

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI POLIMER BERCETAKAN  
MOLEKUL SEBAGAI ADSORBEN DIBUTIL FTALAT DENGAN  
MENGUNAKAN MONOMER METAKRILAMIDA DAN PENGIKAT  
SILANG ETILEN GLIKOL DIMETAKRILAT**

**SULFA MUBARIKA**

**H031 19 1056**



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

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI POLIMER BERCETAKAN  
MOLEKUL SEBAGAI ADSORBEN DIBUTIL FTALAT DENGAN  
MENGUNAKAN MONOMER METAKRILAMIDA DAN PENGIKAT  
SILANG ETILEN GLIKOL DIMETAKRILAT**

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

**Oleh :**

**SULFA MUBARIKA**

**H031191056**



**MAKASSAR**

**2023**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI POLIMER BERCETAKAN  
MOLEKUL SEBAGAI ADSORBEN DIBUTIL FTALAT DENGAN  
MENGUNAKAN MONOMER METAKRILAMIDA DAN PENGIKAT  
SILANG ETILEN GLIKOL DIMETAKRILAT**

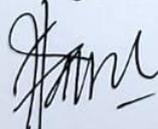
**Disusun dan diajukan oleh:**

**SULFA MUBARIKA  
H031191056**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin pada tanggal 10 Agustus 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

**Pembimbing Utama**



**Dr. St. Fauziah, M.Si**  
NIP. 19720202 199903 2 002

**Pembimbing Pertama**



**Prof. Paulina Taba, M.Phil., Ph.D**  
NIP. 19571115 198810 2 001

**Ketua Program Studi**



**Dr. St. Fauziah, M.Si**  
NIP. 19720202 199903 2 002

## PERYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sulfa Mubarika

NIM : H031191056

Program Studi : Kimia

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa Skripsi dengan judul “Sintesis dan Karakterisasi Polimer Bercetakan Molekul sebagai Adsorben Dibutil Ftalat dengan menggunakan Monomer Metakrilamida dan Pengikat Silang Etilen Glikol Dimetakrilat” adalah benar karya saya sendiri dan tidak melanggar hak cipta pihak lain. Apabila dikemudian hari Skripsi saya ini terbukti bahwa sebagian atau keseluruhannya adalah hasil karya orang lain yang saya pergunakan dengan cara melanggar hak cipta pihak lain, maka saya bersedia menerima sanksi.

Makassar, 14 Agustus 2023

Yang Menyatakan

  
Sulfa Mubarika

## PRAKATA

*Bismillahirrahmanirrahim,*

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan nikmat dan hidayah-Nya, salam dan salawat tak lupa kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membimbing umat manusia menuju zaman yang penuh pengetahuan dan kebaikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Sintesis dan Karakterisasi Polimer Bercetakan Molekul sebagai Adsorben Dibutil Ftalat dengan Monomer Metakrilamida dan Pengikat Silang Etilen Glikol Dimetakrilat”** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains, Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.

Selama menyelesaikan tugas ini banyak pihak yang memberikan dukungan serta bantuan, sehingga tugas ini dapat diselesaikan dengan baik walaupun terdapat banyak hambatan. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada

1. ibu **Dr. St. Fauzaih, M.Si** selaku pembimbing utam dan ibu **Prof. Paulina Taba, M.Phil., Ph.D.** selaku pembimbing pertama yang telah banyak meluangkan waktu, senantiasa memberikan ilmu, pemikiran, motivasi, serta bimbingan kepada penulis selama melaksanakan penelitian sampai proses penyelesaian skripsi.
2. tim penguji sarjana, ibu **Prof. Dr. Hasnah Natsir, M.Si** selaku ketua penguji dan bapak **Dr. Syahrudin Kasim, S.Si., M.Si** selaku sekretaris

penguji, atas saran dan masukannya, semoga selalau diberkahi oleh Allah SWT.

3. Ibu koordinator seminar **Bulkis Musa, S.Si., M.Si** dan ibu **Dr. Rugaiyah A. Arfah, M.Si** 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 memberikan ilmu kepada penulis selama menempuh pendidikan. Semoga selalu dalam lindungan Allah SWT.
5. para seluruh staf dan analis Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, terkhusus kepada pak **Moh Iqbal**, selaku analis Laboratorium Kimia Fisika dan Laboratorium Kimia Terpadu (instrument UV-Vis), serta **ibu Kartini** selaku analis Laboratorium Kimia Terpadu (instrument FTIR) yang telah banyak meluangkan waktu dan membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian.
6. tersayang dan tercinta kedua orang tua penulis ayahanda **Alm. H. Sultan** dan ibunda **Hj. Nurfadilah** atas kasih sayang, perhatian, do'a yang terus mengalir, motivasi, dan kerja kerasnya selama ini untuk penulis. Kakanda tersayang **Mursalin, Asriadi, Muliadi, Lutfiah**, dan **Mar** yang telah memberikan dukungan, bantuan, serta waktu untuk penulis.
7. Keluarga penulis **om Adi, tante Arni, tante Lia, om Tadjuddin, om Tasrief**, dan **tante Nita** yang selalu ada untuk membantu penulis selama berada di tanah rantau untuk menyelesaikan pendidikan sarjana ini. Serta

kepada seluruh keluarga yang tidak bisa saya sebutkan namanya satu persatu yang selalu memberikan dukungan kepada penulis.

8. tim **tugas kelar, Firna Aprilia, Putri Ranti Ashilah, Sitti Fathirah Kamaluddin, Nur Rahmi**, yang telah menjadi sahabat, teman diskusi tugas, dan teman berjuang selama penulis berkuliah di Unhas. Teman hidup **Andi Subhan Mubaraq** yang selalu ada untuk penulis.
9. **Firna Aprilia** selaku partner penelitian yang senantiasa mengingatkan, membantu, dan mendukung penulis selama penelitian hingga dapat menyelesaikan skripsi secara bersama.
10. teman **makan-makan, Subhan, Qalby, Firna dan Suhe** yang setia membersamai penulis saat ingin makan dan masak.
11. **Nurul Qalbi** selaku teman kos penulis yang setia menemani dan selalu ada
12. **Phoenix Unhas** yang setia menemani dari awal kuliah hingga penulis menyelesaikan sarjana.
13. teman seangkatan **Kimia 2019**, terkhusus kepada **KONFIGURASI 2019** yang memberikan cerita dan pengalaman kepada penulis selama perkuliahan.
14. teman-teman peneliti Kimia Fisika, **Alif, Shabir, Mahdis, Firna, Cika, Helmi, Yola, dan Rach** yang banyak memberikan bantuan selama penulis meneliti di Laboratorium Kimia Fisika
15. teman-teman Polimer, **Firna, Cika, Helmi, Kak Hendrik dan Kak Noe** yang memberikan banyak bantuan dan masukan selama penulis mengerjakan penelitian.

16. teman Angkatan 2019 di **KM FMIPA Unhas** untuk semua cerita dan kenangan.

17. Kanda dan adinda warga dan alumni **KMK FMIPA Unhas** atas segala pengalaman dan cerita yang sangat menyenangkan.

18. teman KKN Posko 4 Rappang, **Luppi, Ati, Maya, Asia, Latifah, Sein** dan **Arka** serta bapak Posko **Pak Ismail** dan keluarga yang telah membantu dan memberikan cerita baru tak terlupakan selama penulis ber KKN.

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

Makassar, 2023

Penulis

## ABSTRAK

*Molecularly Imprinted Polymer* (MIP) atau polimer bercetakan molekul merupakan polimer yang memiliki rongga serta kemampuan untuk mengikat molekul target secara reversibel sehingga dapat digunakan sebagai absorben dalam proses pemisahan. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan sintesis, karakterisasi dan analisis dari optimasi kinerja MIP. Material MIP disintesis menggunakan metode polimesasi presipitasi yang didasarkan pada pencampuran larutan dengan menggunakan metakrilamida (MAM) sebagai monomer dan pengikat silang etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) serta dibutil ftalat (DBP) sebagai molekul cetakan pada proses polimerisasi. Material MIP dikarakterisasi menggunakan SEM-EDS, spektrofotometer FTIR, SAA, dan Spektrofotometer UV-Vis. Variabel uji kemampuan adsorpsi material MIP terhadap senyawa DBP adalah waktu dan konsentrasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa MIP yang telah disintesis merupakan padatan putih yang berbentuk butiran halus. Hasil karakterisasi dengan EDS menunjukkan adanya penurunan massa atom karbon dan persen atom karbon yang menandakan terekstraknya DBP dari MIP\_DBP\_MAM-co-EGDMA<sub>(TE)</sub> dan karakterisais dengan SEM menunjukkan morfologi permukaan butiran bulat kecil yang cenderung seragam. Gugus fungsi yang berpengaruh pada pembentukan polimer yang diperoleh dari data FTIR adalah gugus amina, gugus karbonil, dan gugus alkena. Karakterisasi dengan SAA menunjukkan luas permukaan spesifik pada MIP\_DBP\_MAM-co-EGDMA<sub>(TE)</sub>. Adsorpsi MIP\_DBP\_MAM-co-EGDMA<sub>(TE)</sub> terhadap DBP sesuai dengan model kinetika orde dau semu. Adsorpsi MIP\_DBP\_MAM-co-EGDMA<sub>(TE)</sub> sesuai dengan isotemal adsorpsi Langmuir.

