

*Skripsi*

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI POLIMER BERCETAKAN MOLEKUL  
MENGUNAKAN KOMBINASI MONOMER ASAM METAKRILAT  
DAN PENGIKAT SILANG TRIMETILPROPAN TRIMETAKRILAT  
SEBAGAI ADSORBEN DIBUTILFTALAT**

**RIA CHANTIKA PERMATASARI**

**H031 19 1097**



**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 DIBUTILFTALAT**

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

**Oleh**

**RIA CHANTIKA PERMATASARI**

**H031 19 1097**



**MAKASSAR**

**2023**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI POLIMER BERCETAKAN  
MOLEKUL MENGGUNAKAN KOMBINASI MONOMER ASAM  
METAKRILAT DAN PENGIKAT SILANG TRIMETILPROPAN  
TRIMETAKRILAT SEBAGAI ADSORBEN DIBUTILFTALAT**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**RIA CHANTIKA PERMATASARI**

**H031191097**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Sidang 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. 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 : Ria Chantika Permatasari  
NIM : H0311910397  
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 Dibutilftalat” 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, 18 Agustus 2023

Yang Menyatakan,  
  
  
Ria Chantika Permatasari

## PRAKATA

*Bismillahirrahmanirrahim,*

Segala puja kepada Yang Maha Kuasa, puji kepada Yang Maha Suci, dan syukur kepada Yang Maha Ghafur, penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT dengan segala limpahan nikmat ilmu dan rezeki-Nya, selawat serta salam tak lupa pula dipanjatkan kepada Nabi Muhammad SAW, pembawa cahaya keislaman yang hakiki. Berlatar segala usaha yang telah dilakukan sebelumnya, akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Sintesis dan Karakterisasi Polimer Bercetakan Molekul menggunakan Kombinasi Monomer Asam Metakrilat dan Pengikat Silang Trimetilpropan Trimetakrilat sebagai Adsorben Dibutilftalat”** 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 dengan sabar memberikan ilmu, motivasi, bimbingan, serta meluangkan waktunya untuk penulis dalam proses penyelesaian skripsi ini.
2. tim penguji sarjana, ibu **Dr. Herlina Rasyid, S.Si** selaku ketua penguji dan bapak **Bulkis Musa, S.Si, M.Si** selaku sekretaris penguji, terima kasih atas sarannya. Semoga selalu dalam lindungan Allah SWT.

3. koordinator seminar, 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 memberi ilmu kepada penulis selama menempuh pendidikan. Semoga menjadi amal jariyah.
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) dan **ibu Tini**, selaku analis Laboratorium Kimia Terpadu (FTIR) yang telah meluangkan waktu dan membantu penulis selama penelitian.
6. kedua orang tua penulis, **Syamsinarwati dan Muh. Idrus**, atas segala kasih sayang, waktu, materi, pengorbanan, serta do'a tulus yang tiada henti. Kedua adik penulis, yang juga selalu menemani dan membantu.
7. kakek, nenek, dan paman penulis, **Amarding, Nurhayati, dan Alex** atas segala kasih sayang, materi, dan pengorbanannya. Serta seluruh keluarga yang senantiasa memberikan dorongan kepada penulis.
8. teman-teman **Kimia 2019**, terkhusus saudaraku **Konfigurasi 2019** yang selalu memberi cerita dan menghibur masa perkuliahan.
9. teman-teman lab **Kimia Fisika**, terkhusus **Polimer, Mba Helmi, Sulfa, dan Firna**, untuk bantuan dan sarannya selama ini.
10. sahabat penulis, **Den, Syira, dan Wanda**, yang mendengarkan suka duka penulis selama menjalani perkuliahan.
11. pengurus **BEM FMIPA Unhas periode 2022/2023** untuk segala cerita dan

kenangan baiknya. USE YOUR MIND BE THE BEST.

12. saudariku dari **PMM 2, Rasika, Ratna, dan Rere** yang selalu menemani dan membantu selama di Semarang.

Semoga segala bimbingan, bantuan, serta motivasi yang telah diberikan kepada penulis selama penyusunan skripsi ini mendapat balasan pahala di sisi Allah SWT. Tentu dalam penyusunan skripsi ini masih sangat jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini.

Makassar, 2023

Penulis

## ABSTRAK

Polimer bercetakan molekul atau *Molecularly Imprinted Polymer* (MIP) merupakan polimer sintetik yang disebut sebagai material cerdas karena memiliki kemampuan untuk mengenal molekul target secara selektif. Penelitian ini bertujuan untuk sintesis, karakterisasi dan analisis kinerja dari MIP. Material MIP disintesis dengan menggunakan molekul cetakan dibutilftalat (DBP) dan monomer asam metakrilat (MAA) yang dikombinasikan dengan pengikat silang trimetilpropan trimetakrilat (TRIM) dengan metode polimerisasi presipitasi. Material MIP dikarakterisasi dengan instrumen SEM-EDS, spektrometer FTIR 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 berupa padatan halus berwarna putih. Karakterisasi dengan EDS menunjukkan adanya penurunan persen massa C dan persen atom C yang menandakan terbentuknya MIP\_DBP\_MAA-co-TRIM<sub>(TE)</sub> dan karakterisasi dengan SEM menunjukkan bahwa morfologi permukaan MIP\_DBP\_MAA-co-TRIM tersusun dari 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 luas permukaan MIP\_DBP\_MAA-co-TRIM<sub>(TE)</sub> yaitu 24,24 m<sup>2</sup>/g, total volume pori adalah 0,04 cm<sup>3</sup>/g dan radius pori rata-rata adalah 6,57 nm yang menandakan material tergolong mesopori.

**Kata kunci:** Polimer, *Molecularly Imprinted Polymer*, DBP, Asam Metakrilat, TRIM.



## ABSTRACT

Molecularly Imprinted Polymer (MIP) is a synthetic polymer that is referred to as an intelligent material because it has the ability to selectively recognize target molecules. This study aims to synthesize, characterize and analyze the performance of MIP. MIP material was synthesized using dibutylphthalate (DBP) as a template molecule and methacrylic acid (MAA) monomer combined with trimethylpropane trimetacrylate (TRIM) crosslinking by precipitation polymerization method. MIP materials were characterized by SEM-EDS instruments, FTIR spectrometer, and UV-VIS spectrophotometer. The variable test of the adsorption ability of MIP material to DBP compounds were time and concentration. The results showed that 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 indicates the formation of MIP\_DBP\_MAA-co-TRIM<sub>(TE)</sub> and characterization with the SEM showed the surface morphology of MIP\_DBP\_MAA-co-TRIM was composed of small round grains that tend to be uniform. The bonds that affect the formation of polymers characterized by FTIR are –OH, –CH, –C=O, and –C=C. Characterization with SAA showed that the surface area of MIP\_DBP\_MAA-co-TRIM<sub>(TE)</sub> which was 24.24 m<sup>2</sup>/g, the total pore volume was 0.04 cm<sup>3</sup>/g, and the average pore radius was 6.57 nm which indicates the material classified as mesoporous.

