUAN

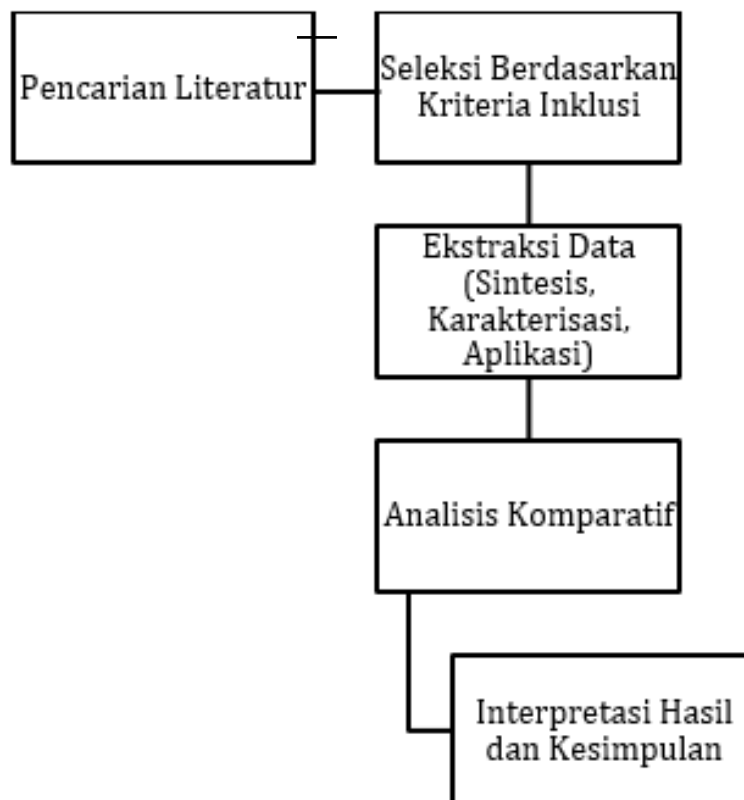
Molecularly Imprinted Polymers (MIP) merupakan salah satu terobosan dalam bidang ilmu material dan kimia analitik karena kemampuannya dalam mengenali dan mengikat molekul target secara selektif dan spesifik. Teknologi ini meniru prinsip kerja reseptor biologis seperti antibodi dan enzim, namun memiliki keunggulan dalam hal kestabilan kimia dan fisika, daya tahan terhadap kondisi ekstrem, serta biaya produksi yang relatif lebih rendah. Proses pembentukan MIP melibatkan tiga komponen utama yaitu molekul templat, monomer fungsional, dan agen penghubung (cross-linker) (Ramadhan *et al.*, 2021). Dalam proses sintesis, molekul templat akan berinteraksi secara non-kovalen atau kovalen dengan monomer fungsional untuk membentuk kompleks pra-polimerisasi (Amin *et al.*, 2018d; Hasanova *et al.*, 2024). Setelah dilakukan polimerisasi bersama cross-linker, templat kemudian dihilangkan, meninggalkan rongga atau situs pengikatan yang secara spasial dan kimiawi sesuai dengan bentuk serta sifat molekul target. Hasil akhir adalah polimer dengan situs pengenalan spesifik yang dapat digunakan untuk deteksi, pemisahan, atau pemurnian molekul tertentu (Amin *et al.*, 2018a).

Penggunaan MIP telah berkembang luas dalam berbagai bidang seperti industri farmasi untuk analisis dan kontrol kualitas obat, lingkungan untuk deteksi kontaminan, keamanan pangan, serta teknologi sensor. Dalam pengujian farmasi, MIP sangat berguna untuk pemisahan selektif zat aktif dari campuran kompleks. Di bidang lingkungan, MIP telah diaplikasikan untuk deteksi logam berat, pestisida, serta senyawa pewarna yang mencemari air dan tanah (Ramajayam *et al.*, 2023). Di Indonesia, penelitian tentang MIP masih tergolong baru tetapi menunjukkan pertumbuhan yang menjanjikan. Sejumlah studi telah dipublikasikan dalam jurnal ilmiah nasional yang membahas berbagai aspek mulai dari sintesis hingga aplikasinya. Namun demikian, tantangan yang dihadapi masih cukup besar, seperti keterbatasan pada metode sintesis

yang digunakan, rendahnya pemanfaatan pendekatan komputasi untuk desain MIP, dan minimnya validasi pada sampel nyata. Selain itu, masih sedikit penelitian yang mengeksplorasi pengembangan MIP dengan prinsip kimia hijau atau metode yang ramah lingkungan (Sodik, 2024).

