

*Skripsi*

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI POLIMER BERCETAKAN  
MOLEKUL DENGAN MENGGUNAKAN MONOMER  
METAKRILAMIDA KOMBINASI PENGIKAT SILANG ETILEN  
GLIKOL DIMETAKRILAT SEBAGAI ADSORBEN  
DI-(2-ETILHEKSIL)FTALAT**

**FIRNA APRILIA**

**H031 19 1071**



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

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI POLIMER BERCETAKAN  
MOLEKUL DENGAN MENGGUNAKAN MONOMER  
METAKRILAMIDA KOMBINASI PENGIKAT SILANG ETILEN  
GLIKOL DIMETAKRILAT SEBAGAI ADSORBEN  
DI-(2-ETILHEKSIL)FTALAT**

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

**Oleh :**

**FIRNA APRILIA**

**H031191071**



**MAKASSAR**

**2023**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI POLIMER BERCETAKAN  
MOLEKUL DENGAN MENGGUNAKAN MONOMER  
METAKRILAMIDA KOMBINASI PENGIKAT SILANG ETILEN  
GLIKOL DIMETAKRILAT SEBAGAI ADSORBEN  
DI-(2-ETILHEKSIL)FTALAT**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**FIRNA APRILIA  
H031191071**

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

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Firna Aprilia

NIM : H031191071

Program Studi : Kimia

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa Skripsi dengan judul “Sintesis dan Karakterisasi Polimer Bercetakan Molekul dengan Menggunakan Monomer Metakrilamida Kombinasi Pengikat Silang Etilen Glikol Dimetakrilat sebagai Adsorben Di-(2-Etilheksil)Ftalat” adalah benar karya saya sendiri dan tidak melanggar hak cipta pihak lain. Apabila di kemudian 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

  
Firma Aprilia

## PRAKATA

*Assalamualaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh,*

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Pengasih atas segala berkat dan karunia-Nya sehingga proposal dengan judul “**Sintesis dan Karakterisasi Polimer Bercetakan Molekul dengan Menggunakan Monomer Metakrilamida Kombinasi Pengikat Silang Etilen Glikol Dimetakrilat sebagai Adsorben Di-(2-Etilheksil)Ftalat**” dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam kepada *Rasulullah Shallallahu'alaihi wasallam*. Penyusunan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana Sains, Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa banyaknya hambatan dan rintangan dalam tugas ini sehingga skripsi ini tidak akan bisa terselesaikan tanpa bantuan dan bimbingan dari banyak pihak. Oleh karena itu penulis dengan tulus dan ikhlas menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

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

3. ketua Departemen Kimia, ibu **Dr. St. Fauziah, M.Si** dan sekretaris Departemen Kimia, ibu **Dr. Nur Umriani Permatasari, M.Si**, serta seluruh dosen Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin yang telah membagi ilmu kepada penulis selama menempuh pendidikan.
4. para staf dan seluruh analis Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, terkhusus **Pak Iqbal**, selaku analis Laboratorium Kimia Fisika dan Laboratorium Kimia Terpadu (UV-Vis) serta **ibu Tini**, selaku analis Laboratorium Kimia Terpadu (FTIR) yang telah sabar dan selalu membantu peneliti selama ini.
5. teristimewa kedua orang tua penulis bapak **Firman** dan ibunda **Hasnawati** Terima kasih karena sudah mengantarkanku ketempat ini dengan segala perhatian, kasih sayang, waktu, materi, pengorbanan, motivasi serta do'a yang tulus yang tiada henti kepada penulis.
6. teman-teman seangkatan **Kimia 2019**, terkhusus saudara-saudariku **Konf19urasi 2019** yang selalu memberi cerita, menemani dalam suka dan duka membantu, dan menghiasi perkuliahan.
7. **Sulfa** selaku partner penelitian dan teman seperjuangan menyelesaikan tugas akhir, teman diskusi yang selalu membantu, menemani, melewati suka duka mengurus sana sini serta lainnya.
8. kakak-kakak, teman-teman satu lab penelitian terkhusus **Polimer tiba-tiba sempro** untuk saran dan bantuannya selama ini.
9. sahabat **Dixow**, Imha, Fika, Fina, dan Nunu yang telah menjadi teman dan keluarga terbaik diperantauan untuk semua bantuan, dukungan dan motivasi yang diberikan selama ini.

10. sahabat **Tugas Kelar**, Nur Rahmi, Putri Ranti Ashilah, Siti Fathirah Kamaluddin dan Sulfa Mubarika yang telah mewarnai masa perkuliahan menjadi teman diskusi baik akademik maupun organisasi.
11. seluruh **Keluarga Tercinta** yang telah banyak memberikan dukungan, bantuan, semangat, dan selalu mendoakan dalam mencapai gelar sarjana sains.
12. semua pihak yang terlibat dalam dan tak bisa penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan dukungan dalam bentuk moril maupun materil demi terselesainya skripsi ini.
13. terakhir, terima kasih untuk **Firna Aprilia** karena telah mampu berusaha keras dan berjuang sejauh ini. Mampu mengendalikan diri dari berbagai tekanan diluar keadaan dan tak pernah memutuskan menyerah sesulit apapun proses yang dijalani, ini merupakan pencapaian yang patut dibanggakan untuk diri sendiri.

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

Makassar, 2023

Penulis

## ABSTRAK

*Molecularly Imprinted Polymer* (MIP) merupakan material cerdas yang disintesis dengan menggunakan molekul cetakan dan menghasilkan model ikatan yang spesifik dengan molekul target. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan sintesis, karakterisasi, dan analisis kerja dari MIP. Material MIP disintesis menggunakan monomer metakrilamida (MAM) kombinasi pengikat silang etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) dan molekul cetakan di-(2-etilheksil)ftalat (DEHP) dengan metode polimerisasi presipitasi. Material MIP dikarakterisasi dengan instrumen spektrofotometer FTIR, SEM-EDS, SAA, dan spektrofotometer UV-Vis. Parameter uji kemampuan adsorpsi material MIP molekul DEHP adalah waktu dan konsentrasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa MIP yang telah disintesis merupakan padatan yang berbentuk butiran putih. Hasil karakterisasi dengan FTIR menunjukkan ikatan yang berpengaruh pada pembentukan polimer adalah amina, karbonil, dan alkena. Hasil karakterisasi dengan SEM menunjukkan morfologi permukaan dari MIP\_DEHP\_MAM-co-EGDMA yang berupa butiran-butiran dengan ukuran yang seragam dan tekstur yang lebih halus serta tidak rapat jika dibandingkan dengan NIP. Hasil karakterisasi SAA menunjukkan radius pori yang menandakan material mesopori. Hasil karakterisasi EDS menunjukkan adanya penurunan persen massa dan persen atom C karena terekstraknya molekul DEHP pada MIP\_DEHP\_MAM-co-EGDMA. Model kinetika adsorpsi untuk MIP\_DEHP\_MAM-co-EGDMA<sub>(TE)</sub> mengikuti model kinetika adsorpsi orde dua semu. Penentuan kapasitas adsorpsi MIP\_DEHP\_MAM-co-EGDMA<sub>(TE)</sub> sesuai dengan model adsorpsi isotermal Freundlich.