**Keyword:** Polymer, Molecularly Imprinted Polymer, DBP, Methacrylic Acid, TRIM.

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
PRAKATA .....	iv
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
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 .....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Kemasan Makanan Berbahan Plastik dan Potensi Bahayanya	7
2.2 Senyawa Dibutilftalat (DBP) .....	8
2.3 Polimer Bercetakan Molekul dan Aplikasinya .....	9
2.4 Variabel dalam Sintesis Polimer Bercetakan Molekul .....	11
2.5 Polimerisasi dan Mekanismenya.....	15

2.6	Metode Polimerisasi Presipitasi.....	17
2.7	Karakterisasi Polimer Bercetakan Molekul .....	18
2.8	Adsorpsi .....	18
2.9	Kinetika Adsorpsi .....	20
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>		<b>22</b>
3.1	Bahan Penelitian.....	22
3.2	Alat Penelitian.....	22
3.3	Waktu dan Tempat Penelitian.....	22
3.4	Prosedur Penelitian.....	23
3.4.1	Sintesis MIP dan NIP .....	23
3.4.2	Karakterisasi MIP dan NIP .....	24
3.4.3	Pembuatan Larutan Standar DBP 100 mgL <sup>-1</sup> .....	24
3.4.4	Uji Kemampuan Adsorpsi MIP dan NIP .....	24
3.4.4.1	Pengaruh Waktu terhadap Kemampuan Adsorpsi DBP oleh MIP.....	25
3.4.4.2	Pengaruh Konsentrasi terhadap Kemampuan Adsorpsi MIP .....	25
3.4.5	Penentuan Kinetika Adsorpsi MIP.....	25
3.4.6	Penentuan Kapasitas Adsorpsi MIP .....	25
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>27</b>
4.1	Sintesis Polimer Bercetakan Molekul (MIP) .....	27
4.2	Karakterisasi MIP dan NIP .....	29
4.2.1	Karakterisasi MIP dan NIP Menggunakan EDS .....	29
4.2.2	Karakterisasi MIP dan NIP Menggunakan SEM .....	31
4.2.3	Karakterisasi MIP dan NIP Menggunakan FTIR.....	32

4.2.4	Karakterisasi MIP Menggunakan SAA .....	35
4.3	Uji Kemampuan Adsorpsi MIP dan NIP .....	36
4.3.1	Pengaruh Waktu terhadap Adsorpsi DBP oleh MIP .....	37
4.3.2	Pengaruh Konsentrasi terhadap Adsorpsi DBP oleh MIP....	40
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		43
5.1	Kesimpulan .....	43
5.2	Saran .....	43
DAFTAR PUSTAKA .....		44
LAMPIRAN.....		49

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Data uji senyawa DBP pada ekstrak pelarut campuran metanol:asam asetat (8:2) dengan instrumen spektrofometer UV .....	27
2. Data EDS untuk NIP_MAA-co-TRIM, MIP_DBP_MAA-co-TRIM <sub>(BE)</sub> dan MIP_DBP_MAA-co-TRIM <sub>(TE)</sub> .....	30
3. Data bilangan gelombang karakterisasi FTIR untuk monomer MAA, NIP_MAA-co-TRIM, MIP_DBP_MAA-co-TRIM <sub>(BE)</sub> dan MIP_DBP_MAA-co-TRIM <sub>(TE)</sub> .....	32
4. Data hasil karakterisasi dengan instrumen SAA.....	35
5. Data parameter kinetika adsorpsi DBP oleh MIP_DBP_MAA-co-TRIM <sub>(TE)</sub> berdasarkan persamaan kinetika orde satu semu dan kinetika orde dua semu .....	39
6. Data parameter adsorpsi DBP oleh MIP_DBP_MAA-co-TRIM <sub>(TE)</sub> yang diperoleh dari kurva isothermal adsorpsi Langmuir dan isothermal adsorpsi Freundlich.....	42

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur senyawa dibutilfuralat .....	9
2. Skema sintesis MIP.....	10
3. Struktur monomer fungsional asam metakrilat (MAA) .....	12
4. Struktur trimetilpropan trimetakrilat (TRIM) .....	13
5. Struktur 2,2'-Azobisisobutironitril (AIBN) .....	15
6. Mekanisme tahap inisiasi .....	16
7. Mekanisme tahap propagasi .....	16
8. Mekanisme tahap terminasi .....	17
9. Skema reaksi sintesis MIP_DBP_MAA-co-TRIM, (a) tahap prapolimerisasi, (b) tahap polimerisasi dan (c) tahap ekstraksi.....	28
10. Morfologi permukaan dengan perbesaran 5.000x untuk (a) NIP_MAA-co-TRIM, (b) MIP_DBP_MAA-co-TRIM <sub>(BE)</sub> (c) MIP_DBP_MAA-co-TRIM <sub>(TE)</sub> .....	31
11. Spektrum FTIR (a) monomer MAA, (b) NIP_MAA-co-TRIM, (c) MIP_DBP_MAA-co-TRIM <sub>(BE)</sub> , (d) MIP_DBP_MAA-co-TRIM <sub>(TE)</sub> .....	33
12. Hubungan radius pori rata-rata terhadap volume pori kumulatif N <sub>2</sub> yang teradsorpsi pada MIP_DBP_MAA-co-TRIM <sub>(TE)</sub> .....	35
13. Hubungan tekanan relatif terhadap volume N <sub>2</sub> yang teradsorpsi pada MIP_DBP_MAA-co-TRIM <sub>(TE)</sub> .....	36
14. Kemampuan adsorpsi DBP oleh MIP dan NIP.....	37
15. Pengaruh waktu terhadap jumlah DBP yang diadsorpsi oleh MIP_DBP_MAA-co-TRIM <sub>(TE)</sub> .....	38
16. (a) Kurva kinetika orde satu semu (b) Kurva kinetika orde dua semu adsorpsi DBP oleh MIP_DBP_MAA-co-TRIM <sub>(TE)</sub> .....	39

17. Pengaruh konsentrasi terhadap jumlah DBP yang diadsorpsi oleh MIP_DBP_MAA-co-TRIM <sub>(TE)</sub> .....	40
18. Kurva isothermal adsorpsi Langmuir (a) dan Freundlich (b) dari adsorpsi DBP oleh MIP_DBP_MAA-co-TRIM <sub>(TE)</sub> .....	41

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Skema Sintesis Polimer Bercetakan Molekul DBP menggunakan Metode Polimerisasi Presipitasi .....	49
2. Bagan Alir Prosedur Penelitian.....	50
3. Data Spektrofotometer UV-Vis .....	54
4. Perhitungan .....	56
5. Foto Hasil Penelitian.....	60
6. Karakterisasi EDS .....	63
7. Karakterisasi FTIR.....	66
8. Karakterisasi SAA.....	70
9. Contoh Perhitungan Nilai $K_1$ dan $K_2$ berdasarkan Persamaan Orde Satu Semu dan Orde Dua Semu.....	84
10. Contoh Perhitungan Nilai Kapasitas Adsorpsi berdasarkan Model Persamaan Isotermal Adsorpsi Langmuir dan Isotermal Adsorpsi Freundlich .....	85



## DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

<b>Simbol/Singkatan</b>	<b>Arti</b>
MIP	<i>Molecular Imprinted Polymer</i> (Polimer bercetakan molekul)
NIP	<i>Non Imprinted Polymer</i>
DBP	Dibutilftalat
MAA	Monomer Asam Metakrilat
SPE	<i>Solid Phase Extraction</i>
AIBN	2,2'-Azobisisobutironitril
TRIM	Trimetilpropan Trimetakrilat
FTIR	<i>Fourier Transform Infrared</i>
SEM	<i>Scanning 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**

Plastik merupakan bahan pengemas yang banyak digunakan saat ini. Sebagian besar barang yang dibutuhkan mulai dari peralatan elektronik, perlengkapan rumah tangga, perlengkapan kantor sampai makanan dan minuman menggunakan plastik sebagai pengemas karena bahannya yang ringan, kuat, mudah dibentuk, dan harganya terjangkau. Selain di bidang industri, kemasan plastik juga banyak digunakan oleh retail, pedagang tradisional, dan rumah tangga (Kamsiati dkk., 2017). Berdasarkan data dari Asosiasi Industri Olefin Aromatik dan Plastik Indonesia (INAPLAS) dan Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2019, jumlah sampah plastik di Indonesia mencapai 64 juta ton per tahun. Sebanyak 3,2 juta ton diantaranya merupakan sampah plastik yang dibuang ke laut. Selain itu, juga dilaporkan bahwa jumlah sampah plastik yang terbuang ke lingkungan mencapai 85.000 ton atau 10 miliar lembar per tahun (Rahmi dan Selvi, 2021).

