



Artikel Penelitian

Sintesis dan Karakterisasi *Poly (Anthranilic Acid-Co-Formaldehyde)* untuk Adsorpsi Ion Pb(II)

Siska Ela Kartika^{1*}, Muhammad Bachri Amran²

¹Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang, Indonesia, 65145

²Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia, 40132

INFO ARTIKEL**Sejarah Artikel**

Diterima 22 Januari 2021

Direvisi 8 April 2021

Tersedia online 28 Mei 2021

* Penulis korespondensi
siskaelakartika@uin-malang.ac.id

ABSTRAK

Besides having a positive impact, rapid industrial development also gives a negative impact in the form of industrial waste causing environmental pollution. Lead is one of the heavy metal ions that become a primary indicator of pollution according to the United States Environmental Protection Agency (US EPA). The determination of lead directly in environmental samples is often difficult because of the very low concentration of metal ions and the matrix interferences. Therefore, preconcentration techniques that can simplify the matrix are required. Ionic exchange resins, functionalized chelating resins, and ion imprinted polymers are mostly used to preconcentrate the trace elements. Poly (anthranilic acid-co-formaldehyde) is polymer synthesized by mixing anthranilic acid, formaldehyde, and HCl. The poly (anthranilic acid-co-formaldehyde) was characterized by FTIR and SEM analysis. Characterization results indicate that polymerization reaction has been formed indicated by the vibration of the CH₂ bridge. Poly (anthranilic acid-co-formaldehyde) has a relatively smooth surface with pores. The batch method was applied. The maximum adsorption for Pb(II) ions was 16.37 mg/g at pH 5 with a contact time of 10 minutes.

Keywords: poly (anthranilic acid-co-formaldehyde), adsorption, lead

Selain memberikan dampak positif, perkembangan industri yang pesat juga dapat memberikan dampak negatif berupa limbah industri penyebab pencemaran lingkungan. Timbal merupakan salah satu ion logam berat yang menjadi indikator primer pencemaran menurut United States Environmental Protection Agency (US EPA). Penentuan konsentrasi timbal secara langsung dalam sampel lingkungan seringkali sulit dilakukan karena terdapat pada konsentrasi rendah dengan matriks yang rumit. Oleh karena itu, teknik prakonsentrasi yang dapat menyederhanakan matriks sangat diperlukan. Resin penukar ion, resin pengkkelat, dan *ion imprinted polymers* banyak digunakan untuk prakonsentrasi unsur rendah. *Poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* merupakan polimer yang disintesis dengan cara mencampurkan asam anthranilat, formaldehida, dan HCl. Karakterisasi *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* telah dilakukan menggunakan FTIR dan SEM. Hasil karakterisasi mengindikasikan bahwa reaksi polimerisasi telah terbentuk yang ditunjukkan dengan adanya vibrasi CH₂ bridge. *Poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* memiliki morfologi permukaan yang relatif halus dan berpori. Metode yang digunakan untuk mempelajari kemampuan adsorpsi adalah metode *batch*. Kapasitas adsorpsi *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* terhadap ion Pb(II) adalah 16,37 mg/g pada pH 5 dengan waktu kontak 10 menit.

Kata kunci: *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)*, adsorpsi, timbal

1. Pendahuluan

Perkembangan industri yang pesat selain memberikan dampak positif, berupa peningkatan sektor ekonomi, juga memberikan dampak negatif berupa limbah industri berbahaya seperti limbah yang mengandung ion logam berat. Adanya ion logam berat beracun di perairan dapat menyebabkan resiko ekologis pada biota air dan secara bertahap terakumulasi dalam tubuh manusia melalui rantai makanan [1]. Timbal merupakan salah satu ion logam berat yang menjadi indikator utama pencemaran lingkungan menurut *United States Environmental Protection Agency* (US EPA).

Untuk keperluan *monitoring* dan evaluasi lingkungan, *flame atomic absorption spectrometer* (FAAS) merupakan instrumen yang umum digunakan untuk analisis rutin ion logam karena tekniknya yang mudah dan biaya operasionalnya yang lebih rendah bila dibandingkan dengan instrumen lain seperti *inductively coupled plasma-atomic emission spectrometer* (ICP-AES) dan *graphite furnace atomic absorption spectrometer* (GFAAS) [2]. Walaupun demikian, sensitivitas FAAS kurang baik jika digunakan untuk analisis timbal secara langsung dalam sampel lingkungan. Hal ini disebabkan karena konsentrasi ion timbal yang rendah dan adanya gangguan matriks. Oleh karena itu, teknik prakonsentrasi sangat diperlukan.

Berbagai teknik prakonsentrasi untuk analisis renik ion logam telah dilakukan seperti ekstraksi pelarut, pertukaran ion, dan ekstraksi fasa padat [3]. Ekstraksi fasa padat atau *solid phase extraction* (SPE) memiliki beberapa keunggulan karena memiliki faktor prakonsentrasi tinggi, perolehan kembali (*recovery*) tinggi, pemisahan fasa yang cepat, dan konsumsi pelarut organik yang lebih rendah [4]. Ekstraksi fasa padat menggunakan resin penukar ion atau resin pengkhelat telah banyak digunakan untuk prakonsentrasi unsur renik.

Singh dan Mishra [5] melaporkan sintesis polimer untuk prakonsentrasi ion Cu(II) dengan prekursor asam salisilat dan formaldehida dan berdasarkan penelitian tersebut dihasilkan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 310 $\mu\text{g/g}$ (w/w) dengan waktu kontak 60 menit. Asam salisilat dan formaldehida juga telah digunakan sebagai prekursor polimer untuk prakonsentrasi ion Pb(II) oleh Marsita [6]. Berdasarkan penelitian tersebut dihasilkan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 254,86 $\mu\text{g/g}$ dengan waktu kontak 80 menit. Penelitian serupa yang dilakukan oleh Manurung [7] juga mengenai penggunaan polimer sebagai material fungsional untuk ion Pb(II). Prekursor yang digunakan adalah asam tiosalisilat dan formaldehida. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan asam tiosalisilat sebagai monomer dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi hingga 32,5 mg/g dengan waktu kontak 40 menit.

