

Studi Kinetika Adsorpsi : Pemanfaatan Limbah Biji Pepaya (*Carica papaya L.*) sebagai Adsorben Ion Logam Cd(II) dan Pb(II) Pada Limbah Dengan Metode Batch

Rachmannu Ilham¹, Fatati K Rahmah¹, Nurul F Said², Erfan Rofianto^{1*}

¹Departemen Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, ITS. Kampus ITS Sukolilo, Surabaya

²Direktorat Riset dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

*alamat email korespondensi: rach.ilham@gmail.com

Abstract

Currently, papaya seed waste (*Carica papaya L.*) is very abundant and easy to obtain because papaya is included in the fruit group whose harvest season is throughout the year. Papaya seeds are also included in a sustainable energy source. This research aims to study the adsorption kinetics of papaya seed adsorbents on Cd(II) and Pb(II) metal ions in laboratory waste. Several innovations were made including variations in adsorbent mass, contact time and pH. Optimum absorption efficiency of Cd(II) metal occurs with an adsorbent weight of 4 grams, equilibrium time of 90 minutes and pH 7. Papaya seed adsorbent is able to absorb Cd(II) metal ions up to 0.138 mg/g with a maximum absorption of 103.66%. Whereas for Pb(II) metal occurs at the optimum condition of adsorbent weight of 1 gram, equilibrium time of 60 minutes and pH 6. These conditions are able to adsorb up to 1.037 mg/g with absorption efficiency reaching 91.31%. The results of processing the kinetic data showed that the adsorption kinetics of Cd(II) followed the Pseudo Second Order model with an initial absorption rate of 0.1710 mg/g min. Whereas for metal Pb(II) follows the Elovich model with an initial adsorption rate of 0.045 mg/g min and a covered surface area of 2.8993 (g/mg). The implementation of waste was able to adsorb 0.122 mg/g of Cd(II) metal ions with 79.42% absorption and 0.993 mg/g of Pb(II) metal ions with 99.60% absorption.

Keywords: Sustainable energy; Adsorption Metal Ion; Papaya seed adsorbent; adsorption kinetics

Abstrak

Saat ini, limbah biji pepaya (*Carica papaya L.*) sangat tersedia melimpah dan mudah didapatkan dikarenakan pepaya termasuk kedalam kelompok buah yang musim panennya sepanjang tahun. Biji pepaya juga termasuk kedalam sumber energi yang berkelanjutan. Pada penelitian ini bertujuan untuk mempelajari kinetika adsorpsi adsorben biji pepaya terhadap

ion logam Cd(II) dan Pb(II) pada limbah laboratorium. Beberapa inovasi dilakukan meliputi variasi massa adsorben, waktu kontak dan pH. Efisiensi penyerapan optimum logam Cd(II) terjadi dengan berat adsorben 4 gram, waktu setimbang 90 menit dan pH 7. Adsorben biji pepaya mampu menyerap ion logam Cd(II) hingga 0,138 mg/g dengan maksimum penyerapan mencapai 103,66%. Sedangkan untuk logam Pb(II) terjadi pada kondisi optimum berat adsorben 1 gram, waktu setimbang 60 menit dan pH 6. Kondisi ini mampu mengadsorpsi hingga 1,037 mg/g dengan efisiensi penyerapan mencapai 91,31%. Hasil pengolahan data kinetika menunjukkan kinetika adsorpsi logam Cd(II) mengikuti model Orde Dua Semu dengan laju penyerapan awal 0,1710 mg/g min. Sedangkan untuk logam Pb(II) mengikuti model Elovich dengan laju adsorpsi awal sebesar 0,045 mg/g min dan luas permukaan yang tertutup sebesar 2,8993 (g/mg). Implementasi terhadap limbah mampu menyerap ion logam Cd(II) sebesar 0,122 mg/g dengan penyerapan 79,42% dan ion logam Pb(II) sebesar 0,993 mg/g dengan penyerapan 99,60%.

Kata Kunci: *Sustainable energy; Adsorpsi ion logam; Adsorben biji pepaya; Kinetika Adsorpsi*

I. PENDAHULUAN

Logam berat, termasuk timbal Pb(II) dan cadmium Cd(II) dinilai sangat berbahaya oleh para ilmuwan karena sifatnya yang non-biodegradable dan berpotensi merusak ekosistem. Bahkan pada konsentrasi yang sangat rendah, logam berat tersebut dapat terakumulasi secara biologis dalam organisme. Salah satu metodologi yang paling efisien untuk berbagai aplikasi pengolahan limbah adalah adsorpsi, yang cocok untuk konsentrasi rendah ion logam penyerapan dari berbagai media bersifat cair. Efektivitasnya berasal dari kompatibilitas permukaan penyerap karbon aktif untuk mengikat ion logam [1]. Teknologi adsorpsi saat ini digunakan secara luas untuk menghilangkan logam berat dari perairan karena merupakan

teknologi yang lebih bersih, lebih efisien dan lebih murah.

Diantara beberapa adsorben alternatif yang berasal dari limbah pertanian, yang menarik adalah penggunaan biji pepaya. Biji pepaya merupakan limbah pertanian yang dapat dijadikan sebagai adsorben dengan biaya yang murah. Biji pepaya mengandung beberapa senyawa-senyawa aktif seperti alkaloid, flavonoid, glikosida antrakinon, tanin, triterpenoid/steroid, dan saponin (T. Pangesti, dkk., 2013). Selain itu, biji pepaya juga memiliki kandungan karbohidrat yang tinggi, yang berarti memiliki kandungan karbon yang tinggi [2], sehingga biji pepaya dapat digunakan sebagai adsorben (biosorben). Semakin tinggi kandungan

karbon, semakin baik kemampuannya sebagai adsorben. Salah satu keuntungan menggunakan biomaterial (material biologi) sebagai adsorben adalah mudah diregenerasi. Regenerasi dapat dilakukan melalui desorpsi sehingga dapat dilakukan recovery logam-logam yang telah disisihkan dan adanya reuse adsorben [3].

Interaksi yang terjadi antara kation logam berat dengan adsorben dalam limbah cair dapat menurunkan konsentrasi logam berat dalam limbah. Penurunan logam berat dalam limbah cair karena terjadi proses adsorpsi. Adsorpsi dapat digunakan untuk mengurangi konsentrasi zat berbahaya dalam limbah, menjernihkan warna dan menghilangkan bau tidak sedap dalam limbah cair. Karbon aktif dan silika gel termasuk jenis adsorben konvensional yang banyak digunakan dan mudah didapatkan. Adsorben termasuk filter dan penyerap yang baik digunakan dalam proses adsorpsi. Karbon aktif dalam bentuk arang aktif banyak digunakan sebagai adsorben yang dapat diperoleh dari tanaman yang disebut bioadsorben [4].

Penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh Zustriani (2019) mengkaji pengaruh massa adsorben biji pepaya terhadap kemampuan penyerapan logam Cu dan Fe sehingga pada kajian ini akan mempelajari studi kinetika adsorpsi logam Cd(II) dan

Pb(II) serta melakukan variasi meliputi variasi massa adsorben, waktu kontak dan pH [6].

II. METODE PENELITIAN

2.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam tahap penyiapan adsorben seperti corong *buchner*, oven *Thermo Scientific*, blender Philips, pengaduk magnetik, *hot plate stirrer*, ayakan 250 mesh, neraca analitik Ohaus, loyang, desikator dan beberapa alat gelas kimia. Peralatan untuk tahap adsorpsi meliputi *hot plate stirrer*, peralatan gelas, pH meter Ohaus. Peralatan untuk tahap karakterisasi meliputi FTIR 8400 S Shimadzu, AAS *Thermo Scientific* IC-3000 dan SEM Hitachi Regulus 8220.