Plastik adalah jenis bahan yang paling umum digunakan untuk kemasan makanan diantara bahan yang lain. Peningkatan penggunaan plastik kemasan dalam 60 tahun terakhir dapat dikaitkan dengan efisiensi biaya, kekuatan, dan karakteristiknya yang serbaguna. Plastik ini disintesis melalui polimerisasi yaitu menyusun dan membentuk secara sambung- menyambung bahan-bahan dasar plastik yang disebut monomer (Pilevar dkk., 2019). Seperti, plastik jenis PVC (Polivinil klorida), yang menggunakan monomer dari vinil klorida. Selain monomer yang merupakan bahan dasar pembuatan plastik, juga ditambahkan bahan aditif yang berfungsi memberikan

karakteristik tertentu pada formulasi plastik yang dapat memelihara dan memodifikasi sifat plastik agar dapat digunakan dalam jangka panjang (Laelasari dkk., 2021).

Peningkatan penggunaan kemasan plastik dikaitkan dengan tantangan kemungkinan adanya migrasi senyawa/zat aditif seperti *plasticizer* (pemlastis) dari kemasan ke dalam makanan selama pemrosesan, transportasi, dan penyimpanan. Beberapa molekul kecil selain pemlastis yang kemungkinan bermigrasi yaitu monomer residu yang merupakan polutan dan bersifat toksik, misalnya monomer stirena sebagai hidrokarbon aromatik yang beracun dan bersifat karsinogenik dalam konsentrasi tinggi jika terdapat dalam makanan. Paparan stirena dapat menyebabkan toksisitas akut dan kronis termasuk neurotoksik dan dapat menyebabkan iritasi pada selaput lendir mata (Pilevar dkk., 2019). Beberapa monomer yang digunakan pada pembuatan plastik dan dianggap berbahaya bagi kesehatan manusia adalah vinil klorida dan akrilonitril. Pemlastis yang sering ditambahkan dalam pembuatan plastik adalah senyawa ftalat, misalnya dibutil ftalat (*dibutyl phthalat*; DBP) dan di-2-etilheksil ftalat (*di-2-ethylhexyl phthalate*; DEHP). Ester ftalat telah diproduksi sejak tahun 1930-an dan penggunaannya sangat luas seperti dalam industri plastik, peralatan rumah tangga, cat, peralatan medis, mainan anak-anak, dan kosmetik (Laelasari dkk., 2021). Senyawa DBP yang terdapat pada plastik dapat bermigrasi ke produk, sehingga dapat masuk ke dalam produk minuman yang dikemas. Paparan DBP dengan dosis yang tinggi dapat menyebabkan penurunan berat badan dan penurunan fungsi reproduksi (Laelasari dkk., 2021).

Jika suatu senyawa akan dianalisis, maka diperlukan preparasi sampel terlebih dahulu. Metode yang dapat digunakan salah satunya yaitu ekstraksi fase padat atau *solid phase extraction* (SPE). Metode SPE adalah teknik persiapan sampel untuk ekstraksi senyawa dari suatu matriks. Metode ini memiliki keunggulan yaitu proses ekstraksi yang

sederhana dengan waktu ekstraksi yang lebih singkat, pemisahan analit dari matriks yang lebih efisien, dan jumlah pelarut organik yang digunakan lebih sedikit. Metode ini merupakan proses pemisahan dengan *recovery* yang tinggi (>99%) jika dibandingkan dengan ekstraksi cair-cair (Buyuktiryaki dkk., 2020). Metode SPE memiliki kelemahan karena menggunakan fasa diam yang kurang selektif sehingga kemungkinan masih terdapat komponen lain selain analit yang ikut terekstraksi dari matriks sampel. Kekurangan SPE ini dapat diperbaiki dengan menggunakan fasa diam yang lebih selektif seperti *molecularly imprinted polymer* (MIP). Kelebihan dari MIP ini yaitu memiliki selektivitas yang tinggi, afinitas tinggi untuk molekul target dalam proses *imprinting*, ketahanan terhadap suhu tinggi, serta preparasi yang mudah dan dapat digunakan kembali (Fauziah dkk., 2021).

Polimer bercetakan molekul (MIP) merupakan suatu polimer sintetik yang terbentuk dengan adanya molekul cetakan yang memiliki sisi pengikatan yang spesifik (Chrisnandari, 2018). Tujuan sintesis MIP ini adalah untuk mendapatkan adsorben yang spesifik sehingga dapat mengenali senyawa target secara selektif. Material MIP juga menguntungkan dari segi ketahanan dan stabilitas karena memiliki rongga yang tahan terhadap kondisi lingkungan, suhu, tekanan, dan pH (Baek dkk., 2018).

Komponen-komponen pada *Molecularly Imprinted Polymer* (MIP) terdiri atas monomer fungsional, pengikat silang, pelarut porogen, inisiator, dan molekul cetakan. Molekul cetakan merupakan molekul yang sangat penting untuk sintesis MIP yang akan memiliki selektivitas dan afinitas yang tinggi karena molekul ini berfungsi sebagai cetakan yang membentuk rongga khas untuk molekul agar dapat terikat. Monomer fungsional memiliki peranan untuk membentuk kompleks prepolimerisasi bersama molekul cetakan dengan menyediakan gugus fungsional, oleh karena itu pemilihan monomer fungsional merupakan salah satu faktor penentu dalam

menentukan kuat atau lemahnya interaksi dengan cetakan. Salah satu monomer fungsional yang sering digunakan untuk sintesis MIP adalah asam metakrilat yang dapat membentuk ikatan hidrogen dengan molekul cetakan selama proses polimerisasi (Afifah dan Wicaksono, 2018).

Pengikat silang dalam sintesis MIP juga memiliki peranan yang penting karena berfungsi dalam mengontrol morfologi matriks polimer, menstabilkan sisi pengikatan, dan menjaga stabilitas mekanik matriks polimer untuk mempertahankan kemampuan pengenalan molekulnya (Kulsum dkk., 2022). Trimetilpropan trimetakrilat (TRIM) merupakan salah satu pengikat silang yang sering digunakan dalam sintesis MIP. Selektivitas MIP yang menggunakan pengikat silang TRIM lebih baik jika dibandingkan dengan MIP yang menggunakan pengikat silang etilen glikol dimetakrilat (EGDMA). Polimer yang disintesis dengan pengikat silang TRIM memiliki struktur rongga yang stabil dengan matriks polimer yang lebih kaku sehingga bentuk dan ukuran rongga yang dihasilkan tidak berubah sesuai dengan bentuk dan ukuran molekul cetakan (Fauziah, 2016). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sulaiman (2022), MIP yang disintesis dengan menggunakan molekul cetakan dibutilftalat (DBP) menghasilkan material MIP yang berupa padatan putih dengan selektivitas yang tinggi terhadap molekul target.