**Kata kunci:** dibutil ftalat, etilen glikol dimetakrilat, metakrilamida, *molecularly imprinted polymer*, polimer.

## ABSTRACT

Molecularly Imprinted Polymer (MIP) is a polymer that possesses cavities and the ability to reversibly bind to target molecules, making it suitable for use as an absorbent in separation processes. This research aims to synthesize, characterize, and analyze the performance optimization of MIP. MIP materials are synthesized using the precipitation polymerization method based on the mixture of solutions using methacrylamide (MAM) as the monomer and the cross-linking agents ethylene glycol dimethacrylate (EGDMA) and dibutyl phthalate (DBP) as the template molecules in the polymerization process. The MIP materials are characterized using SEM-EDS, FTIR spectrophotometer, SAA, and UV-Vis spectrophotometer. The variables for testing the adsorption ability of MIP materials towards DBP compounds are time and concentration. The research results indicate that the synthesized MIP is a white solid in the form of fine grains. Characterization with EDS reveals a decrease in carbon atom mass and percentage of carbon atoms, indicating the extraction of DBP from MIP\_DBP\_MAM-co-EGDMA(TE), and characterization with SEM shows the surface morphology of small spherical grains that tend to be uniform. The functional groups influencing the polymer formation obtained from FTIR data are amine groups, carbonyl groups, and alkene groups. Characterization with SAA shows specific surface area in MIP\_DBP\_MAM-co-EGDMA(TE). The adsorption of MIP\_DBP\_MAM-co-EGDMA(TE) towards DBP follows the pseudo-second-order kinetic model. The adsorption of MIP\_DBP\_MAM-co-EGDMA(TE) fits the Langmuir adsorption isotherm.

Keywords: dibutyl phthalate, ethylene glycol dimethacrylate, methacrylamide, molecularly imprinted polymer, polymer.

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
PRAKATA.....	v
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
DAFTAR SIMBOL/SINGKATAN.....	xvii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	5
1.3.1 Maksud Penelitian.....	5
1.3.2 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Plastik dan Bahaya terhadap Kesehatan Lingkungan.....	7
2.2 Senyawa Dibutil Ftalat.....	9
2.3 Polimer Bercetakan Molekul dan Aplikasinya.....	10
2.4 Komponen pada Polimer Bercetakan Molekul.....	12
2.5 Mekanisme Polimerisasi.....	17
2.6 Metode Polimerisasi Presipitasi.....	20
	xi

2.7 Karakterisasi <i>Molecularly Imprinted Polymer</i> (MIP) .....	21
2.8 Adsorpsi .....	22
2.9 Kinetika Adsorpsi .....	24
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>27</b>
3.1 Bahan Penelitian.....	27
3.2 Alat Penelitian .....	27
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian .....	27
3.4 Prosedur Penelitian .....	28
3.4.1 Sintesis MIP dan NIP .....	28
3.4.2 Karakterisasi MIP dan NIP.....	29
3.4.3 Pembuatan Larutan Standar DBP 100 mg/L .....	30
3.4.4 Uji Adsorpsi DBP oleh MIP dan NIP .....	30
3.4.5 Penentuan Kinetika Adsorpsi MIP .....	31
3.4.6 Penentuan Kapasitas Adsorpsi .....	31
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>32</b>
4.1 Sintesis <i>Molecularly Imprinted Polymer</i> (MIP) .....	32
4.2 Karakterisasi MIP dan NIP.....	34
4.2.1 Karakterisasi MIP dan NIP menggunakan EDS .....	34
4.2.2 Karakterisasi MIP dan NIP menggunakan SEM .....	36
4.2.3 Karakterisasi MIP dan NIP menggunakan FTIR.....	37
4.2.4 Karakterisasi MIP menggunakan SAA.....	40
4.3 Adsorpsi DBP oleh MIP dan NIP .....	40
4.3.1 Pengaruh Waktu terhadap Adsorpsi DBP oleh MIP .....	41
4.3.2 Pengaruh Konsentrasi terhadap Adsorpsi DBP oleh MIP .....	44

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN .....	48
5.1 Kesimpulan .....	48
5.2 Saran .....	48
DAFTAR PUSTAKA .....	49
LAMPIRAN .....	56

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>		<b>Halaman</b>
1.	Uji kualitatif senyawa DBP yang telah diekstraksi dengan campuran pelarut methanol:asam asetat (8:2) dengan spektrofotometer UV.....	32
2.	Data EDS untuk NIP_MAM-co-EGDMA, MIP_DBP_MAM-co-EGDMA <sub>(BE)</sub> , MIP_DBP_MAM-co-EGDMA <sub>(TE)</sub> .....	35
3.	Data bilangan gelombang hasil analisis FTIR untuk monomer MAM, NIP_MAM-co-EGDMA, MIP_DBP_MAM-co-EGDMA <sub>(BE)</sub> , dan MIP_DBP_MAM-co-EGDMA <sub>(TE)</sub> .....	38
4.	Data parameter kinetika adsorpsi DBP oleh MIP_DBP_MAM-co-EGDMA <sub>(TE)</sub> berdasarkan persamaan kinetika orde satu semu dan kinetika orde dua semu.....	43
5.	Data parameter adsorpsi DBP oleh MIP_DBP_MAM-co-EGDMA <sub>(TE)</sub> yang diperoleh dari kurva isoterm adsorpsi Langmuir dan isoterm adsorpsi Freundlich.....	46

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur DBF.....	9
6. Skema Sintesis MIP.....	11
7. Struktur EGDMA.....	15
8. Struktur inisiator AIBN.....	17
9. Mekanisme tahap Inisiasi.....	18
10. Mekanisme tahap propagasi.....	19
11. Mekanisme tahap terminasi.....	20
12. Skema rekasi sintesis MIP_DBP_MAM-co-EGDMA, (a) tahap prapolimerisasi, (b) tahap polimerisasi, dan (c) tahap ekstrkasi molekul cetakan.....	33
13. Morfologi permukaan dengan perbesaran 10.000x menggunakan SEM untuk (a) NIP_MAM-co-EGDMA, (b) MIP_DPB_MAM-co-EGDMA <sub>(BE)</sub> , (c) MIP_DPB_MAM-co-EGDMA <sub>(TE)</sub> .....	36
14. Spektrum FTIR (a) monomer MAM, (b) NIP_MAM-co-EGDMA, (c) MIP_DPB_MAM-co-EGDMA <sub>(BE)</sub> , (d) MIP_DPB_MAM-co-EGDMA <sub>(TE)</sub> .....	37
15. Kemampuan adsorpsi DBP oleh NIP dan MIP.....	41
16. Pengaruh waktu terhadap jumlah DBP yang diadsorpsi oleh MIP_DBP_MAM-co-EGDMA <sub>(TE)</sub> .....	41
17. Kurva kinetika orde satu semu (a) dan orde dua semu (b) untuk adsorpsi DPB oleh MIP_DBP_MAM-co-EGDMA <sub>(TE)</sub> .....	42
18. Pengaruh konsentrasi terhadap jumlah DBP yang diadsorpsi oleh MIP_DBP_MAM-co-EGDMA <sub>(TE)</sub> .....	44
19. Kurva isothermal adsorpsi Langmuir (a) dan Freudlich (b) dari adsorpsi DBP oleh MIP_DBP_MAM-co-EGDMA <sub>(TE)</sub> .....	45
20. Kurva non linear MIP_DBP_MAM-co-EGDMA <sub>(TE)</sub> .....	46

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran</b>	<b>Halaman</b>
1. Bagan Alir Prosedur Kerja .....	56
2. Skema Sintesis Polimer Bercetakan Molekul DBF Menggunakan Metode Polimerisasi Presipitasi .....,,,.....	57
3. Data Spektrofotometer UV-Vis.....	61
4. Perhitungan.....	64
5. Dokumentasi Hasil Penelitian.....	71
6. Karakterisasi EDS.....	74
7. Karakterisasi FTIR.....	79
8. Karakterisais SAA.....	81

## DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

<b>Simbol/Singkatan</b>	<b>Arti</b>
MIP	<i>Molecularly Imprinted Polymer</i> (Polimer bercetakan molekul)
NIP	Non Imprinted Polymer
DBP	<i>Dibuthyl Phthalate</i>
MAM	Metakrilamida
AIBN	2,2-azobisisobutironitril
EGDMA	Etilen Glikol Dimetakrilat
SPE	<i>Solid Phase Extraction</i>
EDS	<i>Energy Dispersive Spectroscopy</i>
FTIR	<i>Fourier Transform Infrared</i>
UV-Vis	<i>Ultra-Violet Visible</i>
SEM	<i>Scanning Electron Microscope</i>
SAA	<i>Surface Area Analyzer</i>
(BE)	Belum Ekstraksi
(TE)	Telah Ekstraksi

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Industri polimer sintetik saat ini sangat berkembang dan membantu kehidupan, karena produknya lebih praktis dan lebih nyaman, sebagai contoh plastik. Plastik merupakan salah satu bahan yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, seperti botol minuman, alat makan, kantong pembungkus, kulkas, pipa, gigi palsu, dan mainan anak-anak (Karuniastuti, 2012).