2.2 Bahan

Bahan yang digunakan terdiri dari limbah biji pepaya dari pedagang buah potong disekitar Kampus ITS, pelet NaOH, HNO₃, aqua DM, Pb(NO₃)₂, Cd(NO₃)₂. aquades, kertas saring, plastik wrap dan indikator pH universal.

2.3 Penyiapan Adsorben Biji Pepaya

Biji pepaya yang sudah dibersihkan direbus dengan aquades selama 6 jam pada suhu 120°C. Selanjutnya dilakukan penyaringan untuk diperoleh biji pepaya yang bersih dari kulit aril atau kulit bening pada biji pepaya. Biji pepaya dikeringkan dalam oven selama

2x24 jam dengan suhu 60°C. Biji dihaluskan menggunakan blender Philips, kemudian dilakukan pengayakan untuk mendapatkan adsorben dengan ukuran yang homogen. Selanjutnya biji pepaya diaktivasi netral menggunakan aquades. Aktivasi dilakukan dengan cara menimbang 100 gram adsorben dan dididihkan dengan aquades sampai terendam. Aktivasi dilakukan selama 2 jam dan dengan stirer 500 rpm pada suhu ruang. Setelah proses aktivasi, dilakukan penyaringan menggunakan corong buchner. Residu kemudian dikeringkan kembali dengan oven pada suhu 60°C selama 48 jam. Selanjutnya adsorben dihaluskan kembali dengan blender Philips untuk diperoleh ukuran yang sama. Adsorben biji pepaya selanjutnya ditempatkan di wadah kering tertutup dan siap digunakan.

2.4 Analisis Gugus Fungsi dengan FTIR

Adsorben biji pepaya yang sudah halus dan kering dianalisis gugus fungsi menggunakan instrumen FTIR. Adsorben yang dianalisis yaitu adsorben sebelum aktivasi dan setelah aktivasi netral untuk diketahui perbedaannya.

2.5 Penentuan Berat Adsorben Optimum

Adsorben ditimbang dengan variasi 0,5 gram - 4 gram. Masing-masing massa adsorben dilarutkan dalam 50 ml larutan adsorbat dengan konsentrasi 20 mg/l.

Pengadukan larutan dengan kecepatan 300 rpm selama 120 menit dan suhu ruang. Larutan disaring sampai jernih dan diukur dengan instrumen AAS.

2.6 Penentuan waktu Setimbang

Adsorben ditimbang 1 gram dan dimasukkan dalam 50 ml larutan adsorbat dengan konsentrasi 20 mg/l. Pengadukan larutan dengan kecepatan 300 rpm dengan waktu yang diragamkan dari 15menit hingga 180 menit dan pada suhu ruang. Larutan disaring sampai jernih dan diukur dengan instrumen AAS.

2.7 Penentuan pH Optimum

Larutan adsorbat 50 ml dengan konsentrasi 20 mg/l disiapkan dengan pH yang diragamkan 4-10. Kedalam masing-masing larutan dimasukkan adsorben biji pepaya sebanyak 4 gram untuk ion logam Cd(II) dan 1 gram untuk ion logam Pb(II). Pengadukan larutan 300 rpm dengan waktu 90 menit untuk logam Cd(II) dan 60 menit untuk logam Pb(II) dan pada suhu ruang. Larutan disaring sampai jernih dan diukur dengan instrumen AAS.

2.8 Analisis Morfologi dengan SEM

Adsorben biji pepaya sebelum dan sesudah proses adsorpsi dianalisis dengan instrumen SEM Hitachi Regulus 8220.

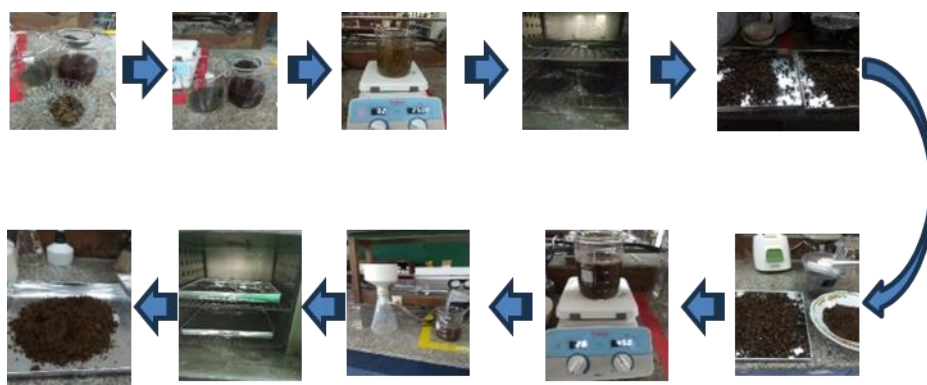
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Penyiapan Adsorben dari limbah Biji Pepaya

Prinsip tahap pembuatan adsorben ini adalah melakukan pencucian terhadap biji pepaya untuk menghilangkan aril gelatin transparan dari limbah biji pepaya [3]. Biji pepaya dibersihkan dengan air untuk menghilangkan kotoran yaitu daging buah pepaya yang masih menempel pada bijinya. Setelah bersih, biji pepaya direndam dengan aquades secukupnya hingga terendam sempurna dan dididihkan selama 8 jam, kemudian disaring dan dicuci dengan aquades sampai filtratnya bening. Selanjutnya biji pepaya yang sudah bersih dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60°C selama 48 jam untuk menghilangkan kadar lemak [5].

Setelah mengeringkan biji pepaya, langkah selanjutnya adalah menggilingnya hingga halus dan menyaringnya melalui ayakan untuk mencapai ukuran adsorben yang seragam.

Berdasarkan penelitian oleh Sri Ayu dan rekannya (2017), ukuran partikel adsorben memiliki dampak yang signifikan terhadap efisiensi penyerapan zat yang diadsorpsi. Semakin kecil ukuran partikel, semakin tinggi kemampuan penyerapan, hal ini disebabkan oleh luas permukaan yang lebih besar pada adsorben. Ukuran partikel yang semakin kecil mempunyai tenaga intermolekuler yang lebih besar sehingga akan menghasilkan penyerapan yang lebih baik.



Gambar 1. Tahap Penyiapan Adsorben Biji Pepaya

3.2 Aktivasi Adsorben

Aktivasi biji pepaya dapat dilakukan menggunakan aktivator netral/aquades [3]. Adsorben biji pepaya sebanyak ± 100 gram ditambah aquades sampai terendam dengan

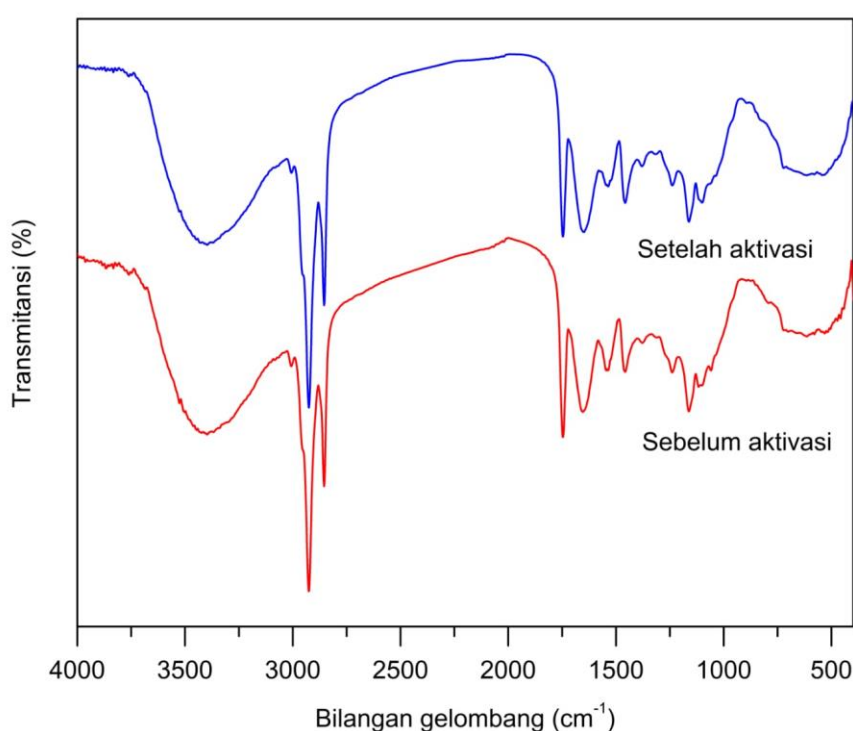
sempurna dan diaduk menggunakan stirrer dengan kecepatan 300 rpm hingga 120 menit. Proses selanjutnya adalah penyaringan menggunakan corong Buchner. penyaringan