Pertimbangan inilah yang mendasari bahwa untuk prakonsentrasi ion Pb(II) dapat digunakan *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* yang dibentuk dari kopolimer asam anthranilat dan formaldehida. Asam anthranilat memiliki struktur yang hampir sama dengan asam salisilat hanya saja gugus OH pada asam salisilat digantikan oleh gugus NH_2 . Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* dan dilanjutkan dengan karakterisasi dan kajian mengenai sifat adsorpsi *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* terhadap ion Pb(II). Karakterisasi dilakukan dengan *fourier transform infrared spectrometer* (FTIR) untuk memperoleh informasi tentang gugus fungsi dan interaksi kimia yang mungkin terjadi serta *scanning electron microscopy* (SEM) untuk memperoleh informasi tentang morfologi permukaan polimer. Kajian mengenai sifat adsorpsi yang dilakukan meliputi penentuan pH, waktu kontak, kapasitas adsorpsi, serta isoterm adsorpsi.

2. Bahan dan Metode

2.1. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini memiliki derajat kemurnian pro analisis (p.a). Adapun bahan-bahan yang digunakan adalah HNO_3 , HCl, NaOH, dan formaldehida 37% dari Merck (Darmstadt, Germany), asam anthranilat dari Fluka (Buchs, Switzerland), dan EDTA serta $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (Sigma Aldrich).

2.2. Sintesis Poly (Anthranilic Acid-Co-Formaldehyde)

Sebanyak 0,1 mol asam anthranilat dan 0,3 mol formaldehida dicampurkan dengan 20 mL HCl 1 M sebagai katalis. Campuran kemudian direfluks selama 10 jam pada suhu $140 \pm 10^\circ\text{C}$ dengan penangas berisi *silicon oil* dan pengadukan secara kontinyu. Polimer yang dihasilkan dicuci dengan *aqua dm* dan dikeringkan dalam oven pada suhu $50 \pm 2^\circ\text{C}$. Polimer yang sudah kering digerus dan diayak hingga terbentuk polimer ukuran 60 - 80 *mesh*.

2.3. Karakterisasi Poly (Anthranilic Acid-Co-Formaldehyde)

2.3.1. Karakterisasi Menggunakan FTIR

Karakterisasi gugus fungsi *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* dilakukan menggunakan FTIR dengan metode pelet KBr pada daerah bilangan gelombang 4500 - 400 cm^{-1} .

2.3.2. Karakterisasi Menggunakan SEM

Karakterisasi morfologi permukaan *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* dilakukan menggunakan SEM dengan perbesaran 1000 kali dan *accelerating voltage* 10 kV.

2.4. Kemampuan Adsorpsi Poly (Anthranilic Acid-Co-Formaldehyde) terhadap Ion Pb(II)

2.4.1. Penentuan pH Optimum

Penentuan pH optimum dilakukan menggunakan metode *batch* yaitu mereaksikan 0,05 g *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* dan 25 mL larutan standar Pb(II) 5 ppm dengan variasi pH 3 hingga 6 selama 24 jam. Campuran kemudian disaring dan filtrat yang diperoleh diukur absorbansinya dengan FAAS.

2.4.2. Penentuan Waktu Kontak Optimum

Penentuan waktu kontak optimum dilakukan menggunakan metode *batch* yaitu mereaksikan 0,05 g *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* dan 25 mL larutan standar Pb(II) 5 ppm pada pH optimum dengan variasi waktu kontak dari 1 menit hingga 100 menit. Campuran kemudian disaring dan filtrat yang diperoleh diukur absorbansinya dengan FAAS.

2.4.3 Penentuan Kapasitas Adsorpsi

Penentuan kapasitas adsorpsi dilakukan menggunakan metode *batch* yaitu mereaksikan 0,05 g *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* dan 25 mL larutan standar Pb(II) dengan rentang konsentrasi 5-180 ppm pada pH dan waktu kontak optimum. Kapasitas adsorpsi dihitung menggunakan **Persamaan 1** [5, 8].

$$q_e = \frac{C_i - C_e}{W} \times V \quad (1)$$

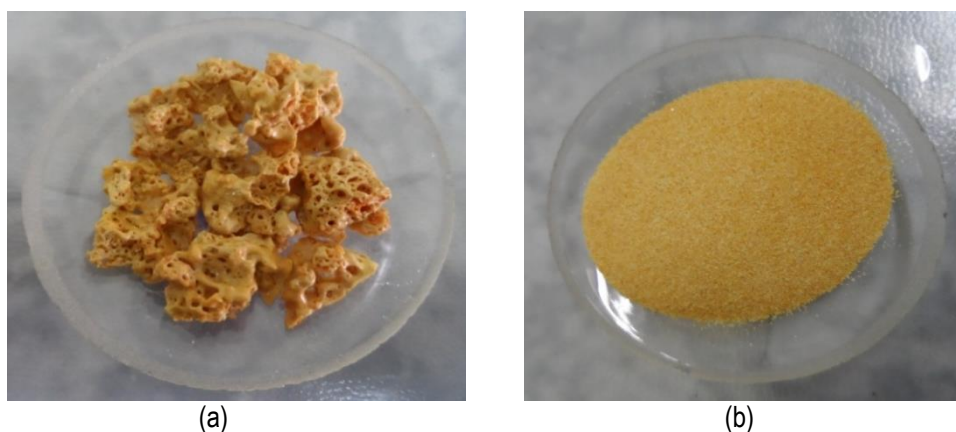
Dimana q_e adalah kapasitas adsorpsi (mg/g), C_i adalah konsentrasi mula-mula (ppm), C_e adalah konsentrasi saat kesetimbangan, W adalah massa adsorben (g), dan V adalah volume larutan ion logam (mL).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Sintesis Poly (Anthranilic Acid-Co-Formaldehyde)

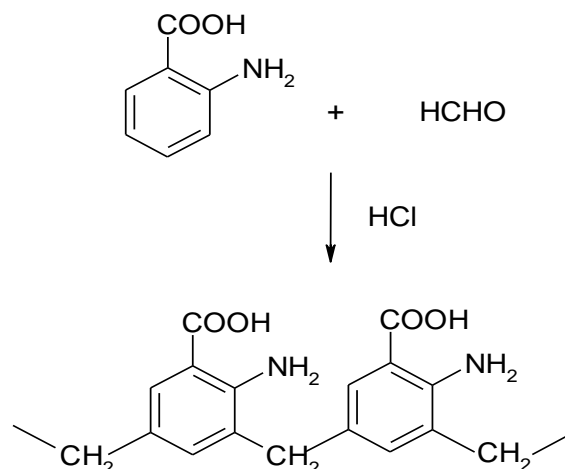
Sintesis *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* dilakukan dengan cara mencampurkan asam anthranilat dan formaldehida dengan perbandingan mol 1:3. Campuran kemudian direfluks selama 10 jam pada suhu $140 \pm 10^\circ\text{C}$. Polimerisasi berlangsung melalui reaksi kondensasi. Reaksi polimerisasi dipercepat dengan menambahkan 20 mL HCl 1 M sebagai katalis.

