

Skripsi

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI POLIMER BERCETAKAN MOLEKUL
MENGUNAKAN KOMBINASI MONOMER ASAM METAKRILAT DAN
PENGIKAT SILANG TRIMETILPROPAN TRIMETAKRILAT SEBAGAI
ADSORBEN DI-(2-ETILHEKSIL)FTALAT**

SRI HELMI

H031 19 1038



**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI POLIMER BERCETAKAN MOLEKUL
MENGUNAKAN KOMBINASI MONOMER ASAM METAKRILAT DAN
PENGIKAT SILANG TRIMETILPROPAN TRIMETAKRILAT SEBAGAI
ADSORBEN DI-(2-ETILHEKSIL)FTALAT**

*Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar sarjana sains*

Oleh

SRI HELMI

H031 19 1038



MAKASSAR

2023

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

SINTESIS DAN KARAKTERISASI POLIMER BERCETAKAN
MOLEKUL MENGGUNAKAN KOMBINASI MONOMER ASAM
METAKRILAT DAN PENGIKAT SILANG TRIMETILPROPAN
TRIMETAKRILAT SEBAGAI ADSORBEN DI-(2-
ETILHEKSIL)FTALAT

Disusun dan diajukan oleh:

SRI HELMI

H031191038

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Sidang Sarjana
Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 11 Agustus 2023

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Dr. St. Fauziah, M.Si
NIP. 19720202199903200

Pembimbing Pertama

Prof. Paulina Taba, M.Phil., Ph.D
NIP. 195711151988102001

Ketua Departemen

Dr. St. Fauziah, M.Si
NIP. 197202021999032002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sri Helmi
NIM : H031191038
Program Studi : Kimia
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa Skripsi dengan judul “Sintesis dan Karakterisasi Polimer Bercetakan Molekul menggunakan Kombinasi Monomer Asam Metakrilat dan Pengikat Silang Trimetilpropan trimetakrilat sebagai Adsorben Di-(2-etilheksil)ftalat” adalah karya saya sendiri dan tidak melanggar hak cipta pihak lain. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah hasil karya orang lain yang saya pergunakan dengan cara melanggar hak cipta pihak lain, maka saya bersedia menerima sanksi.

Makassar, 11 Agustus 2023

Yang Menyatakan,


Sri Helmi

PRAKATA

Bismillahirrahmanirrahim,

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan nikmat dan hidayahnya, tak lupa juga kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi suri tauladan bagi umat manusia sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Sintesis dan Karakterisasi Polimer Bercetakan Molekul menggunakan Kombinasi Monomer Asam Metakrilat dan Pengikat Silang Trimetilpropan Trimetakrilat sebagai Adsorben Di-(2-Etilheksil)Ftalat**” sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Sains, Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa betapa banyaknya hambatan dan beratnya menyelesaikan tugas ini. Tugas ini tidak akan selesai tanpa dukungan dan bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang tulus kepada:

1. ibu **Dr. St. Fauziah, M.Si** selaku pembimbing utama dan ibu **Prof. Paulina Taba, M.Phil.,Ph.D.** selaku pembimbing pertama yang selama ini telah banyak meluangkan waktu, dengan sabar memberikan ilmu, pemikiran, motivasi, serta bimbingan kepada penulis dalam melaksanakan penelitian maupun proses penyelesaian skripsi ini.
2. tim penguji sarjana, ibu **Dr. Herlina Rasyid, S.Si** selaku ketua penguji dan ibu **Bulkis Musa, S.Si., M.Si** selaku sekretaris penguji, terima kasih atas saran dan masukannya. Semoga selalu diberkahi oleh Allah SWT.

3. ibu koordinator seminar **Dr. Rugaiyah A. Arfah, M.Si** dan ibu **Riska Mardiyanti, S.Si., M.Sc** yang telah banyak memberikan arahan dan masukan untuk penulis.
4. ketua Departemen Kimia, ibu **Dr. St. Fauziah, M.Si** dan sekretaris Departemen Kimia, ibu **Dr. Nur Umriani Permatasari, M.Si**, serta seluruh dosen Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin yang telah membagi ilmu kepada penulis selama menempuh pendidikan. Semoga selalu diberkahi oleh Allah SWT.
5. para staf dan seluruh analis Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, terkhusus **Pak Iqbal**, selaku analis Laboratorium Kimia Fisika dan Laboratorium Kimia Terpadu (UV-Vis) serta **ibu Tini**, selaku analis Laboratorium Kimia Terpadu (FTIR) yang telah sabar mendengar keluh kesah penulis selama penelitian.
6. teristimewa kedua orang tua penulis ayahanda alm. **Rapping** dan ibunda **Nurhaeda** atas segala perhatian, kasih sayang, waktu, materi, pengorbanan, motivasi serta do'a yang tulus yang tiada henti kepada penulis. Adik-adik penulis **Wahyudi Rahmat, Sri Wahdania Ayu Lestari, dan Adnan Alkhalifi Zikri** yang juga selalu membantu dan menjadi teman cerita, serta seluruh keluarga penulis yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang senantiasa memberikan dorongan kepada penulis.
7. teman-teman seangkatan **Kimia 2019**, terkhusus saudara-saudariku **Konf19urasi** yang selalu memberi cerita, membantu, dan menghibur perkuliahan.
8. **Ria Chantika Permatasari** selaku partner penelitian dan teman seperjuangan menyelesaikan tugas akhir.

9. kakak-kakak, teman-teman satu lab penelitian terkhusus **Polimer** untuk saran dan bantuannya selama ini.
10. teman angkatan 2019 di **KM FMIPA Unhas** untuk segala cerita dan kenangan yang baik. USE YOUR MIND BE THE BEST.
11. kakak-kakak, adik-adik, warga dan Alumni **KMK FMIPA Unhas** atas pengalaman dan pelajaran yang tak terlupakan.

Semoga segala bimbingan, arahan, bantuan, serta motivasi yang telah diberikan kepada penulis selama penyusunan skripsi ini mendapat balasan pahala dan tercatat sebagai amal ibadah di sisi Allah SWT. Aamiin. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih sangatlah jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang sifatnya membangun senantiasa penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini.

Makassar, 2023

Penulis

ABSTRAK

Molecularly Imprinted Polymer (MIP) merupakan material cerdas karena material ini memiliki kemampuan untuk mengenal secara selektif molekul target. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan sintesis, karakterisasi dan analisis kinerja dari MIP. Material MIP disintesis dengan menggunakan di-(2-etilheksil)ftalat (DEHP) sebagai molekul cetakan, monomer asam metakrilat (MAA) yang dikombinasikan dengan trimetilpropan trimetakrilat (TRIM) sebagai pengikat silang dengan metode polimerisasi presipitasi. Material MIP dikarakterisasi dengan instrumen SEM, EDS, spektrofotometer FTIR dan spektrofotometer UV-Vis. Variabel uji kemampuan adsorpsi material MIP terhadap senyawa DEHP adalah waktu dan konsentrasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa MIP yang telah disintesis berupa padatan berwarna putih. Karakterisasi dengan EDS menunjukkan adanya penurunan persen massa C dan persen atom C yang menandakan terbentuknya MIP_DEHP_MAA-co-TRIM_(TE). Morfologi permukaan yang dikarakterisasi dengan SEM menunjukkan butiran-butiran bulat kecil yang cenderung seragam. Ikatan yang berpengaruh pada pembentukan polimer yang dikarakterisasi dengan FTIR yaitu -OH, -CH, -C=O, dan -C=C. Karakterisasi dengan SAA menunjukkan bahwa MIP_DEHP_MAA-co-TRIM_(TE) merupakan material mesopori. Adsorpsi MIP_DEHP_MAA-co-TRIM_(TE) mengikuti model kinetika orde dua semu dan sesuai dengan isoterm adsorpsi Freundlich.