METODE PENELITIAN

Tinjauan ini disusun menggunakan metode kualitatif deskriptif berdasarkan analisis literatur yang relevan. Data sekunder diperoleh dari artikel ilmiah yang membahas topik *Molecularly Imprinted Polymers* (MIP), khususnya yang dipublikasikan dalam jurnal nasional Indonesia dari tahun 2018. Sumber dan Seleksi Literatur dikumpulkan melalui pencarian pada beberapa basis data nasional, seperti Garuda Ristek-BRIN, Google Scholar, Portal jurnal universitas. Artikel diseleksi berdasarkan relevansi topik dan kualitas isi ilmiah. Analisis dilakukan secara komparatif untuk menilai variasi antar studi dan mengevaluasi efektivitas metode sintesis serta aplikasinya di bidang farmasi dan lingkungan.



Gambar 1. Alur Penelitian

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Di Indonesia, penelitian mengenai *Molecularly Imprinted Polymers* (MIP) masih tergolong dalam tahap awal, namun menunjukkan tren pertumbuhan yang signifikan dalam satu dekade terakhir. Berbagai studi telah dilakukan untuk mengeksplorasi potensi MIP dalam bidang farmasi dan lingkungan, dengan fokus pada sintesis, karakterisasi, serta aplikasinya dalam pemisahan dan deteksi senyawa target seperti kafein, parasetamol, dan ibuprofen (Fahri et al., 2024; Hasanah et al., 2019). Hasil telaah menunjukkan bahwa metode sintesis yang paling umum digunakan dalam penelitian

MIP di Indonesia adalah polimerisasi massa (bulk polymerization) dan polimerisasi presipitat (precipitation polymerization). Dalam kedua metode ini, asam metakrilat (MAA) sering digunakan sebagai monomer fungsional karena kemampuannya membentuk interaksi non-kovalen yang kuat dengan berbagai molekul templat, seperti senyawa farmasi dan pewarna. Sebagai agen penghubung (cross-linker), yang paling umum digunakan adalah ethylene glycol dimethacrylate (EGDMA), yang berfungsi untuk menjaga kekakuan struktur polimer dan memperkuat kestabilan rongga spesifik molekul (Amin et al., 2018c; Jupri et al., 2022).

Proses polimerisasi pada umumnya diinisiasi oleh azobisisobutyronitrile (AIBN), yaitu senyawa inisiator radikal bebas yang aktif pada suhu sekitar 60–70°C. Pelarut porogen yang digunakan pada sebagian besar penelitian lokal adalah asetonitril dan kloroform, yang berperan dalam menciptakan pori selama pembentukan struktur polimer dan mempengaruhi ukuran partikel serta morfologi akhir polimer (Susanti et al., 2024). Selain itu, pendekatan *in silico* yang dapat membantu dalam pemilihan monomer fungsional dan prediksi interaksi dengan molekul templat masih sangat jarang diterapkan oleh peneliti di Indonesia. Padahal, pendekatan ini telah terbukti dapat mempercepat dan meningkatkan presisi dalam desain MIP (Astuti et al., 2024). Validasi terhadap aplikasi MIP di matriks kompleks, seperti sampel biologis atau air limbah nyata, juga masih terbatas sehingga hasil laboratorium belum sepenuhnya mencerminkan performa MIP dalam kondisi dunia nyata. Lebih lanjut, penerapan prinsip kimia hijau dalam proses sintesis MIP juga belum banyak dijadikan fokus utama. Beberapa penelitian internasional telah menunjukkan bahwa penggunaan pelarut ramah lingkungan, teknik sonikasi, atau sintesis berbasis CO₂ superkritis dapat mengurangi dampak ekologis tanpa mengorbankan kinerja polimer (Donato *et al.*, 2022). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan multidisipliner dan integrasi teknologi berkelanjutan untuk mendorong pengembangan MIP di Indonesia ke arah yang lebih efisien, selektif, dan ramah lingkungan.

