



SINTESIS DAN KARAKTERISASI *MOLECULARLY IMPRINTED POLYMERS* MENGGUNAKAN METIL METAKRILAT DAN ETILEN GLIKOL DIMETAKRILAT SEBAGAI ADSORBEN DI-(2-ETILHEKSIL) FTALAT

(SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF MOLECULARLY IMPRINTED POLYMERS USING METHYL METHACRYLATE AND ETHYLENE GLYCOL DIMETACRYLATE AS ADSORBENT DI-(2-ETILHEKSIL) PHTHALATE)

Risna Jupri, St. Fauziah*, Paulina Taba

Department Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin, Jl. Perintis Kemerdekaan KM. 10, Makassar 90245, Indonesia

*Corresponding author: stfauziah@unhas.ac.id

DOI: <http://dx.doi.org/10.26418/indonesian.v5i3.59132>

ARTICLE INFO

Article history:

Received 26 October 2022

Accepted 31 October 2022

Available online 31 October 2022

Keywords:

Polymer, MIP, DEHP, MMA, EGDMA

ABSTRACT

Molecularly Imprinted Polymer (MIP) is an intelligent synthetic material because it can recognize target molecules selectively. This study aims to synthesize, characterize and analyze the performance of MIP. MIP material was synthesized using di-(2-Ethylhexyl) phthalate (DEHP) as a template molecule, methyl methacrylate (MMA) monomer combined with ethylene glycol dimethacrylate (EGDMA) as a crosslinker by precipitation polymerization method. MIP materials were characterized by SEM-EDS instrument, FTIR spectrometer, SAA instrument, and UV-Vis spectrophotometer. The test variables for the adsorption ability of MIP material on DEHP compounds were time and concentration. The results showed that the synthesized MIP was in the form of a coarse white solid with a stiff texture. Characterization with the EDS instrument showed a decrease in the mass percent of C and percent of C atoms, indicating the formation of MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA(TE), and the surface morphology characterized by the SEM instrument was composed of small grains that tend to be uniform and have pores. The bonds that affect the formation of polymers characterized by FTIR were $-C=C$, $-C=O$, and $-CO$. Characterization with the SAA instrument was $142,2770 \text{ m}^2/\text{g}$, the total pore volume was $0,2616 \text{ cm}^3/\text{g}$, and the average pore radius was 7.3562 nm , indicating mesoporous material. The optimum time for adsorption of MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA(TE) to DEHP was 120 minutes. MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA(TE) followed the pseudo-second-order kinetics model, and the adsorption obeyed the Freundlich adsorption isotherm

© 2022 IJoPAC. All rights reserved

1. Pendahuluan

Penggunaan plastik dalam kehidupan sehari-hari sebagai kemasan makanan dan minuman tidak bisa dihindari. Plastik merupakan salah satu jenis bahan polimer sintetik, murah, mudah diperoleh, dan sangat praktis digunakan. Namun, dalam proses produksi plastik, untuk mendapatkan sifat plastik yang dibutuhkan, seperti transparansi, kekencangan, rentang toleransi suhu yang luas dan fleksibilitas, harus ditambahkan berbagai zat aditif, salah satunya adalah *plasticizer* yaitu bahan kimia yang mencakup berbagai senyawa ftalat yang digunakan untuk membuat plastik misalnya plastik dari bahan *polivinil klorida* (PVC) [1].

Plastik yang digunakan sebagai kemasan makanan dan minuman merupakan sumber utama paparan *bisphenol A* (BPA) dan senyawa ftalat terhadap populasi manusia. Senyawa ftalat dan turunannya seperti di-(2-etilheksil) ftalat (DEHP), dibutil ftalat (DBP), butil benzil ftalat (BBP), dan diisononil ftalat (DINP) merupakan jenis pemlastis yang banyak ditambahkan sebagai bahan dasar pembuatan plastik. Senyawa ftalat dapat mudah lepas dari plastik dan mudah menguap [1].

Di-(2-etilheksil) ftalat (DEHP) merupakan bahan yang ditambahkan pada pembuatan botol polietilena tereftalat (PET) yang umumnya digunakan sebagai pengemas air mineral atau minuman ringan [2]. Kandungan DEHP pada botol plastik bervariasi, tetapi biasanya mengandung 30% (b/b) [3]. Jumlah ini dapat menyebabkan kontaminasi pada minuman dengan kelarutan DEHP 40 ppb dalam air [4].

Botol Polietilen tereftalat (PET) hanya disarankan untuk sekali pakai karena dapat menyebabkan lapisan pada botol meleleh dan melepaskan bahan-bahan yang bersifat karsinogen saat digunakan kembali, saat digunakan untuk menyimpan minuman panas atau jika digunakan dalam waktu penyimpanan yang cukup lama [5]. Berdasarkan Peraturan Kepala BPOM RI Tahun 2011 tentang Pengawasan Kemasan Pangan, DEHP diizinkan digunakan dengan persyaratan ambang batas $1,5 \text{ mgL}^{-1}$ karena senyawa ini sangat berpotensi menyebabkan penyakit kanker pada manusia.

Senyawa DEHP merupakan senyawa organik kecil yang bersifat karsinogen dari data hasil analisis diperoleh pada produk makanan dan minuman kemasan. Senyawa DEHP dapat dianalisis dengan metode yang bervariasi sesuai dengan kelebihan masing-masing. Sebelum menganalisis suatu senyawa, tentunya diperlukan proses ekstraksi, salah satu metode ekstraksi yang banyak digunakan adalah metode ekstraksi fasa padat atau *solid phase extraction* (SPE). Metode SPE merupakan metode ekstraksi sampel yang banyak digunakan karena langkah kerjanya lebih sederhana [6]. Faktor penting yang dibutuhkan pada metode SPE adalah pemilihan adsorben yang selektif. Polimer bercetakan molekul menjadi pilihan adsorben yang tepat dalam metode SPE [7],[8].

Polimer bercetakan molekul atau *molecularly imprinted polymer* (MIP) merupakan material sintetik yang dapat digunakan sebagai adsorben. Polimer sintetik ini dikenal sebagai material cerdas karena dapat mengenali molekul target secara selektif. Bahan MIP dapat digunakan sebagai bahan sensor kimia, dan kelebihan adalah tahan terhadap suhu tinggi, pH yang tinggi, serta dapat digunakan untuk jumlah sampel yang banyak [8],[7].

Material MIP merupakan polimer yang berpori atau berongga akibat penghilangan molekul cetakan (*template*), dimana rongga tersebut nantinya dapat digunakan untuk mengidentifikasi molekul target dengan struktur dan karakteristik yang sama dengan rongga tersebut [9]. Bahan utama yang digunakan dalam proses polimerisasi untuk mensintesis MIP adalah monomer fungsional, molekul cetakan, pengikat silang (*crosslinker*), inisiator dan pelarut porogen [10].

Proses sintesis MIP harus melibatkan molekul cetakan dengan monomer fungsional yang akan berinteraksi secara spesifik sehingga terbentuk polimer, molekul cetakan akan dihilangkan dari polimer sehingga polimer akan tercetak sesuai dengan struktur dan molekul cetakannya. Polimer

akan memiliki cetakan atau rongga dengan gugus fungsi yang dapat mengikat molekul target secara selektif^[11].

