

KAPASITAS ADSORBSI LOGAM KROMIUM (VI) DENGAN ADSORBEN PEKTIN DARI KULIT LEMON**Mardhiyah Nadir^{1,*}, Yuli Patmawati², dan Aditya Alexander³**^{1), 2), 3)} Program Studi Teknologi Kimia Industri, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Samarinda, Samarinda, Indonesia

*) Email : mardhiyahnadir@yahoo.co.id

(Received: 25-09-2021; Revised: 29-09-2021; Accepted: 29-09-2021)

Abstrak

Kromium (Cr) merupakan salah satu logam berat yang dapat mencemari lingkungan perairan. Penanggulangan pencemaran dalam air dapat dilakukan dengan metode adsorpsi menggunakan pektin dari kulit lemon. Penelitian ini bertujuan untuk menetapkan persamaan adsorpsi Cr (VI) dengan adsorben pektin dari kulit lemon dan menetapkan pengaruh massa adsorben terhadap adsorpsi logam Cr (VI). Kulit lemon diekstraksi dengan massa 15 gram menggunakan bantuan *Microwave Assisted Extraction* (MAE) dengan waktu ekstraksi 26 menit menggunakan daya 300 Watt. Proses adsorpsi dilakukan dengan variasi massa (1,2 gr; 1,3 gr; 1,4 gr; 1,5 gr dan 1,6 gr) dengan waktu kontak 1 jam dan kecepatan pengadukan 250 rpm. Metode analisa yang digunakan untuk mengukur nilai adsorbansi adalah dengan alat *Atomic Absorbtiom Spectrophotometry* (AAS). Persamaan adsorpsi Cr (VI) mengikuti persamaan Langmuir. Hasil penelitian ini menunjukkan kondisi optimum adsorpsi yaitu pada massa pektin 1,5 gr dapat menurunkan kadar Cr (VI) sebesar 0,0452 mg/g (70,23 %).

Kata kunci: adsorpsi, kromium, kulit lemon, pektin**Abstract**

Chromium is a heavy metal that can pollute the aquatic environment. Tackling water pollution can be done by using the adsorption method using pectin from lemon peel. This study aims to determine the adsorption equation of chromium (VI) with pectin adsorbent from lemon peel and to determine the effect of adsorbent mass on chromium (VI) metal uptake. The lemon peel was extracted with a mass of 15 grams using the help of Microwave Assisted Extraction (MAE) with an extraction time of 26 minutes using 300 Watt power. The adsorption process was carried out with mass variations (1.2 gr; 1.3 gr; 1.4 gr; 1.5 gr and 1.6 gr) with a contact time of 1 hour and a stirring speed of 250 rpm. The analytical method used to measure the adsorption value is Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). The Cr (VI) adsorption equation follows the Langmuir equation. The results of this study indicate that the optimum conditions for adsorption, namely the pectin mass of 1.5 g, can reduce Cr(VI) levels by 0.0452 mg / g (70.23%).

Keywords: adsorption, chromium, lemon peel, pectin

PENDAHULUAN

Salah satu pencemaran di lingkungan perairan adalah logam berat. Limbah logam berat secara langsung atau tidak langsung di buang ke lingkungan sehingga semakin meningkat, terutama di negara berkembang. Kontaminan organik dapat diuraikan tetapi logam berat tidak dapat diuraikan secara alami dan cenderung menumpuk dalam organisme hidup dan banyak ion logam berat dikenal sebagai racun atau karsinogenik. Logam berat beracun yang perlu perhatian khusus dalam pengolahan air limbah industri adalah seng, tembaga, nikel, merkuri, cadmium, timbal dan kromium. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 03 tahun 2010 (Kementerian Negara Lingkungan Hidup, 2010) tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Kawasan Industri yaitu 0,5 mg/l (Akunwa, 2014). Salah satu alternatif dalam pengolahan limbah yang mengandung logam berat adalah penggunaan bahan-bahan biologis sebagai adsorben yaitu pektin. Pektin merupakan salah satu senyawa yang terdapat pada dinding sel tumbuhan daratan. Pektin merupakan polimer dari asam D-galakturonat yang dihubungkan oleh ikatan 1,4 glikosidik dan banyak terdapat pada lamella tengah dinding sel tumbuhan (Maulidiyah, 2014). Selama ini pektin banyak dimanfaatkan dalam industri makanan, farmasi dan kosmetik sebagai bahan pembentuk gel. Namun bila mengingat bahwa struktur komponen pektin juga banyak mengandung gugus aktif, maka pektin juga dapat digunakan sebagai salah satu sumber biosorben. Pektin dapat mengadsorpsi logam karena mengandung gugus karboksilat. Gugus karboksilat dari pektin dapat bereaksi dengan ion logam berat untuk membentuk senyawa kompleks yang tidak larut dalam air dan dapat diekskresi melalui feses. Reaktivitas pektin terhadap ion logam berat sangat tergantung pada derajat esterifikasinya (Syah, 2010)