Kata kunci: Polimer, asam metakrilat, di-(2-etilheksil)ftalat, Trimetilpropan Trimetakrilat, *Molecularly Imprinted Polymer*

ABSTRACT

Molecularly Imprinted Polymer (MIP) are smart synthetic materials because the materials have capability to identify selectively target molecules. This study aims to synthesize, characterize and analyze the performance of MIP. MIP material was synthesized with using di-(2-ethylhexyl)phthalate as a template molecule, methacrylic acid (MAA) monomer combined with a crosslinker of trimethylpropane trimethacrylate (TRIM) by precipitation polymerization method. MIP materials were characterized by SEM, EDS instrument, FTIR spectrometer, and UV-Vis spectrophotometer. The adsorption ability of MIP material on DEHP compounds was determined as a function of time and concentration. The synthesized MIP was in the form of a white solid. Characterization with the EDS showed a decrease in mass percent of C and percent of C atoms which indicated the formation of MIP_DEHP_MAA-co- TRIM_(TE). The surface morphology characterized by the SEM was composed of small grains that tend to be uniform. The bonds that affect the formation of polymers characterized by FTIR spectrometer are -OH, -CH, -C=O, dan -C=C. Characterization with SAA showed that MIP_DEHP_MAA-co- TRIM_(TE) indicated a mesoporous material. The adsorption of MIP_DEHP_MAA-co-TRIM_(TE) followed the pseudo-second order kinetics model and match the Freundlich adsorption isotherm.

Keyword: *Polymer, methacrylic acid, trimethylpropane trimethacrylate, di-(2-ethylhexyl)phthalate, molecularly imprinted polymer.*

DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA.....	v
ABSTRAK.....	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	6
1.3.1 Maksud Penelitian.....	6
1.3.2 Tujuan Penelitian	6
1.4 Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Kemasan Makanan dan Minuman Berbahan Plastik	8
2.2 Senyawa Di-(2-etilheksil)ftalat (DEHP).....	9
2.3 <i>Molecularly Imprinted Polymers</i> (MIP) atau Polimer Bercetakan Molekul	11
2.4 Polimerisasi.....	17
2.5 Karakterisasi pada Polimer Bercetakan Molekul.....	18

2.6	Adsorpsi	19
2.7	Kinetika Adsorpsi	21
BAB III METODE PENELITIAN.....		24
3.1	Bahan Penelitian.....	24
3.2	Alat Penelitian.....	24
3.3	Waktu dan Tempat Penelitian	24
3.4	Prosedur Penelitian.....	25
3.4.1	Sintesis MIP dan NIP	25
3.4.2	Karakterisasi MIP_DEHP_MAA dan NIP_MAA.....	26
3.4.2.1	Karakterisasi MIP dan NIP Menggunakan SEM-EDS...	26
3.4.2.2	Karakterisasi MIP dan NIP Menggunakan FTIR.....	26
3.4.2.3	Karakterisasi MIP Menggunakan SAA.....	26
3.4.3	Pembuatan Larutan Standar DEHP 100 mgL ⁻¹	27
3.4.4	Uji Kemampuan Adsorpsi MIP dan NIP	27
3.4.4.1	Pengaruh Waktu terhadap Kemampuan Adsorpsi MIP ..	27
3.4.4.2	Pengaruh Konsentrasi terhadap Kemampuan Adsorpsi MIP.....	27
3.4.5	Penentuan Kinetika Adsorpsi MIP.....	28
3.4.6	Penentuan Kapasitas Adsorpsi MIP	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		29
4.1	Sintesis <i>Molecularly Imprinted Polimer</i> (MIP).....	29
4.2	Karakterisasi NIP dan MIP.....	31
4.2.1	Karakterisasi NIP dan MIP menggunakan EDS.....	31
4.2.2	Karakterisasi NIP dan MIP menggunakan SEM.....	33
4.2.3	Karakterisasi NIP dan MIP menggunakan FTIR.....	34

4.2.4 Karakterisasi MIP menggunakan SAA.....	37
4.3 Karakterisasi Kemampuan Adsorpsi MIP dan NIP.....	39
4.3.1 Pengaruh Waktu terhadap Adsorpsi DEHP oleh MIP.....	40
4.3.2 Pengaruh Konsentrasi terhadap Adsorpsi DEHP oleh MIP...	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	47
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN.....	57

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Data uji kualitatif senyawa DEHP pada ekstrak pelarut campuran metanol:asam asetat (8:2 v/v) pada panjang gelombang 254,7 nm	29
2. Persentase massa dan atom dari C dan O dalam NIP_MAA-co-TRIM, MIP_DEHP_MAA-co-TRIM _(BE) dan MIP_DEHP_MAA-co-TRIM _(TE)	32
3. Data bilangan gelombang karakterisasi FTIR untuk monomer MAA, NIP_MAA-co-TRIM, MIP_DEHP_MAA-co-TRIM _(BE) dan MIP_DEHP_MAA-co-TRIM _(TE)	35
4. Data hasil karakterisasi dengan instrumen SAA	37
5. Data parameter kinetika adsorpsi DEHP oleh MIP_DEHP_MAA-co-TRIM _(TE) berdasarkan kinetika orde satu semu dan kinetika orde dua Semu	42
6. Data parameter adsorpsi DEHP oleh MIP_DEHP_MAA-co-TRIM _(TE) yang diperoleh dari kurva isotermal adsorpsi Langmuir dan isotermal adsorpsi Freundlich	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur senyawa di-(2-etilheksil)ftalat	9
2. Skema sintesis MIP	11
3. Struktur trimetilpropan trimetakrilat (TRIM).....	14
4. Struktur monomer fungsional asam metakrilat (MAA)	15
5. Struktur 2,2-Azobisisobutironitril (AIBN)	16
6. Skema reaksi sintesis MIP_DEHP_MAA-co-TRIM, (a) tahap prapolimerisasi, (b) tahap polimerisasi dan (c) tahap ekstraksi	30
7. Morfologi permukaan dengan perbesaran 20.000x untuk (a) NIP_MAA-co-TRIM, (b) MIP_DEHP_MAA-co-TRIM _(BE) (c) MIP_DEHP_MAA-co-TRIM _(TE)	33
8. Spektrum FTIR (a) monomer MMA, (b) NIP_MAA-co-TRIM, (c) MIP_DEHP_MAA-co-TRIM _(BE) , (d) MIP_DEHP_MAA-co-TRIM _(TE) ...	34
9. Hubungan diameter pori rata-rata terhadap volume pori kumulatif N ₂ yang teradsorpsi pada MIP_DEHP_MAA-co-TRIM _(TE)	38
10. Hubungan tekanan relatif terhadap volume N ₂ yang teradsorpsi pada MIP_DEHP_MAA-co-TRIM _(TE)	38
11. Kemampuan adsorpsi DEHP oleh MIP dan NIP	39
12. Pengaruh waktu terhadap jumlah DEHP yang diadsorpsi oleh MIP_DEHP_MAA-co-TRIM _(TE)	40
13. (a) Kurva kinetika orde satu semu dan (b) Kurva kinetika orde dua semu adsorpsi DEHP oleh MIP_DEHP_MAA-co-TRIM _(TE)	41
14. Pengaruh konsentrasi terhadap jumlah DEHP yang diadsorpsi oleh MIP_DEHP_MAA-co-TRIM _(TE)	43
15. Kurva isothermal adsorpsi Langmuir (a) dan Freundlich (b) dari adsorpsi DEHP oleh MIP_DEHP_MAA-co-TRIM _(TE)	44