Hasil polimerisasi berupa padatan berwarna kuning yang keras dan kaku. Formaldehida merupakan agen pengikat silang yang berfungsi untuk membentuk jembatan-jembatan dalam polimer sehingga terbentuk senyawa polimer yang *rigid*. Padatan kuning yang diperoleh memiliki tekstur pori-pori pada permukaannya. Padatan kuning ini dicuci dengan *aqua dm* untuk menghilangkan formaldehida dan asam anthranilat yang tidak bereaksi. Selanjutnya, *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* dikeringkan dalam oven pada suhu $50 \pm 2^\circ\text{C}$, kemudian digerus dan diayak hingga diperoleh polimer ukuran 60-80 mesh. Hasil sintesis *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. (a) Hasil sintesis *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* dan (b) *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* ukuran 60-80 mesh.

Reaksi pembentukan *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* didasarkan pada reaksi polimerisasi resin [9, 10] yang ditunjukkan pada **Gambar 2**. *Poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* hasil sintesis kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi dan interaksi kimia yang mungkin terjadi serta SEM untuk mengetahui morfologi permukaan.



Gambar 2. Reaksi pembentukan *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)*

3.2. Karakterisasi Poly (Anthranilic Acid-Co-Formaldehyde)

3.2.1. Karakterisasi Menggunakan FTIR

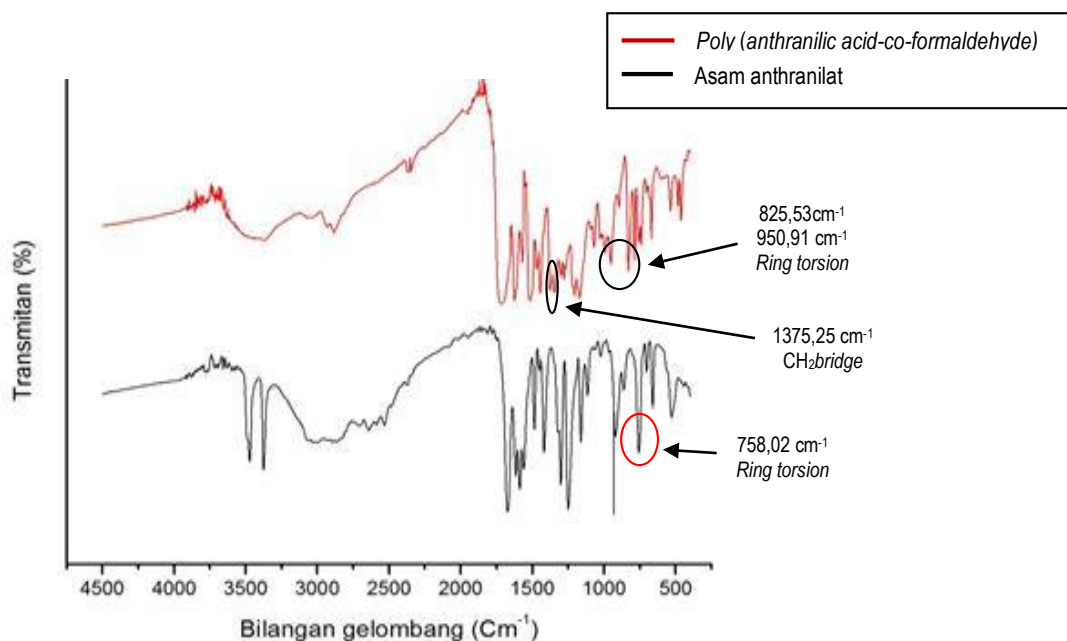
Karakterisasi gugus fungsi *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* dilakukan menggunakan FTIR dengan metode pelet KBr pada daerah bilangan gelombang 4500-400 cm^{-1} . Analisis FTIR dilakukan pada sampel *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* dan asam anthranilat sebagai prekursor. Berdasarkan spektrum IR tersebut diperoleh puncak serapan yang dapat menunjukkan keberadaan gugus fungsi yang terdapat dalam sampel yang dianalisis. Hasil karakterisasi *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* dan asam anthranilat dengan FTIR menunjukkan perbedaan bilangan gelombang untuk beberapa gugus fungsi seperti yang dituliskan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Spektrum IR *Poly (Anthranilic Acid-Co-Formaldehyde)* dan Prekursornya

Vibrasi	Asam anthranilat	<i>Poly (Anthranilic Acid-Co-Formaldehyde)</i>
O-H	3473,80 cm^{-1}	3427,51 cm^{-1}
N-H	3375,43 cm^{-1}	3369,64 cm^{-1}
CH ₂ bridge	-	1375,25 cm^{-1}
C=O	1672,28 cm^{-1}	1622,13 cm^{-1} 1712,79 cm^{-1}
C-N	1249,87 cm^{-1}	1209,37 cm^{-1}
Sidik jari cincin aromatic	758,02 cm^{-1}	825,53 cm^{-1} 950,91 cm^{-1}

Keberhasilan sintesis *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* dapat diketahui dengan membandingkan spektrum IR pada *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* dengan spektrum IR asam anthranilat yang merupakan prekursor dari polimer tersebut. Spektrum IR pada **Gambar 3** adalah spektrum IR untuk *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* dan asam anthranilat.