Pada proses pencetakan molekul, molekul cetakan berperan sebagai objek yang penting, struktur molekular bergantung pada tipe monomer fungsional yang digunakan^{[12],[13]}. Gugus fungsi pada monomer fungsional dan molekul cetakan akan berinteraksi membentuk kompleks pada tahap pra polimerisasi, tahap ini sangat penting dalam melakukan suatu sintesis polimer bercetakan molekul^[14]. Metil metakrilat atau MMA merupakan monomer fungsional yang sering digunakan untuk mensintesis polimer bercetakan molekul karena dapat membentuk ikatan hidrogen dengan molekul cetakan^[15]. Sintesis polimer bercetakan molekul *diazepam* menggunakan monomer fungsional yaitu MMA yang dibandingkan dengan AAM (akrilamida) dengan pelarut kloroform menunjukkan bahwa MIP yang menggunakan monomer fungsional MMA lebih baik dari pada monomer fungsional AAM, karena tingkat afinitas monomer fungsional MMA lebih tinggi dibandingkan dengan monomer fungsional AAM^[6].

Zat pengikat silang juga berperan penting dalam sintesis MIP, karena mempengaruhi hasil akhir sintesis MIP^[17]. Salah satu bahan pengikat silang yang sering digunakan dalam sintesis MIP adalah etilen glikol dimetakrilat, EGDMA,^[18]. Pemilihan pengikat silang merupakan hal yang penting agar proses interaksi antara molekul cetakan dan monomer terjadi dengan baik. Pengikat silang memenuhi tiga fungsi penting dalam proses sintesis MIP. Pertama, pengikat silang berperan penting untuk mengontrol morfologi matriks polimer, makroporis (*macroporous*) atau *microgel powder*. Kedua, pengikat silang berguna untuk menstabilkan sisi pengikat. Ketiga, memberikan stabilitas mekanik dengan matriks polimer^[13].

Selain memilih bahan utama yang akan digunakan dalam sintesis polimer bercetakan molekul, maka pemilihan metode polimerisasi juga perlu dilakukan. Salah satu metode polimerisasi yang sering digunakan dalam sintesis MIP yaitu metode polimerisasi presipitasi. Persentase perolehan polimer yang cukup tinggi, memiliki ukuran dan bentuk yang seragam dan kemudahan dalam prosesnya menjadi alasan mengapa metode polimerisasi presipitasi sering digunakan^{[13],[19],[20]}. Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian tentang sintesis dan karakterisasi polimer bercetakan molekul DEHP dengan menggunakan monomer MMA dan pengikat silang EGDMA melalui metode polimerisasi presipitasi akan dilakukan. Kebaruan dari penelitian ini adalah pada penggunaan monomer dan inisiator berbeda yaitu MMA dan BPO. MIP yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi dan dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif dengan instrumen *Scanning Electron Microscope* (SEM), *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS), *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *Surface Area Analyzer* (SAA), *Ultra Violet-Visible* (UV-Vis), serta kemampuannya dalam mengadsorpsi senyawa DEHP.

2. Metode

2.1. Bahan dan alat

Bahan-bahan yang digunakan untuk sintesis polimer dalam penelitian ini adalah di-(2-etilheksil) ftalat (DEHP) 99,5% (Sigma Aldrich), metil metakrilat 99% (MMA) (Sigma Aldrich), etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) (Sigma Aldrich), benzoil peroksida (BPO) 75% (Sigma Aldrich), toluena, aseton, metanol (Grade HPLC), asam asetat p.a, gas nitrogen, kertas saring Whatman no. 41, aluminium foil, kertas tisu, dan akuades. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan gelas yang lazim digunakan di laboratorium, neraca analitik, *shaker* (Biologix SK-L180-E), *water bath* (TBS271SA), sonikator (Elmasonic S 40H), oven (tipe SPNISOSFD), botol, mikropipet 100 dan 1000 μ L, *Fourier Transform Infrared* (FTIR) (Shimadzu, IRPrestige-21), spektrofotometer *Ultra Violet Visible* (UV-Vis) (Shimadzu UV-2600), *Surface Area Analyzer* (SAA) (NOVA, 1200e), *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) (JEOL, JSM-6510 LA).

2.2. Prosedur Kerja

2.2.1. Sintesis MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA dan NIP_MMA-co-EGDMA

Cairan DEHP dipipet sebanyak 0,4 mL (1 mmol) ke dalam labu alas bulat dan ditambahkan monomer MMA 0,4 mL (4 mmol) lalu didiamkan 5 menit. Kemudian campuran ditambahkan pengikat silang EGDMA 1,5 mL (8 mmol) dan didiamkan selama 5 menit. Setelah itu, campuran dilarutkan dengan 50 mL pelarut porogen toluena. Larutan prapolimerisasi itu kemudian disonikasi selama 15 menit lalu dialiri gas nitrogen selama 15 menit untuk menghilangkan oksigen. Kemudian larutan tersebut ditambahkan 0,2423 g inisiator BPO (1 mmol), lalu disonikasi selama 15 menit dan dialiri gas nitrogen selama 15 menit berurutan. Tahap selanjutnya adalah polimerisasi dengan cara memasukkan larutan ke dalam water bath dan dipanaskan pada suhu 60 °C selama 24 jam [21]. Polimer yang terbentuk selanjutnya dicuci dengan aseton, metanol, dan akuades secara berurutan. Setelah itu, molekul cetakan dalam hal ini senyawa DEHP diekstraksi keluar dari polimer dengan cara disonikasi dengan menggunakan pelarut metanol dan asam asetat dengan perbandingan 8 : 2 v/v selama 30 menit [22]. Polimer tersebut diberi nama MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(BE) dan setelah ekstraksi diberi nama MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE). Ekstrak kemudian diuji dengan spektrofotometer UV pada panjang gelombang maksimum 262,6 nm untuk mendeteksi senyawa DEHP. Prosedur ini diulang hingga nilai absorbansi ekstrak menjadi nol. Selanjutnya, MIP dicuci dengan metanol dan akuades sampai pH netral. Lalu, dikeringkan dan dikarakterisasi lebih lanjut. *Non imprinted polymers* (NIP) dibuat tanpa menggunakan molekul cetakan dengan cara yang sama pada pembuatan MIP tanpa proses ekstraksi. Polimer ini diberi nama NIP_MMA-co-EGDMA.

2.2.2. Karakterisasi MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA dan NIP_MMA-co-DEHP

MIP yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi dan dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif dengan instrumen *Scanning Electron Microscopy- Energy dispersive x-ray spectroscopy* (SEM-EDS), *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *Surface Area Analyzer* (SAA).

SEM-EDS

Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk mengetahui morfologi struktur dan permukaan MIP. *Energy dispersive x-ray spectroscopy* (EDS) agar dapat diketahui komposisi unsur-unsur MIP. Material MIP dan NIP dianalisis morfologi permukaan dengan perbesaran 10.000x dan persebaran atomnya menggunakan instrumen SEM-EDS.