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Skema Sintesis Polimer Bercetakan Molekul DEHP menggunakan Metode Polimerisasi Presipitasi	57
2. Bagan Alir Prosedur Penelitian	58
3. Data Spektrofotometer UV-Vis.....	62
4. Perhitungan	65
5. Foto Hasil Penelitian	70
6. Karakterisasi EDS	72
7. Karakterisasi FTIR.....	75
8. Karakterisasi SAA.....	79
9. Contoh Perhitungan Nilai K_1 dan K_2 berdasarkan Persamaan Orde Satu Semu dan Orde Dua Semu.....	88
10. Contoh Perhitungan Nilai Kapasitas Adsorpsi berdasarkan Model Persamaan Isotermal Adsorpsi Langmuir dan Isotermal Adsorpsi Freundlich	89

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Arti
MIP	<i>Molecular Imprinted Polymer</i>
NIP	<i>Non Imprinted Polymer</i>
MAA	<i>Methacrylate acid</i> (Asam metakrilat)
SPE	<i>Solid Phase Extraction</i>
AIBN	2,2-Azobisisobutironitril
TRIM	Trimetilpropan Trimetakrilat (TRIM)
FTIR	<i>Fourier Transform Infrared</i>
SEM	<i>Scaning Electron Microscopy</i>
EDS	<i>Energy Dispersive Spectroscopy</i>
SAA	<i>Surface Area Analyzer</i>
(TE)	Telah diekstraksi
(BE)	Belum diekstraksi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor pengemasan merupakan bagian yang sangat penting dalam industri secara global. Pada tahun 2019, sektor pengemasan memiliki pangsa terbesar yang diikuti oleh sektor bangunan dan konstruksi, tekstil, otomotif dan transportasi, infrastruktur dan konstruksi, dan barang konsumsi (Kumar dkk., 2021). Produk yang dijual di pasar hampir semua ditemui dalam kemasan. Hal tersebut terjadi karena kemasan memiliki sifat yang dapat melindungi produk terhadap pengaruh fisik, kimiawi dan biologis, dan juga untuk mempertahankan mutu serta memperpanjang masa simpan suatu produk. Penggunaan plastik sebagai bahan kemasan makanan dan minuman paling banyak digunakan (Sucipta dkk., 2017).

Menurut *Plastic Europe* (PE) (2022), pada tahun 2021 terdapat produksi plastik global yang mencapai 390,7 juta ton. Plastik secara signifikan sudah mulai menggantikan bahan material lain seperti kaleng dan gelas sebagai bahan kemasan makanan dan minuman (Pamungkas dan Risdianto, 2020). Penggunaan plastik yang cukup luas dibandingkan dengan bahan lain disebabkan oleh kelebihan yang dimiliki, antara lain kuat, ringan, inert, anti karat, bersifat termoplastik, fleksibel, transparan, tidak mudah pecah dan juga relatif murah (Mulijani, 2017).

Menurut Tapiory dkk. (2019), terdapat beberapa jenis plastik yang sangat aman digunakan sebagai kemasan, salah satunya adalah polietilen tereftalat (PET). Polimer polietilen tereftalat diproduksi secara meluas dan digunakan sebagai bahan baku botol minum plastik. Tingkat produksi botol minum plastik akan terus meningkat setiap tahunnya (Birzul dkk., 2019). Menurut Okatama (2016), plastik

jenis PET biasa digunakan sebagai botol minuman untuk air mineral, jus, minuman olahraga, dan minuman ringan (soda/minuman berkarbonasi). Jenis plastik PET paling banyak digunakan karena memiliki sifat kuat sebagai penghalang air dan memiliki daya serap air yang rendah sehingga cocok untuk diaplikasikan sebagai kemasan botol minuman (Widyawati dan Haqqi, 2020).

Plastik dengan kode 1 yaitu PET/PETE atau dikenal dengan nama polietilen tereftalat hanya direkomendasikan untuk satu kali pemakaian karena akan mengakibatkan lapisan polimer pada botol tersebut akan meleleh dan mengeluarkan zat karsinogenik yang dapat menyebabkan kanker apabila terlalu sering digunakan apalagi untuk menyimpan air hangat atau panas. Karakteristik dari jenis plastik ini adalah berwarna jernih, transparan atau tembus pandang, liat, kuat dan tahan panas (Utomo dan Solin, 2021; Tiara, 2018). Bahan dasar pembuatan plastik yang ditambahkan selain bahan monomer, yaitu *plasticizer* atau pemlastis yang merupakan salah satu zat aditif yang digunakan dalam pembuatan plastik dan ditambahkan ke dalam bahan polimer untuk meningkatkan kelunakan, kelenturan, dan pemanjangan polimer. Pemlastis pada umumnya diproduksi menggunakan bahan baku turunan minyak bumi dan turunan ester (Selviany dkk., 2015).

Salah satu bahan kimia yang banyak digunakan sebagai bahan pemlastis dalam produksi plastik adalah senyawa ftalat (Yi dkk., 2018). Senyawa ftalat seperti *di-(2-ethylheksyl)phthalat* (DEHP) merupakan bahan pemlastis yang biasa digunakan untuk meningkatkan fleksibilitas dalam pembuatan botol plastik sebagai pengemas air mineral (Widoastuti dkk., 2018). Kandungan DEHP pada bahan polimer sangat bervariasi, namun umumnya polimer mengandung 30-35% (b/b) DEHP (Braun, 2022). Senyawa DEHP merupakan senyawa kimia

organik yang dapat bermigrasi dari botol plastik ke dalam air karena pengaruh jenis bahan kemasan, suhu, dan waktu penyimpanan. Jumlah DEHP yang bermigrasi akan semakin meningkat dengan naiknya suhu dan lamanya waktu penyimpanan (Restkari dkk., 2017). Berdasarkan Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) nomor 20 tahun 2019 tentang kemasan pangan, batasan migrasi DEHP yang diizinkan adalah 1,5 bpj karena senyawa ini dapat menyebabkan kanker pada manusia.