dilakukan dengan beberapa kali pencucian dengan aquades sampai diperoleh filtrat dengan pH netral. Selanjutnya adsorben dioven kembali pada suhu 60°C selama 48 jam sampai diperoleh adsorben yang benar-benar kering.

3.3 Karakterisasi Adsorben

Karakterisasi adsorben biji pepaya dilakukan sebelum dan sesudah aktivasi menggunakan instrument FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) dengan tipe

8400 S SHIMADZU. Karakterisasi menggunakan instrument FTIR ini bertujuan untuk mengetahui kandungan senyawa kimia berupa senyawa organik dan gugus fungsional menggunakan radiasi sinar inframerah. Suatu material akan diketahui gugus fungsinya dengan cara menentukan ikatan molekul dan komposisi senyawa. Radiasi sinar inframerah yang terjadi pada ikatan molekul ditunjukkan dalam hasil berupa spektrum yang dinyatakan dalam % transmitansi dan bilangan gelombang (cm^{-1}).



Gambar 2. Hasil Karakterisasi FTIR Biji Pepaya Sebelum dan Setelah Aktivasi

Hasil uji FTIR pada biji pepaya sebelum aktivasi menunjukkan bahwa keberadaan ikatan O-H pada bilangan gelombang 3396,76 cm^{-1} , ikatan C=O pada bilangan gelombang 1745,64 cm^{-1} , ikatan N-H pada bilangan

gelombang 1653,05 cm^{-1} , dan ikatan C-O pada bilangan gelombang 1058,96 cm^{-1} . Adsorben yang telah diaktivasi memiliki tekstur yang lebih halus, menunjukkan bahwa ukuran partikelnya lebih kecil daripada adsorben

yang tidak diaktivasi. Tingkat efisiensi penyerapan yang diperoleh oleh adsorben terhadap zat yang diserap sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel adsorben itu sendiri. Ketika ukuran partikel adsorben semakin kecil, area permukaan adsorben juga semakin besar, yang pada akhirnya akan meningkatkan tingkat efisiensi penyerapan. Pada adsorben biji pepaya yang diaktivasi mengalami sedikit pergeseran bilangan gelombang dimana terjadi penurunan bilangan gelombang yang berarti massa atau kuantitas gugus fungsinya semakin banyak [3].

3.4 Penentuan Berat Adsorben Optimum

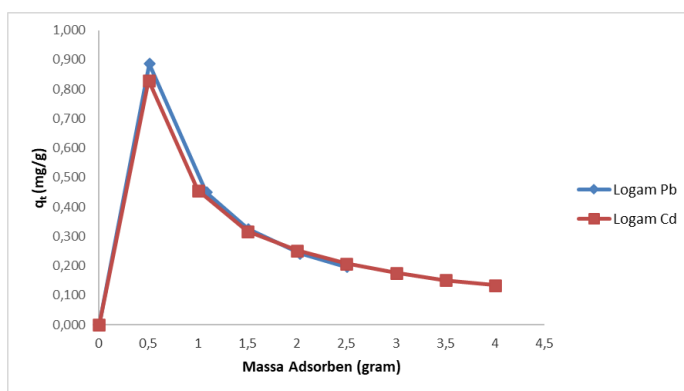
Variasi adsorben dilakukan untuk mengetahui berat adsorben maksimum yang dapat menyerap dengan maksimal ion logam Pb(II) dan ion logam Cd(II). Proses adsorpsi dilakukan pada suhu ruang, volume adsorbat 50ml, serta waktu kontak 120 menit. Penelitian terkait variasi massa adsorben atau dosis adsorben merupakan salah satu parameter penting dalam mekanisme adsorpsi, karena dapat menentukan kapasitas adsorben terhadap penyerapan logam awal logam sebagai adsorbatnya [6]. Hasil variasi massa adsorben antara ion logam Pb(II) dan Cd(II) ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Adsorpsi Ion Logam Pb(II) dan Cd(II) Dengan Variasi Massa Adsorben

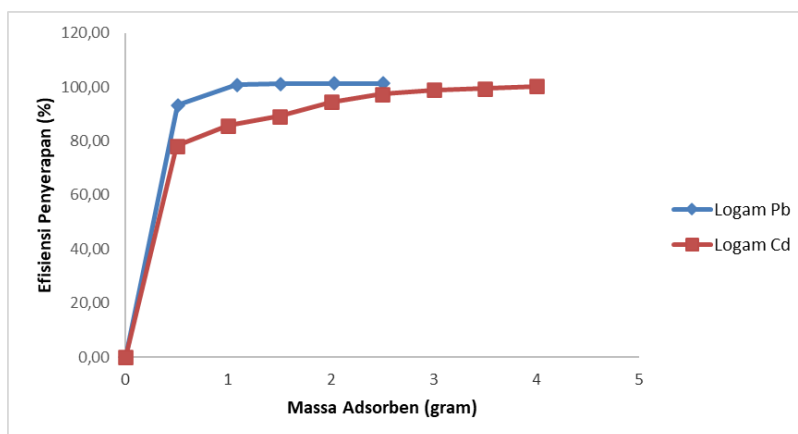
No	Logam	Massa Adsorben (gram)	Volume Larutan (L)	Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Akhir (mg/L)	Konsentrasi Teradsorp (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	Efisien Adsorpsi (%)
1	Pb (II)	0,00	0,05	9,68	9,68	0,00	0,00	0,00
2	Pb (II)	0,51	0,05	9,68	0,64	9,03	0,88	93,31
3	Pb (II)	1,08	0,05	9,68	-0,07	9,76	0,45	100,82
4	Pb (II)	1,50	0,05	9,68	-0,11	9,80	0,32	101,23
5	Pb (II)	2,03	0,05	9,68	-0,12	9,81	0,24	101,30
6	Pb (II)	2,50	0,05	9,68	-0,12	9,81	0,19	101,32
7	Cd (II)	0,00	0,05	10,65	10,65	0,00	0,00	0,00
8	Cd (II)	0,50	0,05	10,65	2,32	8,33	0,83	78,22
9	Cd (II)	1,00	0,05	10,65	1,51	9,14	0,45	85,79
10	Cd (II)	1,50	0,05	10,65	1,14	9,50	0,31	89,22
11	Cd (II)	2,00	0,05	10,65	0,58	10,07	0,25	94,50
12	Cd (II)	2,50	0,05	10,65	0,27	10,37	0,20	97,40
13	Cd (II)	3,00	0,05	10,65	0,10	10,54	0,17	98,97
14	Cd (II)	3,50	0,05	10,65	0,05	10,60	0,15	99,49
15	Cd (II)	4,00	0,05	10,65	-0,04	10,69	0,13	100,38

Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi adsorpsi tertinggi ion logam Pb(II) terjadi pada massa adsorben 1 gram yaitu sebesar 100,82% dengan kapasitas adsorpsi sebesar 0,450 mg/g. Nilai efisiensi tetap diangka 100% pada variasi massa berikutnya. Faktor ini muncul saat permukaan adsorben mencapai tingkat jenuh atau mendekati jenuh terhadap adsorbat. Menurut Wijayanti (2009),

dapat terjadi dua hal pada lapisan adsorben, (1) terbentuk lapisan adsorpsi kedua dan seterusnya diatas adsorbat yang telah terikat di permukaan, gejala ini disebut adsorpsi multilayer, (2) tidak terbentuk lapisan kedua dan seterusnya sehingga adsorbat yang belum teradsorpsi berdifusi keluar pori dan kembali ke arus fluida [7].