Metode sintesis yang tepat diperlukan agar MIP yang dihasilkan dapat memiliki struktur yang kaku dan memiliki selektivitas adsorpsi yang tinggi. Salah satu metode yang sering digunakan adalah metode ruah. Akan tetapi, metode ini memiliki beberapa kelemahan diantaranya, partikel yang diperoleh memerlukan penggerusan dan pengayakan sehingga memiliki ukuran dan bentuk partikel yang tidak seragam, serta beberapa sisi pengikatan dapat rusak selama penggerusan yang akan menurunkan kinerja adsorpsi terhadap molekul target (Adumitrachioaie dkk., 2018). Metode lain

yang sering digunakan untuk sintesis MIP adalah metode polimerisasi presipitasi. Metode ini memiliki prosedur yang mudah dengan waktu ekstraksi yang lebih sedikit, menghasilkan partikel dengan bentuk dan ukuran yang seragam (sekitar 0,3-10  $\mu\text{m}$ ), dan memiliki tingkat pengenalan molekul yang lebih tinggi (Jupri dkk., 2022). Metode ini dilakukan dengan menumbuhkan rantai polimer dalam pelarut sehingga rantai polimer menjadi semakin panjang dan semakin tidak dapat larut, yang menyebabkan partikel-partikel polimer mengendap dalam larutan (Siialla', 2019).

Berdasarkan uraian tersebut, dilakukan penelitian tentang sintesis dan karakterisasi polimer bercetakan molekul DBP dengan menggunakan monomer MAA dan pengikat silang TRIM melalui metode polimerisasi presipitasi untuk memperoleh polimer bercetakan DBP (MIP DBP). Polimer tersebut digunakan sebagai adsorben atau fasa diam pada metode SPE. Morfologi permukaan MIP yang diperoleh kemudian dikarakterisasi dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM), komposisi unsur penyusunnya dengan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS), gugus fungsi yang berperan dalam sintesisnya dengan *Fourier Transform Infrared* (FTIR), luas permukaan, volume, dan diameter pori dengan *Surface Area Analyzer* (SAA), serta kemampuannya dalam mengadsorpsi senyawa DBP yang dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. bagaimana hasil dan karakteristik polimer bercetakan molekul dibutilftalat (DBP) yang disintesis menggunakan kombinasi monomer asam metakrilat (MAA) dan pengikat silang trimetilpropan trimetakrilat (TRIM) dengan metode polimerisasi presipitasi?

2. bagaimana model kinetika adsorpsi yang sesuai untuk polimer bercetakan molekul DBP?
3. bagaimana kapasitas adsorpsi DBP dari polimer bercetakan molekul DBP?

### **1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian**

#### **1.3.1 Maksud Penelitian**

Maksud dari penelitian ini adalah melakukan sintesis polimer bercetakan molekul (MIP) dibutilftalat (DBP) yang disintesis menggunakan kombinasi monomer 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 dan karakterisasi polimer bercetakan molekul dibutilftalat (DBP) menggunakan kombinasi monomer asam metakrilat (MAA) dan pengikat silang trimetilpropan trimetakrilat (TRIM) dengan metode polimerisasi presipitasi.
2. menganalisis model kinetika adsorpsi yang sesuai untuk MIP DBP berdasarkan pengaruh variasi waktu.
3. menentukan kapasitas adsorpsi DBP oleh polimer bercetakan molekul DBP berdasarkan pengaruh konsentrasi.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang cara mensintesis MIP DBP menggunakan metode polimerisasi presipitasi dan menghasilkan

material cerdas yang dapat dimanfaatkan sebagai adsorben atau fasa diam pada SPE, dapat diaplikasikan dalam proses pemurnian, dan sebagai bahan material untuk pembuatan sensor kimia.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kemasan Makanan Berbahan Plastik**

Pengemasan mempunyai peranan yang sangat penting dalam melindungi produk. Pentingnya pengemasan dapat dilihat dari kenyataan di lapangan bahwa jarang ditemui produk yang dijual di pasar dalam kondisi tanpa kemasan. Fungsi utama suatu kemasan pada dasarnya adalah sebagai wadah. Untuk sebagian besar produk pangan, tujuan utama pengemasan adalah melindungi produk terhadap kerusakan dari luar (benturan, gesekan, cahaya, dan kelembaban) dan kerusakan kimia (bereaksi dengan oksigen). Selain itu, pengemasan juga bertujuan untuk mempertahankan mutu, nilai gizi, dan memperpanjang umur simpan (Sucipta dkk., 2017).

Berdasarkan karakteristik fisiknya, bahan pengemas dikelompokkan menjadi 2 yaitu pengemas kaku (*rigid*) yang berupa kayu atau gelas dan bahan pengemas yang fleksibel yang berupa plastik atau kertas (Sucipta dkk., 2017). Pemilihan bahan pengemas dalam industri pangan yang akan digunakan bergantung pada jenis, struktur, dan kualitas kemasan yang akan mempengaruhi keamanan dan umur simpan suatu produk (Pilevar dkk., 2019). Penggunaan plastik paling umum digunakan sebagai kemasan untuk bahan pangan. Hal ini disebabkan oleh banyaknya keunggulan plastik dibandingkan dengan bahan kemasan yang lain. Plastik jauh lebih ringan dibandingkan gelas atau logam dan tidak mudah pecah. Bahan ini bisa dibentuk lembaran yang dapat dibuat menjadi kantong sehingga bisa dibentuk sesuai desain dan ukuran yang diinginkan (Hahladakis dkk., 2018).

Kemasan plastik diproduksi dari polimer tunggal seperti plastik jenis polietilen

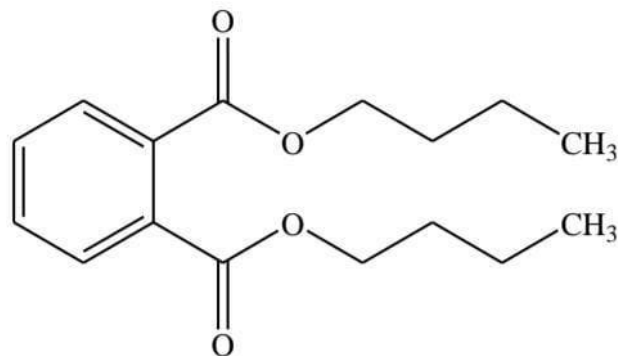
tereftalat (PET) dan polivinil klorida (PVC) atau plastik yang merupakan kombinasi dari beberapa jenis polimer yaitu jenis plastik multilayer. Plastik ini disintesis melalui polimerisasi monomer sebagai bahan awal (Pilevar dkk., 2019). Selain bahan dasar berupa monomer, plastik mengandung zat kimia aditif yang digunakan untuk meningkatkan sifat polimer dan memperpanjang umur simpan. Bahan aditif tersebut berupa zat-zat dengan berat molekul rendah, yang dapat berfungsi sebagai pewarna, antioksidan, penyerap sinar ultraviolet, anti lekat, dan lain-lain (Koswara, 2006). Zat aditif yang paling umum digunakan dalam berbagai jenis bahan kemasan polimer adalah bahan pemlastis, penghambat api (*flame retardants*), antioksidan, bahan penstabil cahaya dan panas (*stabilizer*), bahan pelumas (*lubricants*), pewarna (*pigments*), dan agen antistatis (Hahladakis dkk., 2018).