**Kata kunci** : DEHP, EGDMA, MAM, MIP, Polimer.

## ABSTRAC

*Molecularly Imprinted Polymer (MIP)* is a smart material that is synthesized using template molecules and generates a specific bond model with the target molecule. This study aims to carry out the synthesis, characterization, and working analysis of MIP. The MIP material was synthesized using methacrylamide monomer (MAM) a combination of ethylene glycol dimethacrylate (EGDMA) crosslinker and di-(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) template molecule by precipitation polymerization method. MIP materials were characterized using FTIR, SEM-EDS, SAA, and UV-Vis spectrophotometer instruments. The test parameters for the adsorption ability of the DEHP molecule MIP material were time and concentration. The results showed that the MIP that had been synthesized was white granular solid. The results of characterization with FTIR show that the bonds that affect the formation of polymers are amines, carbonyls, and alkenes. The results of characterization with SEM showed the surface morphology of MIP\_DEHP\_MAM-co-EGDMA which is in the form of granules with a uniform size and a finer and less dense texture when compared to NIP. The results of the SAA characterization show pore radius indicating mesoporous material. The results of the EDS characterization showed a decrease in mass percent and C atom percent due to the extraction of DEHP molecules into MIP\_DEHP\_MAM-co-EGDMA. The adsorption kinetics model for MIP\_DEHP\_MAM-co-EGDMA(TE) follows the pseudo second order adsorption kinetics model. Determination of the adsorption capacity of MIP\_DEHP\_MAM-co-EGDMA(TE) according to the Freundlich isothermal adsorption model.

**Keywords:** DEHP, EGDMA, MAM, MIP, Polymer.

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
PRAKATA.....	iv
ABSTRAK.....	vii
ABSTRAC.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Kemasan Plastik.....	8
2.2 Senyawa Di-(2-Etilheksil)Ftalat.....	9
2.3 Polimer Bercetakan Molekul dan Aplikasinya.....	10
2.4 Komponen Sintesis MIP.....	12
2.5 Polimerisasi.....	16
2.6 Metode Polimerisasi Presipitasi.....	18
2.7 Karakterisasi Sintesis MIP.....	19
2.8 Adsorpsi.....	20
2.9 Kinetika Adsorpsi.....	22

BAB III METODE PENELITIAN.....	24
3.1 Bahan Penelitian.....	24
3.2 Alat Penelitian.....	24
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian.....	24
3.4 Prosedur Penelitian.....	25
3.4.1 Sintesis MIP dan NIP.....	25
3.4.2 Karakterisasi MIP dan NIP.....	26
3.4.3 Pembuatan Larutan Standar DEHP 100 mgL <sup>-1</sup> .....	26
3.4.4 Uji Kemampuan Adsorpsi MIP dan NIP.....	27
3.4.5 Penentuan Kinetika Adsorpsi.....	28
3.4.6 Penentuan Kapasitas Adsorpsi.....	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Sintesis <i>Molecularly Imprinted Polymer</i> (MIP).....	29
4.2 Karakterisasi NIP dan MIP.....	31
4.2.1 Karakterisasi NIP dan MIP menggunakan EDS.....	31
4.2.2 Karakterisasi NIP dan MIP menggunakan SEM.....	34
4.2.3 Karakterisasi NIP dan MIP menggunakan FTIR.....	34
4.2.4 Karakterisasi MIP menggunakan SAA.....	36
4.3 Karakterisasi Kemampuan Adsorpsi MIP dan NIP.....	38
4.3.1 Pengaruh Waktu terhadap Adsorpsi DEHP oleh MIP.....	38
4.3.2 Pengaruh Konsentrasi terhadap Adsorpsi DEHP oleh MIP....	42
BAB V KESIMPULAN.....	45
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA.....	46
LAMPIRAN.....	52

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Uji kualitatif senyawa DEHP pada ekstrak pelarut campuran metanol:asam asetat (9:1) dengan instrumen spektrofometer UV...	29
2. Data EDS dari NIP_MAM-co-EGDMA, MIP_DEHP_MAM-co-EGDMA <sub>(BE)</sub> dan MIP_DEHP_MAM-co-EGDMA <sub>(TE)</sub> .....	32
3. Data bilangan gelombang hasil analisis FTIR untuk monomer MAM, NIP_MAM-co-EGDMA, MIP_DEHP_MAM-co-EGDMA <sub>(BE)</sub> dan MIP_DEHP_MAM-co-EGDMA <sub>(TE)</sub> .....	35
4. Hasil analisis dengan menggunakan instrumen SAA.....	36
5. Data parameter kinetika adsorpsi DEHP oleh MIP_DEHP_MAM-co-EGDMA <sub>(TE)</sub> berdasarkan persamaan kinetika orde satu semu dan kinetika orde dua semu.....	41
6. Parameter adsorpsi DEHP oleh MIP_DEHP_MAM-co-EGDMA <sub>(TE)</sub> yang diperoleh dari kurva isotermal adsorpsi Langmuir dan isotermal adsorpsi Freundlich.....	44

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur DEHP.....	10
2. Skema proses pencetakan molekul.....	11
3. Struktur molekul metakrilamida.....	13
4. Struktur molekul EGDMA.....	14
5. Struktur molekul AIBN.....	15
6. Mekanisme reaksi inisiasi.....	16
7. Mekanisme reaksi propagasi.....	17
8. Mekanisme reaksi terminasi.....	18
9. Skema reaksi sintesis MIP_DEHP_MAM-co-EGDMA, (a) tahap prapolimerisasi, (b) tahap polimerisasi dan (c) tahap ekstraksi.....	30
10. Morfologi permukaan dengan perbesaran 10.000x (a) NIP_MAM-co-EGDMA (b) MIP_DEHP_MAM-co-EGDMA <sub>(BE)</sub> (c) MIP_DEHP_MAM-co-EGDMA <sub>(TE)</sub> .....	33
11. Spektrum FTIR (a) MAM (b) NIP_MAM-co-EGDMA (c) MIP_DEHP_MAM-co-EGDMA <sub>(BE)</sub> (d) MIP_DEHP_MAM-co-EGDMA <sub>(TE)</sub> .....	34
12. Hubungan diameter pori terhadap volume N <sub>2</sub> yang teradsorpsi pada MIP_DEHP_MAM-co-EGDMA <sub>(TE)</sub> .....	37
13. Kemampuan adsorpsi DEHP oleh NIP dan MIP.....	38
14. Pengaruh waktu terhadap jumlah DEHP yang diadsorpsi oleh MIP_DEHP_MAM-co-EGDMA <sub>(TE)</sub> .....	39
15. (a) Kurva kinetika orde satu semu dan (b) Kurva kinetika orde dua semu untuk adsorpsi DEHP oleh MIP_DEHP_MAM-co-EGDMA <sub>(TE)</sub> .....	40
16. Pengaruh Konsentrasi terhadap kemampuan adsorpsi MIP_DEHP_MAM-co-EGDMA <sub>(TE)</sub> pada DEHP.....	42
17. Kurva isothermal adsorpsi Langmuir (a) dan Freundlich (b) dari adsorpsi DEHP oleh MIP_DEHP_MAM-co-EGDMA <sub>(TE)</sub> .....	43
18. Kurva non linear MIP_DEHP_MAM-co-EGDMA <sub>(TE)</sub> .....	44

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Skema Sintesis Polimer Bercetakan Molekul DEHP Menggunakan Metode Polimerisasi Presipitasi.....	52
2. Bagan Alir Prosedur Kerja.....	53
3. Data Spektrofotometer UV-Vis.....	57
4. Perhitungan.....	60
5. Foto Hasil Penelitian.....	64
6. Karakterisasi EDS.....	67
7. Karakterisasi FTIR.....	71
8. Karakterisasi SAA.....	74
9. Contoh Perhitungan Nilai $K_1$ dan $K_2$ berdasarkan Persamaan Orde Satu Semu dan Orde Dua Semu.....	76
10. Contoh Perhitungan Nilai Kapasitas Adsorpsi berdasarkan Model Persamaan Isotermal Langmuir dan Isotermal Freundlich.....	77

## DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

<b>Simbol/Singkatan</b>	<b>Arti</b>
MIP	<i>Molecularly Imprinted Polymer</i> (Polimer bercetakan molekul)
NIP	<i>Non Imprinted Polymer</i>
DEHP	Di-(2-etilheksil)Ftalat
MAM	Metakrilamida
AIBN	Azobisisobutironitril
EGDMA	Etilen Glikol Dimetakrilat
SPE	<i>Solid Phase Extraction</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**

Kemasan memiliki peranan yang penting untuk perlindungan produk dengan baik dari cuaca, perubahan suhu, serangga dan bakteri (Widiati, 2019). Kemasan tidak hanya dituntut untuk memenuhi fungsi-fungsi dasar sebagai wadah untuk perlindungan dan pengawetan, tetapi saat ini suatu kemasan juga dituntut untuk ramah lingkungan. Kemasan pangan sangat diperlukan karena beragam makanan yang akan dijual ke konsumen terlebih dahulu ditempatkan dalam wadah atau kemasan (Sucipta dkk., 2017). Menurut Kementerian Kesehatan (2013) kemasan yang paling banyak digunakan adalah kemasan plastik.

Plastik menjadi kemasan makanan yang paling populer digunakan. Meskipun memiliki berbagai keunggulan plastik juga memiliki kelemahan. Salah satunya plastik tidak tahan panas dan bersifat racun karena dapat mencemari produk makanan akibat migrasi bahan yang digunakan dalam pembuatan plastik. Akibatnya, konsumsi produk makanan yang dikemas dalam plastik tersebut dapat menyebabkan gangguan kesehatan bagi konsumennya (Ilmiawati dkk., 2017). Wadah atau kemasan menjadi salah satu bagian yang mempengaruhi kualitas gizi dari suatu bahan makanan. Penggunaan plastik dalam pengemasan memiliki keunggulan seperti, kuat tapi ringan, tidak berkarat, bersifat termoplastik, yaitu dapat direkat menggunakan panas (Jumadewi dkk., 2020). Plastik merupakan bahan polimer sintesis yang murah dan mudah didapat serta sangat praktis digunakan.

Plastik adalah polimer sintesis yang akan terdegradasi dalam waktu puluhan bahkan ratusan tahun. Polimer plastik tersusun atas monomer melalui reaksi polimerisasi (Kamsiati dkk., 2017). Plastik polietilen tereftalat (PET) merupakan tipe plastik lunak bersifat jernih dan transparan, tipe plastik yang digunakan sebagai kemasan makanan dan minuman, melunak pada suhu 180°C dan mencair dengan sempurna pada suhu 200°C (Yahya dan Siagian, 2021). Botol plastik PET biasanya digunakan pada minuman kemasan yang memiliki logo dengan angka 1. Pada dasarnya, botol plastik PET hanya boleh digunakan satu kali pakai setelah itu didaur ulang. Penggunaan botol plastik secara berulang dapat membuat bahan berbahaya pada botol plastik termigrasi ke dalam minuman yang dikemas (Nadeak dkk., 2019).

Botol plastik PET tersusun atas polimer yang dapat lepas ke dalam air pada suhu tinggi dan penyimpanan dalam jangka waktu yang lama. Penggunaan botol plastik PET beresiko dalam migrasi senyawa di-(2-etilheksil)ftalat (DEHP) ke dalam air minum. Senyawa DEHP merupakan salah satu senyawa ftalat yang sering digunakan sebagai bahan pemlastis dalam pembuatan botol plastik. Senyawa ini dapat bermigrasi dari botol plastik ke dalam air yang dapat menyebabkan penyakit kanker pada manusia dan paparan jangka panjang dapat berpengaruh pada hati dan ginjal (Widoastuti dkk., 2019). Senyawa DEHP banyak digunakan sebagai pemlastis untuk membuat plastik fleksibel pada produk polimer. Nilai ambang batas DEHP dalam air minum adalah 0,006 mg.L<sup>-1</sup>. Metode pendeteksian DEHP pada produk minuman berkemasan plastik dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Solid Phase Extraction* (SPE) (Fauziah dkk., 2021).

Teknik preparasi dengan SPE memiliki beberapa kelemahan yaitu selektivitas yang kurang, terbentuknya ko-ekstraksi antara material pengganggu dengan target

analisis sehingga metode ini dikombinasikan dengan metode terbaru polimer (Afifah dan Wicaksono, 2018). Pengembangan adsorben yang sering digunakan adalah modifikasinya dengan *molecularly imprinted polymer* (MIP). Modifikasi adsorben dengan MIP banyak digunakan karena sifat utamanya yang selektif. Sintesis MIP dapat dilakukan dengan cara polimerisasi molekul cetakan dengan pelarut yang sesuai. Monomer yang digunakan dalam proses sintesis MIP harus disesuaikan dengan molekul cetakan yang digunakan karena gugus yang terdapat pada monomer digunakan untuk membentuk ikatan hidrogen antara matriks polimer dan gugus fungsional dari molekul cetakan (Asni dan Sianita, 2020).

Material MIP yang dikombinasikan dalam metode SPE sebagai adsorben atau fase diam memiliki keuntungan yaitu ketahanan fisik yang lebih tinggi, metode yang lebih mudah, biaya yang lebih murah untuk disintesis dan masa penyimpanan polimer yang lebih lama dan tetap stabil (Afifah dan Wicaksono, 2018). *Non imprinted polymer* (NIP) atau polimer tidak bercetakan molekul juga digunakan sebagai pembanding karakteristik dan kinerja dari MIP yang diekstraksi serta tanpa diekstraksi (Freitas, 2015). NIP disintesis dengan cara yang sama dengan MIP tanpa menggunakan molekul cetakan (Fauziah dkk., 2021).

Menurut Atqa dan Sianita (2021), metode polimerisasi presipitasi pada sintesis MIP lebih sederhana dibandingkan dengan metode polimerisasi lainnya seperti polimerisasi ruah. Partikel polimer yang dihasilkan memiliki ukuran partikel yang lebih seragam dan tidak memerlukan langkah penghancuran dan penyaringan dibandingkan dengan polimerisasi ruah sehingga struktur pengikat dan sisi polimer tidak rusak. Adanya proses penghancuran dan penyaringan polimer dapat merusak pori pada MIP yang dapat mengganggu proses pengikatan kembali molekul cetakan

sehingga MIP tidak dapat mengadsorpsi secara maksimal karena partikel yang dihasilkan memiliki luas permukaan spesifik yang lebih rendah dan banyak molekul cetakan yang rusak menyebabkan kemampuan adsorpsi yang dihasilkan oleh MIP menjadi lebih rendah. Afinitas pengikatan yang dihasilkan dengan metode ini juga sangat baik (Hasanah dkk., 2019). Sintesis polimer MIP dengan metode polimerisasi presipitasi dilakukan dengan mencampurkan molekul cetak, monomer, pengikat silang dan menggunakan pelarut porogen yang telah banyak dibandingkan menggunakan metode ruah (Fauziah dkk., 2019). Penelitian yang dilakukan oleh Jupri dkk (2022) sintesis MIP\_DEHP dengan menggunakan metode polimerisasi presipitasi menghasilkan MIP dengan ukuran partikel yang seragam dan kinerja adsorpsi yang lebih baik dibandingkan dengan NIP. Penelitian lain yang dilakukan oleh Fauziah dkk (2021) MIP yang disintesis menggunakan metode polimerisasi presipitasi dapat mengadsorpsi DEHP sebanyak 0,487 mg/g dengan waktu optimum 60 menit.