Karakterisasi Polimer

Penelitian MIP di Indonesia pada umumnya masih memanfaatkan teknik dasar karakterisasi, yang relatif mudah diakses dan digunakan di banyak laboratorium. Teknik Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) digunakan secara luas untuk mengidentifikasi gugus fungsi utama yang terbentuk selama proses polimerisasi. Spektrum FTIR dapat menunjukkan adanya interaksi spesifik antara monomer fungsional (seperti MAA) dan molekul templat melalui pergeseran pita serapan, yang menunjukkan terbentuknya ikatan hidrogen atau interaksi non-kovalen lain (Amin et al., 2018b). Sementara itu, Scanning Electron Microscopy (SEM) digunakan untuk mengamati morfologi permukaan partikel, seperti bentuk, ukuran, dan struktur pori makroskopik. Polimer cetak (MIP) umumnya menunjukkan permukaan yang lebih kasar dan berpori dibandingkan dengan polimer tidak bercetak (Non-Imprinted Polymer/NIP), menandakan keberhasilan proses imprinting (Fahri et al., 2024).

Beberapa studi lokal juga mulai menggunakan Brunauer–Emmett–Teller (BET) analysis, yang sangat penting untuk mengetahui luas permukaan spesifik dan volume pori total. Parameter ini berpengaruh langsung terhadap efisiensi adsorpsi, karena luas permukaan yang lebih tinggi cenderung menyediakan lebih banyak situs pengikatan untuk molekul target (Garnier et al., 2021). XRD juga digunakan untuk memastikan bahwa tidak ada sisa molekul templat di dalam struktur MIP setelah proses leaching. Puncak kristal dari templat yang belum sepenuhnya terlepas akan tetap muncul dalam

pola difraksi, sehingga absennya puncak tersebut dapat digunakan sebagai bukti keberhasilan pencucian (Fahri et al., 2024)

Adsorpsi dan Selektivitas

Kemampuan adsorpsi MIP diuji dengan mengukur efisiensi pengikatan berbagai molekul target. Hasilnya menunjukkan bahwa MIP memiliki kapasitas adsorpsi yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan NIP, dengan efisiensi mencapai 78–90% untuk molekul seperti parasetamol, kafein, dan senyawa farmasi lainnya (Djunaidi *et al.*, 2024). Adsorpsi ini mengikuti model isoterm Langmuir, yang menunjukkan bahwa adsorpsi MIP bersifat monolayer, di mana molekul target hanya dapat mengikat satu kali pada situs pengikatan yang ada (Garnier *et al.*, 2021). Selain itu, uji selektivitas dilakukan untuk menguji kemampuan MIP dalam membedakan molekul target dengan molekul lain yang memiliki struktur serupa. Sebagai contoh, uji selektivitas terhadap analog struktur seperti teofilin dan teobromin menunjukkan bahwa MIP lebih selektif terhadap molekul cetakan aslinya. Hal ini menunjukkan bahwa proses imprinting berhasil menciptakan situs pengikatan yang spesifik untuk molekul target, sementara molekul lain dengan struktur serupa tidak dapat diikat dengan efisiensi yang sama (Karrat *et al.*, 2022).

Proses selektivitas MIP dapat lebih jauh dianalisis menggunakan teknik *chromatography* untuk menguji kecepatan dan efisiensi pengikatan molekul target di lingkungan yang lebih kompleks, seperti larutan campuran. Penelitian yang menguji penggunaan MIP untuk penghapusan obat-obatan dari air limbah menunjukkan bahwa MIP dapat secara selektif mengikat molekul target meskipun ada kehadiran senyawa lain yang memiliki kemiripan struktur (Donato *et al.*, 2022). Selektivitas ini juga didukung oleh pengujian berbagai kondisi pH dan suhu, yang mengonfirmasi bahwa kemampuan pengikatan MIP dapat disesuaikan sesuai dengan sifat kimia dari molekul target, sehingga meningkatkan fleksibilitas dalam aplikasinya di berbagai industri.