Plastik memiliki keunggulan dibandingkan material lain, diantaranya kuat, ringan, fleksibel, tahan karat, tidak mudah pecah, mudah diberi warna, mudah dibentuk, serta isolator panas dan listrik yang baik (Surono, 2013). Beberapa jenis plastik yang sering ditemukan dalam kehidupan sehari-hari beberapa diantaranya PET (*PolyEthylene Terephthalate*), PP (*PolyPropylene*), PE (*PolyEthylene*), PVC (*Polyvinyl Chloride*), PS (*PolyStyrene*). Masing-masing dari jenis plastik tersebut memiliki fungsi dan sifat yang berbeda, sebagai contoh, PET merupakan plastik utama untuk pembuatan kantong kemasan pada makanan (Suminto, 2017).

Beberapa keunggulan plastik membuat peningkatan terhadap penggunaannya. Peningkatan penggunaan plastik merupakan konsekuensi dari perkembangan teknologi, industri dan jumlah populasi penduduk. (Surono, 2013). Permasalahan yang paling utama dari plastik adalah limbah plastik yang tidak dapat terurai secara alami (Suminto, 2017). Proses penguraian sampah plastik dalam tanah sampai terdekomposisi secara sempurna membutuhkan waktu 100-500 tahun (Rahmayani dan Aminah, 2021). Waktu yang diperlukan sangat lama untuk

membersihkan sampah plastik, terlebih lagi plastik menjadikan suhu udara menjadi lebih panas karena sifat polimernya yang tidak berpori (Suminto, 2017).

Plastik merupakan bahan sintesis dari hasil polimerisasi berbagai macam monomer (Fauzi dkk., 2020). Monomer merupakan bahan dasar pembuatan plastik yang ditambahkan bahan aditif untuk memberikan karakteristik atau sifat-sifat tertentu pada plastik. Agar plastik mempunyai sifat fleksibel, bahan pemlastis ditambahkan pada proses pembuatannya (Irwan dan Supeni, 2013). Salah satu bahan aditif yang ditambahkan adalah senyawa ftalat. *Environmental Protection Agency* (EPA) telah menyatakan bahwa senyawa ftalat termasuk toksik bagi manusia dan polutan di lingkungan (Laelasari dkk., 2021). Beberapa senyawa ftalat yang berbahaya diantaranya adalah *dimethyl phthalate* (DMP), *diethyl phthalate* (DEP), *dibutyl phthalate* (DBP), *benzyl buthyl phthalate* (BBP), *di-2-ethylhexyl phthalat* (DEHP), dan *dioctyl phthalate* (DOP) (Laelasari dkk., 2021).

Senyawa DBP adalah salah satu senyawa ftalat yang digunakan terutama sebagai *plasticizer* atau pemlastis untuk penambahan fleksibilitas pada plastik. Senyawa ini digunakan sebagai komponen dalam kemasan makanan, mainan maupun pada alat kesehatan. Senyawa ini telah terdaftar sebagai zat berbahaya yang dikontrol oleh Amerika Serikat dan Cina, karena zat tersebut sering terdeteksi di berbagai kompartemen lingkungan seperti, air, tanah, sedimen, makanan, dan bahkan cairan tubuh manusia. Oleh karena itu, DBP perlu dideteksi untuk mengevaluasi efek pencemarannya di lingkungan dan ancamannya terhadap kesehatan manusia (Zhou, 2021). Senyawa DBP dapat dianalisis dengan metode yang bervariasi sesuai dengan kelebihan masing-masing. Metode analisis yang didasarkan pada pra-konsentrasi diantaranya ekstraksi cair cair, ekstraksi fasa padat

atau *Solid Phase Extraction* (SPE) dan ekstraksi mikro fase padat atau *Solid Phase Micro Extraction* (SPME) yang dianggap sebagai metode yang akurat, unggul dan tepat (Bolat, dkk., 2019).

Metode SPE adalah metode preparasi sampel yang diaplikasikan pada berbagai bidang karena metode ini memiliki lebih banyak keunggulan dibandingkan dengan metode ekstraksi lainnya. Metode SPE digunakan sebagai alternatif untuk beberapa kelemahan dari ekstraksi lain seperti ekstraksi cair-cair, yaitu penggunaan pelarut dalam jumlah besar, prosedur dengan jangka waktu yang lama, dan biaya yang mahal (Ötles dkk., 2016). Metode ini merupakan teknik yang secara komersial menggunakan sejumlah fase diam untuk mengekstrak analit dari berbagai matriks cair yang berbeda (Berthod dkk., 2014). Selain memiliki keunggulan, metode SPE juga memiliki beberapa kelemahan jika menggunakan material fase diam yang kurang selektif. Oleh karena itu, material selektif perlu digunakan untuk fase diam pada metode SPE. Material selektif yang saat ini sangat berkembang adalah *Molecularly Imprinted Polymer* (MIP) (Afifah dan Wicaksono, 2018).

*Molecularly Imprinted Polymer* (MIP) atau polimer bercetakan molekul merupakan polimer yang dirancang dari monomer fungsional dan agen pengikat silang dengan adanya rongga yang merupakan pola molekul dari analit yang akan diekstraksi. Polimer dihasilkan dari hasil sintesis, ditandai dengan pembentukan situs selektif. Polimer dengan ukuran dan bentuk yang mampu mempertahankan pola molekul dalam proses ekstraksi (Silva dkk., 2021), yang memiliki kemampuan untuk mengikat molekul target secara reversible sehingga dapat digunakan sebagai absorben dalam proses pemisahan (Hidayat dan Sunarto, 2017).

Material MIP memiliki keuntungan utama yaitu selektivitas dan afinitas yang tinggi untuk molekul target yang digunakan dalam proses percetakan. Senyawa ini memiliki komponen berupa molekul cetakan, monomer fungsional, pelarut, inisiator dan pengikat silang (Hasanah dkk., 2021). Penelitian sebelumnya telah dilakukan dengan menggunakan molekul cetakan DBP, monomer fungsional metakrilamida serta pengikat silang etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) (Hajriana, 2022). Monomer fungsional memiliki peranan untuk membentuk kompleks pre-polimerisasi bersama molekul cetakan dengan menyediakan gugus fungsional. Pengikat silang pada proses polimerisasi digunakan untuk memperbaiki monomer fungsional di sekitar molekul cetakan, sehingga membentuk ikatan silang polimer yang kaku bahkan setelah molekul cetakan dihilangkan. Jenis dan jumlah pengikat silang memiliki pengaruh besar pada selektivitas dan kapasitas pengikat MIP (Chen dkk., 2016).

Selain bahan yang digunakan dalam sintesis, metode sintesis yang tepat dan lebih diminati perlu juga dipertimbangkan. Sintesis MIP menggunakan metode polimerisasi presipitasi karena metode ini lebih sederhana dibandingkan dengan metode polimerisasi yang lain. Metode polimerisasi presipitasi didasarkan pada pencampuran larutan polimer (molekul cetakan, monomer, pengikat silang) (Wijayani dkk., 2015). Polimer yang dihasilkan pada polimerisasi presipitasi mempunyai partikel yang relatif lebih besar dan memiliki situs pengikat yang lebih banyak pada permukaannya dibandingkan polimer yang diperoleh dengan polimerisasi yang lain sehingga MIP yang lebih selektif (Atqa' dkk., 2021).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian mengenai sintesis dan karakterisasi polimer bercetakan molekul sebagai adsorben DBP dengan menggunakan monomer MAM dan pengikat silang EGDMA telah dilakukan melalui metode

polimerisasi presipitasi untuk memperoleh polimer bercetakan DBP (MIP DBP). Polimer yang dihasilkan digunakan sebagai adsorben atau fase diam pada metode SPE. Hasil MIP yang diperoleh dikarakterisasi dengan *Scanning Elektron Microscope* (SEM) untuk melihat morfologi permukaannya, komposisi unsur penyusunnya ditentukan dengan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS), gugus fungsinya dipelajari dengan *Fourier Transform Infrared* (FTIR), luas permukaan, volume, dan diameter porinya dikarakterisasi dengan *Surface Area Analyzer* (SAA), serta kemampuannya dalam mengadsorpsi senyawa DBP dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. bagaimana hasil sintesis dan karakteristik polimer bercetakan molekul dibutil ftalat (DBP) yang menggunakan monomer fungsional metakrilamida (MAM) dan pengikat silang etilen glikol dimetakrilat (EGDMA)?
2. bagaimana model kinetika adsorpsi DBP oleh MIP yang sesuai berdasarkan pengaruh variasi waktu?
3. bagaimana kapasitas adsorpsi DBP oleh MIP berdasarkan pengaruh konsentrasi?