Bahan yang digunakan untuk mensintesis MIP dengan metode polimerisasi presipitasi salah satunya yaitu monomer fungsional. Monomer fungsional memiliki peranan untuk membentuk kompleks pre-polimerisasi bersama molekul cetakan dengan menyediakan gugus fungsional. Oleh karena itu, pemilihan monomer fungsional merupakan salah satu faktor penentu kuat lemahnya interaksi dengan molekul cetakan (Chen dkk., 2016). Masumoto dkk (2021) berhasil melakukan sintesis MIP dengan menggunakan monomer metakrilamida (MAM). Kinerja polimer menggunakan monomer MAM sangat bergantung pada struktur kimia yang terlokalisasi di sekitar gugus fungsi amida (Fugolin dkk., 2021). Menurut Kornev dkk (2018) metakrilamida adalah prekursor dari metil metakrilat (MMA).

Monomer MAM akan diikat dengan menggunakan pengikat silang untuk membentuk rantai panjang polimer. Pengikat silang (*crosslinker*) berfungsi sebagai penghubung yang berperan dalam mengontrol morfologi matriks polimer, menstabilkan rongga ikatan serta menjaga kestabilan mekanik. Etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) merupakan salah satu pengikat silang yang sering digunakan pada sintesis MIP (Asni dan Sianita, 2020). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ceglowski dkk (2019), pengikat silang yang tepat memiliki dampak yang tinggi pada sifat adsorpsi MIP. Material MIP yang menggunakan EGDMA sebagai pengikat silang memiliki sifat adsorpsi sekitar 3 kali lebih tinggi dibanding dengan menggunakan pengikat silang trimetilpropana trimetakrilat (TRIM).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian tentang sintesis dan karakterisasi polimer bercetakan molekul DEHP dengan menggunakan monomer MAM dan pengikat silang EGDMA melalui metode polimerisasi presipitasi telah dilakukan. Material MIP yang dihasilkan dikarakterisasi dengan instrumen *Scanning Electron Microscope* (SEM), *Energy Dispersive Spectroscopy*, *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *Surface Area Analyzer* (SAA), *Ultra Violet-Visible* (UV-Vis), dan kemampuannya dalam mengadsorpsi senyawa DEHP yang dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. bagaimana hasil sintesis dan karakteristik dari polimer bercetakan molekul di-(2-etilheksil)ftalat (DEHP) dengan menggunakan monomer fungsional metakrilamida (MAM) kombinasi pengikat silang etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) metode presipitasi?

2. menganalisis model kinetika adsorpsi yang sesuai MIP berdasarkan pengaruh variasi waktu ?
3. bagaimana kapasitas adsorpsi MIP terhadap DEHP berdasarkan pengaruh konsentrasi?

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

#### **1.3.1 Maksud Penelitian**

Maksud dari penelitian ini adalah mensintesis polimer bercetakan molekul menggunakan monomer metakrilamida kombinasi pengikat silang etilen glikol dimetakrilat sebagai adsorben di-(2-etilheksil)ftalat dengan metode presipitasi.

#### **1.3.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. melakukan sintesis dan karakterisasi dari polimer bercetakan molekul di-(2-etilheksil)ftalat (DEHP) yang disintesis ,menggunakan monomer fungsional metakrilamida (MAM) kombinasi pengikat silang etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) dengan metode presipitasi.
2. menentukan model kinetika adsorpsi yang sesuai untuk polimer bercetakan molekul DEHP berdasarkan pengaruh variasi waktu.
3. menentukan kapasitas adsorpsi MIP terhadap DEHP berdasarkan pengaruh konsentrasi.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang cara mensintesis MIP DEHP dengan monomer metakrilamida kombinasi pengikat silang

etilen glikol dimetakrilat dengan metode polimerisasi presipitasi dan menghasilkan material cerdas yang dapat dimanfaatkan sebagai adsorben atau fasa diam pada metode SPE dan dapat diaplikasikan dalam proses pemurnian, maupun sensor kimia.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kemasan Plastik**

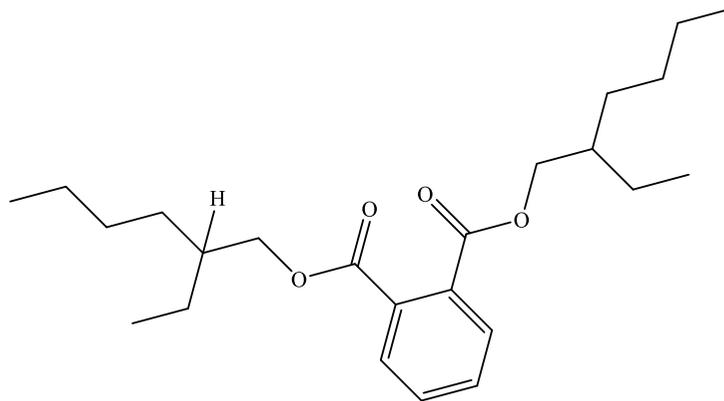
Plastik merupakan bahan yang banyak digunakan di berbagai industri dan keperluan rumah tangga. Berdasarkan data dari *Plastic Europe* (2019), produksi plastik global pada tahun 2019 mencapai 359 juta ton dan mengalami peningkatan sebesar 3,2% dibandingkan dengan produksi tahun sebelumnya. Plastik sebagai kemasan makanan dan minuman terbuat dari bahan polimer sintesis yang murah dan mudah didapat serta sangat praktis dalam penggunaannya. polietilen tereftalat (PET) atau yang biasa disebut dengan poliester merupakan bahan plastik yang biasanya digunakan untuk membuat botol minuman sekali pakai. Produk botol yang memiliki titik leleh 85°C ini bisa menyebabkan kanker bila digunakan lebih dari sekali dan untuk menampung air dengan suhu yang tinggi (Yuliyanti, 2020). Namun, dalam proses produksi plastik berbagai zat yang dikenal sebagai pemlastis ditambahkan untuk mendapatkan karakter plastik yang diinginkan seperti bening, kuat, rentang toleransi suhu yang tinggi, dan fleksibel (Suraji dan Sastrodiharjo, 2021). Salah satu bahan kimia yang banyak digunakan sebagai pemlastis adalah senyawa ftalat, misalnya dibutil ftalat (DBP) dan di-(2-etilheksil)ftalat (DEHP) (Irawan dan Supeni, 2013). Menurut Laelasari dkk (2021), DEHP paling banyak digunakan di dalam produksi plastik.