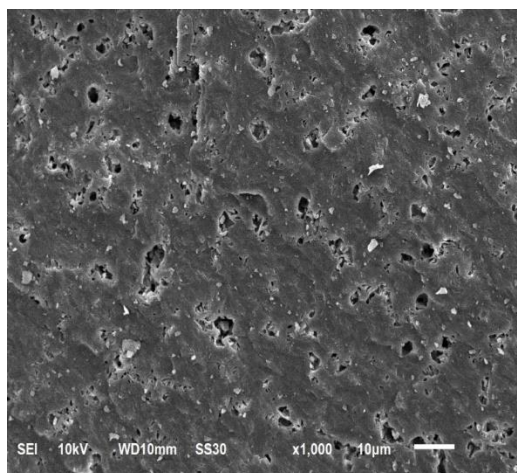
Terbentuknya *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* dapat dibuktikan dengan munculnya puncak baru pada bilangan gelombang 1375,25 cm^{-1} yang merupakan vibrasi CH₂ bridge. Vibrasi CH₂ bridge muncul pada bilangan gelombang 1390-1370 cm^{-1} [11]. Vibrasi CH₂ bridge ini mengindikasikan keberadaan jembatan -CH₂- sebagai penghubung asam anthranilat sehingga terbentuk *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)*. Pita serapan gugus C=O *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* muncul pada bilangan gelombang 1622,13 dan 1712,79 cm^{-1} , sedangkan pada asam anthranilat muncul pada bilangan gelombang 1672,28 cm^{-1} . Daerah sidik jari cincin aromatik asam anthranilat muncul pada bilangan gelombang 758,02 cm^{-1} . Puncak kuat pada bilangan gelombang 770-735 cm^{-1} merupakan vibrasi cincin aromatik tersubstitusi orto. Adapun daerah sidik jari cincin aromatik pada *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* muncul pada bilangan gelombang 825,53 dan 950,91 cm^{-1} . Puncak pada bilangan gelombang 1200-800 cm^{-1} merupakan vibrasi cincin aromatik tersubstitusi 1, 2, 3, dan 5 [12, 13].



Gambar 3. Spektrum IR *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* dan asam anthranilate.

3.2.2. Karakterisasi Menggunakan SEM

Analisis SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)*. Morfologi permukaan *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* hasil sintesis dapat dilihat pada **Gambar 4**. Hasil SEM menunjukkan bahwa *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* memiliki morfologi permukaan yang relatif halus dan berpori.



Gambar 4. Foto SEM *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* dengan perbesaran 1000x.

3.3. Kemampuan Adsorpsi Poly (Anthranilic acid-co-formaldehyde) terhadap Ion Pb(II)

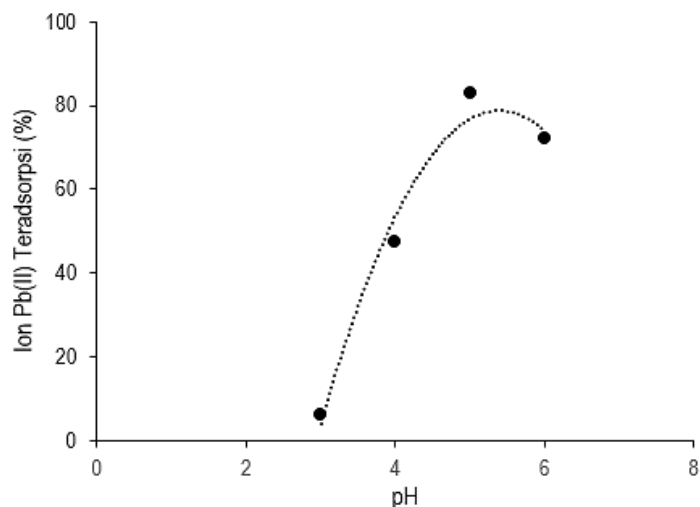
Kajian tentang sifat adsorpsi *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* terhadap ion Pb(II) dilakukan dengan metode *batch*. Kajian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi penentuan pH optimum, waktu kontak optimum, kapasitas adsorpsi, dan isoterm adsorpsi.

3.3.1. Penentuan pH Optimum

Nilai pH merupakan salah satu parameter penting yang mempengaruhi adsorpsi ion Pb(II) pada *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)*. Sejumlah *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* dikontakkan dengan larutan Pb(II) pada pH 3, 4, 5, dan 6. Pengaruh pH terhadap adsorpsi ion Pb(II) dapat dilihat pada **Gambar 5**.

Kemampuan adsorpsi *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* meningkat seiring dengan meningkatnya pH dan mencapai nilai optimum pada pH 5. Pada larutan dengan pH asam terutama pada pH 3, kemampuan adsorpsi sangat rendah. Hal ini terjadi karena pada kondisi asam konsentrasi ion H₃O⁺ dalam larutan besar sehingga memungkinkan terjadinya kompetisi antara ion H₃O⁺ dan ion Pb(II) dalam berikatan dengan sisi aktif polimer. Kemampuan adsorpsi *poly*

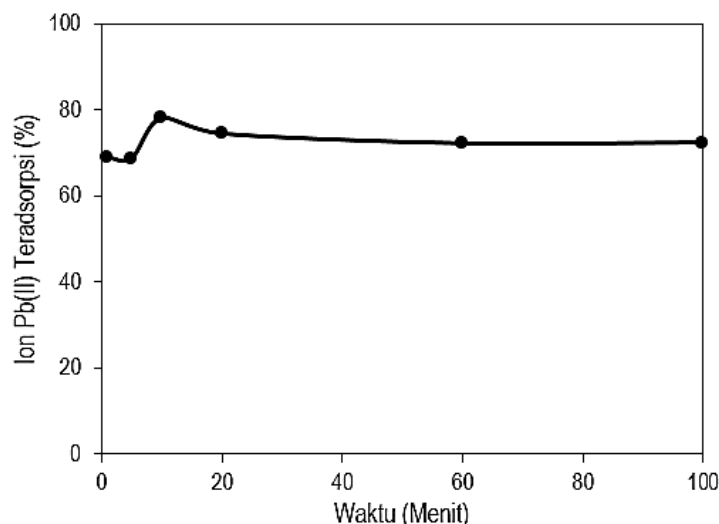
(*anthranilic acid-co-formaldehyde*) mengalami penurunan pada pH diatas 5 karena telah terbentuk hidroksida dari Pb(II) yaitu $Pb(OH)_2$. $Pb(OH)_2$ memiliki nilai kelarutan yang rendah dengan K_{sp} sebesar $1,4 \times 10^{-20}$ [14].