## **1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian**

### **1.3.1 Maksud Penelitian**

Maksud dari penelitian ini adalah mensintesis polimer bercetakan molekul sebagai adsorben dibutil ftalat menggunakan monomer metakrilamida dan pengikat silang etilen glikol dimetakrilat melalui metode presipitasi.

### **1.3.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. melakukan sintesis dan karakterisasi polimer bercetakan molekul dibutil ftalat (DBP) yang menggunakan monomer fungsional metakrilamida (MAM) kombinasi pengikat silang etilen glikol dimetakrilat (EGDMA).
2. menganalisis model kinetika adsorpsi DBP oleh MIP yang sesuai berdasarkan pengaruh variasi waktu variasi.
3. menentukan kapasitas adsorpsi DBP oleh MIP berdasarkan pengaruh konsentrasi.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai cara mensintesis polimer bercetakan molekul dibutil ftalat dengan monomer metakrilamida kombinasi pengikat silang etien glikol dimetakrilat menggunakan metode polimerisasi presipitasi dan menghasilkan material cerdas yang dimanfaatkan sebagai adsorben atau fasa diam pada metode SPE, serta dapat diaplikasikan dalam sensor kimia maupun proses pemurnian.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Plastik dan Bahaya terhadap Kesehatan dan Lingkungan**

Plastik adalah polimer rantai panjang dari atom yang terikat satu sama lain. Rantai ini membentuk banyak unit molekul berulang atau “monomer”. Istilah plastik mencakup produk polimerisasi sintetik, namun ada beberapa polimer alami yang termasuk plastik. Plastik terbentuk dari kondensasi organik atau penambahan polimer dan bisa juga terbentuk dengan menggunakan zat lain atau menghasilkan plastik yang ekonomis (Gusniar, 2018). Secara garis besar, plastik dikelompokkan menjadi dua golongan, yaitu plastik termoplastik dan termoset. Termoplastik adalah polimer linear yang terbentuk dari rantai karbon panjang diikat oleh ikatan kovalen (Arendra dan Akhmad, 2017). Polimer yang termasuk dalam golongan termoplastik adalah polimer yang mudah larut pada pelarut yang sesuai dan saat suhu tinggi akan lunak, tetapi kembali mengeras setelah didinginkan. Jenis-jenis polimer golongan termoplastik beberapa diantaranya *PolyPropylene* (PP), *PolyEthylene* (PE), *PolyStyrene* (PS), dan nilon. Sedangkan plastik termoset merupakan polimer yang terikat dalam tiga dimensi atau ikatan silang sehingga rantai pada polimer ini sulit untuk bergerak ketika dilakukan pemanasan. Polimer ini tersusun secara permanen dalam bentuk pertama kali dicetak. Adapun jenis-jenis plastik termoset yang banyak dijumpai antara lain poliuretan (PU), poliester, epoksi dan lain sebagainya (Harahap dkk., 2022).

Sejak ditemukan pertama kali pada tahun 1907, penggunaan plastik dan barang-barang berbahan dasar plastik semakin meningkat (Surono, 2013). Saat ini

plastik menjadi material yang penting di kehidupan modern dan telah digunakan untuk berbagai macam aplikasi. Plastik menjadi bahan yang sulit tergantikan untuk berbagai kebutuhan sehari-hari, seperti kemasan makanan, produk elektronik, otomotif dan mainan. Penggunaan plastik akan terus meningkat karena bahan ini memiliki kelebihan seperti ringan dan kuat, tahan terhadap korosi, transparan, mudah diwarnai, dan sifat insulasinya yang cukup baik (Syamsiro, 2015).

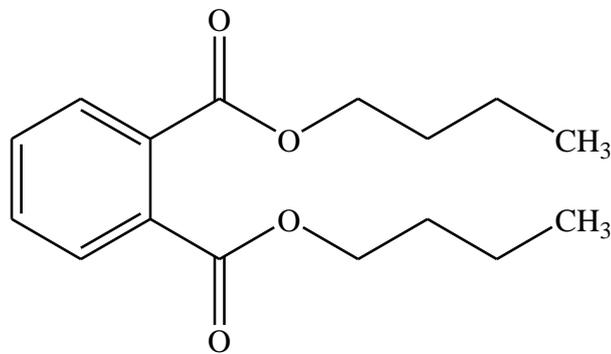
Barang-barang yang digunakan berbahan dasar plastik merupakan bahan polimer sintesis yang sulit terdegradasi di alam. Proses peruraian secara alami membutuhkan waktu ratusan tahun. Hal ini menyebabkan limbah plastik atau sampah plastik yang dihasilkan dapat merusak lingkungan (Nasution, 2015). Pembakaran sampah plastik tidak tepat karena bahan tersebut akan menghasilkan gas yang mencemari udara dan membahayakan pernafasan manusia. Jika sampah plastik ditimbun dalam tanah, maka akan mencemari tanah dan komponen yang ada dalam tanah tersebut (Karuiastuti, 2012). Komponen organik dan anorganik akan semakin berkurang dalam tanah misalnya mikroorganisme yang ada dalam tanah akan semakin berkurang yang akan memberikan dampak langsung pada tumbuhan yang hidup pada area tersebut. Sampah plastik juga tiap tahunnya semakin banyak dibuang ke laut yang mengakibatkan hewan-hewan laut dan tumbuhan laut juga ikut terancam (Purwaningrum, 2016).

Produksi plastik menggunakan zat yang secara umum disebut pemlastis untuk mendapatkan karakter plastik yang diinginkan seperti bening, kuat, dan fleksibel. Bahan yang tergolong pemlastis adalah berbagai jenis senyawa ftalat yang dipakai pada pembuatan plastik polivinil klorida (PVK) (Ilmiawati dkk., 2017). Contoh senyawa ftalat adalah dibutil ftalat (DBP), dimana penggunaannya yang

sampai saat ini menjadi perhatian karena senyawa ini dapat menyebabkan gangguan sistem endokrin dan kanker (Sundari dkk., 2016).

## 2.2 Senyawa Dibutil Ftalat (DBP)

Senyawa DBP memiliki rumus kimia  $C_{16}H_{22}O_4$ , (Gambar 1) berbentuk cairan kental dan tidak berwarna hingga kuning terang. Senyawa ini memiliki aroma ester dengan rasa getir yang kuat. Senyawa DBP memiliki berat molekul 278,34 g/mol, titik nyala 157 °C, titik didih 340 °C, dan titik leleh 35 °C (Anonim, 2021). Senyawa ini adalah salah satu jenis ester ftalat yang paling banyak digunakan. Kelompok bahan kimia ini digunakan sebagai aditif dalam plastik PVC untuk memberikan fleksibilitas dan ketahanan. Oleh karena itu, DBP hadir di sebagian besar produk industri yang digunakan sehari-hari seperti kosmetik, paket makanan dan minuman, mainan dan lain-lain (Bolat dkk., 2019).