Senyawa ftalat dikategorikan dalam senyawa toksik dan beresiko dalam mengganggu kerja kelenjar endokrin. Bahkan salah satu senyawa ftalat yang banyak digunakan sebagai zat aditif pemlastis, yaitu DEHP dikategorikan dalam golongan 2B

(*Probably Carcinogenic*) (Laelasari dkk., 2021). Senyawa ini sangat berbahaya karena dapat bermigrasi ke dalam makanan dan minuman yang dikemas, apalagi dalam keadaan panas dan berminyak (Jumadewi dkk., 2020). Senyawa ftalat dapat bermigrasi dengan mudah karena senyawa ini terikat kovalen pada polimer plastik dan ikatan tersebut mudah lepas hanya dengan perlakuan fisik. Terjadinya migrasi juga disebabkan oleh beberapa faktor yaitu, konsentrasi pemlastis, waktu penyimpanan suhu, kandungan lemak dalam makanan, dan area kontak. Semakin lama dan tinggi suhu penyimpanan maka migrasi akan semakin banyak (Wang dan Zhang, 2017). Berdasarkan studi yang telah dilakukan oleh Indrawijaya dkk (2021), ftalat dapat mempengaruhi perkembangan sistem reproduksi pria, atau mengurangi tingkat hormon testosteron pria, selain itu juga dapat menimbulkan penyakit kanker.

## **2.2 Senyawa Di-(2-etilheksil)Ftalat (DEHP)**

Senyawa (DEHP) adalah senyawa organik dengan rumus kimia  $C_6H_4(CO_2C_8H_{17})_2$ . Massa molar dari senyawa ini adalah  $390,564 \text{ g.mol}^{-1}$  dengan persentase kelarutan dalam air sebanyak 0,00003% (23,8 °C). Senyawa DEHP merupakan salah satu dari jenis senyawa ftalat yang digunakan sebagai plastizer. Senyawa ini berasal dari diester asam ftalat dan rantai cabang 2-etilheksanol, bersifat larut dalam minyak, tetapi tidak larut di dalam air. Senyawa ini umumnya ditambahkan ke plastik untuk membuatnya fleksibel. Senyawa DEHP memiliki ciri tidak berwarna dan hampir tidak berbau (NCBI, 2022). Senyawa DEHP diproduksi dengan mereaksikan 2-etilheksanol berlebih dengan ftalat anhidrida dengan menggunakan katalis asam (NCBI, 2022). Struktur senyawa DEHP dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Struktur DEHP (NCBI, 2022)

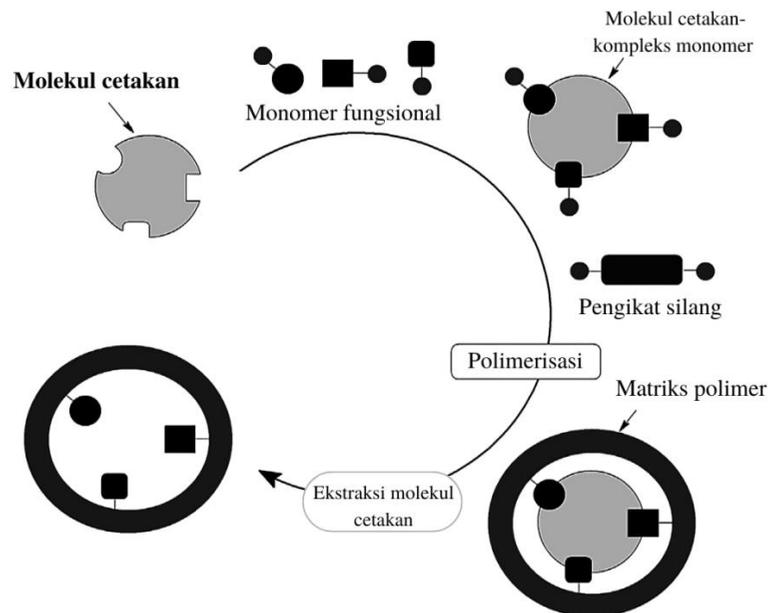
Produksi DEHP mencapai 2 juta ton per tahun di Amerika Serikat dan telah menjadi perhatian khusus sejak tahun 1960-an karena DEHP yang bermigrasi ke dalam jaringan tubuh manusia akibat penggunaan peralatan medis yang berbahan plastik (Laelasari, 2021). Senyawa DEHP dapat bermigrasi ke dalam minuman. Dampak dari senyawa toksik yang bermigrasi dapat memicu kanker karena sifatnya yang karsinogenik pada manusia (Birzul dkk., 2019)

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

*Molecularly Imprinted Polymer (MIP)* merupakan suatu teknik pembuatan polimer dengan menggunakan molekul cetakan dan menghasilkan model ikatan yang spesifik dengan molekul target (Yusuf dan Sianita, 2022). Struktur polimer bepori dengan rongga mikro yang melengkapi molekul cetakan, merupakan faktor terpenting dalam pengenalan molekul (Wloch dan Datta, 2019). Pori ini berperan untuk mengenal molekul sasaran dengan ukuran, struktur dan sifat fisika kimia yang sama dengan analitnya. Material MIP sebagai adsorben digunakan untuk pemisahan, pemekatan, menganalisis zat sasaran dan menghilangkan zat sasaran yang tidak diinginkan. Konsep dari MIP mengikuti prinsip *Lock and Key* Fischer dimana MIP bekerja sebagai bahan

berpori yang memiliki situs pengenalan molekul tertentu yang hanya cocok untuk molekul target tertentu (Othman dkk., 2017).

Menurut Atqa dan Sianita (2021), sintesis MIP memiliki tiga tahap utama yaitu tahap pembentukan kompleks spesifik berupa ikatan non-kovalen dengan cara perakitan mandiri (*self-assembly*) monomer fungsional di sekitar molekul cetakan dalam pelarut polar atau aprotik (pra-polimerisasi). Tahap selanjutnya terjadinya kopolimerisasi dengan adanya pengikat silang berlebih serta inisiator, diharapkan hasil kopolimer yang rigid dan berpori. Tahap terakhir penghilangan molekul cetakan dari polimer dengan ekstraksi, pada tahap ini polimer tercetak menghasilkan memori permanen untuk spesies molekul cetakan yang dibentuk sehingga situs pengikatan yang secara selektif dapat terbentuk untuk mengidentifikasi molekul molekul cetakan pada aplikasi MIP akhir. Skema pencetakan molekul dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Skema proses pencetakan molekul (Othman dkk, 2017)

Molekul yang terbentuk dari kopolimerisasi molekul cetakan dari monomer fungsional yang berinteraksi kuat dengan molekul-molekul cetakan dan sejumlah

besar zat pengikat silang yang membawa kekakuan pada material. Penghilangan molekul cetakan dengan ekstraksi meninggalkan sisa molekul yang memiliki ingatan bentuk dan posisi gugus fungsi dari molekul cetakan. Gagasan pengikatan selektif yang berasal dari bentuk rongga. Bentuk pengikatan selektif yang baik berada pada posisi yang tepat dari monomer fungsional untuk interaksi terarah yang optimal dengan molekul cetakan dan kemungkinan pengikatan dari sisa molekul. Oleh karena itu, rongga yang hanya memiliki bentuk dari molekul cetakan, memerlukan monomer fungsional (Boukadida dkk., 2022).

Aplikasi dari material MIP banyak digunakan secara meluas di segala aspek kehidupan seperti dalam ekstraksi fasa padat, sensor dan kromatografi karena potensinya dalam mengadsorpsi molekul target secara spesifik (Mustapa dkk., 2016). Material MIP juga banyak digunakan sebagai analisis kimia khususnya pada bidang pangan dan kesehatan (Rahmad dan Sunarto, 2017). Selain, itu MIP dapat diaplikasikan sebagai material sensor yang baik dan adsorben atau fasa diam pada SPE (Aprilia dkk., 2020).