Gambar 5. Pengaruh pH terhadap adsorpsi ion Pb(II).

3.3.2. Penentuan Waktu Kontak Optimum

Pengaruh waktu kontak terhadap efisiensi adsorpsi ion Pb(II) diselidiki dengan memvariasikan waktu kontak 1-100 menit. Untuk menentukan waktu kontak optimum, sejumlah *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* dikontakkan dengan larutan standar Pb(II) pada pH optimum yaitu pH 5. Pengaruh waktu kontak terhadap adsorpsi ion Pb(II) dapat dilihat pada **Gambar 6**.



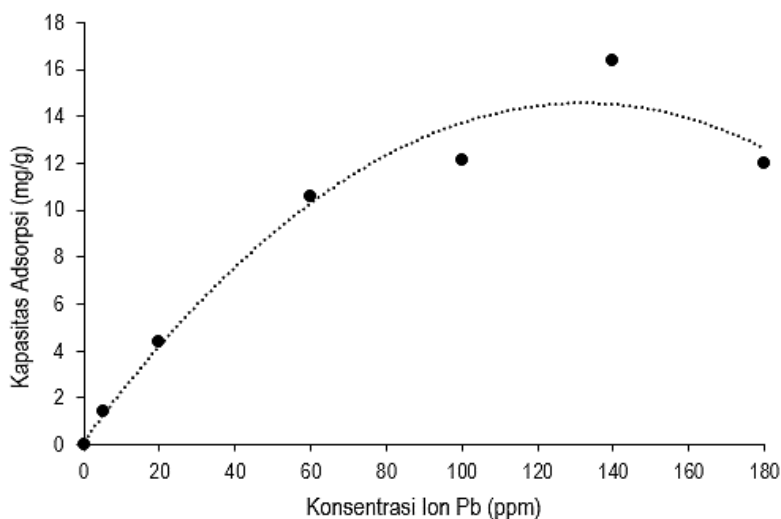
Gambar 6. Pengaruh waktu kontak terhadap adsorpsi ion Pb(II).

Kapasitas adsorpsi *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* cenderung tinggi sejak awal proses adsorpsi bahkan pada menit pertama adsorpsi. Selanjutnya, kemampuan adsorpsi meningkat secara bertahap dan mencapai kesetimbangan pada waktu kontak 10 menit. Pada waktu kontak lebih dari 10 menit, *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* sudah tidak efisien lagi mengadsorpsi ion Pb(II). Hal ini disebabkan karena *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* sudah jenuh dengan ion Pb(II), sehingga kemampuan adsorpsinya relatif konstan. Proses adsorpsi yang cenderung cepat ini sangat menguntungkan dari segi efisiensi waktu analisis. Terutama apabila *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* ini akan diaplikasikan pada sistem prakonsentrasi *on-line* berbasis *Flow Injection Analysis*.

3.3.3. Penentuan Kapasitas Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi dapat didefinisikan sebagai jumlah maksimum ion logam yang teradsorpsi per unit massa polimer. Kapasitas adsorpsi ditentukan dengan mengontakkan *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* dalam larutan Pb(II) pada rentang konsentrasi 5-180 ppm. Jumlah ion Pb(II) yang teradsorpsi oleh *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* meningkat

seiring dengan meningkatnya konsentrasi awal larutan Pb(II), peningkatan ini terus berlangsung hingga konsentrasi 140 ppm. Diatas konsentrasi 140 ppm, kapasitas adsorpsi cenderung konstan. Hal ini mengindikasikan bahwa sisi aktif pengikatan ion Pb(II) pada *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* telah mengalami penjumlahan. Hubungan antara pengaruh konsentrasi awal larutan Pb(II) terhadap kapasitas adsorpsi dapat dilihat pada **Gambar 7**. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* adalah 16,37 mg/g.



Gambar 7. Pengaruh konsentrasi awal larutan Pb(II) terhadap kapasitas adsorpsi.

3.3.4. Penentuan Isoterm Adsorpsi

Pada penelitian ini, isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich digunakan untuk mengetahui jenis isoterm yang terjadi pada adsorpsi ion Pb(II) di permukaan *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)*. Isoterm adsorpsi yang mengikuti isoterm adsorpsi Langmuir memiliki arti bahwa adsorpsi pada permukaan sorben bersifat homogen dan adsorbat teradsorpsi dengan membentuk lapisan tunggal (monolayer). Isoterm adsorpsi Langmuir dinyatakan dengan **Persamaan 2**.

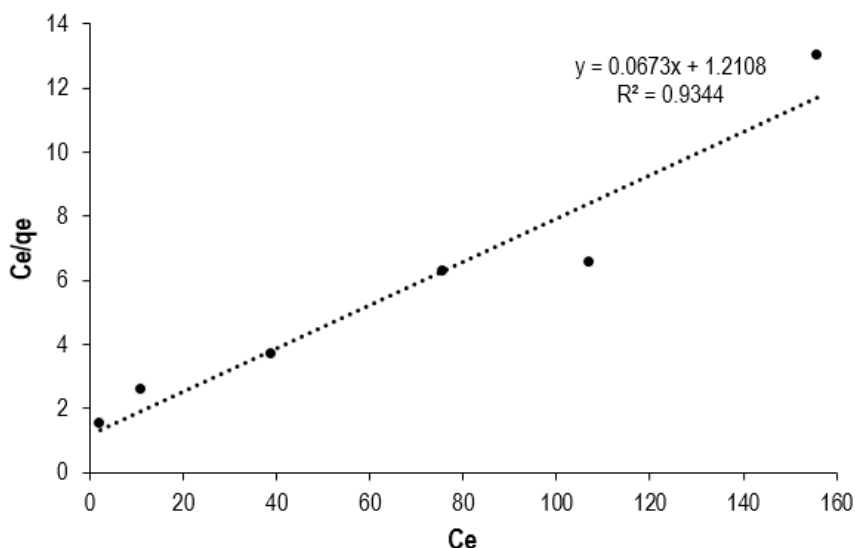
$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (2)$$

Dimana q_e merupakan kapasitas adsorpsi yaitu massa ion Pb(II) yang teradsorpsi tiap gram *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* (mg/g). C_e merupakan konsentrasi ion Pb(II) saat kesetimbangan (mg/L), sedangkan q_m dan K_L secara berturut-turut adalah kapasitas maksimum monolayer (mg/g) dan tetapan isoterm adsorpsi Langmuir (L/mg). Parameter adsorpsi Langmuir dapat ditentukan dengan mengubah persamaan isoterm Langmuir ke dalam bentuk linear. Bentuk linear dari isoterm adsorpsi Langmuir dapat dilihat pada **Persamaan 3** [15]. Kurva isoterm adsorpsi Langmuir dapat dilihat pada **Gambar 8** yang diperoleh dengan cara memplotkan C_e terhadap C_e/q_e .