Kulit jeruk lemon memiliki kandungan pektin 35%. Kandungan pektin yang terdapat di dalam kulit lemon dapat dimanfaatkan untuk diambil pektinnya dengan suatu proses yang disebut ekstraksi. Pengambilan pektin dilakukan dengan menggunakan metode *Microwave Assisted Extraction* (MAE). MAE merupakan ekstraksi yang memanfaatkan gelombang mikro untuk mempercepat ekstraksi selektif melalui pemanasan pelarut secara cepat dan efisien. Metode ini memiliki beberapa kelebihan, diantaranya adalah waktu ekstraksi yang lebih singkat. Pelarut yang lebih sedikit, hasil ekstraksi yang lebih tinggi, produk yang lebih baik dan biaya yang lebih murah (Widiastuti, 2015). Penelitian Ina, (2014) menggunakan pektin dari kulit buah jeruk siam (*Citrus nobilis var microcarpa*) sebagai adsorben logam tembaga (Cu). Logam tembaga (Cu) diadsorpsi dengan variasi massa pektin (0,5 gr, 1 gr dan 1,5 gr) dan variasi waktu (1 jam, 2 jam dan 3 jam). Hasil terbaik diperoleh pada massa pektin 0,5 gr dan waktu 1 jam dapat menjerap logam tembaga sebesar 26,61%. Nugraheni, (2018) menggunakan pektin dari kulit jeruk manis (*Citrus sinensis*) sebagai biosorben ion Cr (VI) pada sampel air sungai Jagir dengan suhu air 31 °C, pH 6,5, variasi massa pektin (0,5 gr, 1 gr dan 1,5 gr) dan variasi waktu kontak (1 jam, 2 jam dan 3 jam). Hasil terbaik diperoleh pada massa pektin 1,5 gr dan waktu kontak 3 jam dapat menjerap ion Cr (VI) sebesar 98,06%. Hayati, (2020) mengekstraksi pektin dari kulit lemon sebanyak 15 gram menggunakan metode MAE, pelarut HCl 0,02 N dan variasi waktu ekstraksi (10, 14, 18, 22, 26, 28, 30 dan 34) menit. Hasil terbaik pada waktu 26 menit diperoleh rendemen pektin sebesar 18,26 %, kadar air 10,39%, kadar abu 1,11%, kadar metoksil 6,60% galakturonat 70,78%, dan derajat esterifikasi 52,94%.

Penelitian ini dilakukan dengan mengekstraksi pektin dari limbah kulit jeruk lemon dengan menggunakan metode *Microwave Assisted Extraction* (MAE). Pektin yang dihasilkan digunakan sebagai adsorben untuk menjerap logam Cr (VI). Kondisi optimum proses penjerapan logam Cr (VI) dengan variasi massa pektin (1,2gr; 1,3 gr; 1,4 gr; 1,5 gr dan 1,6 gr) dan waktu kontak 1 jam. Pada penelitian ini dapat diketahui pengaruh massa adsorben terhadap penjerapan logam kromium dan persamaan isotherm adsorpsi.

Adsorpsi adalah suatu proses yang terjadi ketika suatu fluida (cairan maupun gas) terikat kepada suatu padatan dan akhirnya membentuk suatu film (lapisan tipis) pada permukaan padatan tersebut. Berbeda dengan absorpsi, dimana fluida terjerap oleh fluida lainnya dengan membentuk suatu larutan (Dewi, 2015). Proses adsorpsi dapat berlangsung jika suatu permukaan padatan dan molekul-molekul gas atau cair, dikontakan dengan molekul-molekul tersebut, maka didalamnya terdapat gaya kohesif termasuk gaya hidrostatis dan gaya ikatan hidrogen yang bekerja diantara molekul seluruh material. Gaya-gaya yang tidak seimbang pada batas fasa tersebut menyebabkan perubahan-perubahan konsentrasi molekul pada interface solid/fluida. Padatan berpori yang menghisap (adsorbtion) dan melepaskan (desorbtion) suatu fluida disebut adsorben. Molekul fluida yang dihisap tetapi tidak terakumulasi/melekat ke permukaan adsorben disebut adsorbtive, sedangkan yang terakumulasi/melekat disebut adsorbat (Apriliani, 2010). Jika fenomena adsorpsi disebabkan terutama oleh gaya Van der Waals dan gaya