## **2.4 Komponen Sintesis MIP**

Menurut Komalasari dkk (2021), MIP yang memiliki sensitivitas dan selektivitas yang tinggi diperoleh dengan cara mensintesis komponen-komponen MIP. Komponen-komponen penyusun MIP terdiri atas molekul cetakan, monomer fungsional, pengikat silang (crosslinker), pelarut porogen dan inisiator.

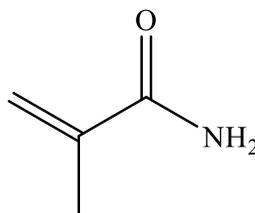
### **2.4.1 Molekul Cetakan**

Molekul cetakan memiliki peran yang sangat penting dalam proses pencetakan molekul, struktur molekul cetakan dapat menentukan tipe monomer fungsional yang

akan digunakan dalam sintesis MIP (Freitas, 2015). Molekul cetakan harus mengandung gugus fungsi yang bersifat inert selama polimerisasi dan gugus fungsi yang dapat membentuk kompleks molekul cetakan-monomer yang stabil. Selain itu, molekul cetakan memiliki stabilitas kimia dan termal yang sangat baik selama proses polimerisasi (Wloch dan Datta, 2019).

#### 2.4.2 Monomer Fungsional

Pemilihan monomer fungsional yang tepat menjadi faktor penting dalam MIP. Monomer fungsional yang tepat akan dapat berinteraksi dengan molekul molekul cetakan. Pilihan monomer fungsional mempengaruhi struktur situs pengenalan dan mempengaruhi jumlah pengikatan. monomer fungsional harus memungkinkan untuk mendapatkan rongga yang sangat spesifik distribusi seragam situs pengikatan MIP di akhir (Wloch dan Datta, 2019). Dalam tahap preparasi, monomer akan membentuk kompleks dengan molekul target melalui interaksi kovalen dan non-kovalen (Yusof dkk., 2013) Salah satu monomer fungsional yang telah digunakan pada sintesis MIP oleh Achman (2022) adalah monomer metakrilamida. Struktur molekul metakrilamida dapat dilihat pada Gambar 3.

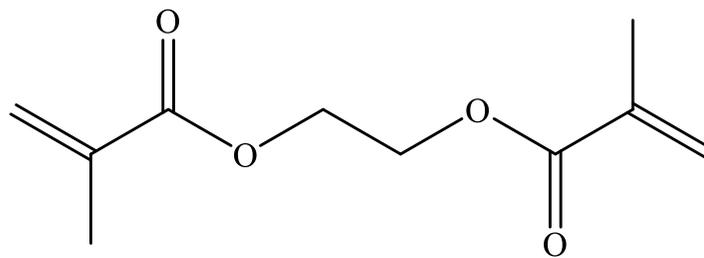


**Gambar 3.** Struktur molekul metakrilamida (Wloch dan Datta, 2019).

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

Pada saat polimerisasi, pengikat silang berfungsi memperbaiki monomer fungsional di sekitar molekul molekul cetakan yang menghasilkan jaringan polimer

kaku yang sangat tahan terhadap proses penghilangan molekul cetakan. Ikatan silang mempengaruhi morfologi dan kinerja mekanik dari matriks polimer dan selektivitas serta kapasitas pengikatan MIP. Faktor yang paling penting adalah jenis dan jumlah pengikat silang yang digunakan untuk polimerisasi. Jumlah pengikat silang yang lebih tinggi memungkinkan untuk mendapatkan material berpori yang stabil, jumlah molekul yang lebih tinggi, stabilitas mekanik yang lebih tinggi dan efisiensi pengikatan MIP. Etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) adalah senyawa pengikat silang yang paling umum digunakan (Wloch dan Datta, 2019). Struktur molekul ikatan silang EGDMA dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Struktur molekul EGDMA (Wloch dan Datta, 2019)

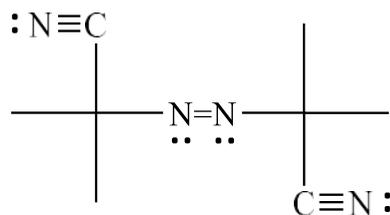
#### 2.4.4 Pelarut Porogenik

Pelarut porogen bertindak sebagai media reaksi dan agen pembentuk pori. Metode pencetakan non-kovalen menggunakan pelarut non-polar dan kurang polar. Jenis pelarut yang digunakan mempengaruhi efisiensi pencetakan, interaksi antara molekul cetakan dan monomer fungsional, sifat penyerapan dan morfologi polimer. Semakin banyak jumlah pelarut yang digunakan mengakibatkan peningkatan ukuran pori-pori, sehingga jumlah pelarut yang tepat akan meningkatkan pembentukan rongga spesifik yang dirancang untuk mengikat molekul cetakan. Pelarut yang non-polar meningkatkan pembentukan kompleks monomer-molekul cetakan fungsional (stabilisasi ikatan hidrogen), sedangkan pelarut yang lebih polar mengganggu interaksi

dalam kompleks yang terbentuk, sehingga keberadaan air tidak mungkin dilakukan dalam prosedur (Wloch dan Datta, 2019). Pelarut porogen toluena merupakan pelarut yang paling optimum dalam sintesis MIP karena kapasitas adsorpsi yang dihasilkan jauh lebih banyak (Chen dkk., 2017).

#### 2.4.5 Inisiator

Senyawa peroksi dan azo umumnya digunakan sebagai inisiator dalam sintesis MIP melalui polimerisasi radikal bebas. Radikal yang stabil dan berpusat pada karbon yang dihasilkan memulai polimerisasi. Polimerisasi radikal bebas harus dilakukan dalam atmosfer gas inert karena kemungkinan reaksi samping dengan oksigen terjadi (Wloch dan Datta, 2019). Inisiator bukan katalis karena inisiator akan diubah secara kimiawi selama proses polimerisasi. Inisiator biasanya merupakan senyawa organik lemah yang dapat di dekomposisi secara termal atau dengan iradiasi untuk menghasilkan radikal bebas, yaitu molekul yang mengandung atom dengan elektron yang tidak berpasangan. Saat memilih inisiator untuk polimerisasi radikal bebas, parameter penting yang harus diperhatikan adalah kisaran suhu yang akan digunakan untuk polimerisasi dan reaktivitas radikal yang terbentuk (Hamzah, 2017). Salah satu jenis inisiator yang digunakan pada sintesis MIP yaitu inisiator azobisisobutironitril (AIBN) yang berfungsi untuk mempecepat reaksi polimerisasi (Sibarani dkk., 2019). Struktur molekul AIBN dapat dilihat pada Gambar 5.



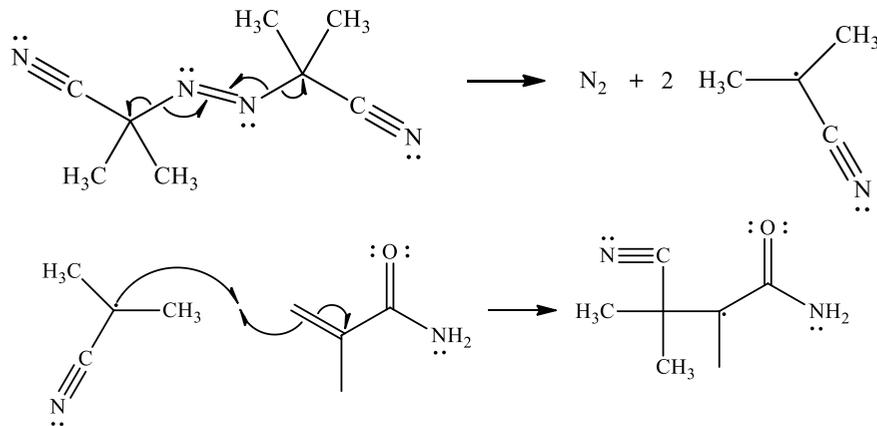
**Gambar 5.** Struktur molekul AIBN (Sibarani dkk., 2019).