Gambar 3. Hubungan Massa Adsorben Biji Pepaya Aktivasi (gram) dengan Kapasitas Adsorpsi (qt) (mg/g)



Gambar 4. Hubungan Massa Adsorben Biji Pepaya Aktivasi (gram) dengan Efisiensi Penyerapan (%)

Untuk ion logam Cd(II), penambahan massa adsorben menunjukkan efisiensi adsorpsi yang semakin bertambah seiring

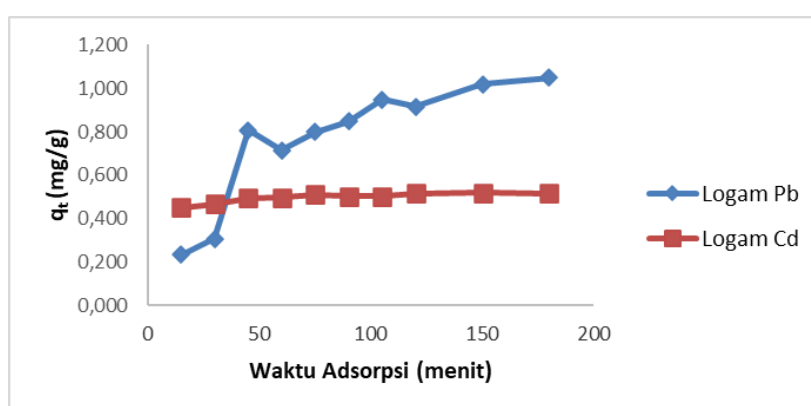
bertambahnya massa adsorben yang digunakan. Efisiensi adsorpsi mencapai 100,38% terjadi pada massa adsorben dengan

kapasitas adsorpsi sebesar 0,134 mg/g. Kapasitas adsorpsi merupakan kapasitas adsorben dalam menyerap adsorbat. Menurut Falahiyah (2015), berat dari bahan penyerap adalah salah satu faktor yang berperan dalam mengatur proses penyerapan. Semakin besar berat bahan penyerap yang digunakan, semakin efisien pula proses penyerapannya. Alasan di balik hal ini adalah peningkatan dalam luas permukaan bahan penyerap, yang mengakibatkan lebih banyak ion logam yang dapat diadsorpsi pada permukaan adsorben/bioadsorben tersebut. Ketika berat bahan penyerap biji pepaya ditingkatkan, terjadi peningkatan sejalan dengan jumlah partikel dan luas permukaan bahan penyerap. Hal ini mengakibatkan peningkatan dalam jumlah luas permukaan yang tersedia untuk mengikat ion logam, yang pada akhirnya meningkatkan efisiensi dari proses penyerapan.

Messayu (2009) juga mengonfirmasi bahwa penggunaan adsorben dengan massa yang lebih besar menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dalam menangkap ion [8]. Kenaikan massa adsorben sejalan dengan peningkatan jumlah partikel dan area permukaan, yang pada gilirannya meningkatkan jumlah tempat ikatan untuk ion logam dan memperkuat efisiensi proses adsorpsi.

3.5 Penentuan Waktu Setimbang

Berbagai interval waktu interaksi antara bahan adsorben dan adsorbat dijalankan untuk mengidentifikasi titik keseimbangan waktu dalam proses adsorpsi. Pada saat terjadi waktu setimbang, diyakini bahwa adsorben menyerap ion logam dengan keadaan maksimal.



Gambar 5. Hubungan Waktu Adsorpsi (menit) dengan Kapasitas Adsorpsi (qt) (mg/g)

Penyerapan ion logam Pb(II) meningkat dengan bertambahnya waktu kontak.

Peningkatan penyerapan oleh adsorben biji pepaya meningkat tajam pada 45 menit

pertama. Kesetimbangan terjadi setelah 60 menit dengan jumlah ion logam Pb(II) teradsorp sebesar 62,87% dengan kapasitas adsorpsi sebesar 0,714 mg/g. Sedangkan untuk ion logam Cd(II), peningkatan penyerapan terjadi pada 45 menit pertama dan setelah itu penyerapan logam mengalami kesetimbangan setelah 90 menit hingga mencapai konstan. Pada waktu kesetimbangan tersebut ion logam Cd(II) yang teradsorp mencapai 94,68% dengan kapasitas adsorpsi sebesar 0,504 mg/g.

Kapasitas penyerapan adsorben meningkat tajam pada menit-menit awal dan setelah mencapai waktu kesetimbangan akan mencapai keadaan konstan. Hal ini dapat dijelaskan karena pada awalnya banyak sisi adsorben yang kosong, sehingga

kecenderangan larutan untuk terserap ke adsorben semakin tinggi. Dengan bertambahnya waktu kontak, jumlah adsorbat yang terserap pada permukaan adsorben semakin meningkat hingga tercapai titik setimbang. Pada saat mencapai titik kesetimbangan, permukaan adsorben telah penuh tertutupi oleh logam yang diserap dan adsorben mengalami titik jenuh sehingga adsorben tidak dapat menyerap logam lagi.

Siringo (2019) juga membenarkan bahwa waktu kontak dapat mempengaruhi kinerja dan daya serap sehingga akan mempengaruhi efektivitas suatu adsorben [9]. Adsorpsi meningkat dengan peningkatan waktu kontak dan peningkatan ini terjadi karena jumlah sisi aktif.

Tabel 2. Adsorpsi Ion Logam Pb(II) dan Cd(II) Dengan Variasi Waktu Adsorpsi

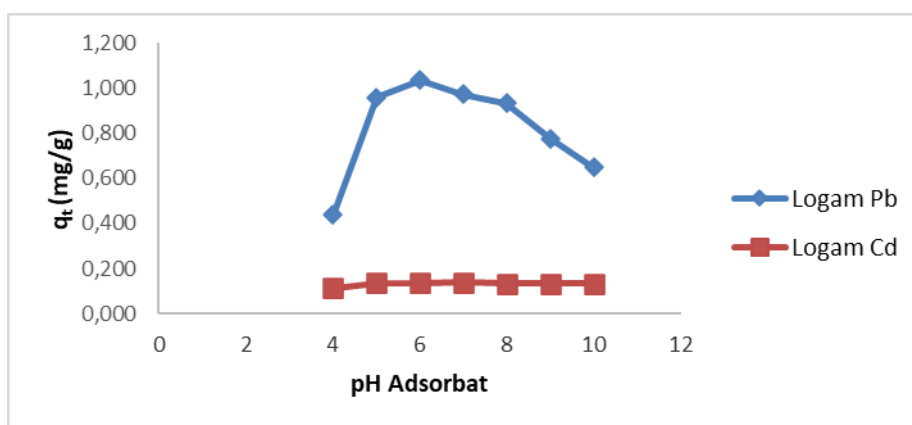
No	Logam	Waktu Adsorpsi (menit)	Volume Larutan (L)	Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Akhir (mg/L)	Konsentrasi Teradsorp (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	Efisien Adsorpsi (%)
1	Pb (II)	15	0,05	22,74	10,05	12,69	0,63	55,81
2	Pb (II)	30	0,05	22,74	16,56	6,18	0,30	27,18
3	Pb (II)	45	0,05	22,74	6,62	16,12	0,80	70,89
4	Pb (II)	60	0,05	22,74	8,44	14,29	0,71	62,87
5	Pb (II)	75	0,05	22,74	6,74	15,99	0,79	70,34
6	Pb (II)	90	0,05	22,74	5,79	16,94	0,84	74,51
7	Pb (II)	105	0,05	22,74	3,79	18,94	0,94	83,30
8	Pb (II)	120	0,05	22,74	4,45	18,28	0,91	80,40
9	Pb (II)	150	0,05	22,74	2,39	20,35	1,01	89,49
10	Pb (II)	180	0,05	22,74	1,77	20,97	1,04	92,22
11	Cd (II)	15	0,05	10,65	1,63	9,02	0,45	84,69
12	Cd (II)	30	0,05	10,65	1,27	9,38	0,46	88,05