Senyawa DEHP yang dapat bersifat karsinogen dari data hasil analisis diperoleh pada produk makanan dan minuman (Amin dkk., 2018; Kobets dkk., 2022). Metode analisis yang banyak digunakan adalah metode ekstraksi padat atau *solid phase extraction* (SPE). Metode SPE dapat digunakan untuk analisis, pemisahan, purifikasi sampel dalam bidang industri, farmasi, maupun analisis toksikologi. Metode ini memiliki beberapa keunggulan, yaitu proses ekstraksi menjadi lebih sempurna, pemisahan analit dari matriks menjadi lebih efisien dan pelarut yang digunakan lebih sedikit (Rahmatia, 2016). Namun, metode SPE membutuhkan adsorben yang selektif untuk proses pemisahan dan pemurnian senyawa (Chrisandari, 2018). Adsorben selektif dapat diperoleh dari polimer sintetik yang dikenal sebagai material cerdas karena material ini dapat mengenal molekul target secara spesifik dan selektif atau disebut *molecularly imprinted polymer* (MIP). Material MIP dapat juga diaplikasikan sebagai bahan sensor kimia karena memiliki keunggulan, seperti memiliki kestabilan mekanik dan kimia yang tinggi dan dapat digunakan pada sampel dengan jumlah banyak (Chrisandari, 2018; Yang dkk., 2014).

Material MIP adalah polimer sintesis dengan rongga yang spesifik untuk molekul target sesuai dengan ukuran, struktur serta sifat fisika dan kimianya

(Bow dkk., 2021). Sintesis MIP dilakukan berdasarkan proses polimerisasi yang melibatkan molekul cetakan, monomer fungsional, pengikat silang dan pelarut porogen (Belbruno, 2019). Pemilihan monomer yang tepat adalah salah satu faktor penting yang dilakukan dalam sintesis MIP agar terjadi interaksi yang sesuai dengan molekul cetakan. Monomer fungsional berperan penting untuk meningkatkan situs pengikatan sehingga memaksimalkan pembentukan kompleks dengan molekul cetakan (Hasanah dkk., 2020). Salah satu monomer fungsional yang sering digunakan dalam sintesis polimer bercetakan molekul adalah asam metakrilat (MAA) karena monomer ini dapat berinteraksi dengan molekul cetakan melalui ikatan hidrogen dan membentuk pasangan ion (Fauziah, 2016).

Pengikat silang atau *crosslinker* juga berperan penting dalam pembuatan polimer bercetakan molekul karena senyawa ini dapat mempengaruhi hasil akhir sintesis MIP (Fauziah, 2016). Menurut Hasanah dkk. (2020), selektivitas MIP sangat dipengaruhi oleh jenis dan jumlah pengikat silang yang digunakan. Senyawa trimetilpropan trimetakrilat (TRIM) adalah salah satu pengikat silang yang paling umum digunakan dan menunjukkan sifat adsorpsi lebih tinggi dibandingkan dengan etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) (Ceglowski dkk., 2022). Pemilihan pelarut juga perlu diperhatikan karena memiliki peran penting dalam sintesis MIP. Pelarut dengan polaritas yang rendah dapat mengurangi interferensi atau gangguan selama pembentukan kompleks antara monomer dan molekul cetakan untuk menghasilkan MIP dengan selektivitas yang tinggi (Lah dkk., 2019). Salah satu pelarut porogen yang sering digunakan adalah toluena karena memiliki polaritas yang sangat rendah dan dapat meningkatkan efisiensi pencetakan (Hasanah dkk., 2020).

Selain komponen-komponen utama tersebut, pemilihan metode polimerisasi juga perlu dilakukan. Beberapa metode polimerisasi yang dapat digunakan, antara lain metode ruah, presipitasi, suspensi, dan emulsi (Rochmadi dan Permono, 2018). Polimerisasi presipitasi merupakan salah satu metode yang lebih sederhana dibandingkan dengan metode polimerisasi lainnya untuk memperoleh karakteristik MIP yang diinginkan karena metode ini menghasilkan polimer dengan ukuran partikel yang seragam. Metode polimerisasi presipitasi dapat mengurangi kemungkinan kerusakan atau berkurangnya massa polimer yang disebabkan oleh proses penghancuran dan penyaringan seperti pada metode ruah (Atqar dan Sianita, 2021).

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan sebelumnya, penelitian tentang sintesis dan karakterisasi polimer bercetakan molekul dilakukan dengan menggunakan kombinasi monomer MAA dan pengikat silang TRIM melalui metode polimerisasi presipitasi yang dilakukan untuk memperoleh MIP DEHP. Material ini akan digunakan sebagai adsorben pada metode SPE. Material MIP yang diperoleh kemudian dikarakterisasi dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk melihat morfologi permukaannya, *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) untuk mengetahui komposisi unsur penyusunnya, *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk menentukan gugus fungsi yang berperan dalam sintesis MIP, dan *Surface Area Analyzer* (SAA) untuk luas permukaan, volume, dan diameter pori. Kemampuan MIP untuk mengikat senyawa DEHP akan dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. bagaimana hasil polimer bercetakan molekul di-(2-etilheksil)ftalat (DEHP) yang disintesis menggunakan kombinasi asam metakrilat (MAA) dan pengikat silang trimetilpropan trimetakrilat (TRIM) dengan metode polimerisasi presipitasi?
2. bagaimana karakteristik dari polimer bercetakan molekul di-(2-etilheksil)ftalat?
3. bagaimana model kinetika adsorpsi yang sesuai untuk polimer bercetakan molekul DEHP berdasarkan pengaruh variasi waktu?
4. bagaimana kapasitas adsorpsi DEHP oleh polimer bercetakan molekul DEHP berdasarkan pengaruh variasi konsentrasi?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

1.3.1 Maksud Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah melakukan sintesis polimer bercetakan molekul di-(2-etilheksil)ftalat (DEHP) yang disintesis menggunakan kombinasi asam metakrilat (MAA) dan pengikat silang trimetilpropan trimetakrilat (TRIM) dengan metode polimerisasi presipitasi.

1.3.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. melakukan sintesis polimer bercetakan molekul di-(2-etilheksil)ftalat (DEHP) menggunakan kombinasi asam metakrilat (MAA) dan pengikat silang trimetilpropan trimetakrilat (TRIM) dengan metode polimerisasi presipitasi.

2. melakukan karakterisasi terhadap polimer bercetakan molekul di-(2-etilheksil)ftalat.
3. menganalisis model kinetika adsorpsi yang sesuai untuk MIP DEHP berdasarkan pengaruh variasi waktu.
4. menentukan kapasitas adsorpsi DEHP oleh polimer bercetakan molekul DEHP berdasarkan pengaruh variasi konsentrasi.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang cara mensintesis MIP DEHP menggunakan metode polimerisasi presipitasi dan menghasilkan material cerdas yang dapat dimanfaatkan sebagai adsorben atau fasa diam pada SPE, maupun diaplikasikan dalam proses pemurnian, serta sebagai bahan material untuk pembuatan sensor kimia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

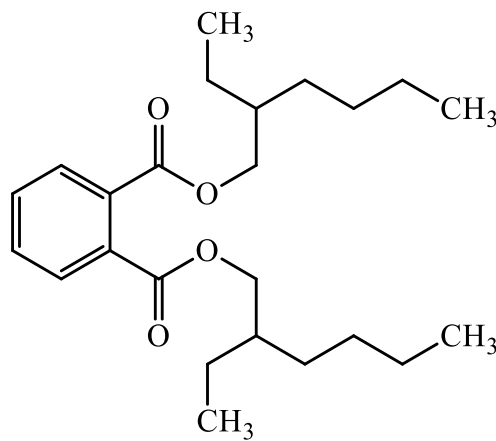
2.1 Kemasan Makanan dan Minuman Berbahan Plastik

Penggunaan plastik sebagai kemasan makanan dan minuman sudah tidak dapat dihindari dalam kehidupan sehari-hari. Perkembangan pengemasan makanan dan minuman khususnya di bidang industri menjadi sangat pesat. Hal tersebut terjadi karena plastik menjadi penentu dalam menunjang pertumbuhan ekonomi. Selain di bidang industri, kemasan plastik juga banyak digunakan oleh retail, pedagang tradisional, dan rumah tangga (Kamsiati dkk., 2017). Data dari Kementerian Perindustrian menyebutkan bahwa sekitar 78% industri menggunakan plastik untuk kemasan makanan dan minuman (Lin, 2022).