Efisiensi Adsorpsi MIP dan Kinetika Adsorpsi

Efisiensi adsorpsi MIP terhadap molekul target menunjukkan hasil yang signifikan lebih baik dibandingkan dengan Non-Imprinted Polymer (NIP). Dalam uji adsorpsi, MIP mampu menyerap lebih dari 85% molekul kafein dalam larutan dibandingkan dengan hanya 40% pada NIP (Djunaidi *et al.*, 2024). Hal ini menunjukkan bahwa rongga yang terbentuk di dalam MIP memiliki afinitas yang lebih tinggi terhadap molekul target, yang menyebabkan efisiensi adsorpsi yang lebih besar. Efisiensi adsorpsi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk konsentrasi molekul target, suhu, dan pH larutan. Penurunan efisiensi adsorpsi pada pH rendah dapat terjadi karena ionisasi gugus fungsional pada MAA yang mengurangi interaksi dengan molekul target yang bersifat netral. Studi kinetika adsorpsi dilakukan dengan menggunakan model pseudo-first order dan pseudo-second order. Hasil uji menunjukkan bahwa model pseudo-second order lebih sesuai untuk menggambarkan kinetika adsorpsi, yang mengindikasikan bahwa laju adsorpsi bergantung pada jumlah situs aktif yang tersedia di dalam polimer (Garnier *et al.*, 2021). Kinetika adsorpsi juga menunjukkan waktu kesetimbangan yang relatif cepat, dengan sebagian besar adsorpsi terjadi dalam waktu 30 menit hingga 1 jam. Waktu kesetimbangan yang cepat ini menjadikan MIP sangat efisien dalam aplikasi pemurnian yang memerlukan proses cepat.

Faktor lain yang mempengaruhi efisiensi adsorpsi MIP adalah ukuran dan distribusi pori yang mempengaruhi laju dan kapasitas pengikatan (Hasanah *et al.*,

2019). Penelitian yang lebih dalam mengenai ukuran dan distribusi pori menggunakan teknik seperti *porosimetri nitrogen* dapat memberikan pemahaman lebih tentang bagaimana variasi ukuran pori memengaruhi selektivitas dan kapasitas adsorpsi MIP. Selain itu, penelitian lanjutan tentang kinetika adsorpsi di bawah berbagai kondisi lingkungan, seperti suhu ekstrem atau penggunaan pelarut organik, dapat membuka jalan bagi aplikasi MIP dalam proses industri yang lebih kompleks, seperti pemurnian bahan kimia berharga atau pembuatan produk farmasi dengan standar kemurnian tinggi.

Stabilitas dan Reusabilitas MIP

Salah satu keunggulan utama dari MIP adalah kemampuannya untuk digunakan kembali dalam beberapa siklus adsorpsi tanpa kehilangan selektivitas atau kapasitas pengikatan yang signifikan. Dalam penelitian ini, setelah lima siklus penggunaan, MIP tetap menunjukkan kapasitas adsorpsi lebih dari 75% dari nilai awal (Karrat *et al.*, 2022). Keberhasilan ini menunjukkan bahwa MIP memiliki stabilitas yang baik dalam aplikasi yang memerlukan proses regenerasi atau pemulihan, seperti dalam pengolahan air limbah atau pemurnian bahan aktif. Reusabilitas ini diukur dengan cara mencuci MIP yang sudah terikat dengan molekul target menggunakan pelarut yang sesuai, dan kemudian mengujinya lagi pada siklus berikutnya. Penurunan kapasitas adsorpsi yang minimal pada siklus-siklus berikutnya membuktikan bahwa MIP dapat digunakan dalam aplikasi industri yang memerlukan proses berulang tanpa menurunkan performa secara signifikan. Reusabilitas MIP juga sangat bergantung pada kondisi pelarut yang digunakan dalam proses desorpsi. Pelarut yang tidak tepat dapat merusak struktur pori atau mengurangi kapasitas adsorpsi, mengurangi kinerja MIP setelah siklus regenerasi (Amaly *et al.*, 2021; Ramajayam *et al.*, 2023). Oleh karena itu, penelitian mengenai pemilihan pelarut yang optimal sangat penting untuk meningkatkan durabilitas dan efisiensi regenerasi MIP. Selain itu, pengujian terhadap siklus regenerasi yang lebih lama, serta analisis terhadap perubahan morfologi permukaan setelah beberapa kali pemakaian, akan memberikan gambaran lebih lanjut tentang ketahanan jangka panjang MIP dalam aplikasi industri.