hidrostatik antara molekul adsorbat, maka atom yang membentuk permukaan adsorben tanpa adanya ikatan kimia disebut adsorpsi fisika. Interaksi secara kimia antara adsorbat dan adsorben, maka fenomenanya disebut adsorpsi kimia. Pada dasarnya adsorben dibagi menjadi tiga yaitu: adsorben yang mengadsorpsi secara fisik (karbon aktif, silika gel dan zeolit), adsorben yang mengadsorpsi secara kimia (*calcium chloride*, *metal hydride*, dan *complex salts*) dan composite adsorbent, adsorben yang mengadsorpsi secara kimia dan fisik. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kemampuan adsorpsi suatu adsorben diantaranya adalah sebagai berikut (Junaidi, 2009) : luas permukaan adsorben, ukuran partikel, waktu kontak, suhu, distribusi ukuran pori, konsentrasi adsorben dan konsentrasi larutan.

Isoterm adsorpsi adalah hubungan yang menunjukkan distribusi adsorben antara fasa teradsorpsi pada permukaan adsorben dengan fasa ruah saat kesetimbangan pada suhu tertentu. Apabila kesetimbangan telah tercapai, maka proses adsorpsi telah selesai (Atkins, 1997). Model Langmuir mendefinisikan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum terjadi akibat adanya lapisan tunggal (monolayer) adsorbat di permukaan adsorben. Isoterm Freundlich digunakan jika diasumsikan bahwa terdapat lebih dari satu lapisan permukaan (multilayer) dan site bersifat heterogen, yaitu adanya perbedaan energi pengikatan pada tiap-tiap site (Slamet dan Masduqi, 2000 dalam Thrihardini, 2016)

Pemisahan pektin dari jaringan tanaman dapat dilakukan dengan cara ekstraksi. Ekstraksi merupakan salah satu cara pemisahan satu atau lebih komponen dari suatu bahan yang merupakan sumber komponen tersebut. Ekstraksi pektin dilakukan menggunakan ekstraksi asam mineral yang murah seperti asam sulfat, asam klorida dan asam nitrat. Ekstraksi yang akan dilakukan merupakan ekstraksi padat cair. Pada ekstraksi padat cair menggunakan pelarut berdasarkan sifat kelarutan dari komponen di dalam pelarut yang digunakan, komponen yang dipisahkan berasal dari benda padat. Komponen yang diekstraksi dapat berupa protein, vitamin, minyak atsiri, zat warna, dan sebagainya yang berasal dari bahan (Aziz, 2018). Dalam ekstraksi pektin terjadi perubahan senyawa pektin yang disebabkan oleh proses hidrolisis protopektin. Proses tersebut menyebabkan protopektin berubah menjadi pektinat (pektin) dengan adanya pemanasan dalam asam pada suhu dan lama ekstraksi tertentu. Apabila proses hidrolisis dilanjutkan, senyawa pektin akan berubah menjadi asam pektat (Tuhuloula, 2013).

Pektin adalah substansi alami yang terdapat pada sebagian besar tanaman pangan. Pektin berwujud bubuk berwarna putih hingga coklat terang. Pektin terletak di dinding sel tumbuhan dan di lapisan antara sel disebut lamella tengah. Pektin merupakan polimer asam galakturonat yang mengandung 3-16% gugus metoksil, oleh karena itu mengandung asam polisakarida dan bersifat mengikat banyak air sehingga menghasilkan sifat pengental. Pektin untuk penggunaan dalam makanan didefinisikan sebagai polimer yang mengandung unit asam galakturonat (paling sedikit 65%) (Nadir dan Risfani, 2018).