Berbagai zat tambahan yang digunakan untuk memberikan karakteristik tertentu pada proses produksi plastik yang diinginkan, seperti fleksibilitas, bening, kekuatan, dan rentang toleransi suhu yang lebar (Ilmiawati dkk., 2017). Dibalik kegunaan plastik yang luas dan beragam, terdapat senyawa berbahaya di dalamnya yang merupakan sumber utama paparan bisfenol A (BPA) dan senyawa ftalat (Lucas dkk., 2022). Berdasarkan penelitian yang dilakukan Girsang dkk., (2020) migrasi senyawa kimia yang merupakan paparan BPA dan senyawa ftalat dapat menyebabkan kontaminasi pada air dalam kemasan plastik yang digunakan. Senyawa BPA dan ftalat bersifat kronis yang terbukti mempengaruhi reproduksi dan dapat menimbulkan gangguan sistem endokrin (hormon) (Lucas dkk., 2022).

2.2 Senyawa Di-(2-Etilheksil)Ftalat (DEHP)

Senyawa DEHP merupakan senyawa organik yang memiliki rumus kimia $C_{24}H_{38}O_4$. Senyawa DEHP yang juga disebut sebagai bis(2-etilheksil)ftalat atau dioktil ftalat (DOP) adalah senyawa ftalat yang paling umum digunakan sebagai bahan pemlastis untuk produk polimer. Senyawa DEHP bersifat cair, tidak berwarna dan hampir tidak berbau, titik didih $384\text{ }^{\circ}\text{C}$, titik leleh $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$, massa jenis $0,984\text{ g/cm}^3$ pada $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, kelarutan dalam air $0,27\text{ mg/L}$ pada $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, sedikit larut dalam karbon tetraklorida, larut dalam darah dan cairan yang mengandung lipoprotein. Senyawa DEHP terdiri dari sepasang ester dengan delapan atom karbon. Ester terhubung ke cincin asam benzena dikarboksilat (Rowdhwal dan Chen, 2018; ATSDR, 2002). Struktur senyawa DEHP dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur senyawa di-(2-etilheksil)ftalat (Rowdhwal dan Chen, 2018).

Menurut Amin dkk. (2018), bahan yang ditambahkan ke dalam botol plastik jenis PET yang umum digunakan sebagai pengemas air mineral atau minuman ringan adalah senyawa DEHP. Kandungan DEHP pada bahan polimer

pembuatan botol plastik tersebut bervariasi tetapi umumnya sebesar 30-35% (b/b) (Braun, 2022). Botol PET dengan bobot 18,9854 g mengandung DEHP sebesar 5,6956 g. Jumlah tersebut dapat menyebabkan minuman terkontaminasi dengan kelarutan DEHP dalam air sebesar 40 bpj, sedangkan ambang batas DEHP dalam air minum yang diatur oleh *Environmental Protection Agency* (EPA) adalah 6 bpj (Amin dkk., 2018).

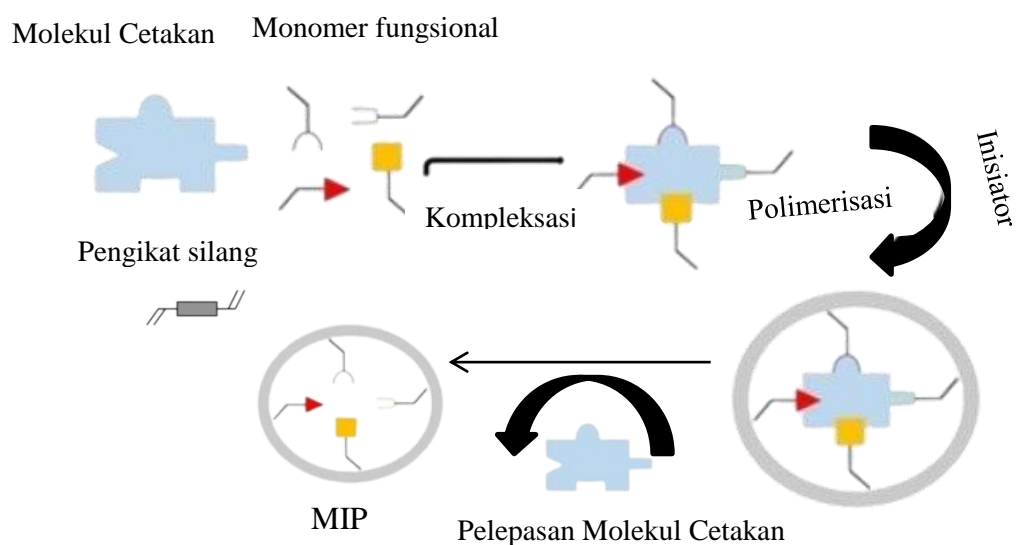
Senyawa DEHP sebagai bahan pemlastis pada botol plastik telah diatur penggunaannya dalam Peraturan Kepala Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia Nomor Hk.03.1.23.07.11.6664 Tahun 2011 tentang pengawasan kemasan pangan. Batas migrasi untuk bahan pemlastis di-(2-etilheksil)ftalat (DEHP) yaitu 1,5 bpj. Meskipun demikian, perlu diwaspadai suhu air dalam botol PET apabila mencapai ≥ 45 °C, senyawa DEHP dapat bermigrasi ke dalam air minum. Senyawa DEHP dapat bermigrasi dari bentuk terikat pada botol ke dalam air dengan membentuk sistem koloid. Migrasi DEHP dipengaruhi oleh keasaman (pengawet yang digunakan), suhu, dan waktu. Penggunaan botol PET yang berulang-ulang juga dapat meningkatkan migrasi DEHP ke dalam air minum karena degradasi pemlastis dari botol PET. Senyawa DEHP yang bermigrasi ke dalam air minum berbahaya bagi kesehatan manusia karena merupakan zat yang bersifat karsinogenik (Widoastuti dkk., 2018).

Masalah kesehatan yang dapat disebabkan oleh terpaparnya senyawa DEHP, antara lain kerusakan hati dan ginjal, gangguan pada organ reproduksi serta dapat menyebabkan kanker (Widoastuti dkk., 2018). Senyawa ini juga terbukti bisa menyebabkan tumor hati pada tikus. Senyawa monoester, mono-(2-etilheksil)ftalat (MEHP) yang merupakan hasil degradasi senyawa DEHP bisa menyebabkan kerusakan DNA (Amin dkk., 2018).