Fourier Transform Infrared (FTIR)

Material MIP dan NIP dipreparasi dengan mencampurkan dengan serbuk KBr. Jumlah sampel sekitar 5-10% dibandingkan jumlah KBr. Selanjutnya dianalisis menggunakan instrument FTIR.

Surface Area Analyzer (SAA)

Surface Area Analyzer (SAA) untuk memperoleh informasi mengenai luas permukaan, volume, dan diameter pori pada polimer bercetakan molekul (MIP). Material MIP dianalisis pada suhu 77,3 K. Jumlah gas N₂ yang teradsorpsi oleh MIP menjadi dasar perhitungan diameter dan volume pori.

2.2.3. Pembuatan Larutan Standar DEHP 100 mgL⁻¹

Cairan DEHP dipipet sebanyak 0,0010 mL ke dalam labu ukur 10 mL, ditambahkan metanol sampai tanda batas dan dikocok. Selanjutnya, konsentrasi larutan standar dibuat dengan variasi 3, 6, 9, 12, 15 dan 18 mgL⁻¹.

2.2.4. Uji Kemampuan Adsorpsi MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA dan NIP_MMA-co-EDGMA

Material MIP dan NIP sebanyak 30 mg dimasukkan masing-masing ke botol vial yang berbeda-beda, selanjutnya 5 mL larutan DEHP 10 mgL⁻¹ ditambahkan ke dalam botol vial tersebut. Campuran diaduk dengan alat shaker selama 60 menit pada suhu ruang, kemudian disaring.

Selanjutnya, konsentrasi DEHP dalam filtrat dianalisis dengan spektrofotometer UV pada panjang gelombang maksimum 254,60 nm. Jumlah senyawa DEHP yang teradsorpsi dalam setiap gram MIP dan NIP ditentukan dengan menggunakan persamaan (1).

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

Keterangan:

- Q = 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)

2.2.5. Pengaruh Waktu terhadap Adsorpsi DEHP oleh MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA

Larutan standar DEHP 10 mgL⁻¹ sebanyak 5 mL dan 30 mg MIP dimasukkan ke dalam 6 botol vial. Selanjutnya, campuran diaduk menggunakan alat shaker dengan variasi waktu 30, 60, 90, 120, 150 dan 180 menit pada suhu ruangan. Setelah dilakukan adsorpsi pada waktu yang telah ditentukan, larutan disaring kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer UV pada panjang gelombang maksimum yaitu 254,60 nm. Studi kinetika adsorpsinya dipelajari dengan menggunakan model kinetika orde satu semu (persamaan 2) dan orde dua semu (persamaan 3) [23].

$$\frac{dq_t}{dt} = K_1 (q_e - q_t) \quad (2)$$

Keterangan:

- K₁ = tetapan laju adsorpsi pada orde satu semu (menit⁻¹)
- q_t = jumlah molekul target yang diadsorpsi pada t menit (mg/g)
- q_e = jumlah molekul target yang diadsorpsi saat kesetimbangan (mg/g)

$$\frac{dq_t}{dt} = K_2 (q_e - q_t)^2 \quad (3)$$

Keterangan:

- K₂ = tetapan laju adsorpsi pada orde dua semu (menit⁻¹)

2.2.6. Pengaruh Konsentrasi terhadap Adsorpsi MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA

Larutan DEHP sebanyak 5 mL dengan konsentrasi berbeda-beda yakni 6, 9, 15, 18 dan 21 mgL⁻¹ pada pH 6,8 dimasukkan ke dalam botol vial yang telah berisi masing-masing 30 mg MIP. Campuran diaduk dengan *shaker* selama 120 menit pada suhu kamar. Selanjutnya, larutan disaring dan dianalisis dengan spektrofotometer UV pada panjang gelombang maksimum 254,60 nm [22].

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Sintesis Molecularly Imprinted Polimer (MIP)

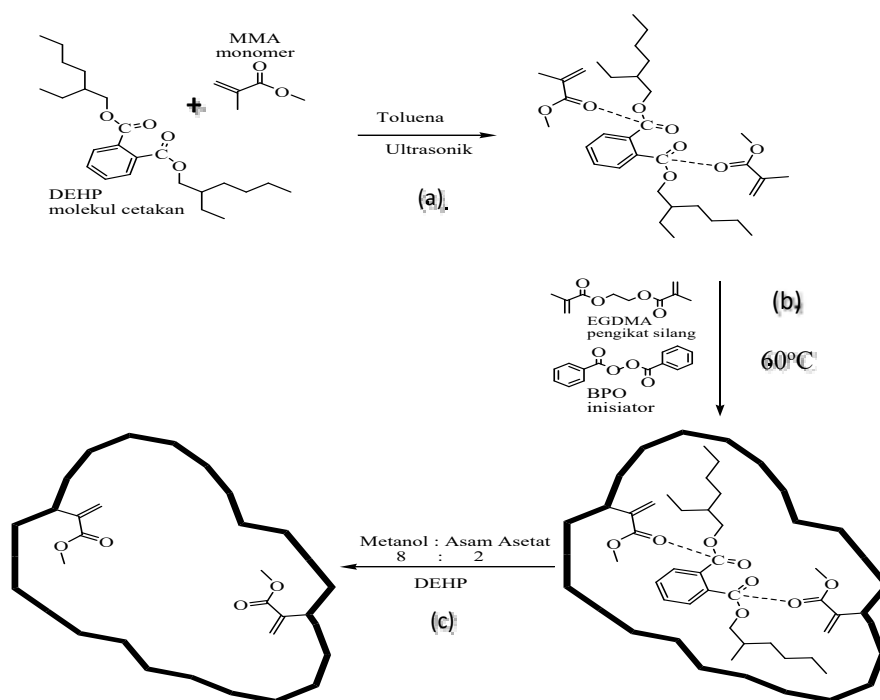
Material MIP yang disintesis menggunakan metode presipitasi melalui teknik pencetakan molekul telah dihasilkan dalam penelitian ini. Material MIP yang diperoleh berupa padatan halus berwarna putih dengan berat 14,4889 gram. Senyawa DEHP yang terkandung dalam polimer dicuci dengan menggunakan pelarut aseton dan metanol secara berurutan, serta dilakukan ekstraksi sonikasi beberapa kali untuk memperoleh polimer bercetakan molekul MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA. Senyawa DEHP yang telah terekstraksi dari polimer diuji secara

kualitatif dan kuantitatif dengan menggunakan instrumen spektrofotometer UV pada panjang gelombang maksimum 262,6 nm (dalam pelarut metanol:asam asetat (8:2)) dan 254,60 nm (untuk pelarut metanol). Hasil uji DEHP dalam ekstrak pelarut metanol:asam asetat (8:2) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Uji kualitatif senyawa DEHP pada ekstrak pelarut metanol:asam asetat (8:2) dengan instrumen spektrofotometer UV pada panjang gelombang maksimum 262,6 nm

Ekstrak	Absorbansi
Ekstrak 1	4,362
Ekstrak 2	3,847
Ekstrak 3	2,523
Ekstrak 4	1,369
Ekstrak 5	0,546
Ekstrak 6	0,129