13	Cd (II)	45	0,05	10,65	0,74	9,91	0,49	93,01
14	Cd (II)	60	0,05	10,65	0,67	9,98	0,49	93,67
15	Cd (II)	75	0,05	10,65	0,41	10,24	0,51	96,14
16	Cd (II)	90	0,05	10,65	0,56	10,08	0,50	94,68
17	Cd (II)	105	0,05	10,65	0,56	10,09	0,50	94,70
18	Cd (II)	120	0,05	10,65	0,29	10,36	0,51	97,24
19	Cd (II)	150	0,05	10,65	0,28	10,36	0,51	97,31
20	Cd (II)	180	0,05	10,65	0,32	10,33	0,51	96,99

3.6 Penentuan pH Optimum

Variasi dilakukan untuk menentukan kondisi penyerapan maksimum terhadap ion logam. Dari Gambar 6 dapat diketahui bahwa penyerapan ion logam Pb(II) maksimal terjadi pada pH 6 dengan persen teradsorp mencapai 91,31% dengan kapasitas adsorpsi sebesar 1,037 mg/g. Sedangkan untuk ion logam Cd(II), penyerapan maksimal terjadi pada pH

7 dengan persen teradsorp mencapai 103,66% dengan kapasitas adsorpsi sebesar 0,138 mg/g. Menurut Rizkamala (2011), saat pH dinaikkan menuju kondisi basa, maka terjadi penurunan penyerapan adsorben terhadap konsentrasi ion logam Pb(II). Hal ini terjadi karena terjadi peningkatan konsentrasi ion OH⁻ pada pH tinggi.



Gambar 6. Hubungan pH Adsorbat dengan Kapasitas Adsorpsi (qt) (mg/g)

Potensial hidrogen (pH) merupakan parameter yang sangat penting dalam kemampuan adsorpsi. Potensial hidrogen juga dapat mempengaruhi kelarutan ion logam. Umumnya jumlah logam yang teradsorpsi meningkat pada pH lebih besar dari 6. Pada

pH yang rendah dan bersifat asam akan menyebabkan konsentrasi ion H⁺ akan naik dan akan terjadi kompetisi antara ion H⁺ dan ion logam untuk bertukar tempat dengan kation lain pada adsorben

Tabel 3. Adsorpsi Ion Logam Pb(II) dan Cd(II) Dengan Variasi pH Adsorbat

No	Logam	Ph Adsorbat	Volume Larutan (L)	Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Akhir (mg/L)	Konsentrasi Teradsorp (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	Efisien Adsorpsi (%)
1	Pb (II)	4	0,05	22,74	13,95	8,79	0,43	38,66
2	Pb (II)	5	0,05	22,74	3,52	19,22	0,95	84,50
3	Pb (II)	6	0,05	22,74	1,97	20,76	1,03	91,31
4	Pb (II)	7	0,05	22,74	3,22	19,51	0,97	85,81
5	Pb (II)	8	0,05	22,74	4,02	18,72	0,93	82,31
6	Pb (II)	9	0,05	22,74	7,17	15,56	0,77	68,44
7	Pb (II)	10	0,05	22,74	9,72	13,01	0,65	57,23
8	Cd (II)	4	0,05	10,65	1,60	9,04	0,11	84,92
9	Cd (II)	5	0,05	10,65	-0,22	10,87	0,13	102,07
10	Cd (II)	6	0,05	10,65	-0,31	10,97	0,13	102,95
11	Cd (II)	7	0,05	10,65	-0,38	11,04	0,13	103,66
12	Cd (II)	8	0,05	10,65	-0,01	10,67	0,13	100,17
13	Cd (II)	9	0,05	10,65	-0,07	10,72	0,13	100,67
14	Cd (II)	10	0,05	10,65	-0,01	10,67	0,133	100,18

3.7 Implementasi Pada Limbah Laboratorium Kimia FSAD ITS

Pada penelitian ini digunakan limbah dari laboratorium Instrumentasi dan Sains Analitik (ISA) yang berada di Departemen

Kimia FSAD lantai 3. Adsorpsi dilakukan terhadap limbah laboratorium dengan menggunakan adsorben biji pepaya dan hasilnya tercantum pada **Tabel 4.**

Tabel 4. Adsorpsi Ion Logam Cd(II) dan Pb(II) Pada Limbah Laboratorium

Kondisi Adsorpsi	Logam	
	Cd(II)	Pb(II)
Konsentrasi Awal Limbah (mg/L)	12,33	19,98
Volume (ml)	50	50
pH	7	6
Waktu (menit)	90	60
Berat Adsorben (gram)	4	1
Konsentrasi Akhir Limbah (mg/L)	2,53	0,07
qt(mg/g)	0,12	0,99
% Removal efisiensi	79,42	99,60

3.8 Kinetika Adsorpsi

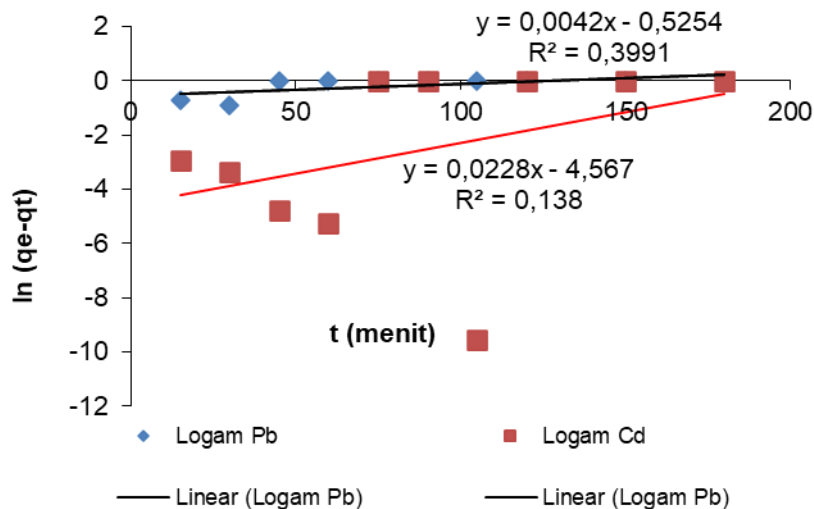
Pada penelitian ini dipelajari pula kinetika adsorpsi berdasarkan data variasi waktu. Pertama, orde satu semu ditentukan dengan persamaan 1 berikut:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (1)$$

dimana q_e = kapasitas adsorpsi pada waktu setimbang (mg/g), q_t = kapasitas adsorpsi saat waktu t (mg/g), t = waktu adsorpsi (menit) dan k_1 = konstanta orde satu semu.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Orde Satu Semu