**Gambar 1.** Struktur senyawa DBP (Bolat dkk., 2019)

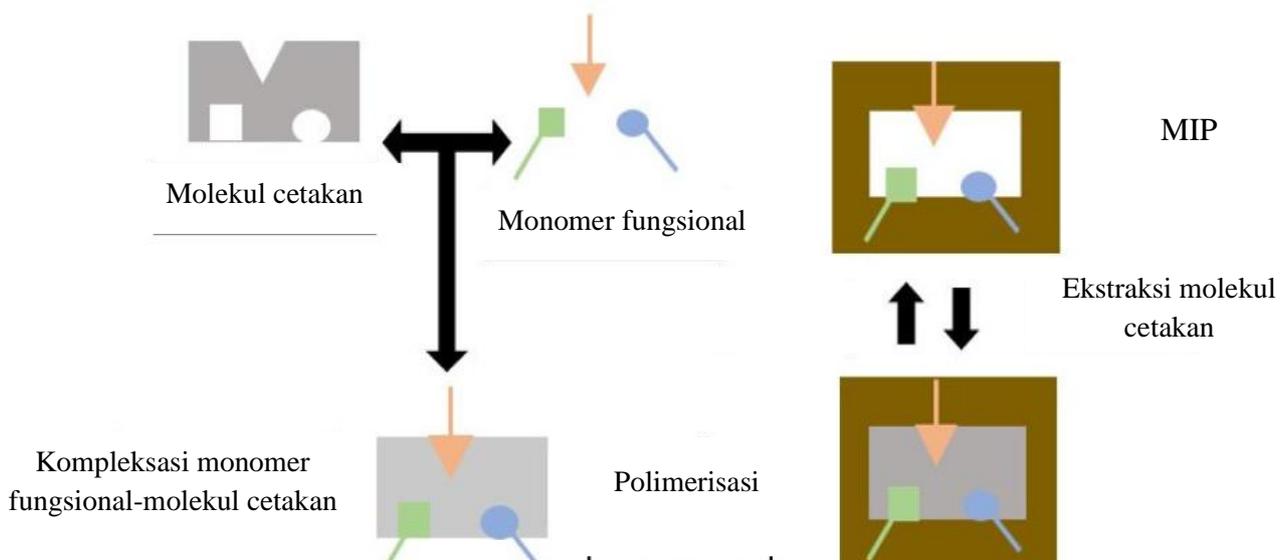
Senyawa DBP banyak digunakan sebagai pemlastis dalam produk konsumen berupa kemasan makanan, botol minum, wadah untuk menyimpan makanan, dan bahan mentah untuk pembuatan berbagai produk plastik. Senyawa ini dapat bermigrasi ke lingkungan menjadi limbah yang tidak dapat terurai, karena memiliki fitur inklusi pada prodek akhir yang tidak adanya ikatan kovalen (Berlina,

dkk., 2022). Senyawa ini telah terdaftar sebagai pencemar utama oleh Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat, DBP dapat menyebabkan pencemaran lingkungan jangka panjang. Senyawa ini memiliki sifat yang tidak membentuk ikatan kimia yang kuat dengan polimer dan dapat dengan mudah bermigrasi dari plastik ke tanah dari waktu ke waktu (Lin, dkk., 2018). Senyawa DBP memiliki toksisitas akut yang cukup rendah pada hewan coba. Beberapa studi melaporkan pajanan DBP dengan dosis tinggi dapat menyebabkan penurunan berat badan dan penurunan fungsi reproduksi, sedangkan dampak senyawa ini pada manusia dapat menurunkan fungsi reproduksi pada pria (Laelasari dkk., 2021).

### **2.3 Polimer Bercetakan Molekul dan Aplikasinya**

Polimer bercetakan molekul atau *Molecularly Imprinted Polymer* (MIP) adalah polimer yang dapat menghasilkan situs pengenalan buatan pada matriks polimer yang memiliki rongga, bentuk dan gugus fungsi tertentu sesuai dengan ukuran molekul cetakan (Hasanah dkk., 2021). Bahan MIP merupakan polimer yang dapat mengenal molekul targetnya yang tidak lain adalah molekul cetakan (Kazemi dkk., 2016). Teknologi ini didasarkan pada pembentukan kompleks antara molekul cetakan dan monomer fungsional dalam pelarut tertentu, kemudian dilakukan polimerisasi pada suhu tertentu dengan penambahan pengikat silang sehingga polimer tiga dimensi terbentuk. Selain itu, molekul cetakan dapat dihilangkan dari struktur polimer agar sisi aktif pengikatan yang spesifik terbentuk (Figueiredo dkk., 2016; Utari dan Halimah, 2018). Bahan MIP yang merupakan polimer sintetik memiliki kemampuan mengenal secara spesifik terhadap molekul target, memiliki selektivitas yang lebih tinggi, dan dapat digunakan kembali (Mustapa dkk., 2016).

Sintesis MIP dilakukan berdasarkan prinsip polimerisasi yang melibatkan monomer fungsional, pengikat silang, inisiator, dan pelarut. Prosedur sintesis MIP dilakukan dengan mencampurkan molekul target pada bahan polimer, dimana pada akhir proses molekul cetakan akan dilepaskan kembali untuk menghasilkan polimer dengan rongga yang secara bentuk, ukuran, dan susunan kimia mirip dengan molekul cetakan (Saputra dkk., 2013). Sintesis MIP memiliki prosedur konvensional yang mahal dan memakan waktu yang lama. Biasanya pilihan kondisi pencetakan yang paling sesuai telah dibuat secara empiris berdasarkan intuisi kimia dan metode coba-coba yang menyebabkan hilangnya sejumlah besar reaktan sintesis. Pengembangan sintesis dapat dipahami pada mekanisme tingkat molekuler untuk mendapatkan MIP baru dan lebih baik dengan melakukan pendekatan komputasi. Studi dengan bantuan komputer berguna dalam mencari kondisi pencetakan yang ideal, sehingga pemborosan sumber daya yang ada di laboratorium dapat dihindari (Silva dkk., 2021). Skema sintesis MIP ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Representasi skema sintesis MIP (Hasanah dkk., 2021)

Bahan MIP dapat diaplikasikan pada berbagai bidang sebagai bahan pemisah yang dibuat khusus, situs pengikat antibodi-reseptor dalam sistem pengenalan dan pengujian, peniru enzim dalam aplikasi katalitik, elemen pengenalan dalam sensor, dan bahan dalam sintesis kimia. Sampai saat ini aplikasi MIP yang paling banyak diselidiki adalah sebagai bahan pemisah untuk analisis berbagai senyawa, termasuk obat-obatan, pestisida, dan asam amino (Yusof dkk., 2013). Aplikasi MIP telah banyak digunakan dalam bidang kimia analitik, misalnya untuk identifikasi antibiotik dalam sampel makanan dan lingkungan, dalam aplikasi farmasi, penemuan dan pemurnian obat, analisis biologis dan lainnya (Utari dan Halimah, 2018). Selain itu MIP diaplikasikan dalam ekstraksi fasa padat dan kromatografi karena potensinya dalam mengadsorpsi molekul target secara spesifik. Material fungsional MIP umumnya dipreparasi dengan menggunakan monomer-monomer asam metakrilat, metil metakrilat, metakrilamida, vinilpiridin, dan pengikat silang etilen glikol dimetakrilat (Mustapa dkk., 2016).

#### **2.4 Komponen pada Polimer Bercetakan Molekul**

Pada sintesis MIP, elemen penting yang dapat mempengaruhi reaksi polimerisasi adalah molekul molekul cetakan atau molekul cetakan, monomer fungsional, pengikat silang, inisiator polimerisasi dan pelarut (porogen) (Chen dkk., 2016). Molekul cetakan yang digunakan berupa DBP (Afifah dan Wicaksono, 2018), dengan monomer fungsional berupa metakrilamida, EGDMA sebagai pengikat silang (Mardiana dan Nuraisyah, 2022), dan biasanya digunakan inisiator 2,2-azobisisobutironitril (AIBN) serta toluena sebagai pelarut porogen (Hashemi-Mughaddam dan Abbasi, 2015).

### 2.4.1 Molekul Cetakan

Molekul cetakan merupakan kunci untuk sintesis MIP yang memiliki selektivitas dan afinitas tinggi karena molekul ini berfungsi sebagai cetakan komplemen untuk membentuk rongga khas (Afifah dan Wicaknono, 2018). Umumnya molekul molekul cetakan yang ideal harus memenuhi tiga persyaratan, yaitu harus mengandung gugus fungsi yang tidak menghambat polimerisasi, harus menunjukkan stabilitas kimia yang sangat baik selama reaksi polimerisasi, dan harus mengandung gugus fungsi yang dapat membentuk kompleks dengan monomer fungsional (Chen dkk., 2016). Beberapa penelitian menggunakan senyawa organik yang berbahaya bagi lingkungan sebagai molekul cetakan, diantaranya senyawa *dibutyl phthalate* (DBP), *diethyl phthalate* (DEP), *dimethyl phthalate* (DMP),. Senyawa tersebut merupakan *phthalate esters* (PAE) yaitu senyawa organik sintetik digunakan secara intensif sebagai aditif penting industri plastik. Senyawa PAE dapat lepas dari bahan plastik ke lingkungan karena tidak secara kimia terikat dengan matriks polimer (Murdaya dkk., 2022).

### 2.4.2 Monomer Fungsional

Monomer fungsional memiliki peranan untuk membentuk kompleks pre polimerisasi bersama molekul cetakan dengan menyediakan gugus fungsional, maka dari itu pemilihan monomer fungsional merupakan salah satu faktor kuat penentu lemahnya interaksi dengan molekul cetakan. Monomer fungsional memiliki dua jenis unit, yaitu unit pengenalan dan unit yang dapat dipolimerisasi (Chen dkk., 2016). Interaksi antara monomer fungsional dengan molekul cetakan pada MIP terjadi melalui interaksi non-kovalen melalui ikatan hidrogen, elektrostatik, dan hidrofobik. Dasar teoritik yang mendasari interaksi antara

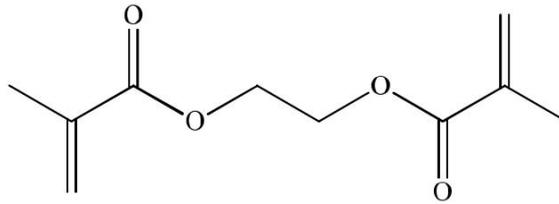
monomer fungsional dan molekul cetakan adalah terbentuknya kompleks yang stabil dengan energi ikat paling optimum (Saputra dkk., 2013).