2.3 *Molecularly Imprinted Polymers (MIP) atau Polimer Bercetakan Molekul*

Material MIP atau polimer bercetakan molekul (PBM) adalah jenis material sintesis yang memiliki kemampuan mengenali molekul target secara spesifik (Mustapa dan Zulfikar, 2023). Kemampuan MIP untuk mengenali molekul analit secara selektif didasarkan adanya interaksi intermolekuler seperti ikatan hidrogen, interaksi dipol-dipol dan interaksi ionik (Utari dan Halimah, 2018). Sintesis MIP didasarkan pada pembentukan kompleks antara molekul cetakan dan monomer fungsional dalam pelarut tertentu sehingga membentuk ruang polimer tiga dimensi dengan adanya agen pengikat silang dalam jumlah berlebih (Guc dan Schroeder, 2019).

Proses pembentukan polimer dimulai dengan mereaksikan molekul cetakan, monomer fungsional, agen pengikat silang dan inisiator. Molekul cetakan lalu diekstraksi dari polimer sehingga membentuk rongga yang spesifik (Culver dkk., 2017). Keberhasilan pembentukan MIP didasarkan pada pembentukan kompleks polimer yang stabil antara molekul cetakan dengan monomer (Sanchez-Gonzalez dkk., 2019). Prinsip pembentukan MIP dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses sintesis MIP (Pereira dkk., 2018)

Material MIP berfungsi untuk mengenali berbagai macam molekul target dengan afinitas dan selektifitas seperti antibodi. Selain memiliki sifat ketahanan dan kemudahan dalam pembuatan reseptor buatan, MIP juga berperan dalam pemecahan masalah di bidang pemisahan kimia preparatif, ekstraksi fase padat dan penginderaan (Sanchez-Polo dkk., 2015). Keuntungan utama dari material MIP selain memiliki tingkat selektifitas dan afinitas yang tinggi untuk molekul target yang digunakan dalam proses pencetakan (Hasanah dkk., 2021), juga memiliki kemampuan untuk digunakan secara berulang jika dibandingkan dengan jenis adsorben konvensional, seperti karbon aktif (Mustapa dan Zulfikar, 2023). Aplikasi dari MIP ditemukan hampir dalam setiap aspek kehidupan karena MIP dapat digunakan secara luas dalam berbagai bidang, seperti analisis obat-obatan, kualitas makanan dan minuman, analisis polutan lingkungan, analisis doping dan pemantauan obat terapeutik (Hasanah dkk., 2021). Kemudahan dalam preparasi MIP menjadikannya sebagai salah satu bidang penelitian yang patut dikembangkan karena lebih murah untuk disintesis dan masa simpan polimer bisa sangat lama (Adumitrachioaie dkk., 2018).

Sintesis MIP memiliki komponen-komponen penyusun yang perlu diperhatikan dalam proses polimerisasi agar menghasilkan rongga yang berfungsi untuk mengenali molekul target dengan struktur, ukuran dan sifat fisika-kimia yang sama dengan molekul cetakan, yaitu molekul cetakan, monomer fungsional, pengikat silang, inisiator dan pelarut porogen (Belbruno, 2019).

a. Molekul cetakan

Molekul cetakan pada sintesis MIP merupakan kunci utama karena sebagai cetakan yang membentuk rongga yang spesifik untuk molekul dapat terikat

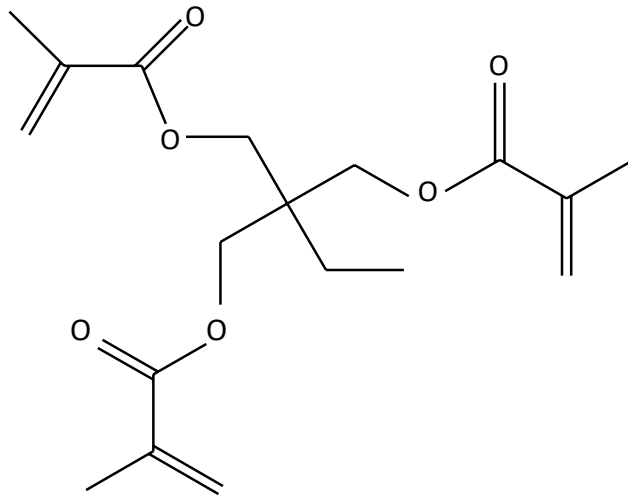
(Afifah dan Wicaksono, 2018). Molekul cetakan memiliki peranan penting dalam pembentukan rongga atau pori yang spesifik, dimana rongga tersebut menjadi pusat keberadaan gugus fungsi yang berasal dari monomer fungsional yang akan digunakan dalam sintesis MIP (Mardiana dan Nuraisyah, 2022). Molekul cetakan yang umumnya digunakan dalam sintesis MIP merupakan molekul-molekul organik kecil seperti senyawa aktif maupun senyawa berbahaya bagi lingkungan seperti senyawa-senyawa ftalat, yaitu di-(2-etiheksil)ftalat (DEHP), dibutilftalat (DBP), dan dimetilftalat (DMP) yang sering digunakan sebagai zat aditif dalam industri plastik (Murdaya dkk., 2022).

b. Pengikat silang

Pembentukan struktur polimer yang kaku merupakan kegunaan pengikat silang yang berfungsi sebagai penghubung yang mengikat rantai monomer fungsional dengan molekul cetakan (Murdaya dkk., 2022). Selain untuk mengontrol morfologi matriks polimer dan menstabilkan sisi pengikatan pada rongga cetakan, peranan pengikat silang yang lainnya adalah memberi stabilitas mekanis ke matriks polimer sehingga jumlah dan sifat dari pengikat silang mempengaruhi selektifitas, efisiensi, dan kemampuan mengikat MIP (Sooraj dkk., 2020). Jumlah pengikat silang yang rendah menyebabkan rongga spesifik untuk molekul target akan berkurang sehingga polimer yang dihasilkan tidak stabil (Asni dan Sianita, 2020).

Menurut Liang dkk. (2016), beberapa pengikat silang yang telah digunakan dalam sintesis MIP yaitu etilen glikol dimetakrilat (EGDMA), divinilbenzena (DVB), trimetilpropan trimetakrilat (TRIM), dan pentaeritritol triakrilat (PETA). Senyawa TRIM dan EGDMA adalah pengikat silang yang

paling umum digunakan. Menurut Ceglowski dkk. (2022), MIP yang disintesis menggunakan pengikat silang TRIM menunjukkan sifat adsorpsi yang lebih tinggi dibandingkan dengan EGDMA. Struktur TRIM dapat dilihat pada Gambar 3.

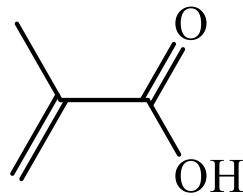


Gambar 3. Struktur trimetilpropan trimetakrilat (TRIM) (Vijayakumar dkk., 2021)

c. Monomer fungsional

Monomer fungsional adalah salah satu parameter yang digunakan sebagai penentu keberhasilan proses polimersiasi pada MIP (Chrisnandari dkk., 2018). Monomer fungsional yang dipilih untuk sintesis MIP harus memiliki struktur yang dapat berinteraksi dengan molekul target melalui ikatan kovalen atau non-kovalen (Aprilia dkk., 2020). Gugus fungsi ganda yang terdapat dalam monomer fungsional sangat penting dalam pembentukan sisi pengikatan dengan molekul cetakan sehingga akan terbentuk struktur polimer yang lebih stabil (Asni dan Sianita, 2020). Salah satu faktor yang menjadi penentu kuat lemahnya interaksi dengan molekul cetakan yaitu pada monomer fungsional (Afifah dan Wicaksono, 2018).