Tabel 1 menunjukkan adanya penurunan nilai absorbansi atau serapan setiap pengulangan ekstraksi hingga mencapai nilai 0,129. Hal ini mengindikasikan bahwa seluruh senyawa DEHP dalam MIP telah terekstraksi. Tahapan sintesis MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA terdiri atas tahap prapolimerisasi, polimerisasi, dan ekstraksi DEHP dari matriks MIP [12]. Penggambaran reaksi pada setiap tahap polimerisasi dapat dilihat pada Gambar 1 dimana pada tahap prapolimerisasi, monomer dan DEHP pertama-tama berinteraksi secara nonkovalen melalui gaya Van Der Waals. Kemudian pada tahap polimerisasi (inisiasi, propagasi, dan terminasi) dimana EGDMA dan MMA membentuk matriks polimer dengan bantuan inisiator BPO. Tahap selanjutnya adalah pelepasan DEHP dari MIP sehingga meninggalkan sisi aktif yang punya afinitas tinggi terhadap DEHP. Keberhasilan sintesis MIP dievaluasi melalui karakterisasi dengan FTIR dan EDS.



Keterangan: Garis tebal hitam merupakan penggambaran proses perpanjangan rantai membentuk matriks polimer

Gambar 1. Skema reaksi sintesis MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA, (a) tahap prapolimerisasi, (b) tahap polimerisasi, dan (c) tahap ekstraksi.

3.2. Karakterisasi NIP dan MIP

3.2.1. Karakterisasi NIP dan MIP menggunakan EDS

Analisis EDS dilakukan agar komposisi atom penyusun utama masing-masing polimer dapat diketahui. Atom-atom penyusun NIP_MMA-co-EGDMA, MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(BE) dan MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) adalah C, O, dan H, namun data EDS yang terdapat pada Lampiran 6 hanya menampilkan persen atom C dan O karena massa atom H yang sangat kecil, sehingga sulit terdeteksi oleh alat. Keberhasilan sintesis MIP DEHP_MAA-co-EGDMA_(TE) dapat diketahui dari besarnya kehilangan persen atom dan persen massa karbon karena lepasnya DEHP dari polimer. Data EDS pada NIP_MMA-co-EGDMA, MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(BE) dan MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) dapat dilihat pada Tabel 3

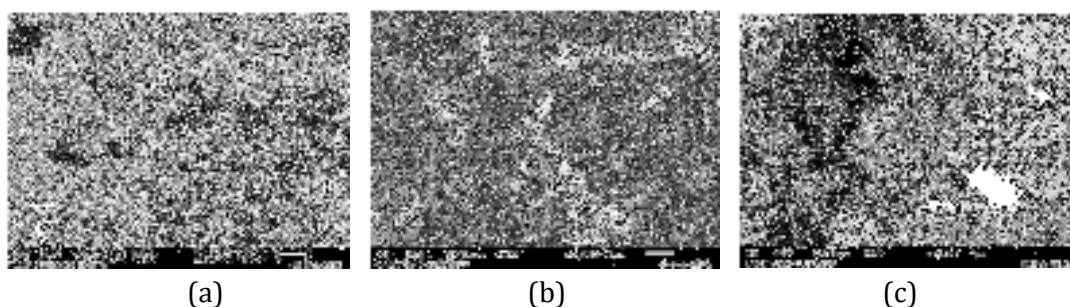
Tabel 2. Data EDS dari NIP_MMA-co-EGDMA, MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(BE) dan MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE)

Unsur	% Massa			% Atom		
	NIP	MIP _(BE)	MIP _(TE)	NIP	MIP _(BE)	MIP _(TE)
C	72,70	74,70	71,42	78,01	79,73	76,48
O	27,30	25,30	28,58	21,99	20,27	23,52

Persen atom C dan persen massa C dari MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(BE) yang ditunjukkan dalam Tabel 3 lebih tinggi dari persen atom C dan persen massa C dari MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE), sedangkan nilai persen atom O dan persen massa O meningkat pada MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) dibandingkan dengan MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(BE). Hal tersebut disebabkan oleh jumlah atom C pada DEHP yang jauh lebih banyak dari atom O, sehingga pada saat DEHP masih berada dalam polimer persen atom dan persen massa C meningkat, sedangkan pada saat DEHP telah lepas dari polimer persen atom dan persen massa O yang akan meningkat dan persen atom dan persen C akan menurun. Penurunan nilai persen atom C pada MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA (% atom C MIP_(BE) - % atom C MIP_(TE)) adalah 3,25% dan penurunan nilai persen massa C pada MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA (% massa C MIP_(BE) - % massa C MIP_(TE)) adalah 3,28%, hal ini membuktikan bahwa DEHP telah lepas dari polimer. Kecilnya persen kehilangan massa C dan persen atom C pada polimer disebabkan karena jumlah DEHP sebagai molekul cetakan yang terdapat di dalam polimer sangat sedikit dibandingkan persen massa C dan persen atom C pada matriks polimer yang terbentuk dari monomer dan pengikat silang.

Karakterisasi NIP dan MIP menggunakan SEM

Morfologi permukaan NIP_MMA-co-EGDMA, MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(BE) dan MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) yang dikarakterisasi dengan menggunakan SEM dapat dilihat pada Gambar 2.

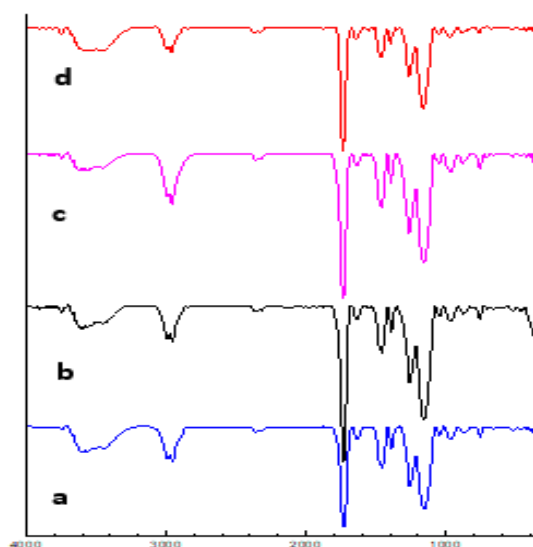


Gambar 2. Morfologi permukaan (a) NIP_MMA-co-EGDMA perbesaran 10.000x, (b) MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(BE) perbesaran 10.000x, (c) MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) perbesaran 10.000x

Morfologi permukaan ketiga polimer yang dihasilkan terlihat berupa kumpulan butiran-butiran kecil yang memiliki ukuran butiran, kerapatan, dan tekstur yang berbeda. Morfologi permukaan dari NIP_MMA-co-EGDMA tampak tersusun dari butiran-butiran kecil yang bentuknya tidak seragam, lebih rapat, serta tekstur yang terlihat kasar. Morfologi permukaan dari MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(BE) dan MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) tersusun dari butiran-butiran kecil yang cenderung berukuran seragam dan kurang rapat, tetapi MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(BE) tampak masih lebih menyatu dibanding MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE).