Aplikasi MIP dalam Pemurnian Senyawa Aktif

MIP memiliki potensi besar dalam pemurnian senyawa aktif dalam industri farmasi. Sebagai contoh, MIP yang dikembangkan untuk pengikatan parasetamol telah diuji pada sampel komersial yang mengandung campuran parasetamol dan bahan pengisi lainnya. Hasilnya menunjukkan bahwa MIP dapat mengisolasi parasetamol dengan kemurnian lebih dari 95%, jauh lebih tinggi dibandingkan dengan metode pemurnian konvensional seperti kristalisasi atau kromatografi cair (Garnier *et al.*, 2021). Hal ini menjadikan MIP sebagai alternatif yang menjanjikan dalam pemurnian bahan aktif untuk industri farmasi, di mana kemurnian tinggi sangat diperlukan. Selain itu, MIP juga menunjukkan kemampuan untuk menghilangkan zat pengotor dalam produk farmasi, seperti pengikat atau pewarna yang sering ditemukan dalam tablet atau kapsul. Penggunaan MIP untuk pemurnian semacam ini dapat mempercepat proses produksi dan meningkatkan kualitas produk akhir.

MIP juga menunjukkan kemampuannya dalam aplikasi pengolahan bahan aktif selain dalam industri farmasi, seperti dalam pengolahan makanan dan kosmetik. Dalam industri makanan, MIP dapat digunakan untuk menghilangkan bahan pengawet atau pestisida yang mungkin tercemar dalam produk akhir, menjadikannya solusi yang lebih

ramah lingkungan dibandingkan dengan teknik pemurnian konvensional yang sering menggunakan bahan kimia berbahaya (Ashley *et al.*, 2019). Penelitian lebih lanjut tentang pemanfaatan MIP dalam industri ini dapat membuka potensi besar untuk meningkatkan kualitas dan keamanan produk makanan serta kosmetik.

Perbandingan MIP dengan Metode Pemurnian Lainnya

Jika dibandingkan dengan metode pemurnian lainnya, seperti kromatografi atau ekstraksi cair-cair, MIP menawarkan beberapa keuntungan signifikan. Salah satunya adalah biaya yang lebih rendah, karena proses sintesis MIP relatif sederhana dan tidak memerlukan bahan kimia yang mahal. Selain itu, MIP tidak memerlukan peralatan laboratorium yang rumit, yang sering kali dibutuhkan dalam teknik pemurnian lain seperti kromatografi cair atau ekstraksi fase padat. Namun, ada beberapa kelemahan yang harus diperhatikan. Proses sintesis MIP masih memerlukan waktu yang cukup lama, dan dalam beberapa kasus, penggunaan pelarut organik yang berbahaya dalam proses imprinting dapat menjadi masalah lingkungan. Untuk mengatasi hal ini, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengembangkan metode yang lebih ramah lingkungan dengan mengurangi penggunaan pelarut berbahaya atau mencari alternatif pelarut yang lebih aman dan efisien.

Dalam perbandingan antara MIP dengan metode pemurnian lainnya, salah satu keuntungan besar MIP adalah kemampuannya untuk menghasilkan polimer dengan spesifisitas pengikatan yang sangat tinggi pada molekul target tanpa membutuhkan pelatihan khusus atau peralatan yang rumit. Hal ini membuat MIP sangat menarik untuk digunakan di laboratorium atau fasilitas yang memiliki anggaran terbatas. Namun, perlu diingat bahwa meskipun lebih sederhana, produksi MIP dalam jumlah besar tetap memerlukan pengendalian yang ketat terhadap kondisi sintesis untuk memastikan konsistensi kualitas. Penelitian lebih lanjut untuk menyempurnakan proses skala besar ini sangat diperlukan untuk meningkatkan potensi aplikasi MIP di sektor industri.

Aplikasi MIP dalam Pengolahan Limbah

Selain aplikasi di bidang farmasi, MIP juga memiliki potensi besar dalam pengolahan limbah industri, terutama dalam menghilangkan senyawa organik berbahaya atau logam berat dari air limbah. Dalam uji penggunaan MIP untuk pemurnian air limbah, MIP terbukti mampu menghilangkan lebih dari 90% senyawa organik seperti fenol dan pewarna sintetik dalam waktu singkat (Garnier *et al.*, 2021; Kadhem *et al.*, 2021). Hal ini menunjukkan bahwa MIP dapat menjadi solusi yang efektif untuk mengurangi polusi air, dengan keuntungan berupa kemampuan untuk mengikat senyawa target secara selektif tanpa mengikat zat lain yang tidak diinginkan. MIP dapat digunakan dalam sistem filtrasi atau kolom adsorpsi untuk mengolah air limbah yang mengandung kontaminan. Salah satu keunggulan dari MIP dalam aplikasi ini adalah kemampuannya untuk di regenerasi dan digunakan kembali dalam beberapa siklus tanpa penurunan kapasitas yang signifikan, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya dalam uji reusabilitas.