t (waktu)	q _e Logam Pb(II)	q _t Logam Pb(II)	q _e -q _t Logam Pb(II)	(ln q _e -q _t) Logam Pb(II)	q _e Logam Cd(II)	q _t Logam Cd(II)	q _e -q _t Logam Cd(II)	(ln q _e -q _t) Logam Cd(II)
15	0,71	0,24	0,48	-0,73	0,50	0,45	0,05	-2,94
30	0,71	0,31	0,41	-0,90	0,50	0,47	0,04	-3,34
45	0,71	0,81	-0,09	-	0,50	0,50	0,01	-4,78
60	0,71	0,71	0,00	-	0,50	0,50	0,01	-5,23
75	0,71	0,80	-0,09	-	0,50	0,51	-0,01	-
90	0,71	0,85	-0,13	-	0,50	0,50	0,00	-
105	0,71	0,95	-0,23	-	0,50	0,50	0,00	-9,55
120	0,71	0,91	-0,20	-	0,50	0,52	-0,01	-
150	0,71	1,02	-0,30	-	0,50	0,52	-0,01	-
180	0,71	1,05	-0,33	-	0,50	0,52	-0,01	-



Gambar 7. Grafik Model Orde Satu Semu

Nilai K dapat dihitung menggunakan persamaan 1 sebagai berikut:

Logam Pb(II)	Logam Cd(II)
b = K ₁ = 0,0042	b = K₁ = 0,0228
ln q _e = 0,5254 q _e = 1,6911	ln q_e = 4,567 q_e = 96,2549

Tabel 6. Parameter Adsorpsi Kinetik Orde Satu Semu untuk logam Pb(II) dan Cd(II)

Logam	Orde satu semu		
	q _e	R ²	K ₁
Pb(II)	1,6911	0,3991	0,0042
Cd(II)	96,2549	0,138	0,0228

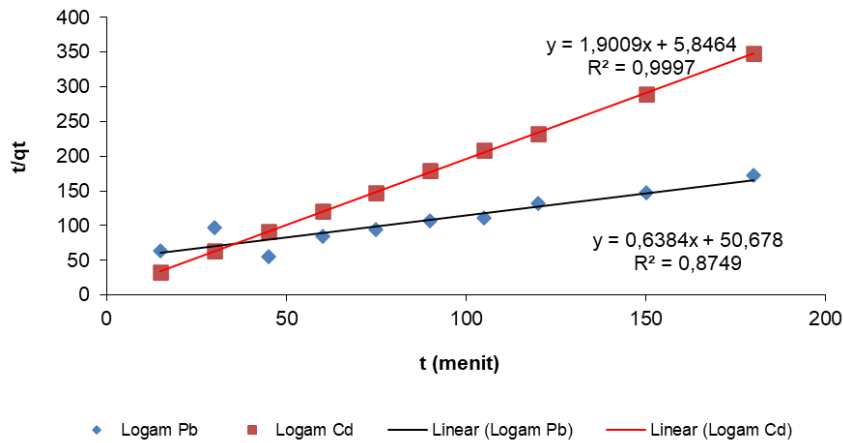
Model orde dua semu dapat diperoleh dengan melakukan plot data antara $\frac{t}{q_t}$ sebagai

sumbu y dan t sebagai sumbu x. Bentuk persamaan 2, regresinya adalah:

$$\frac{t}{q} = \frac{1}{k_s Q_e^2} + \frac{1}{q_t} t \quad (2)$$

Tabel 7. Hasil Perhitungan Orde Dua Semu

t (waktu)	qt Logam Pb(II)	t/qt Logam Pb(II)	qt Logam Cd(II)	t/qt Logam Cd(II)
15	0,24	63,92	0,45	33,26
30	0,31	97,08	0,47	64,07
45	0,81	55,82	0,50	90,83
60	0,71	83,99	0,50	120,38
75	0,80	93,85	0,51	146,54
90	0,85	106,24	0,50	178,65
105	0,95	110,86	0,50	208,46
120	0,91	131,27	0,52	231,89
150	1,02	147,47	0,52	289,55
180	1,05	171,70	0,52	348,60



Gambar 8. Grafik Model Orde Dua Semu

Nilai K dapat dihitung dengan persamaan 2 sebagai berikut:

Logam Pb(II)

$$\frac{1}{q_e} = 0,6384$$

$$q_e = 1,5664$$

$$a = \frac{1}{K_s q_e^2} = 50,678$$

$$\frac{1}{K_s (1,5664)^2} = 50,678$$

$$K_s = 0,00804$$

Logam Cd(II)

$$\frac{1}{q_e} = 1,9009$$

$$q_e = 0,5261$$

$$a = \frac{1}{K_s q_e^2} = 5,8464$$

$$\frac{1}{K_s (0,5261)^2} = 5,8464$$

$$K_s = 0,61798$$

Tabel 8. Parameter Adsorpsi Kinetik Orde Dua Semu untuk logam Pb(II) dan Cd(II)

Logam	Orde dua semu		
	q _e	R ²	K _s
Pb(II)	1,5664	0,8749	0,00804
Cd(II)	0,5261	0,9997	0,61798

Laju penyerapan awal, h (mg/g min) dapat dihitung dengan persamaan 3 sebagai berikut:

$$h = K_s q_e^2 \quad (3)$$

Logam Pb(II)

$$\begin{aligned} h &= K_s q_e^2 \\ &= 0,00804 \times (1,5664)^2 \\ &= 0,0197 \text{ mg/g min} \end{aligned}$$

Logam Cd(II)

$$\begin{aligned} h &= K_s q_e^2 \\ &= 0,61798 \times (0,5261)^2 \\ &= 0,1710 \text{ mg/g min} \end{aligned}$$

Laju adsorpsi awal (h), kapasitas adsorpsi kesetimbangan (q_e) dan konstanta orde dua semu K_s dapat ditentukan secara eksperimen dari slope dan intersep plot dari t/q_t versus t

Model Difusi Intra Partikel

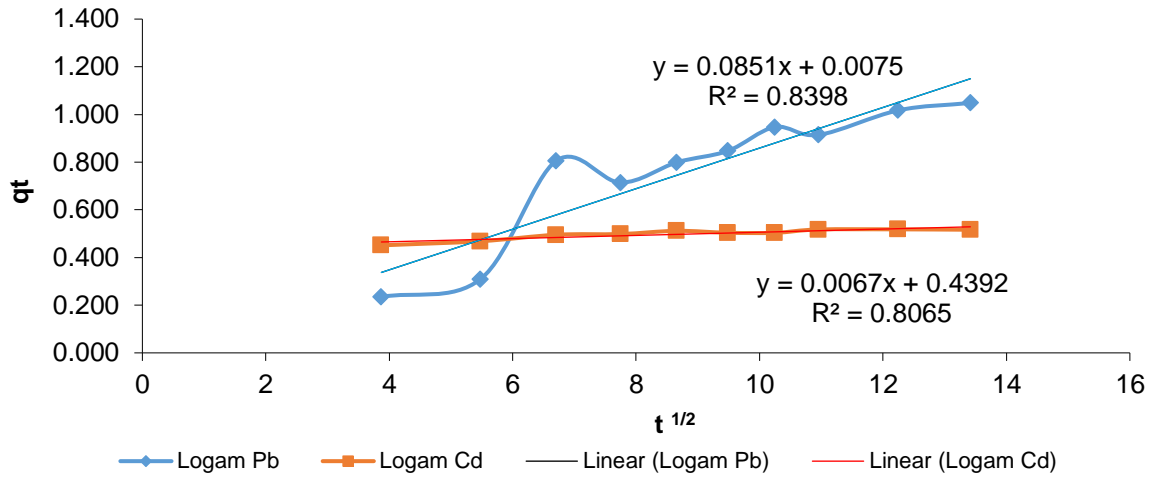
Model difusi intra partikel dapat diperoleh dengan melakukan plot data antara q_t sebagai sumbu y dan $t^{1/2}$ sebagai sumbu x. Bentuk persamaan 4, regresinya adalah:

$$q_t = k_{id} t^{1/2} + C \quad (4)$$

Dimana q_t adalah kapasitas adsorpsi pada waktu t (mg/g) C = ketebalan dari batas lapisan K_{id} = tetapan / konstanta t = waktu adsorpsi (menit)