METODOLOGI

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: microwave daya 300 watt, corong kaca, cawan petridish, cawan porselen, pipet volume, gelas kimia, corong buchner, kaca arloji, gelas ukur, buret, kondenser, erlenmeyer vakum, pompa vakum, blender, ayakan -100 + 120 mesh dan oven. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : kulit lemon, HCl 0,1 N, $K_2Cr_2O_7$, $H_2C_2O_4$ dan NaOH

Tahapan Penelitian

Ekstraksi Pektin dari Kulit Lemon

Kulit lemon yang sudah bersih dipotong menjadi ukuran kecil, lalu dikeringkan di bawah sinar matahari selama 2-3 hari selanjutnya dipanaskan pada suhu $55^{\circ}C$ hingga berat konstan. Kulit lemon dihaluskan kemudian diayak ukuran 100 mesh. Proses ekstraksi dengan MAE, kulit lemon ditimbang 15 gram kemudian ditambahkan larutan HCl sebanyak 300 mL. Sampel diekstraksi dalam microwave pada daya 300 Watt selama 26 menit. Sampel disaring filtrat hasil ekstraksi diambil. Ethanol 96% ditambahkan ke dalam filtrat, dengan perbandingan ethanol dengan filtrat 1:1. Proses pengendapan filtrat selama 12 jam. Endapan yang terbentuk disaring, kemudian dicuci dengan ethanol 96% hingga residu yang dihasilkan tidak lagi bersifat asam (pH 7). Endapan yang berupa pektin dikeringkan dalam oven pada suhu $50^{\circ}C$ hingga berat konstan.

Adsorpsi Logam Cr (VI) dengan Pektin

$K_2Cr_2O_7$ ditimbang sebanyak 0,282 gram lalu dilarutkan dalam 20 mL aquades. Padatan $H_2C_2O_4$ ditimbang sebanyak 1 gram dan ditambahkan 20 mL aquade. Larutan $K_2Cr_2O_7$ dan $H_2C_2O_4$ dicampur dan ditambahkan HNO_3 1 mL. Larutan Cr (1,9302 ppm) dipanaskan hingga terjadi perubahan warna dari jingga menjadi biru keunguan. Proses adsorpsi larutan Cr dengan cara larutan artificial Cr sebanyak 50 mL ditambahkan pektin sesuai variasi massa (1,2 gr; 1,3 gr; 1,4 gr; 1,5 gr dan 1,6 gr) kemudian ditambahkan NaOH yang berfungsi untuk mengatur pH limbah. Larutan. diaduk dengan menggunakan *shaker* kecepatan 250 rpm dengan waktu adsorpsi selama 1 jam. Larutan disaring, filtrat diukur absorbansinya dengan *Atomic Absorbtion Spektrofotometri* (AAS)

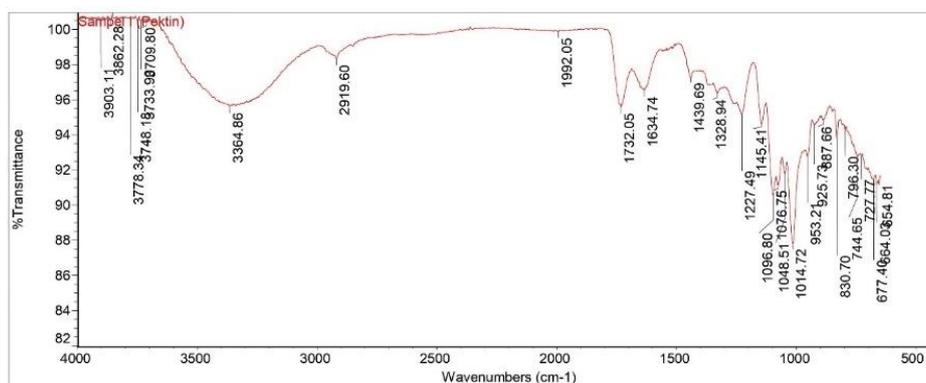
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pektin yang telah didapat kemudian dianalisa kualitatif dengan cara analisa *Fourier Transformasi Infra Red* (FTIR) seperti pada Tabel 1 dan analisa kuantitatif pada Tabel 2, berikut:

Tabel 1. Data Spektrum FTIR Pektin Kulit Lemon

| Pektin | Area Panjang Gelombang (cm^{-1}) | | | |
|----------------|--------------------------------------|---------------------------|--------------------|-----------------------------|
| | Karbonil (cm^{-1}) | Karboksilat (cm^{-1}) | Eter (cm^{-1}) | Karbon siklik (cm^{-1}) |
| Pektin Standar | 1630 – 1650 | 1740 – 1760 | 1050 – 1300 | 1200 |

Pada Tabel 1 menunjukkan komposisi pektin standar dan hasil analisa FTIR. Hasil analisa FTIR dimana panjang gelombang senyawa karbonil untuk pektin hasil penelitian yaitu $1634,74\text{ cm}^{-1}$ sedangkan untuk panjang gelombang pektin standar yaitu $1630 - 1650\text{ cm}^{-1}$ sehingga masuk dalam rentang panjang gelombang karbonil. Panjang gelombang senyawa karboksilat, pektin hasil penelitian yaitu $1732,05\text{ cm}^{-1}$ dan pektin standar yaitu $1740 - 1760\text{ cm}^{-1}$ sehingga memiliki nilai yang berdekatan. Panjang gelombang senyawa eter, hasil penelitian yaitu $1076,75\text{ cm}^{-1}$ dan pektin standar $1050 - 1300\text{ cm}^{-1}$ masuk dalam rentang panjang gelombang eter. Untuk pektin hasil penelitian pada panjang gelombang karbon siklik yaitu $1227,49\text{ cm}^{-1}$ dan pektin standar yaitu 1200 cm^{-1} masuk dalam rentang panjang gelombang karbon siklik.



Gambar 1. Hasil FTIR Pektin Kulit Lemon

Gugus fungsi pada pektin yang terukur oleh spektroskopi FTIR seperti pada Gambar 1 dengan masing-masing serapan pada area panjang gelombang tertentu menunjukkan kesesuaian dengan struktur pektin standar. Hal tersebut ditandai dengan terdapatnya gugus karbonil, karboksilat, gugus eter dan karbon siklik dalam sampel pektin kulit lemon, sehingga dapat disimpulkan bahwa pektin yang dihasilkan dari penelitian merupakan senyawa pektin.

Hasil Analisa Kuantitatif Pektin Kulit Lemon

Tabel 2. Hasil Analisa Kuantitatif Pektin Kulit Lemon

| Analisis | Hasil (%) | Standar IPPA (%) |
|----------------|-------------|----------------------------|
| Kadar Metoksil | 5,87 | HM = > 7,12 LM = < 7,12 |

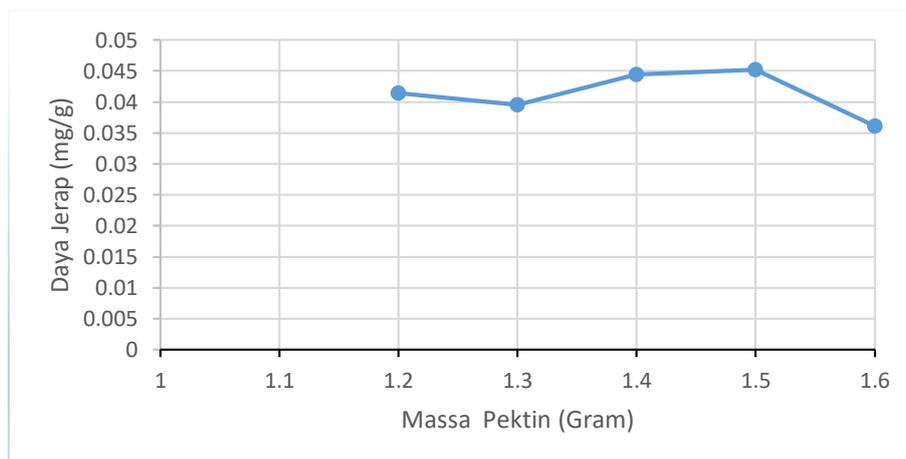
Berdasarkan Tabel 2 karakteristik pektin yang diekstraksi dari kulit lemon sudah memenuhi standar IPPA. Pada penelitian ini, diperoleh kadar metoksil sebesar 5,87 %. Jadi dapat disimpulkan pektin yang diperoleh dari kulit lemon merupakan pektin bermetoksil rendah (low metoxyl pectin/LMP). Menurut (Laeli, 2014), pektin yang umum terdapat pada limbah pertanian adalah pektin bermetoksil tinggi (high metoxyl pectin/HMP). Pektin jenis HMP akan membentuk gel pada pH rendah dan dengan adanya padatan terlarut dalam jumlah besar. Gel yang terbentuk akan mudah larut dalam air sehingga praktis pektin jenis HMP tidak bisa digunakan sebagai adsorben logam berat. Semakin rendah kadar metoksil pektin maka sifat pembentukan jelli nya akan semakin berkurang, sehingga jenis pektin yang dapat digunakan sebagai adsorben adalah LMP (Ismael, 2012).