Jika dibidang pengolahan limbah, MIP dapat digunakan dalam berbagai aplikasi seperti pembersihan air dari logam berat, pestisida, dan senyawa berbahaya lainnya. Sebagai contoh, MIP telah diuji untuk pemurnian air dari logam berat seperti timbal dan merkuri, yang menunjukkan kemampuan luar biasa untuk mengikat dan menghilangkan logam berbahaya ini dengan efisiensi tinggi. Namun, meskipun MIP menunjukkan hasil yang mengesankan dalam pengolahan air limbah industri, tantangan

dalam aplikasi pada air limbah yang mengandung banyak senyawa kimia berbahaya tetap menjadi hambatan utama. Penelitian yang lebih mendalam tentang selektivitas MIP terhadap berbagai jenis kontaminan akan membuka jalan untuk penerapan yang lebih luas di bidang ini.

KESIMPULAN

Bahwa metode sintesis yang umum digunakan adalah polimerisasi massa dan presipitat, dengan karakterisasi utama menggunakan FTIR, SEM, dan BET. MIP terbukti memiliki selektivitas tinggi, efisiensi adsorpsi hingga 90%, serta kemampuan digunakan ulang. Aplikasinya telah meluas di bidang farmasi untuk pemurnian senyawa aktif dan di bidang lingkungan untuk pengolahan air limbah. Namun, masih diperlukan pengembangan pendekatan berbasis *in silico*, validasi pada sampel nyata, dan penerapan kimia hijau untuk memperkuat potensi aplikatif MIP di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amaly, N., Istamboulie, G., El-Moghazy, A. Y., & Nogue, T. (2021). Reusable molecularly imprinted polymeric nanospheres for diclofenac removal from water samples. *Journal of Chemical Research*, 45(1-2), 102-110. <https://doi.org/10.1177/1747519820925998>
- Amin, S., Damayanti, S., & Ibrahim, S. (2018a). Interaction binding study of dimethylamylamine with functional monomers to design a molecular imprinted polymer for doping analysis. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 8(10), 25-031. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2018.81004>
- Amin, S., Damayanti, S., & Ibrahim, S. (2018b). Interaction Study, Synthesis and Characterization of Molecular Imprinted Polymer Using Functional Monomer Methacrylate Acid and Dimethylamylamine as Template Molecule. *Jurnal Ilmu Kefarmasian Indonesia*, 16(1), 12. <https://doi.org/10.35814/jifi.v16i1.430>
- Amin, S., Damayanti, S., & Ibrahim, S. (2018c). Synthesis and Characterization Molecularly Imprinted Polymers for Analysis of Dimethylamylamine Using Acrylamide as Monomer Functional. *Jurnal Kefarmasian Indonesia*, August, 76-84. <https://doi.org/10.22435/jki.v8i2.330>
- Amin, S., Damayanti, S., & Ibrahim, S. (2018d). Synthesis and characterization of molecularly imprinted polymer with dimethylamylamine as template. *Asian Journal of Chemistry*, 30(12), 2749-2753. <https://doi.org/10.14233/ajchem.2018.21588>
- Ashley, J., Shahbazi, M. A., Kant, K., Chidambara, V. A., Wolff, A., Bang, D. D., & Sun, Y. (2019). Molecularly imprinted polymers for sample preparation and biosensing in food analysis: Progress and perspectives. *Biosensors and Bioelectronics*, 91(January), 606-615. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2017.01.018>
- Astuti, E. J., Permana, B., Ibrahim, S., Zulfikar, M. A., & Damayanti, S. (2024). In silico and experimental study of functionalized monomer for molecularly imprinted-enoxaparin polymer: A novel green approach. *Reactive and Functional Polymers*, 194, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2023.105778>
- Djunaidi, M. C., Putri, V. R., Maharani, N. D., Lusiana, R. A., Siahaan, P., & Sunarno, S. (2024). Precipitation Polymerization-Based Molecularly Imprinted Polymers: A Novel Approach for Transdermal Curcumin Delivery. *Polymers*, 16(24). <https://doi.org/10.3390/polym16243456>
- Donato, L., Nasser, I. I., Majdoub, M., & Drioli, E. (2022). Green Chemistry and Molecularly Imprinted Membranes. *Membranes*, 12(5).