Menurut Atqar dan Sianita (2021), sintesis yang menggunakan monomer asam metakrilat (MAA) dapat dihasilkan melalui interaksi non-kovalen melalui ikatan hidrogen dengan molekul cetaknya karena struktur MAA memiliki gugus karboksil. Monomer asam metakrilat (MAA) merupakan monomer yang universal dan paling sering digunakan dalam sintesis MIP karena menunjukkan reaksi dimerisasi yang meningkatkan efek pencetakan (Golker, 2013). Struktur MAA dapat dilihat pada Gambar 4.

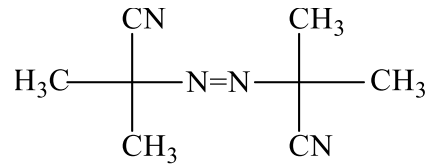


Gambar 4. Struktur asam metakrilat (MAA) (Saheed dkk., 2020)

d. Inisiator

Inisiator merupakan senyawa yang mudah membentuk radikal bebas yang dapat digunakan untuk meningkatkan laju polimerisasi. Terbentuknya radikal bebas pada inisiator dapat disebabkan adanya pemanasan, paparan cahaya, dan secara kimiawi atau elektrokimia, tergantung pada sifat kimianya. Inisiator dengan aktivitas rendah harus diradikalisasi dengan cahaya ultraviolet karena dengan pemanasan dapat mengurangi efisiensi pencetakan molekul, terutama jika molekul cetaknya labil dalam suhu tinggi. Inisiator 2,2-azobisisobutironitril (AIBN) merupakan salah satu contoh inisiator yang dapat digunakan sebagai pembentuk radikal bebas yang berperan dalam proses polimerisasi. Inisiator AIBN membentuk radikal bebas dengan pemanasan pada suhu 60-70 °C. Dalam proses sintesis MIP, terjadi reaksi polimerisasi oleh inisiator AIBN. Ikatan rangkap akan

terpecah dan akan terjadi kombinasi molekul yang panjang (Amin, 2018). Struktur inisiator AIBN dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur 2,2-Azobisisobutyronitril (AIBN) (Kusumkar dkk., 2021)

e. Pelarut porogen

Material MIP biasanya disintesis dalam pelarut organik untuk meningkatkan ikatan hidrogen dan interaksi elektrostatik antara molekul cetakan dan monomer fungsional (Shen dkk., 2015). Polaritas pelarut sangat mempengaruhi interaksi pada molekul cetakan dengan monomer fungsional. Pelarut porogen yang memiliki polaritas lebih rendah dapat meningkatkan interaksi yang terbentuk antara molekul cetakan dan monomer fungsional (Wloch dan Datta, 2019). Interaksi antara monomer fungsional dengan molekul cetakan menjadi suatu hal yang penting dalam penentuan pelarut porogen yang digunakan dalam sintesis MIP sehingga perlu diketahui interaksi yang terjadi antara monomer fungsional dengan molekul cetakan. Pelarut porogen polar yang sering digunakan dalam sintesis MIP, yaitu DMSO, asetonitril, dan juga metanol maupun alkohol alifatik lainnya atau campuran dari porogen-porogen tersebut. Pelarut porogen nonpolar yang biasanya digunakan dalam sintesis MIP adalah kloroform, toluena, THF, DCM dan heksana (Afgani dan Destiani, 2018).

Pelarut porogen harus dapat melarutkan molekul cetakan, inisiator, monomer dan pengikat silang (Anene dkk., 2020). Pelarut porogen merupakan

salah satu faktor yang dapat mempengaruhi morfologi dan ukuran polimer yang terbentuk serta interaksi molekul cetakan dan monomer pada sintesis MIP (Hasanah dkk., 2021). Morfologi dari material MIP tersebut dapat dilihat dari luas permukaan pori, diameter pori dan volume pori. Hasil sintesis MIP yang baik memiliki luas permukaan yang besar karena memungkinkan semakin banyak molekul target yang dapat terperap (Afgani dan Destiani, 2018).

2.4 Polimerisasi

Polimer berasal dari dua kata Yunani, yaitu “*polys*” yang berarti banyak dan “*meros*” yang berarti bagian-bagian. Suatu polimer berarti zat yang memiliki ratusan atau ribuan banyak bagian kecil identik yang dikenal sebagai monomer yang terikat secara kovalen dalam proses kimia yang disebut proses polimerisasi (Mahfud dan Sabara, 2018). Menurut Luscombe dkk. (2022), polimerisasi adalah suatu jenis reaksi kimia yang mengubah molekul-molekul kecil (monomer) membentuk molekul besar (makromolekul).

Polimerisasi terjadi melalui tiga tahap reaksi, yaitu inisiasi atau penyusunan, propagasi atau perpanjangan rantai dan terminasi atau penghentian (Rochmadi dan Permono, 2021). Tahapan inisiasi merupakan tahap awal terbentuknya spesies radikal. Secara umum, ini adalah peristiwa pembelahan homolitik yang jarang terjadi karena hambatan energi. Biasanya tahapan ini terbentuk karena pengaruh beberapa hal seperti, suhu tinggi, UV ataupun katalis yang mengandung logam digunakan sebagai penghalang energi. Pada tahapan propagasi, terjadi perpanjangan rantai polimer secara berulang. Radikal bebas reaktif yang dihasilkan, menjadi pemicu untuk bereaksi dengan molekul stabil dan

membentuk radikal bebas baru. Hal ini terus berlangsung dengan melibatkan abstraksi hidrogen atau penambahan radikal menjadi ikatan rangkap dan menghasilkan banyak radikal bebas. Sementara pada tahapan terminasi, reaksi radikal akan berhenti jika dua radikal saling bereaksi dan menghasilkan suatu spesies non radikal (Labola dan Puspita, 2017).

Polimerisasi dapat dilakukan dengan banyak metode. Menurut Rochmadi dan Permono (2021), metode polimerisasi yang umum digunakan adalah polimerisasi larutan dan presipitasi, polimerisasi ruah, polimerisasi antar-muka, polimerisasi suspensi, dan polimerisasi emulsi. Menurut Pratiwi dkk. (2019), metode polimerisasi presipitasi menghasilkan MIP yang memiliki selektifitas yang lebih baik daripada metode polimerisasi ruah yang sejenis. Polimerisasi presipitasi merupakan salah satu metode yang mudah dan sesuai untuk memperoleh karakteristik MIP yang diinginkan. Polimer yang dihasilkan dari polimerisasi presipitasi menghasilkan MIP yang lebih selektif karena mempunyai partikel yang relatif lebih besar dan lebih banyak sisi pengikatan di permukaannya (Zhao dkk., 2017; Pratiwi dkk., 2019). Polimerisasi presipitasi dapat menghasilkan polimer yang memiliki afinitas lebih tinggi dan distribusi letak pengikatan yang lebih homogen karena berkurangnya massa polimer yang disebabkan oleh proses penggerusan dan pengayakan (Okutucu, 2020).

2.5 Karakterisasi pada Polimer Bercetakan Molekul

Keberhasilan sintesis polimer bercetakan molekul dapat dilihat dengan melakukan karakterisasi. Menurut Fauziah (2016), FTIR merupakan salah satu teknik analisis spektroskopi yang sering digunakan untuk mengetahui puncak serapan dari gugus fungsi yang ada dalam molekul hasil sintesis polimer. Polimer

merupakan jenis sampel yang paling umum dianalisis dengan spektroskopi inframerah (Smith, 2021).