Salah satu zat aditif yang sering digunakan dalam pembuatan plastik yaitu pemlastis yang berfungsi untuk meningkatkan fleksibilitas dan daya tahan polimer (Hahladakis dkk., 2018). Senyawa ftalat dan turunannya seperti di-(2-etilheksil) ftalat (DEHP), dibutilftalat (DBP), dan butil benzil ftalat (BBP) merupakan jenis pemlastis yang banyak ditambahkan sebagai bahan dasar pembuatan plastik. Senyawa ftalat dapat mudah lepas dari plastik dan mudah menguap (Jupri dkk., 2022). Jika terakumulasi ke dalam tubuh, senyawa dibutilftalat sangat berbahaya karena sangat sulit untuk dicerna keluar dari tubuh. Zat ini semakin lama semakin menumpuk yang dapat menyebabkan kanker pada manusia (Koswara, 2006).

## **2.2 Senyawa Dibutilftalat (DBP)**

Dibutilftalat adalah cairan berminyak yang tidak berwarna, sedikit berbau, dan memiliki kelarutan yang cukup rendah dalam air, tetapi cukup larut dalam pelarut organik seperti alkohol, eter, benzena, dan aseton (Rizky, 2018). Dibutilftalat memiliki

berat molekul 278,34 g/mol, titik leleh  $-69^{\circ}\text{C}$ , titik didih  $340^{\circ}\text{C}$ , dan kelarutan dalam air sebesar 10 mg/L pada  $20^{\circ}\text{C}$  (European Chemicals Bureau, 2004). Dibutilftalat diproduksi dengan mereaksikan antara ftalat anhidrida dan n-butanol dengan reaksi esterifikasi menggunakan katalis asam sulfat (Saputra, 2019). Dibutilftalat mempunyai peranan penting dalam industri polimer sebagai (pemlastis), yaitu suatu bahan yang membuat polimer lebih mudah diproses dan dibentuk (Pertiwi, 2013). DBP juga digunakan sebagai tinta cetakan, perekat, *sealant*, cat nitroselulosa, pelapis film, dan serat kaca (European Chemicals Bureau, 2004). Struktur senyawa DBP dapat dilihat pada Gambar 1.



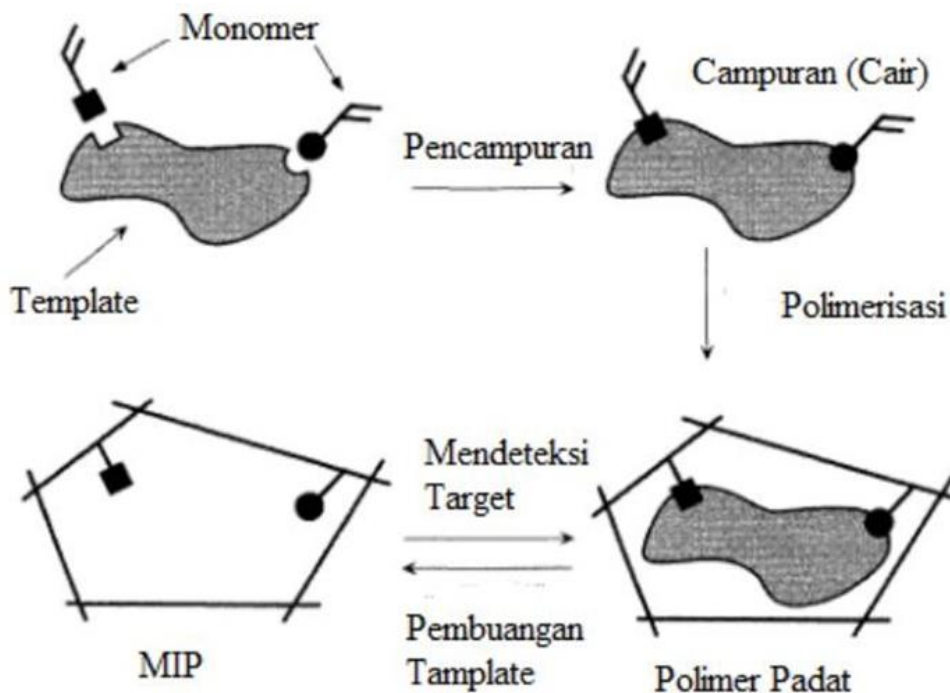
**Gambar 1.** Struktur senyawa dibutilftalat (ATSDR, 2001).

Paparan DBP pada manusia dapat melalui air, udara, dan kemasan pada makanan yang berbentuk plastik. Senyawa DBP dilaporkan dapat mempengaruhi proses biokimia di dalam tubuh manusia dan juga berefek merugikan terhadap lingkungan. Beberapa efek merugikan lain yang ditimbulkan oleh DBP ini adalah penurunan fungsi reproduksi, infertilitas, pubertas dini pada wanita, dan reaksi alergi (Rizky, 2018). Selain itu, juga dilaporkan dapat terjadi gejala neurologis (nyeri dan mati rasa) pada pekerja yang terpapar DBP (ATSDR, 2001).

### 2.3 Polimer Bercetakan Molekul dan Aplikasinya

*Molecularly Imprinted Polymer* (MIP) merupakan suatu polimer sintetik yang

dihasilkan melalui monomer dan pengikat silang yang memiliki sisi pengikatan yang spesifik dan selektif dengan adanya molekul cetakan yang kemudian dipolimerisasi sehingga menghasilkan suatu rongga (*cavities*) (Kulsum dkk., 2022). Polimer sintetik ini dikenal sebagai material cerdas karena dapat mengenali molekul target secara selektif sehingga dapat digunakan sebagai adsorben (Jupri dkk., 2022). Skema sintesis MIP dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Skema sintesis MIP (Komiya dkk., 2002).

Sintesis MIP didasarkan pada pembentukan kompleks antara molekul cetakan dengan monomer fungsional. Setelah proses polimerisasi, molekul cetakan dipisahkan dari polimer dan meninggalkan sisi pengikatan yang spesifik dalam bentuk, ukuran, dan gugus fungsi sesuai dengan molekul cetakan. Ikatan antara monomer fungsional dan molekul cetakan dapat melalui interaksi kovalen, semi kovalen, dan non kovalen yang terbentuk pada kompleks prapolimerisasi. Berdasarkan jenis ikatan, energi yang dibutuhkan untuk pemisahan molekul cetakan pada interaksi non

kovalen lebih rendah dibandingkan dengan interaksi kovalen. Oleh karena itu, ikatan non kovalen lebih fleksibel dikarenakan interaksi pengikatannya lebih lemah yang membuatnya lebih mudah untuk putus daripada interaksi kovalen (Adumitrachioaie dkk., 2018).

Material MIP telah banyak digunakan di beberapa bidang seperti farmasi, kimia, maupun biologi. Polimer sintetik ini dapat diaplikasikan pada bidang farmasi untuk deteksi obat dan untuk analisis sampel biologis (Adumitrachioaie dkk., 2018). MIP juga dimanfaatkan sebagai adsorben untuk fase padat, bahan afinitas untuk sensor kimia, dan antibodi buatan (Baek dkk., 2018).