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

Berdasarkan kurva pada **Gambar 8** dapat diketahui bahwa linearitas kurva isoterm adsorpsi Langmuir menunjukkan hasil yang baik ($R^2 = 0,934$). Nilai q_m yang diperoleh dari perhitungan adalah 14,86 mg/g, nilai ini berdekatan dengan nilai q_e hasil eksperimen yaitu 16,37 mg/g. Nilai q_m dan q_e yang berdekatan ini menunjukkan bahwa total sisi monolayer yang telah jenuh sebanding dengan kapasitas adsorpsi *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)*.

Ketika sisi aktif *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* telah jenuh, maka sisi aktif tersebut tidak akan dapat mengadsorpsi ion Pb(II) lagi. Fenomena ini sesuai dengan kurva kapasitas adsorpsi pada **Gambar 7**, dimana pada konsentrasi larutan awal Pb(II) diatas 140 ppm, kapasitas adsorpsi *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* cenderung konstan karena sisi aktif *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* telah jenuh. Tetapan Langmuir berhubungan erat dengan kekuatan ikatan ion Pb(II) pada permukaan *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* yang menggambarkan afinitas ion Pb(II) untuk teradsorpsi pada *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)*.



Gambar 8. Kurva linearisasi isoterm adsorpsi Langmuir

Parameter lain pada isoterm adsorpsi Langmuir yang dapat digunakan untuk menentukan proses adsorpsi adalah parameter kesetimbangan atau dimensi adsorpsi (R_L). Penentuan dimensi adsorpsi dinyatakan dengan **Persamaan 4** [16].

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

Dimana C_i adalah konsentrasi mula-mula Pb(II) dan K_L adalah tetapan isoterm adsorpsi Langmuir. Adsorpsi dikatakan kurang baik jika nilai $R_L > 1$, adsorpsi linear jika $R_L = 1$, adsorpsi menguntungkan jika $0 < R_L < 1$, dan adsorpsi tidak dapat balik (*irreversible*) jika $R_L = 0$. Dalam penelitian ini, nilai R_L pada konsentrasi awal Pb(II) yang berbeda (5–180 mg/L) berada pada rentang $0 < R_L < 1$ yaitu antara 0,085–0,769. Hal ini menunjukkan bahwa *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* menguntungkan untuk adsorpsi Pb(II) dalam kondisi eksperimen yang dipelajari dan mencegah adanya desorpsi [16, 17, 18].

Isoterm adsorpsi Freundlich biasa digunakan untuk menggambarkan karakteristik adsorpsi pada permukaan adsorben yang bersifat heterogen dan adsorbat teradsorpsi dengan membentuk lapisan multilayer. Isoterm adsorpsi Freundlich dinyatakan dengan **Persamaan 5** [19].

$$q_e = K_F \cdot C_e^{1/n} \quad (5)$$

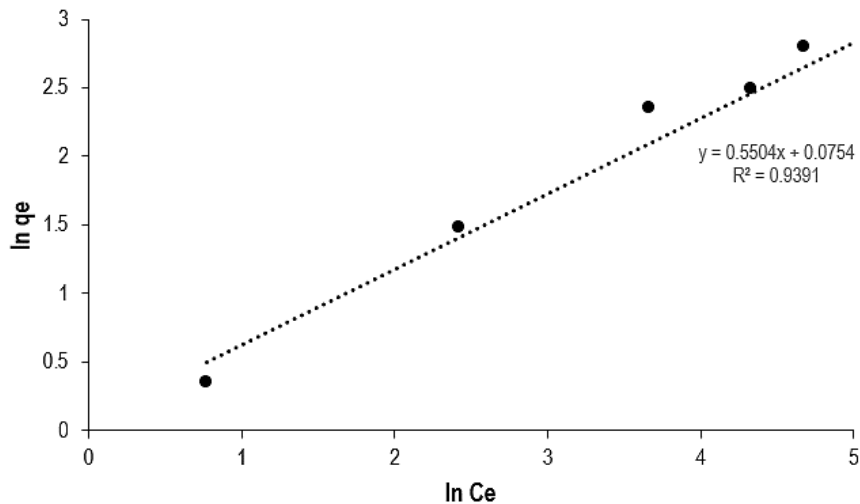
Dimana q_e merupakan kapasitas adsorpsi yaitu massa ion Pb(II) yang teradsorpsi tiap gram *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* (mg/g). C_e merupakan konsentrasi ion Pb(II) saat kesetimbangan (mg/L), sedangkan K_F dan n adalah tetapan Freundlich yang menggambarkan kapasitas adsorpsi dan intensitas adsorpsi. Parameter adsorpsi Freundlich dapat ditentukan dengan mengubah persamaan isoterm Freundlich ke dalam bentuk linear. Bentuk linear dari isoterm adsorpsi Freundlich dapat dilihat pada **Persamaan 6** [15, 20]. Kurva isoterm adsorpsi Freundlich dapat dilihat pada **Gambar 9** yang diperoleh dengan cara memplotkan $\ln C_e$ terhadap $\ln q_e$.

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (6)$$

Berdasarkan kurva pada **Gambar 9** dapat diketahui bahwa isoterm adsorpsi Freundlich cocok untuk proses adsorpsi ion Pb(II) oleh *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)*. Hal ini bisa dilihat dari linearitas kurva isoterm adsorpsi Freundlich yang menunjukkan hasil yang baik ($R^2 = 0,939$). Parameter isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich selengkapnya dirangkum dalam **Tabel 2**.