## 2.5 Polimerisasi

Proses polimerisasi memegang peranan penting untuk memperoleh MIP dengan kapasitas pengikatan yang baik (Nurhayati dkk., 2016; Aprilia dkk., 2020). Proses polimerisasi terdiri atas tiga langkah reaksi, yaitu inisiasi (*initiation*), propagasi (*propagation*), dan terminasi (*termination*). Inisiasi merupakan reaksi awal pembentukan radikal bebas yang diikuti reaksi propagasi, yaitu langkah reaksi dimana terjadi pertumbuhan rantai polimer secara berulang-ulang, dan reaksi rantai ini diakhiri dengan tahapan terminasi (Rochmadi dan Permono, 2015).

### 2.5.1 Inisiasi

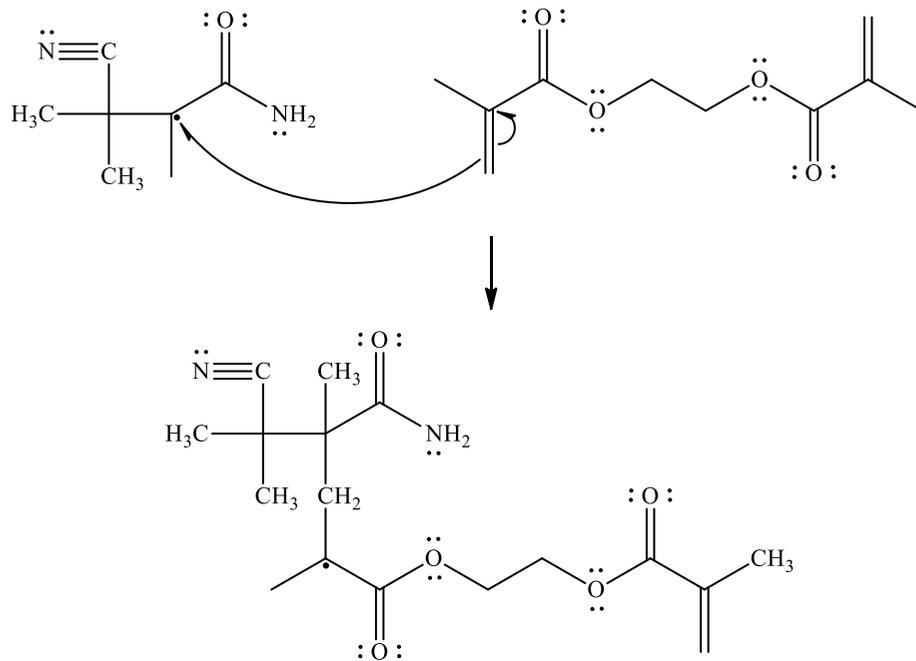
Inisiasi melibatkan pembentukan monomer yang aktif dalam bentuk radikal (Hamzah, 2017). Pada tahap inisiasi senyawa inisiator diperlukan antara lain AIBN. Inisiator AIBN dipanaskan hingga terbelah menjadi gugus yang reaktif (radikal bebas) dengan adanya elektron bebas tanpa pasangan (*lone-pair electron*). Radikal bebas hasil disosiasi kemudian menyerang monomer sehingga terbentuk radikal bebas baru (asosiasi). Monomer yang sudah bersifat radikal ini menjadi sangat reaktif. Prinsip dari reaksi inisiasi adalah aktivasi monomer-monomer menjadi monomer radikal yang reaktif (Rochmadi dan Permono, 2015). Kehadiran promotor dan akselerator tertentu serta sifat monomer sering mempengaruhi tingkat dekomposisi inisiator (Hamzah, 2017). Tahapan reaksi inisiasi dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Mekanisme reaksi inisiasi (Rochmadi dan Permono, 2015).

### 2.5.2 Propagasi

Radikal bebas monomer bereaksi dengan monomer-monomer lain, demikian seterusnya hingga tumbuh membentuk rantai yang lebih panjang. Tahapan reaksi ini disebut dengan propagasi (Rochmadi dan Permono, 2015). Hal ini melibatkan penambahan radikal bebas ke ikatan rangkap dari monomer lain. Pusat aktif radikal dengan demikian terus direlokasi pada ujung akhir rantai polimer yang tumbuh. Perpanjangan akan berlanjut sampai rantai pertumbuhan radikal dinonaktifkan dengan terminasi atau transfer rantai (Hamzah, 2017). Mekanisme reaksi inisiasi dapat dilihat pada Gambar 7.

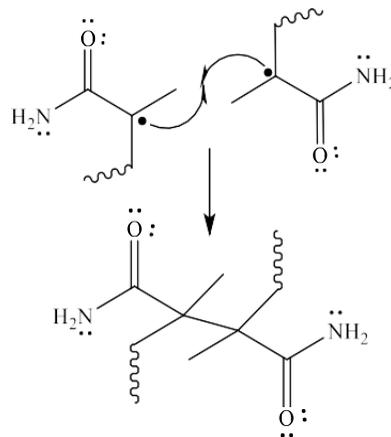


**Gambar 7.** Mekanisme reaksi propagasi (Rochmadi dan Permono, 2015).

### 2.5.3 Terminasi

Terminasi merupakan tahap berakhirnya reaksi polimerisasi. Mekanisme terminasi terjadi ketika sejumlah rantai panjang radikal bebas bertumbukan satu sama lain. Masing-masing molekul tersebut kemudian saling berinteraksi dengan cara memasang elektron bebas yang dimiliki (Rochmadi dan Permono, 2015). Reaksi

terminasi yang lebih penting dalam produksi polimer adalah kombinasi (kopling) dan disproportionasi. Dalam terminasi dengan kombinasi, dua rantai polimer yang sedang tumbuh saling bereaksi untuk menghasilkan satu polimer yang terterminasi. Pada terminasi disproporsi, atom labil biasanya hidrogen dipindahkan dari satu radikal polimer ke yang lain (Hamzah, 2017). Mekanisme reaksi terminasi dapat dilihat pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Mekanisme reaksi terminasi (Rochmadi dan Permono, 2015).

## 2.6 Metode Polimerisasi Presipitasi

Metode polimerisasi presipitasi merupakan metode yang paling banyak digunakan pada sintesis MIP. Metode ini memiliki keunggulan seperti persentasi polimer yang dihasilkan cukup tinggi, bentuk dan ukuran polimer yang dihasilkan seragam serta kemudahan dalam prosedurnya (Jupri dkk., 2022). Polimerisasi presipitasi adalah proses polimerisasi heterogen yang dimulai pada awalnya sebagai sistem homogen dalam fase kontinyu, dimana monomer dan inisiator benar-benar larut, namun pada saat inisiasi polimer yang terbentuk tidak larut, sehingga terbentuk endapan. Polimerisasi presipitasi juga dikenal sebagai polimerisasi endapan akan terbentuk endapan saat terbentuk. Setelah pengendapan, polimerisasi dilanjutkan dengan pengikatan monomer dan inisiator ke dalam partikel polimer (Hamzah, 2017).