Karakterisasi NIP dan MIP menggunakan FTIR

Tujuan karakterisasi menggunakan FTIR adalah agar keberhasilan sintesis berdasarkan gugus fungsi yang berpengaruh pada pembentukan NIP dan MIP dapat diketahui, berdasarkan pada perubahan intensitas serapan serta pergeseran bilangan gelombang pada spektrum FTIR. Spektrum FTIR dari NIP_MMA-co-EGDMA, MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(BE) dan MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) terdapat pada Gambar 3.



Gambar 3. Spektrum FTIR (a) MAA, (b) NIP_MMA-co-EGDMA, (c) MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(BE), (d) MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE)

Gugus-gugus fungsi yang turut mempengaruhi pembentukan NIP_MMA-co-EGDMA, MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(BE) dan MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Data bilangan gelombang hasil analisis FTIR untuk monomer MAA, NIP_MMA-co-EGDMA, MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(BE) dan MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE)

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)			
	Monomer MMA	NIP_MMA-co-EGDMA	MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA _(BE)	MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA _(TE)
-C=C stretching	1635,64	1637,56	1635,64	1635,64
-C=O stretching ester	1730,15	1732,08	1730,15	1730,15
-C-O Eter	1155,36	1157,29	1153,43	1155,36

Berdasarkan data Tabel 4, Gugus fungsi $-C=C$ pada NIP_MMA-co-EGDMA, MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(BE) dan MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE), mengalami pergeseran bilangan gelombang yang kecil. Namun intensitas gugus fungsi $-C=C$ setelah terbentuk polimer yaitu NIP_MMA-co-EGDMA, MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(BE) dan MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) lebih lemah dibandingkan monomer MMA. Hal ini membuktikan bahwa terjadi pemutusan ikatan rangkap dua pada monomer dan pengikat silang oleh inisiator melalui reaksi polimerisasi radikal bebas, ikatan yang terbentuk pada monomer dan pengikat silang membentuk matriks polimer.

Gugus fungsi $-C-O$ dan $-C=O$ pada MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(BE) dan MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE), mengalami pergeseran bilangan gelombang yang sangat kecil, seolah tidak terjadi interaksi. Namun gugus fungsi $-C-O$ dan $-C=O$ pada MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(BE) menunjukkan bahwa intensitasnya lebih kuat dibandingkan MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE). Hal ini membuktikan bahwa pada saat proses ekstraksi, terjadi pelepasan antara molekul cetakan DEHP pada monomer, sehingga interaksi dipol-dipol antara MIP dan molekul cetakan DEHP mengalami pemutusan. Berdasarkan data spektrum, ikatan yang berperan dalam pembentukan NIP_MMA-co-EGDMA dan MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA sama. Ikatan tersebut adalah $-C=C$, $-CO$ dan $-C=O$.

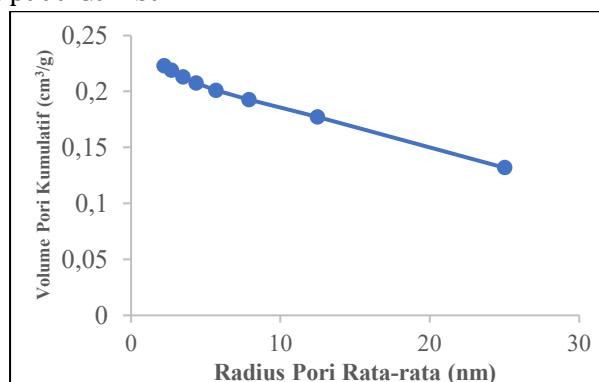
Karakterisasi MIP menggunakan SAA (*Surface Area Analyzer*)

Metode *Barret-Joyner-Hallenda* (BJH) menjadi dasar dalam karakterisasi diameter dan volume pori pada MIP. Pengukuran ini didasarkan dari hasil adsorpsi isoterm pada suhu 77,3 K. Jumlah gas N₂ yang teradsorpsi oleh sampel menjadi dasar perhitungan diameter pori dan volume pori. Hasil pengukuran volume, luas permukaan dan diameter pori ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 4. Hasil analisis dengan menggunakan SAA

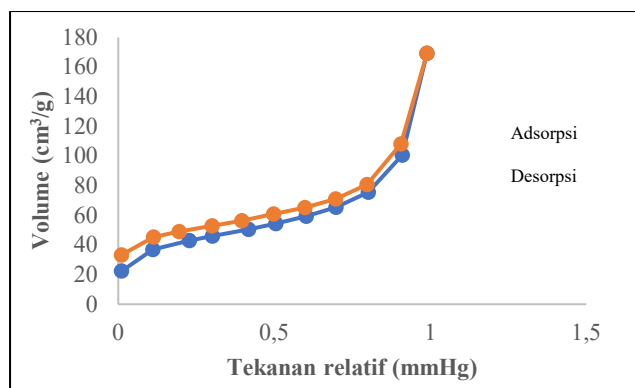
Sampel	Luas Permukaan (m ² /g)	Total Volume Pori (cm ³ /g)	Radius Pori Rata-rata (nm)
MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA _(TE)	142,2770	0,2616	7,3562

Berdasarkan data dalam Tabel 5, diameter pori pada MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) termasuk dalam material mesopori karena ukuran radius pori rata-rata sebesar 7,3562 nm. Hal tersebut sesuai dengan penggolongan ukuran pori oleh IUPAC yakni mikropori (radius pori < 2 nm), mesopori (2 < radius pori < 50 nm) dan makropori (radius pori > 50 nm) (Jung dkk., 2012), Total volume pori untuk pori-pori dengan diameter total lebih kecil dari 171,8057 nm yaitu 0,2616 cm³/g. Grafik BJH yang memperlihatkan distribusi pori dari MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan diameter pori terhadap volume N₂ yang teradsorpsi pada MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE)

Rentang diameter pori yang terukur pada MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) adalah antara 2,2092 nm sampai 25,0151 nm dimana ukuran pori dengan diameter 2,2092 nm mengadsorpsi gas N₂ sebesar 0,2228 cm³/g dan diameter 25,0151 nm mengadsorpsi gas N₂ paling banyak adalah 0,1319 cm³/g. Isoterm adsorpsi N₂ pada MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) dapat dilihat pada Gambar 5.

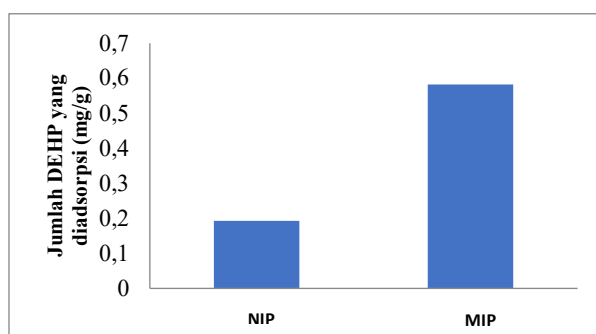


Gambar 5. Hubungan tekanan relatif terhadap volume N₂ yang terserap pada MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE)

Gambar 5 menunjukkan bahwa kurva bagian bawah adalah proses adsorpsi dimana volume mengalami peningkatan seiring peningkatan tekanan relatif, sedangkan proses desorpsi terjadi penurunan volume seiring menurunnya tekanan relatif, kurva ditunjukkan pada bagian atas. MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) dapat menyerap gas N₂ sebanyak 169,16 cm³/g pada tekanan maksimum yaitu 0,9887 atm.