### **2.4.3 Pengikat Silang (*Crosslinker*)**

Pada proses pembuatan MIP, pengikat silang memperbaiki ikatan monomer fungsional di sekitar molekul cetakan sehingga strukturnya menjadi kaku, MIP tidak dapat berubah setelah pelepasan molekul cetakan. Dengan kata lain, pengikat silang berfungsi sebagai perekat untuk menjaga bentuk polimer dan mempertahankan stabilitasnya (Murdaya dkk., 2022). Pemilihan pengikat silang merupakan hal yang penting agar proses interaksi antara molekul cetakan dan monomer terjadi dengan baik (Jupri dkk., 2022). Biasanya jumlah pengikat silang yang terlalu rendah, akan menghasilkan sifat mekanik yang tidak stabil karena derajat pengikat silang yang rendah, dan jumlah pengikat silang yang sangat tinggi mengurangi jumlah situs pengenalan per satuan massa MIP (Chen dkk., 2016).

Pemilihan pengikat silang yang digunakan, harus memperhatikan beberapa hal, yaitu monomer fungsional, jenis ikatan antara monomer fungsional dan molekul cetakan, jenis polimerisasi dan pelarut (Murdaya dkk., 2022). Jenis pengikat silang yang umum digunakan adalah dikumul peroksid (DKP), trialil isosianurat (TAIC), N,N-metilendiasilamida, tetraetoksilane, difeniletoksilane dan etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) (Sooraj dkk., 2020). Pengikat silang yang paling banyak digunakan adalah EGDMA, yang dapat meningkatkan ketahanan terhadap panas, pelarut, dan abrasi pada proses kopolimerisasi (Gang dkk., 2015). Selain itu, EGDMA dapat membentuk polimer dengan fleksibilitas yang baik, EGDMA menciptakan ruang antar rantai polimer yang memfasilitasi aksesibilitas

molekul analit dan keterikatan pada gugus fungsi EGDMA (Saipulizan dkk., 2020). Struktur EGDMA disajikan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Struktur etilen glikol dimetakrilat (Chen, dkk., 2016)

#### 2.4.4 Porogen

Porogen, atau pelarut porogen umumnya bertindak sebagai media dispersi dan agen pembentuk pori dalam proses polimerisasi. Polaritas porogen dapat mempengaruhi interaksi antara molekul molekul cetakan dan monomer fungsional (Chen dkk., 2016). Pada proses polimerisasi, pelarut berfungsi untuk menggabungkan semua komponen berupa monomer, molekul cetakan, inisiator dan pengikat silang menjadi satu fase sehingga dapat menyediakan polimer berpori makro. Untuk memastikan bahwa MIP yang dihasilkan memiliki sifat aliran yang baik, pelarut harus menghasilkan pori-pori besar, ketika volume pelarut meningkat, ukuran pori juga akan meningkat (Ozcelikay dkk., 2022).

Mansur, dkk., 2020 menjelaskan syarat yang harus dipenuhi sebelum suatu zat dimanfaatkan sebagai pelarut porogen.

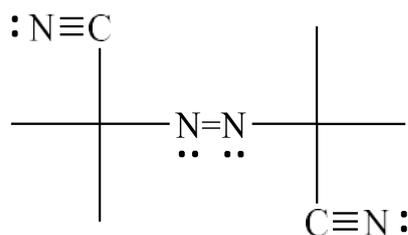
1. harus bersifat inert, memiliki titik didih yang tinggi, tidak berpolimerisasi atau bereaksi dengan monomer, bahan lain, atau zat lain dalam campuran polimerisasi.
2. harus sesuai dengan metode inisiasi, jika menggunakan inisiator termal, pelarut dengan titik didih yang lebih tinggi dari suhu dekomposisi inisiator.

3. harus bercampur satu sama lain. Ketika dikombinasikan dengan monomer dan pengikat silang membentuk larutan yang homogen.

Porogen yang paling sering digunakan untuk sintesis MIP adalah toluena, kloroform, diklorometana, atau asetonitril (Murdaya dkk., 2022). Pelarut organik yang kurang polar, seperti toluena, asetonitril, dan kloroform, sering digunakan untuk pencetakan non-kovalen. Pelarut organik yang sesuai digunakan sehingga efisiensi pencetakan yang baik diperoleh, karena sifat adsorpsi dan morfologi polimer bergantung pada jenis pelarut yang digunakan (Chen dkk., 2016).

#### **2.4.5 Inisiator**

Metode polimerisasi yang paling banyak digunakan adalah sintesis MIP adalah polimerisasi radikal bebas. Proses polimerisasi terbagi atas tiga tahap, yaitu inisiasi, propagasi, dan terminasi. Senyawa inisiator diperlukan selama tahap inisiasi. Inisiasi terjadi ketika inisiator terurai menjadi potongan-potongan molekul asli tetap yang disebut potongan starter. Potongan ini mengandung elektron bebas yang menemukan pasangan dengan mengikat salah satu ikatan rangkap karbon dalam monomer fungsional dan memulai polimerisasi. Oleh karena itu, penggunaan inisiator sangat penting karena proses polimerisasi dapat menentukan keberhasilan. Inisiator yang baik adalah senyawa yang dapat diuraikan dengan mudah (Murdaya dkk., 2022). Senyawa yang banyak digunakan sebagai inisiator adalah senyawa peroksi dan senyawa azobis, seperti 2,2-azobisisobutironitril (AIBN) karena dapat terurai secara fotolisis dan termolisis yaitu pada suhu (50-70 °C) (Chen dkk., 2016) Struktur inisiator AIBN disajikan pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Struktur inisiator AIBN (Chen dkk., 2016)

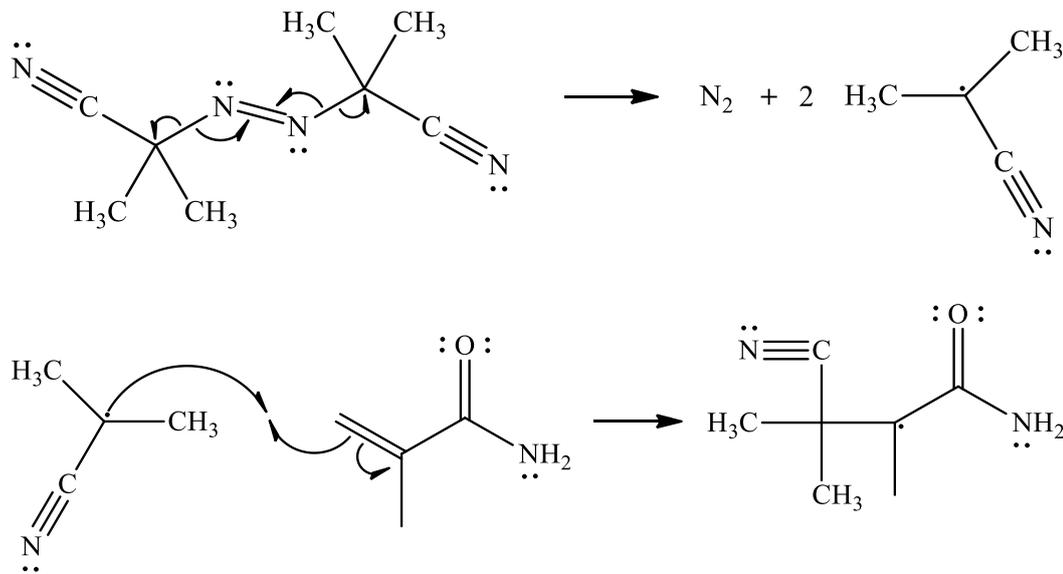
## 2.5 Mekanisme Polimerisasi

Polimerisasi merupakan suatu jenis reaksi kimia dimana monomer-monomer bereaksi untuk membentuk polimer. Secara umum polimerisasi dibagi menjadi dua jenis berdasarkan reaksi polimerisasinya, yaitu polimerisasi adisi dan polimerisasi kondensasi. Polimerisasi adisi melibatkan reaksi rantai dan pembawa rantai pada polimerisasi adisi dapat berupa spesi reaktif yang berupa kation atau anion atau mengandung satu elektron yang tidak berpasangan yang disebut radikal bebas. Polimerisasi kondensasi didasarkan pada reaksi antara dua molekul atau lebih yang memiliki gugus fungsi berbeda sehingga polimer yang mengandung gugus fungsi baru terbentuk dan menghasilkan produk samping berupa molekul sederhana, seperti H<sub>2</sub>O (Amelia dkk., 2021). Teknik pembentukan MIP dapat menggunakan beberapa metode polimerisasi, diantaranya polimerisasi emulsi, polimerisasi massal, polimerisasi suspensi, polimerisasi presipitasi, polimerisasi ruah, dan polimerisasi radikal bebas (Chen dkk., 2016). Menurut Sulistyawati (2010), mekanisme polimerisasi terbagi menjadi tiga tahap, yaitu inisiasi, propagasi dan terminasi.