Tabel 2. Parameter Isoterm Adsorpsi Langmuir dan Freundlich

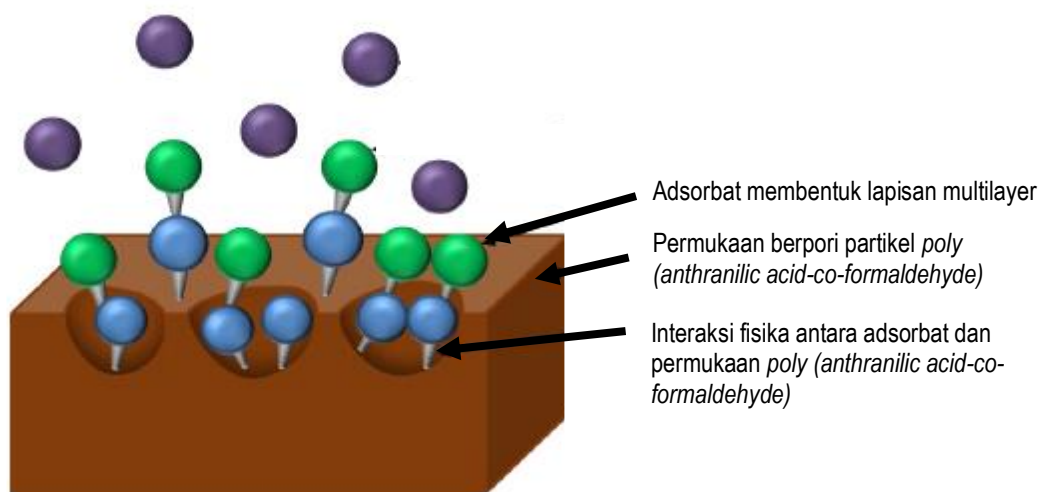
Langmuir			Freundlich			
q_m (mg/g)	K_L (L/mg)	R^2	K_F	$1/n$	N	R^2
14,86	0,06	0,934	1,08	0,55	1,82	0,939



Gambar 9. Kurva linearisasi isoterm adsorpsi Freundlich.

Nilai n menggambarkan proses adsorpsi, dimana $n < 1$ menunjukkan terjadinya adsorpsi kimia, $n = 1$ menunjukkan terjadinya adsorpsi linear, dan $n > 1$ menunjukkan terjadinya adsorpsi fisika [18, 21]. Pada penelitian ini diperoleh $n > 1$ (1,82) yang menunjukkan terjadinya adsorpsi fisika. Selain itu, nilai $n > 1$ juga memberikan informasi bahwa *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* menguntungkan untuk adsorpsi Pb(II) dalam kondisi eksperimen yang dipelajari [16, 17]. Berdasarkan data pada **Tabel 2**, diketahui bahwa $1/n$ pada penelitian ini yaitu 0,55, nilai $1/n$ ini memberikan informasi tentang kekuatan proses adsorpsi, dimana $1/n < 1$ menunjukkan adsorpsi normal dan $1/n > 1$ menunjukkan adsorpsi kooperatif. Sementara itu, nilai $1/n$ pada rentang $0 < 1/n < 1$ menunjukkan heterogenitas permukaan dimana semakin dekat $1/n$ dengan angka 0 maka semakin tinggi heterogenitasnya [18].

Koefisien korelasi (R^2) isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich berada pada nilai yang berdekatan yaitu 0,934 dan 0,939. Hal ini menunjukkan bahwa adsorpsi Pb(II) oleh *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* sesuai dengan kedua jenis isoterm adsorpsi tersebut. Nilai R^2 isoterm adsorpsi Freundlich yang lebih tinggi dari R^2 isoterm adsorpsi Langmuir menggambarkan karakteristik adsorpsi Pb(II) oleh *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* bersifat heterogen dengan sifat heterogenitas yang tidak terlalu tinggi yang ditunjukkan dengan $1/n$ yang tidak mendekati angka 0. Sementara, nilai $n > 1$ menggambarkan bahwa adsorpsi yang terjadi merupakan adsorpsi fisika. Adanya lapisan multilayer adsorbat dan tidak adanya keterlibatan adsorpsi kooperatif menegaskan pengaruh pori pada proses adsorpsi (**Gambar 10**). Hal ini diperkuat dengan hasil karakterisasi morfologi permukaan *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* menggunakan SEM pada **Gambar 4**.



Gambar 10. Ilustrasi adsorpsi Pb(II) pada permukaan berpori *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* mengacu pada penelitian Nandiyanto dkk [18].

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah berhasil disintesis *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* melalui polimerisasi kondensasi antara asam anthranilat dan formaldehida dengan penambahan HCl sebagai katalis. Keberhasilan sintesis *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* dapat dibuktikan melalui karakterisasi FTIR dengan adanya vibrasi CH₂ bridge. *Poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* memiliki morfologi permukaan yang relatif halus dan berpori. Kajian mengenai sifat adsorpsi yang dilakukan dengan metode *batch* menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* terhadap ion Pb(II) adalah 16,37 mg/g pada pH 5 dengan waktu kontak 10 menit. Data R² menunjukkan bahwa adsorpsi ion Pb(II) pada *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* sesuai dengan isoterm adsorpsi Freundlich dan Langmuir. Nilai R² isoterm adsorpsi Freundlich (0,939) yang lebih besar dari isoterm adsorpsi Langmuir (0,934) menunjukkan adsorpsi multilayer pada permukaan heterogen. Nilai $n > 1$ mengimplikasikan terjadinya adsorpsi fisika. Keberadaan multilayer tanpa adanya adsorpsi kooperatif mengkonfirmasi efek struktur permukaan (pori-pori) *poly (anthranilic acid-co-formaldehyde)* pada proses adsorpsi.