#### **2.4 Variabel dalam Sintesis Polimer Bercetakan Molekul**

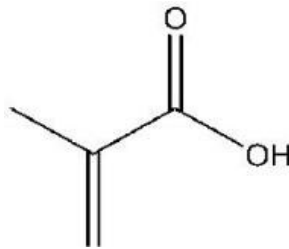
Beberapa variabel penting yang perlu diperhatikan dalam sintesis yang dapat mempengaruhi hasil sintesis dan kinerja MIP diantaranya yaitu molekul cetakan, monomer, pengikat silang, inisiator, pelarut porogen, dan kondisi polimerisasi (Adumitrachioaie dkk., 2018).

##### **a. Molekul Cetakan**

Pada sintesis MIP molekul cetakan ini bertindak sebagai cetakan yang membentuk rongga yang khas agar molekul target dapat terikat (Kulsum dkk., 2022). Struktur molekul cetakan dapat menentukan tipe monomer fungsional yang akan digunakan dalam sintesis sehingga molekul cetakan berperan sebagai objek yang penting pada proses pencetakan molekul. Sintesis MIP menggunakan molekul organik kecil sebagai molekul cetakan karena jika menggunakan molekul organik besar dengan struktur yang sangat rentan terhadap panas dan cahaya, proses sintesis menjadi sulit dan menghasilkan MIP yang memiliki rongga yang kurang kaku (Yan dan Row, 2006).

## b. Monomer Fungsional

Monomer fungsional memiliki peranan untuk membentuk kompleks prapolimerisasi bersama molekul cetakan dengan menyediakan gugus fungsional. Monomer fungsional yang dipilih untuk berinteraksi dengan molekul cetakan merupakan dasar keberhasilan terbentuknya suatu molekul. Pemilihan monomer fungsional harus sesuai agar terjadi interaksi yang kuat antara molekul cetakan dan monomer fungsional serta dapat membentuk kompleks donor-reseptor sebelum polimerisasi (Chen dkk., 2016). Pada pendekatan non-kovalen, biasanya monomer digunakan secara berlebih dibanding dengan molekul cetakan agar semua sisi aktif molekul cetakan dapat berikatan dengan monomer (Chrisnandari, 2018). Adapun struktur monomer fungsional MAA ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Struktur monomer fungsional asam metakrilat (MAA) (Vasapollo dkk.,2011).

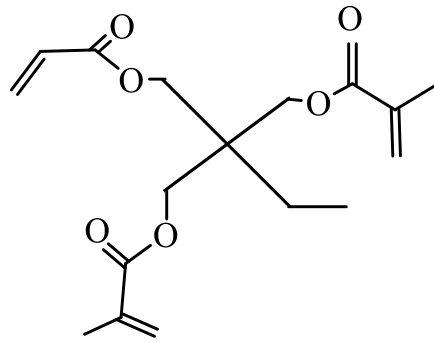
Monomer fungsional yang sering digunakan untuk sintesis MIP salah satunya yaitu monomer asam metakrilat (MAA) karena selama proses polimerisasi dapat membentuk ikatan hidrogen yang kuat dengan molekul cetakan (Chen dkk., 2016). Monomer ini yang paling umum digunakan dan dapat menimbulkan reaksi dimerisasi sehingga efek *imprinting* dapat meningkat (Afifah dan Wicaksono, 2018). Selain itu, dilaporkan bahwa fraksi molar MAA yang tinggi dapat menghasilkan ukuran pori yang besar dan dapat meningkatkan kapasitas pengikatan MIP (Chen dkk., 2016).

### c. Pengikat Silang

Pengikat silang (*cross-linker*) adalah senyawa organik yang ditambahkan ke dalam campuran polimerisasi dengan tujuan utama memperbaiki struktur polimer dari monomer di sekitar molekul cetakan (Adumitrachioaie dkk., 2018). Selektivitas MIP sangat dipengaruhi oleh jenis dan jumlah zat pengikat silang yang digunakan dalam sintesis. Dalam MIP, pengikat silang mempunyai beberapa fungsi yaitu, berfungsi mengontrol morfologi matriks polimer baik dalam bentuk gel, makropori, atau bubuk mikrogel dan berfungsi untuk menstabilkan sisi pengikatan. Selain itu, pengikat silang juga berfungsi untuk memberikan stabilitas mekanik pada matriks polimer (Chen dkk., 2016; Yan dan Row, 2006).

Pengikat silang yang paling sering digunakan dalam pengembangan MIP adalah yang berbasis metakrilat (Adumitrachioaie dkk., 2018). Beberapa pengikat silang yang paling umum digunakan yaitu etilen glikol dimetakrilat (EGDMA), divinilbenzena (DVB), trimetilpropan trimetakrilat (TRIM), dan pentaeritritol triakrilat (PETRA) (Vasapollo dkk., 2011). Etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) dan trimetilpropana trimetakrilat (TRIM) adalah pengikat silang yang paling umum digunakan.

Menurut penelitian Fauziah (2016), hasil sintesis dengan selektivitas yang lebih baik didapatkan dari MIP yang menggunakan monomer asam metakrilat (MAA) dengan kombinasi pengikat silang TRIM daripada MIP yang disintesis dengan pengikat silang EGDMA. Sintesis dengan pengikat silang TRIM menghasilkan polimer dengan struktur rongga yang stabil karena memiliki matriks polimer yang lebih kaku dan ukuran rongga yang dihasilkan tidak berubah sesuai dengan molekul cetakan. Struktur TRIM ditunjukkan pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Struktur trimetilpropan trimetakrilat (TRIM)

#### d. Pelarut Porogen

Pelarut porogen juga berperan penting dalam proses sintesis MIP. Pelarut porogen yang paling umum digunakan untuk sintesis MIP adalah toluena, kloroform, diklorometana, dan asetonitril. Pelarut porogen berfungsi untuk menjadikan semua komponen (monomer, molekul cetakan, pengikat silang, dan inisiator) dalam satu fase selama polimerisasi dan berfungsi dalam pembentukan pori-pori. Pelarut porogen harus menghasilkan pori-pori besar untuk mempertahankan sifat aliran yang baik dari polimer yang dihasilkan (Vasapollo dkk., 2011). Pelarut porogen yang dipilih sebaiknya memiliki kepolaran yang rendah (Hasanah dkk, 2019). Pelarut porogen dengan fase kelarutan rendah dapat terpisah lebih awal dan cenderung membentuk pori-pori yang lebih besar dengan luas permukaan yang lebih kecil. Sebaliknya, pelarut porogen dengan fase kelarutan yang lebih tinggi cenderung membentuk pori-pori yang lebih kecil dengan luas permukaan yang lebih besar (Yan dan Row, 2006).