### a. Inisiasi

Inisiasi merupakan tahap untuk memulai polimerisasi (Murdaya dkk., 2022). Inisiasi terbagi menjadi dua tahap, pertama dekomposisi inisiator oleh panas, dan

kedua adisi monomer pada radikal bebas. Dekomposisi inisiator oleh panas terjadi pemecahan senyawa menjadi sepasang radikal bebas yang akan digunakan sebagai inisiator. Sedangkan pada adisi monomer terjadi adisi radikal bebas kalium persulfat pada senyawa monomer akrilamida yang menghasilkan monomer aktif (Sulistyawati, 2010). Kecepatan inisiasi relatif lambat tetapi berlanjut. Pada monomer vinil satu pasang elektron terikat karena dua atom karbon melalui ikatan sigma ( $\sigma$ ) dan sepasang lagi membentuk ikatan pi ( $\pi$ ) (Handayani, 2010). Contoh mekanisme tahap inisiasi dapat dilihat pada Gambar 5.

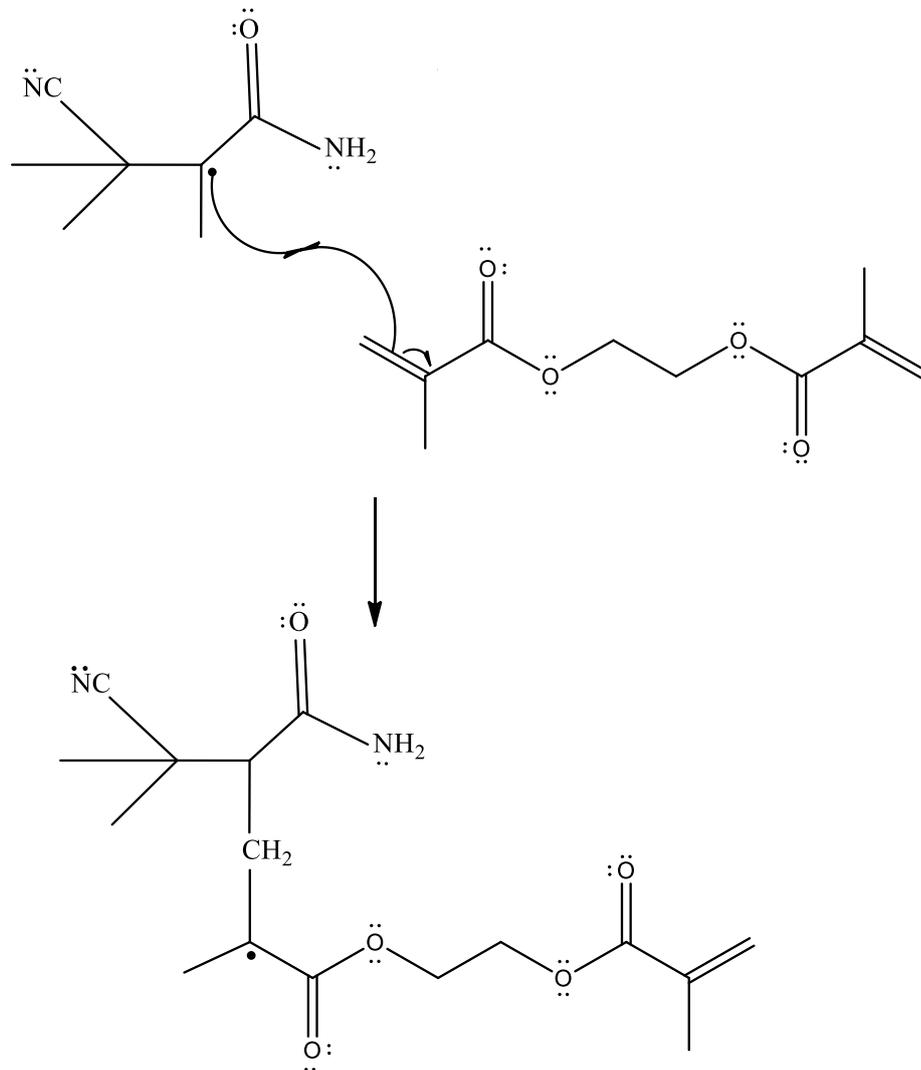


**Gambar 5.** Mekanisme tahap inisiasi (Handayani, 2010)

#### b. Propagasi

Propagasi merupakan tahap pembentukan rantai aktif, dimana monomer aktif bereaksi dengan molekul monomer lain membentuk rantai aktif yang cukup panjang (Sulistyawati, 2010). Tahap propagasi juga merupakan tahap reaksi yang cepat karena radikal yang terbentuk menyerang molekul lain dan menghasilkan radikal baru. Monomer yang telah bereaksi dengan radikal bebas bereaksi dengan

molekul lain sehingga terjadi perpanjangan rantai (Handayani, 2010). Perpanjangan berlanjut sampai rantai pertumbuhan radikal dinonaktifkan dengan terminasi atau transfer rantai (Hamzah, 2017). Mekanisme contoh tahap propagasi ditunjukkan pada Gambar 6.

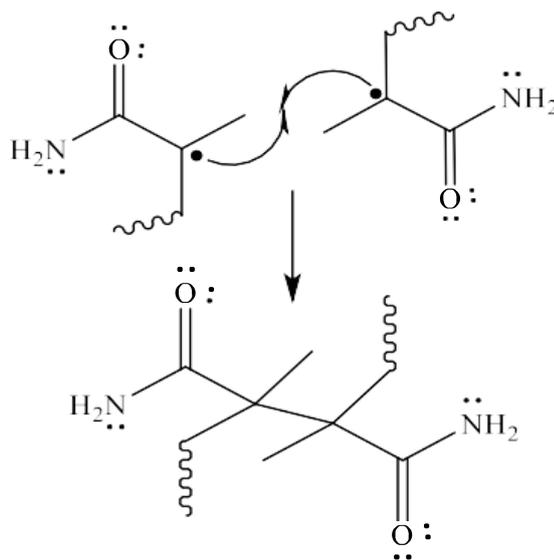


**Gambar 6.** Mekanisme tahap propagasi (Hamzah, 2017).

### c. Terminasi

Terminasi terjadi karena reaksi penggabungan reaktan radikal yang membentuk molekul tunggal. Pada tahap terminasi terjadi proses pemutusan rantai.

(Handayani, 2010). Aktivitas pertumbuhan rantai polimer radikal diterminasi oleh reaksi dengan radikal bebas lainnya dalam sistem untuk menghasilkan molekul polimer. Terminasi terjadi dengan reaksi antara radikal polimer dengan radikal inisiator. Reaksi terminasi yang lebih penting dalam produksi polimer adalah kombinasi atau kopleng dan disproporsionasi (Hamzah, 2017). Reaksi kombinasi merupakan penggabungan dua monomer aktif menjadi molekul tunggal yang lebih besar. Sedangkan disproporsionasi merupakan reaksi dua monomer aktif yang menghasilkan senyawa berikatan jenuh dan tidak jenuh (Sulistyawati, 2010) . Mekanisme contoh tahap terminasi disajikan pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Mekanisme tahap terminasi (Hamzah, 2017)

## 2.6 Metode Polimerisasi Presipitasi

Polimerisasi presipitasi telah muncul sebagai metode yang menarik, sederhana dan tampaknya umum untuk menghasilkan produk cetakan berkualitas tinggi sebagai partikulat sferis. Polimerisasi presipitasi adalah metode polimerisasi bebas surfaktan yang melibatkan polimerisasi monomer dalam larutan encer (biasanya <5%) (Abouzarzadeh dkk., 2012). Polimerisasi presipitasi banyak

digunakan untuk sintesis MIP karena merupakan preparasi satu langkah, menghasilkan bentuk dan ukuran yang seragam dan memiliki rendamen yang tinggi. Polimerisasi ini terjadi dalam larutan atau pelarut, kemudian partikel polimer membentuk endapan dari larutan. Oleh karena itu, metode polimerisasi presipitasi membutuhkan banyak pelarut dan molekul cetakan (Murdaya dkk., 2022). Polimerisasi presipitasi juga membutuhkan kontrol yang sangat ketat terhadap kondisi reaksi karena beberapa faktor seperti polaritas pelarut, suhu polimerisasi, dan kecepatan pengadukan memiliki efek yang besar pada ukuran partikel polimer. Polimerisasi presipitasi dibatasi pada kondisi reaksi yang akurat selama proses polimerisasi radikal bebas (Chen dkk., 2016)