Tabel 9. Hasil Perhitungan Difusi Intra Partikel

t (waktu)	t^{1/2} Logam Pb(II)	qt Logam Pb(II)	t^{1/2} Logam Cd(II)	qt Logam Cd(II)
15	3,87	0,24	3,87	0,45
30	5,48	0,31	5,48	0,47
45	6,71	0,81	6,71	0,50
60	7,75	0,71	7,75	0,50
75	8,66	0,80	8,66	0,51
90	9,49	0,85	9,49	0,50
105	10,25	0,95	10,25	0,50
120	10,95	0,91	10,95	0,52
150	12,25	1,02	12,25	0,52
180	13,42	1,05	13,42	0,52



Gambar 9. Grafik Model Difusi Intra Partikel

Nilai K dapat dihitung dengan persamaan 4 sebagai berikut:

Logam Pb	Logam Cd
$K_{id} = 0,0851$	$K_{id} = 0,0067$
$C = 0,0075$	$C = 0,4392$

Tabel 10. Parameter adsorpsi kinetik Difusi Intra Partikel untuk logam Pb(II) dan Cd(II)

Logam	Difusi intra partikel		
	C	R ²	K _{id}
Pb(II)	0,0075	0,8398	0,0851
Cd(II)	0,8065	0,8065	0,0067

Model Elovich

Model Elovich dapat diperoleh dengan melakukan plot data antara q_t sebagai sumbu y dan $\ln t$ sebagai sumbu x. Bentuk persamaan 5, regresinya adalah:

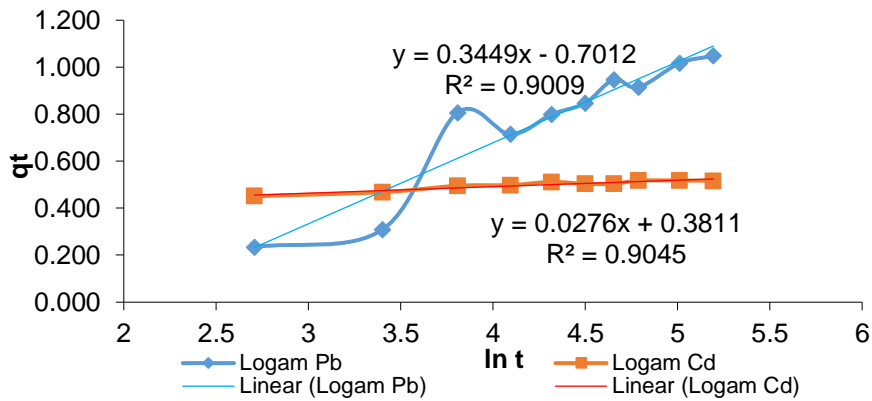
$$q_t = (1/\beta) \ln(\alpha\beta) + (1/\beta) \ln t \quad (5)$$

dimana α adalah laju adsorpsi awal (mg/(g min)) β = luas permukaan yang tertutup (g/mg) t = waktu adsorpsi (menit) q_t = kapasitas adsorpsi pada waktu t (mg/g)

Tabel 11. Hasil Perhitungan Elovich

t (waktu)	ln t Logam Pb(II)	qt Logam Pb(II)	ln t Logam Cd(II)	qt Logam Cd(II)
15	2,708	0,235	2,708	0,451
30	3,401	0,309	3,401	0,468

45	3,807	0,806	3,807	0,495
60	4,094	0,714	4,094	0,498
75	4,317	0,799	4,317	0,512
90	4,500	0,847	4,500	0,504
105	4,654	0,947	4,654	0,504
120	4,787	0,914	4,787	0,517
150	5,011	1,017	5,011	0,518
180	5,193	1,048	5,193	0,516



Gambar 10. Grafik Model Elovich

Logam Pb(II)

$$1/\beta = 0,3449$$

$$\beta = 2,8993$$

$$0,3449 \ln \alpha \beta = -0,7012$$

$$\ln \alpha \beta = -2,0330$$

$$\alpha \beta = 0,1309$$

$$\alpha \cdot 2,8993 = 0,1309$$

$$\alpha = 0,045$$

Logam Cd(II)

$$1/\beta = 0,0276$$

$$\beta = 36,2318$$

$$0,0276 \ln \alpha \beta = 0,3811$$

$$\ln \alpha \beta = 13,8079$$

$$\alpha \beta = 992418,329$$

$$\alpha \cdot 36,2318 = 992418,329$$

$$\alpha = 27390,809$$

Pada penelitian dapat diketahui bahwa adsorpsi ion logam Pb(II) menggunakan

adsorben biji pepaya mengikuti model Elovich dengan R^2 sebesar 0,9009. (Tabel 12).

Hal ini dapat disimpulkan jenis modelnya sesuai dengan nilai R^2 yang mendekati satu, dimana nilai R ini merupakan nilai koefisien korelasi dari grafik. Nilai R semakin mendekati satu memiliki data yang linier. Model kinetika Elovich menggambarkan laju adsorpsi berdasarkan kapasitas penyerapan pada permukaan yang heterogen. Dimana pada adsorpsi ion logam Pb(II) terjadi dengan laju adsorpsi awal sebesar 0,045 mg/(g min) dengan luas permukaan yang tertutup sebesar 2,8993 (g/mg).

Sedangkan adsorpsi ion logam Cd(II) menggunakan adsorben biji pepaya mengikuti model kinetik Orde Dua Semu dengan R^2 sebesar 0,9997. Model kinetika Orde Dua Semu menggambarkan gaya pertukaran dari elektron antara adsorben dan adsorbat sebagai pertukaran ion. Adsorpsi ion logam Cd(II) terjadi dengan laju adsorpsi awal sebesar 0,1710 mg/g min.