Daftar Pustaka

- [1] H. S. Kalal, H. A. Panahi, N. Famarzi, E. Moniri, A. Naeemy, H. Hoveidi, & A. Abhari, "New Chelating Resin for Preconcentration and Determination of Molybdenum by Inductive Couple Plasma Atomic Emission Spectroscopy," *International Journal of Environmental Science & Technology*, vol. 8, no. 3, pp. 501-512, 2011.
- [2] E. L. Silva & P. D. S. Roldan, "Simultaneous Flow Injection Preconcentration of Lead and Cadmium using Cloud Point Extraction and Determination by Atomic Absorption Spectrometry," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 161, no. 1, pp. 142-147, 2009.
- [3] A. A. Ensafi & A. Z. Shiraz, "On-Line Separation and Preconcentration of Lead(II) by Solid-Phase Extraction using Activated Carbon Loaded with Xylenol Orange and Its Determination by Flame Atomic Absorption Spectrometry," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 150, no. 3, pp. 554-559, 2007.
- [4] R. Liu & P. Liang, "Determination of Trace Lead in Water Samples by Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry after Preconcentration with Nanometer Titanium Dioxide Immobilized on Silica Gel," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 152, no.1, pp. 166-171, 2007.
- [5] D. K. Singh & S. Mishra, "Synthesis of a New Cu(II)-Ion Imprinted Polymer for Solid Phase Extraction and Preconcentration of Cu(II)," *Chromatographia*, vol. 70, pp. 1539-1545, 2009.
- [6] L. Marsita, "Sintesis Pb(II)-Imprinted Polymer (Pb-IP) untuk Ekstraksi Fasa Padat dan Prakonsentrasi Pb(II)", Tesis, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2011.
- [7] T. W. Manurung, "Politiosilisilat Sebagai Metal Ion Imprinted Polimers untuk Ion Logam Pb(II)," Tesis, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2013.
- [8] X. Shi, L. Fu, Y. Wu, H. Zhao, S. Zhao, & S. Xu, "Functionalized Dithiocarbamate Chelating Resin for the Removal of Co²⁺ from Simulated Wastewater," *Applied Water Science*, vol. 7, pp. 4351-4360, 2015.
- [9] A. M. Surjushe & A. B. Patil, "Green Synthesis and Characterization of Terpolymer Resin Derived from Anthranilic Acid, Salicylic Acid, and Formaldehyde," *RASAYAN Journal of Chemistry.*, vol. 8, no. 3, pp. 346-351, 2015.
- [10] S. Arasaretnam & U. P. D. Jayarathna, "Synthesis, Characterization, and Metal Adsorption Properties of Formaldehyde-Based Terpolymeric Resin Derived from Anthranilic Acid, Salicylic Acid, and Catechol," *Hindawi Journal of Chemistry*, 1-7, 2020.
- [11] R. N. Singru, "Removal of Hazardous Metal Ions from the Polluted Water by Copolymer Resin-III Derived from 8-Hydroxyquinoline 5-Sulphonic Acid, Oxamide, and Formaldehyde," *Archives of Applied Science Research*, vol. 3, no. 5, pp. 280-292, 2011.
- [12] M. A. R. Ahamed, R. S. Azarudeen, M. Karunakaran, & A. R. Burkanudeen, "Synthesis, Characterization, Metal Ion Binding Capacities and Applications of a Terpolymer Resin of Anthranilic Acid/Salicylic Acid/Formaldehyde," *Iranian Polymer Journal*, vol. 19, no. 8, pp. 635-646, 2010.
- [13] B. A. Shah, A. V. Shah, & N. B. Patel, "Microwave Assisted Benign Method of Chelating Resin Synthesis Having Different Thermal and Ion Exchange Properties," *Macromolecular Symposia*, vol. 274, no. 1, pp. 91-100, 2008.
- [14] D. Marani, G. Macchi, & M. Pagano, "Lead Precipitation in the Presence of Sulphate and Carbonate: Testing of Thermodynamic Predictions," *Water Research*, vol. 29, no. 4, pp. 1085-1092, 1995.
- [15] F. A. Abuilawi, "Removal of Cadmium (II), Chromium (III), and Lead (II) Heavy Metal Ions from Water by Graft Copolymerization of Acrylonitrile onto Date Palm Fiber Using H₂O₂/Fe⁺⁺ as an Initiator," *International Journal of Polymer Science*, pp. 1-15, 2020.
- [16] T. Uddin, A. Rahman, Rukanuzzaman, & A. Islam, "A Potential Low Cost Adsorbent for the Removal of Cationic Dyes from Aqueous Solutions," *Applied Water Science*, vol. 7, pp. 2831-2842, 2017.

- [17] S. Agarwal, I. Tyagi, V. K. Gupta, N. Ghasemi, M. Shahivand, & M. Ghasemi, "Kinetics, Equilibrium Studies and Thermodynamics of Methylene Blue Adsorption on *Ephedra strobilacea* Saw Dust and Modified using Phosphoric Acid and Zinc Chloride," *Journal of Molecular Liquids*, vol. 218, pp. 208-218, 2016.
- [18] A. B. D. Nandiyanto, G. C. S. Girsang, R. Maryanti, R. Ragadhita, S. Anggraeni, F. M. Fauzi, P. Sakinah, A. P. Astuti, D. Usdiyana, M. Fiandini, M. W. Dewi, & A. Sh. M. Al-Obaidi, "Isotherm Adsorption Characteristics of Carbon Microparticles Prepared from Pineapple Peel Waste," *Communications in Science and Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 31-39, 2020.
- [19] N. A. A. Salim, M. H. Puteh, M. H. Khamidun, M. A. Fulazzaky, N. H. Abdullah, A. R. M. Yusoff, M. A. A. Z. Zaini, N. Ahmad, Z. M. Lazim, & M. Nuid, "Interpretation of Isotherm Models for Adsorption of Ammonium onto Granular Activated Carbon," *Biointerface Research in Applied Chemistry*, vol. 11, No. 2, pp. 9227-9241, 2021.
- [20] J. Zhang, Y. Chen, W. Zhao, & Y. Li, "Arsenic Removal from Aqueous Solution by Diethylenetriamine Functionalized Resin: Isotherm, Kinetics, Selectivity and Mechanism," *Royal Society Open Science*, vol. 5, no. 181013, 2018.
- [21] E. Ajenifuja, J. A. Ajao, & E. O. B. Ajayi, "Adsorption Isotherm Studies of Cu (II) and Co (II) in High Concentration Aqueous Solution on Photocatalytically Modified Diatomaceous Ceramic Adsorbents," *Applied Water Science*, vol. 7, pp. 3793-3801, 2017.