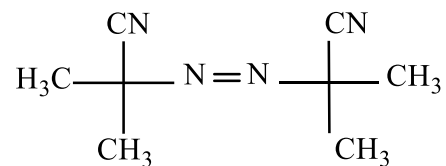
#### e. Inisiator

Inisiator adalah bahan kimia yang digunakan untuk meningkatkan laju polimerisasi dengan aktivasi molekul monomer tunggal yang menjadi pusat aktif dari keseluruhan reaksi. Pemicu dari spesi reaktif disebabkan oleh adanya inisiator dalam campuran polimerisasi (Adumitrachioaie dkk., 2018). Inisiator terdekomposisi menjadi



radikal bebas selama proses polimerisasi. Dekomposisi inisiator menjadi radikal bebas dapat dipicu dan dikendalikan dengan beberapa cara termasuk panas, cahaya, dan secara mekanis. Salah satu contoh inisiator yaitu senyawa azobisisobutironitril (AIBN) yang berperan dalam pembentukan radikal bebas dalam proses polimerisasi pada suhu dekomposisi 50-70°C (Chen dkk., 2016). Kimiawi atau elektrokimia, tergantung pada sifat kimianya (Syahfiana dkk., 2013). Inisiator AIBN dapat terdekomposisi dengan mudah oleh fotolisis dengan ultraviolet atau termolisis untuk menghasilkan radikal (Yan dan Row, 2006).

Polimerisasi radikal bebas dapat terhambat dengan adanya gas oksigen. Gas oksigen yang terlarut dalam larutan monomer harus dihilangkan untuk memaksimalkan laju pembentukan monomer dan memastikan bahwa polimerisasi berjalan dengan baik. Ultrasonikasi atau mengalirkan gas inert seperti gas argon (Ar) atau nitrogen (N<sub>2</sub>) adalah cara yang dapat dilakukan untuk menghilangkan gas oksigen terlarut dalam monomer (Yan dan Row, 2006). Struktur inisiator AIBN dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Struktur 2,2'-Azobisisobutironitril (AIBN).

#### f. Kondisi Polimerisasi

Polimerisasi MIP pada suhu yang rendah menghasilkan polimer dengan selektivitas yang lebih besar daripada polimer yang dibuat pada suhu tinggi. Suhu yang digunakan untuk polimerisasi biasanya menggunakan suhu 50-60°C. Pada suhu yang tinggi, reaksi inisiasi polimerisasi berlangsung sangat cepat sehingga sulit

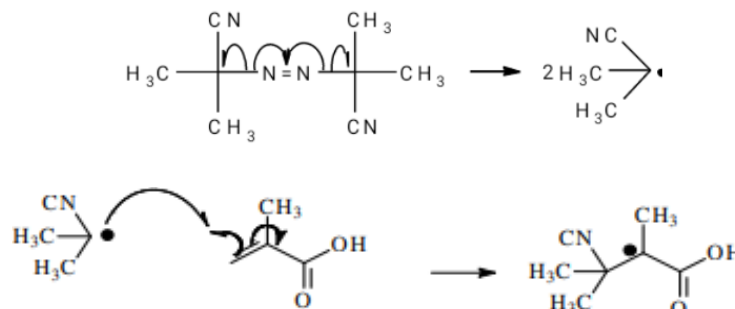
dikendalikan. Oleh karena itu, proses polimerisasi MIP biasanya dilakukan pada kondisi suhu yang relatif rendah (Vasapollo dkk., 2011).

## 2.5 Polimerisasi dan Mekanismenya

Polimerisasi merupakan jenis reaksi kimia dimana monomer-monomer bereaksi untuk membentuk rantai yang besar berupa polimer. Berdasarkan reaksi polimerisasinya, polimer dibagi dalam dua jenis yaitu polimerisasi adisi dan polimerisasi kondensasi (Nasriyanti dkk., 2020). Proses polimerisasi radikal bebas berlangsung dalam beberapa tahap yaitu inisiasi atau penyusunan, propagasi atau perpanjangan rantai, dan terminasi atau pemutusan (Tunjungsari dkk., 2019).

### 1. Inisiasi

Proses pembentukan radikal bebas merupakan tahap awal inisiasi. Proses ini melibatkan pembentukan monomer yang aktif dalam bentuk radikal yang akan menambah ikatan rangkap dengan regenerasi radikal lain (Hamzah, 2017). Tahap pertama adalah pembentukan radikal bebas dari dekomposisi inisiator dan tahap kedua adalah penambahan salah satu radikal bebas ke molekul monomer (Freitas, 2015).

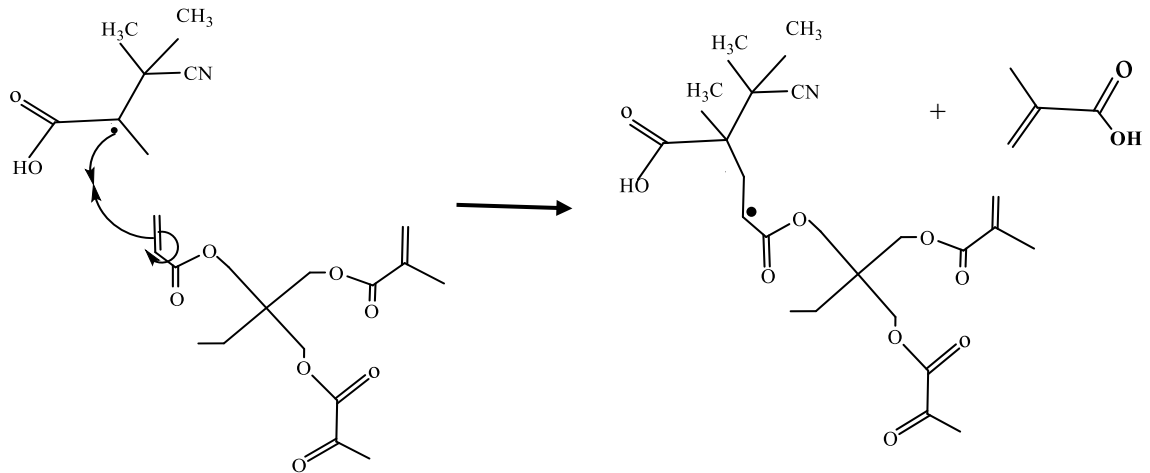


**Gambar 6.** Tahap Inisiasi, inisiator AIBN bereaksi dengan monomer MAA (Walsh, 2010).

### 2. Propagasi

Propagasi adalah reaksi yang ditandai dengan adanya penambahan radikal bebas baru ke molekul monomer secara berulang-ulang (Carragher, 2005). Waktu

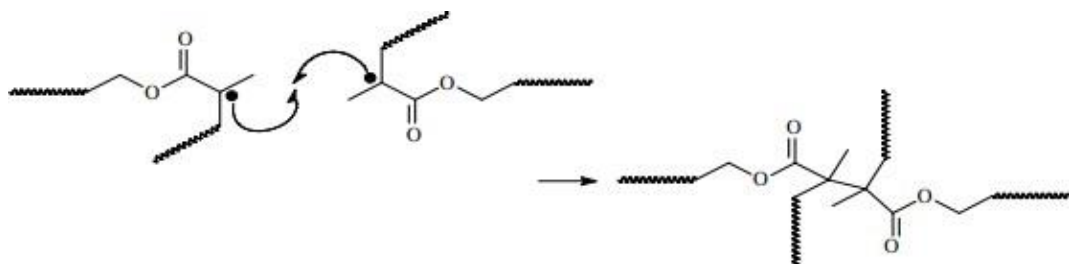
yang dibutuhkan untuk setiap penambahan monomer biasanya terjadi dalam beberapa detik (Freitas, 2015).