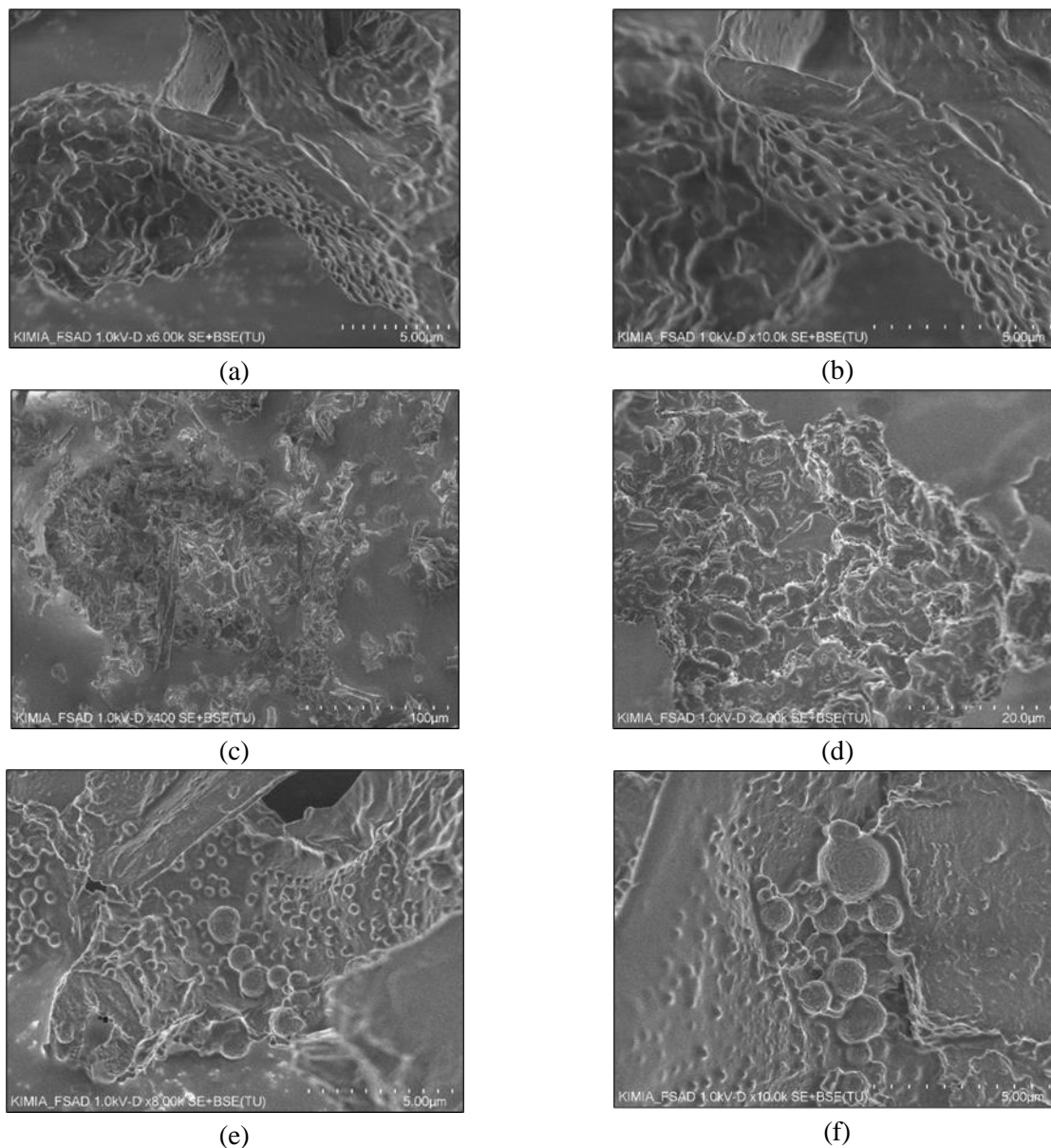
Tabel 12. Ringkasan dari Perhitungan Kinetika Adsorpsi

Orde Satu Semu				
Logam	k_f (min ⁻¹)	q_e (mg/g)	R^2	
Pb(II)	0,0042	1,6911	0,3991	
Cd(II)	0,0228	96,2549	0,138	
Orde Dua Semu				
Logam	h (mg/g min)	q_e (mg/g)	R^2	K_s (g/(mg min))
Pb(II)	0,0197	1,5664	0,8749	0,00804
Cd(II)	0,1710	0,5261	0,9997	0,61798
Difusi Intra Partikel				
Logam	C	K_{id}	R^2	
Pb(II)	0,0075	0,0851	0,8398	
Cd(II)	0,8065	0,0067	0,8065	
Elovich				
Logam	α (mg/(g min))	β (g/mg)	R^2	
Pb(II)	0,045	2,8993	0,9009	
Cd(II)	27390,809	36,2318	0,9045	

3.9 Karakterisasi Adsorben Menggunakan Instrument SEM

Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi adsorben biji pepaya menggunakan instrument SEM untuk mengetahui struktur permukaan seperti pada

Gambar 11. Dari hasil tersebut diketahui bahwa adsorben biji pepaya memiliki permukaan berpori. Ketika adsorben sudah digunakan untuk mengadsorp logam Pb(II) dan Cd(II), terlihat bahwa permukaan pori adsorben sudah tertutupi oleh logam berat.



Gambar 11. (a) dan (b) Adsorben Biji Pepaya Sebelum Adsorpsi, (c) dan (d) Adsorben Setelah Adsorpsi Logam Pb(II), (e) dan (f) Adsorben Setelah Adsorpsi Logam Cd(II)

IV. KESIMPULAN

Penggunaan biji pepaya sebagai adsorben ion logam Pb(II) dan Cd(II) pada limbah dengan metode batch mampu memberikan penurunan yang sangat baik, dengan presentase penyerapan mencapai 91,31% untuk logam Pb(II) dan untuk logam Cd(II)

mampu menyerap dengan presentase hingga 103.66%. kondisi optimum adsorben untuk logam Pb(II) adalah 1 gram adsorben pada pH 6 dan waktu kontak 60 menit. Sedangkan untuk logam Cd(II), kondisi optimum nya

adalah massa adsorben 4 gram, pada pH 7 dengan waktu kontak 90 menit.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih disampaikan kepada pihak Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya yang telah memberikan dana penelitian Tenaga Kependidikan Batch 1 tahun 2023 dengan nomor kontrak 1653/PKS/ITS/2023 sehingga dapat terlaksananya penelitian ini dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abbaszadeh, S., Wan Alwi, S. R., Webb, C., Ghasemi, N., & Muhamad, I. I. (2016). Treatment of lead-contaminated water using activated carbon adsorbent from locally available papaya peel biowaste. *Journal of Cleaner Production*, 118, 210–222. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.054>
- [2] Pavan, F. A., Camacho, E. S., Lima, E. C., Dotto, G. L., Branco, V. T. A., & Dias, S. L. P. (2014). Formosa papaya seed powder (FPSP): Preparation, characterization and application as an alternative adsorbent for the removal of crystal violet from aqueous phase. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(1), 230–238. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.12.017>
- [3] Zustriani, A. K. (2019). PENGARUH AKTIVASI ADSORBEN BIJI PEPAYA TERHADAP ADSORPSI ION LOGAM BESI (Fe) DAN TEMBAGA (Cu) DALAM AIR LIMBAH. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2656804>
- [4] Munira, M., Aladin, A., Aulia Hamza, N., & Umrah Tulzhaliza, S. (2022). Pemanfaatan Limbah Biji Pepaya sebagai Biosorben terhadap Penurunan Total Ion Besi (Fe) dalam Air Limbah Utilization Of Papaya Seed Powder as a Bioadsorben to Reduce Total Iron (Fe) In Wastewater (Vol. 19, Issue 3).
- [5] Zustriani, A. K. (2019). DESORPSI ION LOGAM BESI (Fe) DAN TEMBAGA (Cu) DARI ADSORBEN BIJI PEPAYA DENGAN LARUTAN PENDESORPSI ASAM DAN BASA. *Integrated Lab Journal*, 07(02). <https://doi.org/10.5281/zenodo.3515546>
- [6] Arifiyana, D., & Wardani, R. K. (2023). Artikel Penelitian. *Journal Pharmasci (Journal of Pharmacy and Science)*, 8(2).
- [7] Wijayanti, Ria, (2009), Arang Aktif dari Ampas Tebu Sebagai Adsorben pada Pemurnian Minyak Goreng Bekas, *Jurnal Jurusan Kimia, FMIPA IPB, Bogor*.
- [8] Messayu, Paramitha, (2009), Limbah Arang Sekam Padi Sebagai Adsorben Ion Cr (III) dan Cr(IV), *Skripsi IPB Bogor*.

- [9] Siringo – Ringo, E.P, (2019), Pengaruh Waktu Kontak, Ph dan Dosis Adsorben Dalam Penurunan Kadar Pb dan Cd Menggunakan Adsorben Dari Kulit Pisang. Universitas Sumatra Utara.