Karakterisasi pada MIP dengan mengamati morfologinya dapat dilakukan melalui analisis SEM yang digunakan untuk menjelaskan karakteristik morfologi baik dari bentuk maupun struktur permukaan MIP. Karakterisasi SEM juga dilengkapi dengan data EDS sehingga dapat diketahui komponen unsur penyusun yang terkandung dalam MIP. Karakterisasi menggunakan instrumen SAA dapat dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai luas permukaan, volume, dan diameter pori pada sampel. Luas permukaan spesifik, volume rata-rata, dan diameter pori dihitung menggunakan model isoterm Brunauer, Emmet, dan Teller (BET) (Hasanah dkk., 2020).

2.6 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan kemampuan yang dimiliki suatu padatan tertentu untuk menyerap suatu komponen dalam campuran gas atau cairan ke dalam permukaan padatan. Proses ini terjadi akibat kecenderungan molekul di permukaan padat tersebut untuk menarik molekul lain dalam campuran gas atau cairan. Substansi yang diserap dalam proses adsorpsi disebut adsorbat, sedangkan substansi yang mengadsorpsi disebut adsorben. Berdasarkan interaksi molekuler antara permukaan adsorben dengan adsorbat, adsorpsi dibedakan menjadi 2 jenis yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisika atau adsorpsi Van der Waals yang terjadi merupakan hasil dari gaya intermolekuler antara padatan (adsorben) dengan zat terlarut (adsorbat). Adsorpsi fisika memiliki kegunaan dalam hal penentuan luas permukaan dan ukuran pori, sedangkan adsorpsi kimia

atau proses adsorpsi aktif yang terjadi merupakan hasil interaksi kimia antara padatan dengan adsorbat. Adsorpsi kimia ini diawali dengan adsorpsi fisik dimana adsorbat mendekat ke permukaan adsorben melalui gaya Van der Waals atau ikatan hidrogen kemudian diikuti oleh adsorpsi kimia. Adsorpsi kimia biasanya untuk penentuan daerah pusat aktif dan kinetika reaksi permukaan (Widi, 2018; Koto dkk., 2019).

Menurut Anggriani dkk. (2021), interaksi kimia hanya terjadi pada lapisan penyerapan tunggal permukaan dinding sel adsorben. Kapasitas adsorpsi dan persentase adsorpsi yang tinggi adalah ciri yang dimiliki oleh adsorben yang baik (Marchsal dkk., 2018). Kapasitas adsorpsi dapat dihitung dengan persamaan (1) dan persentase hasil adsorpsi dapat menggunakan persamaan (2) (Obaid, 2020; Baunsele dan Missa, 2020):

$$Q = \frac{(C_o - C_e) V}{m} \quad (1)$$

$$R = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

- Q = Kapasitas adsorpsi (mg/g)
- R = Hasil penyerapan (%)
- C_o = Konsentrasi awal larutan (mg/L)
- C_e = Konsentrasi larutan setelah proses adsorpsi (mg/L)
- m = Massa adsorben yang digunakan (g)

Adsorpsi cairan pada permukaan dapat diketahui melalui beberapa model isotermis. Persamaan isoterm adsorpsi digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi maksimum pada MIP terhadap DEHP. Persamaan isoterm yang umum digunakan adalah isoterm Langmuir dan isoterm Freundlich (Rahmi, 2018).

Persamaan isoterm Langmuir dapat dilihat pada persamaan (3) (Miri dan Narimo, 2022):

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} \times \frac{1}{C_e} + \frac{1}{q_m} \quad (3)$$

dan persamaan isoterm adsorpsi Freundlich ditunjukkan pada persamaan (4) (Fauziah., 2016):

$$q_e = K \cdot C_e^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

Persamaan (4) dapat diubah ke dalam bentuk logaritma, sehingga dapat dituliskan seperti persamaan (5):

$$\text{Log } q_e = \frac{1}{n} \log C_e + \log K_F \quad (5)$$

Keterangan:

- C_e = Konsentrasi saat kesetimbangan (mg/L)
- q_e = Jumlah zat teradsorpsi saat kesetimbangan (mg/g)
- q_m = Kapasitas adsorpsi maksimum *monolayer* (mg/g)
- K_L = Konstanta afinitas adsorpsi atau konstanta kesetimbangan (L/mg)
- K_F = Kapasitas adsorpsi (mg/g)
- $\frac{1}{n}$ = Konstanta Freundlich menyatakan faktor heterogenitas

2.7 Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi merupakan salah satu aspek yang sering diteliti untuk mengevaluasi karakteristik dari adsorben (Nafi'ah, 2016). Luas permukaan merupakan salah satu karakter fisik dari suatu adsorben. Semakin luas permukaan adsorben yang digunakan, maka semakin banyak zat yang dapat diserap sehingga proses adsorpsi berlangsung lebih cepat (Kasturi dkk., 2019). Beberapa model kinetika yang dapat ditentukan adalah kinetika orde satu semu dan orde dua semu.

Orde reaksi menyatakan ketergantungan laju reaksi terhadap konsentrasi suatu zat yang bereaksi. Persamaan yang digunakan untuk menghitung laju reaksi dapat menggunakan persamaan orde satu semu dan orde dua semu. Persamaan kinetika reaksi orde satu semu dapat dihitung menggunakan rumus pada persamaan (6) (Baunsele dan Missa, 2020):

$$\frac{dq_t}{dt} = K_1 (q_e - q_t) \quad (6)$$

Setelah diintegrasikan dan menerapkan kondisi awal $q_t = 0$ pada $t = 0$ dan $q_t = q_t$ pada $t = t$, maka persamaan menjadi persamaan (7):

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - \ln K_1 t \quad (7)$$

Keterangan:

K_1 = tetapan laju adsorpsi pada orde satu semu (menit^{-1})

q_t = jumlah molekul target yang diadsorpsi pada t menit (mg/g)

q_e = jumlah molekul target yang diadsorpsi saat kesetimbangan (mg/g)

t = waktu (menit)

Persamaan (7) biasanya disebut Lagergen orde satu atau pseudo orde satu. Kinetika adsorpsi orde satu tergantung pada jumlah adsorbat pada permukaan adsorban pada waktu tertentu dan ketika waktu kesetimbangan. Selain persamaan di atas, persamaan orde dua semu dinyatakan dalam persamaan (8) (Baunsele dan Missa, 2020):

$$\frac{dq_t}{dt} = K_2 (q_e - q_t)^2 \quad (8)$$

Keterangan:

K_2 = tetapan laju adsorpsi pada orde dua semu (menit^{-1})

Setelah persamaan diintegrasikan dengan $t = 0$ hingga $t = t$ dan $q = 0$ dan $q = q_e$, maka persamaan menjadi persamaan (8):

$$\frac{1}{q_e - q_t} = \frac{1}{q_e} + K_2 t \quad (9)$$

atau dapat dituliskan seperti persamaan (10):

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (10)$$

dengan memplot t/q_t vs t (waktu) akan memberikan garis lurus. Jika kinetika orde kedua berlaku maka nilai-nilai q_e dan K_2 dapat dihitung dari nilai kemiringan dan intersep (Kurniawan dkk., 2016).