3.3. Kemampuan Adsorpsi MIP dan NIP

Material MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) dan NIP_MMA-co-EGDMA diuji kemampuan adsorpsinya. Polimer dengan kemampuan adsorpsi yang baik dapat diketahui dari perbandingan jumlah DEHP yang teradsorpsi oleh masing-masing material MIP dan NIP. Jumlah DEHP yang diadsorpsi pada polimer dapat dilihat pada Gambar 6.



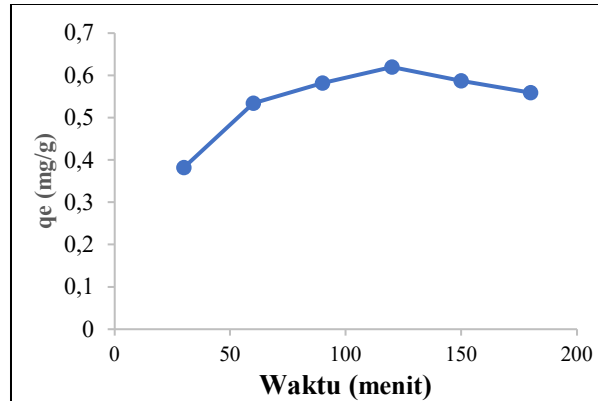
Gambar 6. Kemampuan adsorpsi DEHP oleh MIP dan NIP

Gambar 6 menunjukkan MIP lebih baik mengadsorpsi DEHP dibandingkan NIP dengan selisih jumlah DEHP yang diadsorpsi (Δq_e) sebesar 0,3895 mg/g. Sekalipun kinerja adsorpsi MIP lebih baik dari NIP, tetapi perlu dilakukan optimasi berbagai parameter adsorpsi seperti waktu

kontak dan variasi konsentrasi. Hal ini dimaksudkan agar kemampuan kapasitas adsorpsi yang maksimal dapat diketahui.

Pengaruh Waktu terhadap Adsorpsi DEHP oleh MIP

Pengaruh waktu terhadap kemampuan adsorpsi DEHP oleh MIP dapat dilihat pada Gambar 7.

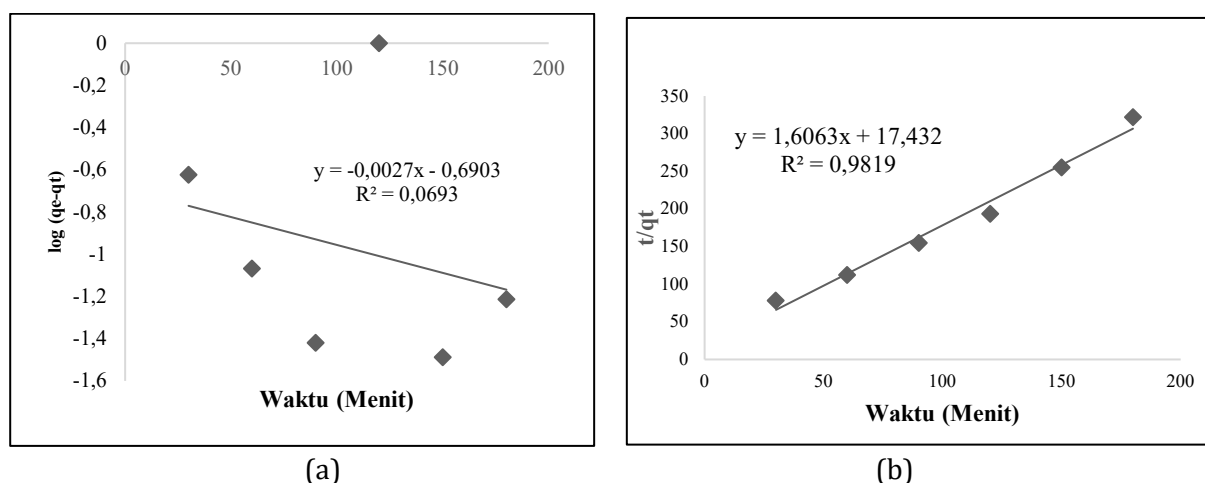


Gambar 7. Pengaruh waktu terhadap jumlah DEHP yang diadsorpsi oleh MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE)

Gambar 7 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan jumlah senyawa DEHP yang teradsorpsi dengan bertambahnya waktu kontak hingga waktu 120 menit. Penambahan waktu berikutnya menyebabkan kemampuan adsorpsi akan cenderung menurun, hal ini dikarenakan MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) telah jenuh oleh DEHP.

Waktu optimum adsorpsi DEHP oleh MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) adalah 120 menit dengan jumlah adsorpsi 0,6198 mg/g. Waktu merupakan variabel penting dalam menentukan kualitas MIP sebagai adsorben. Oleh karena itu, analisis data untuk mengetahui kinetika adsorpsi yang mencakup perpindahan massa dan dinamika reaksi kimia digunakan model kinetika adsorpsi. Data pengaruh waktu terhadap adsorpsi DEHP oleh MIP menggunakan persamaan orde satu semu dan orde dua semu dianalisis.

Gambar 8 menampilkan kurva kinetika orde satu semu dan kurva kinetika orde dua semu yang masing-masing merupakan kurva hubungan $\log(q_e - q_t)$ vs t dan kurva hubungan t/q_t vs t untuk adsorpsi DEHP oleh MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE).



Gambar 8. (a) Kurva kinetika orde satu semu dan (b) Kurva kinetika orde dua semu untuk adsorpsi DEHP oleh MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE).

Koefisien korelasi regresi linier (R^2) dari kurva yang diperoleh menjadi parameter kesesuaian dari model kinetika adsorpsi orde satu semu dan orde dua semu. Nilai R^2 (koefisien korelasi), K_1 (tetapan kinetika orde satu semu), K_2 (tetapan kinetika orde dua semu), q_e hasil perhitungan dan hasil eksperimen ditunjukkan pada Tabel 6.