**Gambar 7.** Tahap propagasi, radikal bebas bereaksi dengan pengikat silang TRIM.

### 3. Terminasi

Aktivitas pertumbuhan rantai polimer radikal diterminasi oleh reaksi dengan radikal bebas lainnya dalam sistem untuk menghasilkan molekul polimer. Terminasi adalah reaksi yang terjadi antara radikal polimer dengan radikal inisiator (Hamzah, 2017). Mekanisme yang paling umum dari tahap terminasi dalam polimerisasi radikal adalah mekanisme kombinasi dan disproporsionasi (Freitas, 2015).



**Gambar 8.** Tahap terminasi, proses perpanjangan rantai terhenti (Walsh, 2010).

## 2.6 Metode Polimerisasi Presipitasi

Metode polimerisasi harus diperhatikan agar dapat dihasilkan MIP yang

memiliki struktur yang kaku, kemampuan mengadsorpsi dan selektivitas adsorpsi yang tinggi. Salah satu metode polimerisasi yang sering digunakan dalam sintesis MIP yaitu metode polimerisasi presipitasi. Metode ini dilakukan dengan cara menumbuhkan rantai polimer dalam pelarut dan akhirnya mengendap setelah mencapai masa kritis (Yan dan Row, 2006). Persentase perolehan polimer cukup tinggi dan memiliki ukuran partikel yang seragam (sekitar 0,3-10  $\mu\text{m}$ ) merupakan keuntungan metode ini, namun polimerisasi ini membutuhkan kondisi yang khusus dan membutuhkan molekul cetakan dalam jumlah yang banyak. Chaco dkk., (2004), meneliti bahwa polimerisasi presipitasi menghasilkan polimer dengan distribusi letak pengikatan yang lebih homogen dan konstanta afinitas yang lebih tinggi.

## **2.7 Karakterisasi Polimer Bercetakan Molekul**

Karakterisasi terhadap sisi pengikatan MIP dan struktur yang terbentuk dari monomer dan pengikat silang dapat dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer FTIR dan SEM-EDS. Analisis gugus fungsi yang mempengaruhi afinitas polimer dapat diketahui dengan menggunakan FTIR dan analisis morfologi permukaan MIP dapat diketahui dengan menggunakan SEM-EDS (Wang dkk., 2006).

Karakterisasi menggunakan SEM, umumnya dilengkapi dengan EDS agar dapat diketahui komposisi unsur-unsur penyusun polimer bercetakan molekul (Shoravi dkk., 2014). Karakterisasi menggunakan SAA digunakan untuk menentukan luas permukaan spesifik, volume pori spesifik, distribusi ukuran pori dan nilai diameter pori rata-rata partikel polimer. Selain itu, Isoterm Freundlich dan Langmuir-Freundlich merupakan model teoritis kromatografi yang paling cocok untuk karakterisasi MIP (Vasapollo dkk, 2011; Song, 2006).

## 2.8 Adsorpsi

Adsorpsi adalah akumulasi konsentrasi suatu zat pada permukaan zat lain. Proses ini dapat berlangsung dalam beberapa fase seperti cair- cair, gas-cair, gas-padat atau cair-padat. Reaksi permukaan adsorptif terjadi karena adanya gaya aktif zat terlarut dalam fase atau batas permukaan (Cecen dan Ozgur, 2011). Jika gaya tarik antara molekul adsorbat dan sisi aktif permukaan adsorben lebih kuat daripada gaya tarik antara molekul adsorbat, maka terjadi perpindahan massa adsorbat dari fase gerak (cairan pembawa adsorbat) ke permukaan adsorben (Midwar dkk., 2018).

Fase teradsorpsi disebut adsorbat dan fase terdesorpsi disebut adsorben. Adsorben adalah bahan berpori dimana proses adsorpsi berlangsung pada dinding pori-pori atau titik-titik tertentu pada adsorben (Rahmi dan Sajidah, 2017). Adsorben dapat secara efektif menahan partikel yang teradsorpsi jika memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi dengan pori-pori berdiameter kecil. Semakin banyak jumlah adsorben, maka semakin besar luas permukaan adsorbat yang akan terdesorpsi dan juga memberikan lebih banyak kesempatan untuk kontak dengan molekul adsorbat (Bathia dkk., 2000).

Laju adsorpsi berbanding lurus terhadap rasio adsorben serta berbanding terbalik terhadap ukuran partikel adsorben (Chen dkk., 2003). Jumlah zat yang dapat diadsorpsi oleh adsorben dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1) (Yang dkk., 2015).

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)V}{w} \quad (1)$$

Keterangan:

$q_e$  = Jumlah zat yang diadsorpsi oleh adsorben (mg/g)

$C_o$  = Konsentrasi awal (mg/L)

- $C_e$  = Konsentrasi akhir (mg/L)  
 $V$  = Volume sampel (L)  
 $W$  = Berat adsorben (g)

Bagian yang terpenting dalam proses adsorpsi adalah reaksi yang bersifat reversibel, dimana molekul akan terus menumpuk di permukaan sampai laju reaksi maju (adsorpsi) sama dengan laju reaksi balik (desorpsi) (Cecen dan Ozgur, 2011). Isoterm adsorpsi merupakan hubungan kesetimbangan antara konsentrasi pada fase cair dan konsentrasi pada partikel adsorben pada suhu tertentu (Anggriani dkk., 2021). Persamaan isotermal Langmuir dan Freundlich ditunjukkan pada persamaan (2) dan (3) berturut-turut (Zahra dkk., 2014).

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

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

Keterangan:

- $C_e$  = Konsentrasi saat kesetimbangan (mg/L)  
 $C_e$  = 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

## 2.9 Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi menyatakan adanya proses penyerapan suatu zat oleh adsorben dalam fungsi waktu (Anggriani dkk., 2021). Secara teoritis, kecepatan adsorpsi meningkat dengan kenaikan rasio massa adsorben dalam larutan, namun kecepatan adsorpsi akan turun dengan bertambahnya ukuran butiran zat penyerap (Mulyono dan Kusuma, 2010). Kinetika adsorpsi bergantung pada luas permukaan

adsorben, jenis pelarut, ukuran partikel, suhu, jenis gugus fungsi dan konsentrasi (Allen dkk., 2004).

Data kinetika adsorpsi memberikan informasi mengenai dinamika dari proses adsorpsi berdasarkan orde adsorpsi. Orde reaksi menyatakan ketergantungan laju reaksi terhadap konsentrasi suatu zat yang bereaksi. Pada beberapa penelitian, data kinetika adsorpsi diperoleh secara empiris dengan menggunakan model persamaan orde satu semu dan persamaan orde dua semu, adapun persamaannya dinyatakan sebagai persamaan (4):

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 (q_e - q_t) \quad (4)$$

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

$$\ln(q_e - q_t) = \ln(q_e) - k_1 t \quad (5)$$

Berdasarkan persamaan diatas, persamaan orde dua semu dinyatakan dalam persamaan (6):

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2 \quad (6)$$

Keterangan:

$k_2$  = tetapan laju adsorpsi pada orde dua semu ( $\text{menit}^{-1}$ )

$$\frac{1}{q_e - q_t} = \frac{1}{q_e} + k_2 t \quad (7)$$

Persamaan tersebut dapat ditulis dalam bentuk linear sebagai berikut:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (8)$$

Jika laju orde dua semu terpenuhi, akan diperoleh grafik linear dengan  $t/q_t$  versus  $t$  dan nilai-nilai  $q_e$  dan  $k_2$  dapat dihitung dari kemiringan dan intersep (Febriyantri, 2017).