Selama satu dekade terakhir, parameter polimerisasi presipitasi telah diselidiki untuk produksi nanopartikel MIP. Nanopartikel MIP memiliki luas permukaan yang lebih tinggi rasio volumenya, sehingga rongga yang tercetak lebih mudah dijangkau oleh molekul cetakan dan terjadi peningkatan laju (Abouzarzadeh dkk., 2012). Polimerisasi presipitasi adalah salah satu metode termudah untuk sintesis partikel mikro dan nanosfer dengan ukuran yang seragam. Polimerisasi ini juga dapat mengatur atau mengontrol ukuran dan bentuk partikel yang menghasilkan sintesis MIP berukuran nano. Penelitian terkait menggunakan polimerisasi presipitasi dengan asam metakrilat (MAA) sebagai monomer fungsional dan menghasilkan ukuran partikel rata-rata 300 nm (Chauha dkk., 2014)

## **2.7 Karakterisasi *Molecularly Imprinted Polymer* (MIP)**

Karakterisasi MIP atau polimer bercetakan molekul dilakukan dengan menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) (Yusof, dkk., 2014). Karakterisasi menggunakan FTIR

dilakukan untuk mengetahui perubahan gugus-gugus fungsi yang terjadi selama proses sintesis (Fransiska dan Sianita, 2021). Keberadaan struktur molekul polimer dan gugus fungsi molekul dalam jaringan polimer diidentifikasi dari spektrum FTIR yang terekam. Untuk menghilangkan molekul cetakan, spektrum FTIR polimer diambil sebelum dan sesudah proses penghilangan molekul cetakan (Yanti dkk., 2016). Karakterisasi dengan SEM berfungsi untuk mendeskripsikan morfologi polimer (Pratiwi dkk., 2019). Karakterisasi menggunakan SEM merupakan teknik karakterisasi material yang banyak digunakan untuk melihat morfologi permukaan partikel sampai pada ukuran 1 nm. Metode karakterisasi menggunakan SEM untuk meneliti bentuk maupun struktur mikro permukaan dari suatu objek yang tidak bisa dilihat oleh mata atau mikroskop optik dengan menggunakan mikroskop elektron (Mursal 2018).

## **2.8 Adsorpsi**

Secara umum, adsorpsi adalah suatu proses penjerapan suatu zat oleh adsorben. Adsorpsi terjadi pada permukaan zat padat karena adanya gaya tarik antara atom atau molekul zat padat. Adsorpsi sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya pH, medium elektrolit, sifat dan konsentrasi sorbat, sifat dan konsentrasi sorben dan keberadaan ion pengompleks. Banyaknya zat yang teradsorpsi bergantung pada sifat adsorben, tekanan atau konsentrasi gas dan suhu adsorpsi (Utomo dkk., 2010).

Salah satu metode yang digunakan untuk menghilangkan zat pencemar dari air limbah adalah adsorpsi. Mekanisme adsorpsi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu adsorpsi secara fisika (fisiosorpsi) dan adsorpsi secara kimia (kimisorpsi). Pada proses fisiosorpsi, gaya yang mengikat adsorbat oleh adsorben adalah gaya

*van der waals*. Molekul yang terikat sangat lemah dan energi yang dilepaskan pada adsorpsi fisika relatif lebih rendah 20 kJ/mol. Proses adsorpsi kimia, interaksi adsorbat dengan adsorben melalui pembentukan ikatan kimia. Kimisorpsi diawali dengan adsorpsi fisik, yaitu partikel-partikel adsorbat yang mendekati ke permukaan adsorben melalui gaya *van der Waals* atau memulai ikatan hidrogen. Kemudian diikuti oleh adsorpsi kimia yang terjadi setelah adsorpsi fisika (Syauqiah dkk., 2011).

Kemampuan adsorpsi sebagai adsorben ditentukan dari penggunaan variasi waktu adsorpsi dan pH. Adapun persamaan yang digunakan dapat dilihat pada Persamaan (1) dan(2) (Zhou dkk., 2016):

$$q = \frac{(C_0 - C_e) V}{m} \quad (1)$$

Keterangan:

q = Kemampuan adsorpsi (mg/g).

v = Volume larutan (L)

C<sub>0</sub> = Konsentrasi awal larutan (mg/L)

C<sub>e</sub> = Konsentrasi larutan setelah proses adsorpsi (mg/L)

m = Massa MIP yang digunakan (g)

Mekanisme adsorpsi polimer cetakan dapat ditentukan melalui isoterm adsorpsi Freundlich maupun Langmuir. Isoterm Freundlich digunakan ketika asumsi isoterm pada permukaan heterogen, sementara isoterm Langmuir diasumsikan bahwa setiap sisi adsorpsi memiliki kesamaan untuk molekul cetakan yang hanya terjadi pada permukaan tunggal (Ferdinand dkk., 2020). Persamaan adsorpsi isoterm Langmuir dan Freundlich dapat dilihat pada Persamaan (2) dan (3) secara berurutan (Angriani, dkk., 2021):

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L q_m} + \frac{C_e}{q_m} \quad (2)$$

$$\log q_e = \frac{1}{n} \log C_e + \log K_F \quad (3)$$

Keterangan:

$C_e$  = Konsentrasi saat setimbang dalam larutan (mg/L)

$q_m$  = Kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)

$q_e$  = Jumlah zat teradsorpsi saat setimbang (mg/g)

$K_L$  = Konstanta afinitas (L/mg)

$K_F$  = Kapasitas adsorpsi (mg/g)

$\frac{1}{n}$  = Faktor heterogenitas

Selanjutnya faktor pemisah ( $R_L$ ) pada isotherm adsorpsi Langmuir digunakan untuk mengevaluasi efisiensi pemisahan atau selektivitas adsorpsi pada model Langmuir. Persamaan faktor pemisah ( $R_L$ ) dapat dilihat pada Persamaan 4 (Perdana, dkk., 2023).

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_o} \quad (4)$$

Keterangan:

$R_L$  = Konsentrasi saat setimbang dalam larutan (mg/L)

$K_L$  = Konstanta afinitas (L/mg)

$C_o$  = Konsentrasi awal (mg/L)

## 2.9 Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi menggambarkan tingkat laju penyerapan yang terjadi pada adsorben terhadap adsorbat. Kinetika adsorpsi dapat digunakan untuk menentukan mekanisme adsorpsi dan konstanta karakteristik adsorpsi (Elma dkk., 2021). Pada kinetika adsorpsi terdapat dua model kinetika yang digunakan yaitu model orde satu semua dan orde dua semua (Sari dkk., 2017). Orde pertama semua dan orde kedua semua adalah model kinetika yang paling umum digunakan untuk menggambarkan proses adsorpsi berdasarkan kinetika reaksi kimia (Lima dkk., 2015).

Model kinetika orde satu semu diturunkan berdasarkan persamaan laju reaksi Lagergren. Lagergren pertama kali memperkenalkan persamaan untuk adsorpsi cair-padat berdasarkan kapasitas padatan. Model kinetika orde dua semu tergantung pada kemampuan mengadsorpsi pada masing-masing fase padat (Kurniawati dkk., 2013). Adapun persamaan orde satu semu dapat dilihat pada Persamaan 5 berikut (Lima dkk., 2015):

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 (q_e - q_t) \quad (5)$$

Keterangan:

- $q_t$  = Jumlah adsorbat yang teradsorpsi (mg/g)
- $q_e$  = Kapasitas adsorpsi kesetimbangan (mg/g)
- $k_1$  = Konstanta orde satu semu (/menit)
- $t$  = Waktu kontak (menit)

Setelah diintegrasikan dan menerapkan kondisi awal  $q_t=0$  pada  $t = 0$  dan  $q_t = q_t$  pada  $t = t$ , maka Persamaan (5) menjadi:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln(q_e) - k_1 t \quad (6)$$

Disamping persamaan diatas, persamaan orde dua semu dinyatakan dalam Persamaan (7):

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2 \quad (7)$$

Keterangan:

- $k_2$  = tetapan laju adsorpsi pada orde dua semu (/menit)

Setelah persamaan diintegrasikan, maka persamaan menjadi Persamaan (8):

$$\frac{1}{q_e - q_t} = \frac{1}{q_e} + k_2 t \quad (8)$$

atau dapat dituliskan seperti Persamaan (9):

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (9)$$

dengan memplot  $t/q_t$  vs  $t$  garis lurus akan terbentuk, jika kinetika orde dua semu berlaku maka nilai-nilai  $q_e$  dan  $k_2$  dapat dihitung dari kemiringan dan intersep (Lima dkk., 2015).