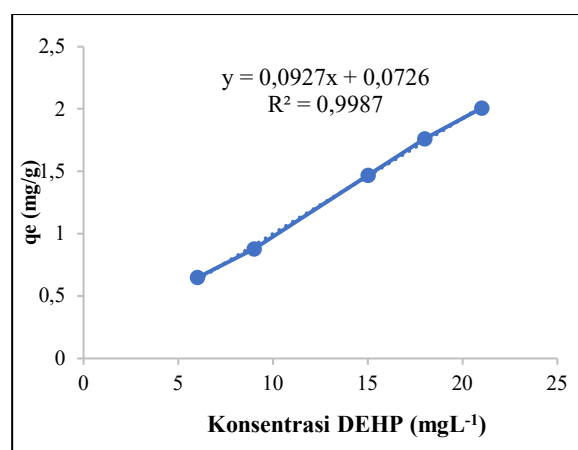
Tabel 5. Data parameter kinetika adsorpsi DEHP oleh MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) berdasarkan persamaan kinetika orde satu semu dan kinetika orde dua semu

Jenis MIP	q_e (mg/g)		Tetapan laju (g /menit mg)	R^2			
	Hitung (Orde 1 semu)	Hitung (Orde 2 semu)		Orde 1 semu	Orde 2 semu		
MIP_DEHP_ MMA-co-EGDMA _(TE)	0,20	0,62	0,6198	0,006	0,02	0,069	0,9819

Data dalam Tabel 6 menunjukkan bahwa adsorpsi DEHP oleh MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) untuk model kinetika adsorpsi orde dua semu memiliki nilai R^2 lebih mendekati 1, yaitu 0,9819 jika dibandingkan dengan R^2 model kinetika adsorpsi orde satu semu. Nilai q_e hitung berdasarkan model kinetika orde dua semu untuk MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) adalah 0,6225 mg/g yang lebih mendekati nilai q_e eksperimen, yaitu 0,6198 mg/g jika dibandingkan dengan model kinetika orde satu semu. Berdasarkan data yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa model adsorpsi MIP hasil sintesis dalam penelitian ini mengikuti model kinetika adsorpsi orde dua semu dengan nilai tetapan laju adsorpsi (K_2) MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) adalah 0,0222 g /menit mg.

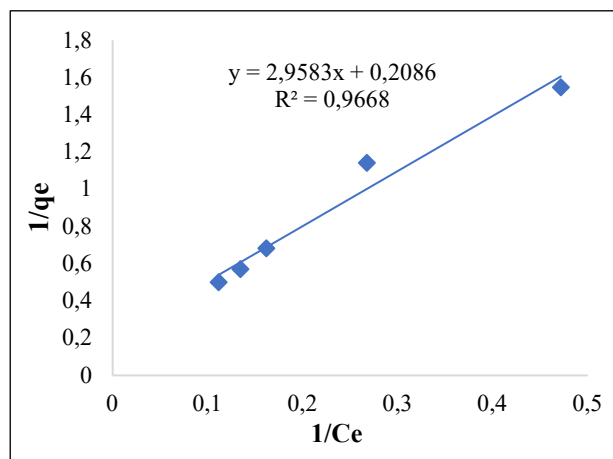
Pengaruh Konsentrasi terhadap Adsorpsi DEHP oleh MIP

Semakin tinggi konsentrasi awal dari larutan standar DEHP, maka semakin banyak DEHP yang dapat diadsorpsi oleh MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) pada waktu optimum. Jika kesetimbangan adsorpsi telah dicapai, maka kemampuan adsorpsi MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) akan cenderung tetap walaupun konsentrasinya ditingkatkan. Hubungan antara jumlah DEHP yang teradsorpsi oleh MIP dengan variasi konsentrasi dapat dilihat pada Gambar 9.

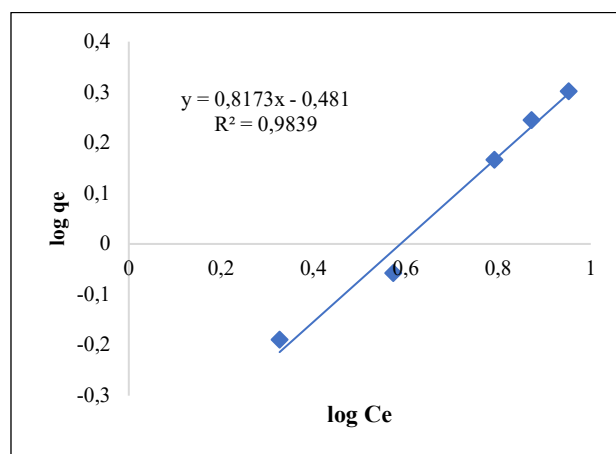


Gambar 9. Pengaruh Konsentrasi terhadap kemampuan adsorpsi MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) pada DEHP.

DEHP yang diadsorpsi meningkat sejalan dengan meningkatnya konsentrasi adsorbat. Gambar 17 menunjukkan bahwa jumlah DEHP yang teradsorpsi oleh MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) masih terus meningkat pada rentang konsentrasi yang digunakan sehingga penentuan kapasitas adsorpsi ditentukan dengan menggunakan isoterm Langmuir dan Freundlich. Model isoterm adsorpsi yang sesuai ditentukan dari linearitas kurvanya. Linearitas dari kurva isoterm Langmuir diperoleh dari hubungan $1/q_e$ dan $1/C_e$ pada persamaan isoterm Langmuir. Sedangkan linearitas kurva isoterm Freundlich diperoleh dari hubungan $\log q_e$ dan $\log C_e$ pada isoterm Freundlich persamaan (persamaan (4)). Kedua kurva tersebut tertera pada Gambar 10 dan 11.



Gambar 10. Kurva isoterm Langmuir dan dari adsorpsi DEHP oleh MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE).



Gambar 11. Kurva isoterm Freundlich dari adsorpsi DEHP oleh MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE).

Gambar 10 menunjukkan bahwa nilai koefisien korelasi yang diperoleh dari kurva isoterm adsorpsi Langmuir untuk MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) adalah 0,9668, sedangkan nilai koefisien korelasi yang diperoleh dari kurva isoterm adsorpsi Freundlich yang ditunjukkan Gambar 11 adalah 0,9839. MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) memiliki nilai koefisien korelasi untuk model isoterm Freundlich yang lebih mendekati 1 dibandingkan model isoterm langmuir, sehingga adsorpsi yang terjadi sesuai dengan model isoterm Freundlich. Oleh karena itu, model isoterm adsorpsi Freundlich digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi MIP_DEHP_MMA-

co-EGDMA_(TE). Secara umum parameter adsorpsi dari masing-masing model isoterm disajikan dalam Tabel 7.

Tabel 6. Parameter adsorpsi DEHP oleh MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) yang diperoleh dari kurva isoterm adsorpsi Langmuir dan isoterm adsorpsi Freundlich

Jenis MIP	Isoterm adsorpsi Langmuir			Isoterm adsorpsi Freundlich		
	K _L	q _m	R ²	K _F	N	R ²
MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA _(TE)	0,07	4,79	0.96	0,33	1,22	0,98