Polimerisasi endapan dikenal sebagai proses yang efektif dan tidak membutuhkan tambahan surfaktan untuk memproduksi MIP berukuran mikro atau nano dalam pelarut organik. Metode ini memerlukan volume pelarut porogen yang lebih banyak dalam media polimerisasi. Material MIP yang dihasilkan pada metode ini memiliki bentuk partikel yang lebih seragam, diameter partikel yang dihasilkan kecil dalam skala mikro dan penyerapan adsorben yang lebih tinggi (Pitaloka dan Destiani, 2017).

## **2.7 Karakterisasi Sintesis MIP**

Sintesis hasil MIP dapat ditinjau keberhasilannya berdasarkan dengan melakukan karakterisasi. Karakteristik struktur MIP dapat dilakukan dengan menggunakan instrumen FTIR, SEM, EDS, dan SAA (Fauziah dkk., 2021). Karakterisasi dengan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) bertujuan untuk memperoleh keberhasilan dari sintesis NIP dan MIP karena adanya interaksi antara gugus fungsi yang ditunjukkan dengan adanya pergeseran bilangan gelombang setelah reaksi polimerisasi. Polimer yang diperoleh berupa NIP dan MIP memiliki gugus fungsi yang mempengaruhi pembentukan matriks polimer. Monomer yang digunakan dalam sintesis juga dikarakterisasi dengan FTIR untuk menjelaskan pergeseran kultur gelombang dan intensitas serapan gugus fungsi pada monomer setelah berinteraksi dengan pengikat silang membentuk matriks NIP dan monomer setelah berinteraksi dengan molekul cetak dan berikatan silang (Fauziah dkk., 2019).

Karakterisasi polimer bercetakan molekul dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) bertujuan untuk mengetahui morfologi permukaan dari MIP (Fauziah dkk., 2019). Instrumen SEM digunakan terutama untuk studi morfologi permukaan padat. Hal ini memberikan gambaran langsung dari sifat permukaan dari

semua elektron sekunder yang dipancarkan. Mikrograf elektron yang dipancarkan merupakan gambaran dari struktur permukaan yang sebenarnya (Yusof dkk., 2013). *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) juga digunakan untuk menunjukkan komposisi penyusun dari bahan polimer yang telah disintesis. Analisis dengan EDS memberikan gambaran yang sangat penting tentang elemen pembentukan MIP (Fauziah dkk., 2019).

Karakterisasi dengan *Surface Area Analyzer* (SAA) bertujuan untuk menunjukkan luas permukaan, volume total pori dan radius pori dari sintesis MIP yang dihasilkan (Fauziah dkk., 2021). Karakterisasi menggunakan SAA terdiri atas dua metode, yaitu metode Brunauer-Emmett-Teller (BET) dan metode Barret-Joyner Halenda (BJH). Metode BET digunakan untuk analisis luas permukaan spesifik berdasarkan adsorpsi-desorpsi gas N<sub>2</sub> sedangkan metode BJH untuk analisis distribusi ukuran pori (Mossfika dkk., 2020).

## **2.8 Adsorpsi**

Adsorpsi adalah terserapnya suatu zat (molekul atau ion) pada permukaan adsorben. Mekanisme adsorpsi secara fisika digambarkan sebagai proses dimana molekul yang semula ada pada larutan ditempelkan di permukaan adsorben. Suatu molekul dapat teradsorpsi jika gaya perekat antara molekul adsorbat dengan molekul adsorben lebih besar dibandingkan dengan gaya kohesi pada masing masing molekul. Proses penyerapan atau adsorpsi oleh suatu adsorben dipengaruhi banyak faktor dan juga memiliki pola isotherm adsorpsi tertentu yang spesifik. Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam proses adsorpsi antara lain yaitu jenis adsorben, jenis zat yang diadsorpsi, luas permukaan adsorben, konsentrasi zat yang diadsorpsi dan suhu.

Oleh karena faktor-faktor tersebut, maka setiap adsorben akan mempunyai pola isotherm yang berbeda (Wijayanti dan Kurniawati, 2019).

Adsorpsi terbagi atas dua jenis berdasarkan kuat interaksinya, yaitu adsorpsi secara fisika dan adsorpsi secara kimia. Adsorpsi yang terjadi adalah non-spesifik dan non-selektif penyebab tarik menarik karena adanya ikatan koordinasi hidrogen dan gaya Van der Waals. Ketika permukaan adsorbat dan permukaan adsorben terikat dengan gaya Van der Waals maka adsorpsi tersebut merupakan adsorpsi secara fisika atau disebut juga adsorpsi Van der Waals, sedangkan jika adsorbat dan permukaan adsorben bereaksi secara kimiawi maka disebut dengan adsorpsi secara kimia (Widayatno dkk., 2017).

Adsorben dengan kemampuan adsorpsi tinggi merupakan adsorben yang sesuai karena selektifitasnya dalam mengadsorpsi. Jumlah adsorbat yang dapat diadsorpsi oleh unit adsorben pada keseimbangan dengan volume sampel (V), dapat dihitung menggunakan persamaan (1) dan persentase adsorpsi dapat dihitung menggunakan persamaan (2) sebagai berikut (Zulfikar dkk., 2018):

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

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)
- $m$  = Massa adsorben (g)

Kapasitas adsorpsi dari DEHP dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan isothermal adsorpsi. Adsorpsi suatu adsorbat pada keadaan setimbang dan isothermal sering dinyatakan dengan menggunakan persamaan empiris isothermal adsorpsi Freundlich dan isothermal adsorpsi Langmuir (Yustinah dkk., 2019).

Persamaan isothermal adsorpsi Freundlich dan isothermal adsorpsi Langmuir dapat dilihat pada persamaan (2) dan (3) (Zulfikar dkk., 2018).

$$\log q_e = \frac{1}{n} \log C_e + \log K_F \quad (2)$$

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

Keterangan:

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

## 2.9 Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi merupakan proses penyerapan suatu zat oleh adsorben dalam fungsi waktu. Karakteristik kemampuan penyerapan adsorben yang digunakan terhadap adsorbat dapat dilihat dari laju adsorpsinya. Laju adsorpsi adsorben dapat diketahui dari konstanta laju dan orde reaksi yang dihasilkan dari suatu model kinetika adsorpsi (Hafiyah, 2013; Anggriani dkk., 2021). Menurut Holle dkk (2013), terdapat banyak model kinetika adsorpsi yang telah dikembangkan untuk mengetahui laju adsorpsi suatu adsorbat pada adsorben, yaitu persamaan laju orde pertama semu Lagergen dan persamaan laju orde kedua semu Ho.

Model kinetika orde satu semu diturunkan berdasarkan persamaan laju reaksi Lagergen. Persamaan laju reaksi Lagergen hanya mampu menjelaskan pada tahap awal proses adsorpsi dan tidak mampu mendiskripsikan untuk seluruh waktu kontak.

Persamaan orde satu semu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 4, sedangkan model kinetika pseudo orde kedua dinyatakan pada persamaan 5. sebagai berikut (Muhammad, 2014):

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

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2 \quad (5)$$

Keterangan:

- |       |   |
|-------|---|
| $k_1$ | = konstanta laju adsorpsi pseudo orde pertama   |
| $k_2$ | = konstanta laju adsorpsi pseudo orde kedua   |
| $q_e$ | = jumlah konsentrasi adsorbat teradsorpsi per gram adsorben pada kesetimbangan (mg/g) |
| $q_t$ | = jumlah konsentrasi adsorbat teradsorpsi per gram adsorben pada saat t (mg/g)        |