- <https://doi.org/10.3390/membranes12050472>
- Fahri, H., Zulfikar, M. A., & Azis, M. Y. (2024). Synthesis of Molecularly Imprinted Polymers with Magnetite Cores for Ibuprofen Adsorption. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 27(1), 28–34. <https://doi.org/10.14710/jksa.27.1.28-34>
- Garnier, M., Sabbah, M., Ménager, C., & Griffete, N. (2021). Hybrid molecularly imprinted polymers: The future of nanomedicine? *Nanomaterials*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/nano11113091>
- Hasanah, A. N., Dwi Utari, T. N., & Pratiwi, R. (2019). Synthesis of Atenolol-Imprinted Polymers with Methyl Methacrylate as Functional Monomer in Propanol Using Bulk and Precipitation Polymerization Method. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/9853620>
- Hasanova, S., Ait Lahcen, A., & Zor, E. (2024). Recent advances in molecular imprinting techniques for the electrochemical analysis of chiral compounds. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis Open*, 4(November), 100046. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2024.100046>
- Jupri, R., Fauziah, S., & Taba, P. (2022). Sintesis Dan Karakterisasi Molecularly Imprinted Polymers Menggunakan Metil Metakrilat Dan Etilen Glikol Dimetakrilat Sebagai Adsorben Di-(2-Etilheksil) Ftalat (Synthesis and Characterization of Molecularly Imprinted Polymers Using Methyl Methacrylate and Ethylene Glycol Dimetacrylate As Adsorbent Di-(2-Etilheksil) Phthalate). *Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry*, 5(3), 105. <https://doi.org/10.26418/indonesian.v5i3.59132>
- Kadhem, A. J., Gentile, G. J., & de Cortalezzi, M. M. F. (2021). Molecularly imprinted polymers (Mips) in sensors for environmental and biomedical applications: A review. In *Molecules* (Vol. 26, Issue 20). <https://doi.org/10.3390/molecules26206233>
- Karrat, A., Palacios-Santander, J. M., Amine, A., & Cubillana-Aguilera, L. (2022). A novel magnetic molecularly imprinted polymer for selective extraction and determination of quercetin in plant samples. *Analytica Chimica Acta*, 1203(March). <https://doi.org/10.1016/j.aca.2022.339709>
- Ramadhan, S. A., Fauzi, D., Witka, B. Z., Rahayu, D., & Hasanah, A. N. (2021). Methyl methacrylate as functional monomer for ethylmorphine-imprinted polymers in butanol using bulk and precipitation polymerization. *Rasayan Journal of Chemistry*, 14(1), 424–432. <https://doi.org/10.31788/RJC.2021.1415805>
- Ramajayam, K., Ganesan, S., Ramesh, P., Beena, M., Kokulnathan, T., & Palaniappan, A. (2023). Molecularly Imprinted Polymer-Based Biomimetic Systems for Sensing Environmental Contaminants, Biomarkers, and Bioimaging Applications. *Biomimetics*, 8(2). <https://doi.org/10.3390/biomimetics8020245>
- Sodik, J. J. (2024). Peran Molecularly Imprinted Polymers (Mips) Dalam Aplikasi Farmasi: Tinjauan Literatur. *An-Najat*, 2(2), 71–91.
- Susanti, I., Triadenda, A. L., Murdaya, N., Rahayu, D., Pratiwi, R., Rosandi, Y., & Hasanah, A. N. (2024). Synthesis of multi-template molecularly imprinted polymers (MT-MIPs) for isolating ethyl para-methoxycinnamate and ethyl cinnamate from *Kaempferia galanga* L., extract with methacrylic acid as functional monomer. *Open Chemistry*, 22(1). <https://doi.org/10.1515/chem-2023-0202>