Tabel 7 menunjukkan bahwa nilai K_F adalah 0,33 mg/g yang menggambarkan kapasitas adsorpsi oleh MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE). Intensitas adsorpsi (n) MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) adalah 1,2235 yang mengidentifikasi bahwa adsorpsi senyawa DEHP oleh MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) cukup efektif. Tetapan n merupakan tetapan yang menggambarkan sifat dan kekuatan adsorpsi, semakin besar nilai n menunjukkan kekuatan adsorpsi juga makin besar. Nilai n sebesar 1,2235 berada antara 1-10 menunjukkan bahwa adsorpsi DEHP oleh MIP berlangsung efektif [17].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa material MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA dapat disintesis dengan metode polimerisasi presipitasi dengan hasil berupa padatan kasar berwarna putih serta bertekstur kaku dengan berat rendamen 14,4889 g. Hasil karakterisasi dengan instrumen EDS menunjukkan adanya penurunan persen massa C dan persen atom C yang menandakan terbentuknya MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) dan morfologi permukaan yang dikarakterisasi dengan instrumen SEM yaitu tersusun dari butiran-butiran kecil yang cenderung seragam dan terdapat pori. Ikatan yang berpengaruh pada pembentukan polimer yang dikarakterisasi dengan FTIR yaitu -C=O, -C=C dan -CO. Luas permukaan MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) yang dikarakterisasi dengan instrumen SAA yaitu 142,2770 m²/g, total volume pori 0,2616 cm³/g dan radius pori rata-rata 7,3562 nm yang menandakan material mesopori. Waktu optimum adsorpsi MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) terhadap DEHP adalah 120 menit. MIP_DEHP_MMA-co-EGDMA_(TE) mengikuti model kinetika orde dua semu dan kapasitas adsorpsi sesuai dengan model isoterm adsorpsi Freundlich.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Departemen Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin yang telah memfasilitasi dan mensupport penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Ilmiawati, C., Reza, M., Rahmatini., dan Rustam, E. (2017). Edukasi Pemakaian Plastik Sebagai Kemasan Makanan dan Minuman serta Risikonya Terhadap Kesehatan pada Komunitas di Kecamatan Bungus Teluk Kabung, Padang, *Jurnal Kedokteran Universitas Andalas*, 1(1): 1-8.

- [2] Amin, F., Rohaeti, E., dan Rafi, M. (2018). (Evaluation of Migrasi-(2-Etylheksil) Ftalat from Polyetylena Botle Tereftalat Using GC/MS), *Jurnal Itekima*, **3**(1): 2548-947x.
- [3] ECPI. (2009). European Council for Plasticisers and Intermediate About DEHP, Luxemburg: Official Publication for the European Communities.
- [4] Yalkowsky, S.H., dan He, Y. (2003). Handbook of Aqueous Solubility Data, CRC Press, New York.
- [5] Safitri, A. (2011). Kontroversi Antimoni Trioksida, Universitas Paramadina, Jakarta.
- [6] Hennion, M.C. (1999). Review: Solid-phase extraction: method development, sorbents, and coupling with liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, **856**: 3–54
- [7] Yang, Y., Jianlong, Y., Jie, Y., Bing, S., dan Jing, Z. (2014). Molecularly Imprinted Solid-Phase Extraction for Selective Extraction of Bisphenol Analogues in Beverages and Canned Food, *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, **62**: 11130-11137.
- [8] Vasapollo, G., et al. (2011). Molecularly Imprinted Polymers: Present and Future Prospective. *Int. J. Mol. Sci*, **12**: 5908-5945
- [9] Hidayat, A.R., dan Sunarto. (2017). Aplikasi MIP (Molecularly Imprinted Polymer) dengan Metanol sebagai Ekstraktan Template dalam Sintesisnya untuk Penentuan Kadar Kafein, *Jurnal Kmia Dasar*, **6**: 45-52.
- [10] Freitas, A.F.F.L. (2015). Synthesis and Characterization of Molecularly Imprinted Polymer Particles (MIPs) for Biomedical Applications, *Escola Superior de Tecnologia e Gestao*, **1**: 5-13.
- [11] Caro, E., Marce, R.M., Borrul, F., Cormack, P.A.G., dan Sherrington, D.C. (2006). Application of Molecularly Imprinted Polymer to Solid-Phase Extraction of Compounds from Environmental and Biological Samples, *Trends in Analytical Chemistry*, **25**: 143-154.
- [12] Shaikh, H., Memon, N., Khan, H., Bhangar, M.I., dan Nizamani, S.M. (2012). Preparation and Characterization of Molecularly Imprinted Polymer for Di(2-Ethylhexyl)Phthalate: Application to Sample Clean-Up Prior to Gas Chromatographic Determination, *Journal of Chromatography A*, **1247**: 125- 133.
- [13] Yan, H., dan Row, K.H. (2006). Characteristic and Synthetic Approach of Molecularly Imprinted Polymer, *International Journal of Molecule Science*, **7**: 155-178.
- [14] Adumitrachioaie, A., Tertis M., Cernat A., Sandulescu R., dan Cristea C. (2018). Electrochemical Methods Based on Molecularly Imprinted Polymers for Drug Detection, *International Jurnal of Elektrochemical Science*, **13**: 2558-2562.
- [15] Hasanah, A.N., Utari, T.N.D., dan Pratiwi, R. (2019). Synthesis of Atenolol-Imprinted Polymers with Methyl Methacrylate as Functional Monomer in Propanol Using Bulk and Precipitation Polymerization Method, *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, **1**-7.
- [16] Hasanah, A.N., Soni, D., Pratiwi, R., Rahayu, D., Megantara, S., dan Mutakin. (2020). Synthesis of Diazepam-Imprinted Polymers with Two Functional Monomers in Chloroform Using a Bulk Polymerization Method, *Journal of Chemistry*, **1**-8.
- [17] Fauziah, S. (2016). Sintesis, Karakterisasi dan Penggunaan Polimer Bercetakan Molekul untuk Ekstraksi Fase Padat β -Sitosterol, *Disertasi, Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin, Makassar*.
- [18] Mayes, A.G., dan Whitcombe, M.J. (2005). Synthetic Strategies for the Generation of Molecularly Imprinted Organic Polymers, *Advanced Drug Delivery Review*, **57**: 1742-1778.
- [19] Cacho, C., Turiel, E., Esteban, A. M., Conde, C. P., Cámara, C. (2004). Characterisation And Quality Assessment Of Binding Sites on a Propazine-Imprinted Polymer Prepared by Precipitation Polymerization, *Journal of Chromatography B*, **802**: 347–353

- [20] Jing, T., Gao, X.D., Wang, P., Wang, Y., Lin, Y.F., Chen, X.Z., Zhou, Y.K., Mei, S.R. (2007). Preparation of High Selective Molecularly Imprinted Polymers for Tetracycline by Precipitation Polymerization, *Chinese Chemical Letters*, **18**: 1535-1538.
- [21] Tabarestani, M.S., Rahnema, K., Jahanshahi, M., Nasrollanejad, S., dan Fatemi, M.H. (2016). Synthesis of a Nanoporous Molecularly Imprinted Polymers for Dibutyl Phthalate Extracted from *Trichoderma harzianum*, *J. Nanostruct*, **6**(3): 245-249.
- [22] Yang, Z., Chen, F., Tang, Y., dan Li, S. (2015). Selective Adsorption of Di(2-Ethylhexyl) Phthalate by Surface Imprinted Polymers with Modified Silica Gel as Functional Support, *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, **37**(5): 939- 949.
- [23] Yusof, N.A., Appribeyan, M.D., dan Harson, J. (2010). Synthesis and Characterization of a Molecularly Imprinted Polymer for Pb²⁺ Uptake using 2-vinyl pyridine as the Complexing Monomer, *Sains Malaysiana*, **39**(5): 829-835.