Pengaruh Massa terhadap Adsorpsi Logam Cr (VI)

Tabel 3. Data Adsorpsi Logam Cr (VI) pada Variasi Massa Pektin

| Massa Pektin (gram) | Konsentrasi Awal Cr (VI) (mg/L) | Konsentrasi Akhir (VI) Cr(mg/L) | Daya Jerap (mg/g) | Persentase Terjerap (%) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------------|
| 1,2 | 1,9302 | 0,9352 | 0,0415 | 51,55 |
| 1,3 | | 0,9045 | 0,0395 | 53,14 |
| 1,4 | | 0,6874 | 0,0444 | 64,39 |
| 1,5 | | 0,5747 | 0,0452 | 70,23 |
| 1,6 | | 0,7754 | 0,0361 | 59,83 |

Massa pektin mampu menyerap logam Cr (VI) yang terdapat pada larutan artifisial, hal ini ditunjukkan oleh terjadinya penurunan konsentrasi logam Cr (VI) dalam larutan setelah dilakukan proses penyerapan seperti tercantum pada Tabel 3. Massa pektin yang digunakan mempengaruhi penurunan konsentrasi logam Cr(VI) seperti yang terlihat pada Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Pengaruh Massa terhadap Adsorpsi Cr (VI)

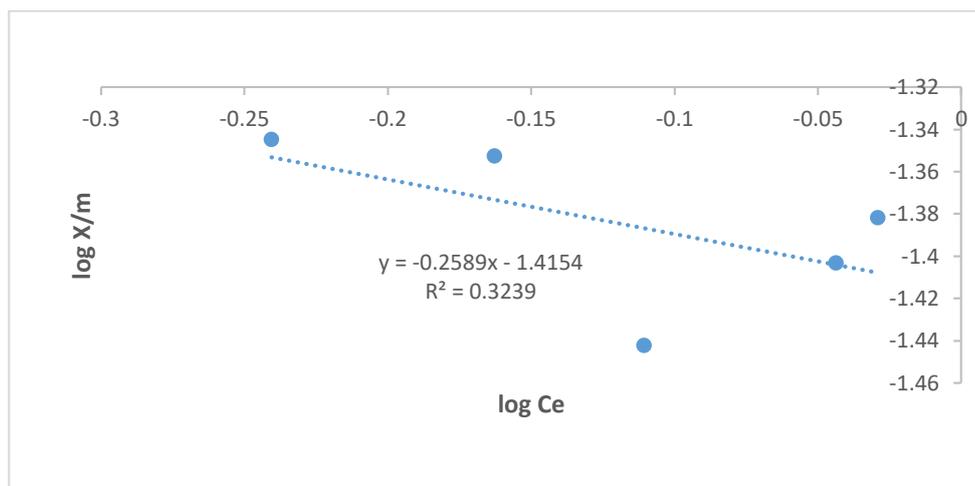
Gambar 2 menunjukkan bahwa massa adsorben dengan berat 1,5 gr memiliki daya jerap yang paling tinggi sebesar 0,0452 mg/g (70,23%). Semakin banyak adsorben yang dipakai maka jumlah zat yang dijerap akan semakin banyak (Krismatuti,dkk,2008 dalam Ina,dkk,2014). Penurunan konsentrasi dalam penjerapan logam Cr (VI) dengan pemberian pektin sebanyak 1,6 gram yaitu 0,0361 mg/g (59,83%). Hal ini terjadi dengan semakin banyak adsorben menyebabkan rasio antara adsorben dengan adsorbat menjadi besar sehingga mempengaruhi daya dorong perpindahan massa yaitu perbedaan konsentrasi dikedua fase sehingga perpindahan massa yang terjadi semakin kecil maka penjerapan yang terjadi mengalami penurunan untuk waktu yang sama.

Analisa Model Adsorpsi Isoterm Langmuir dan Freundlich

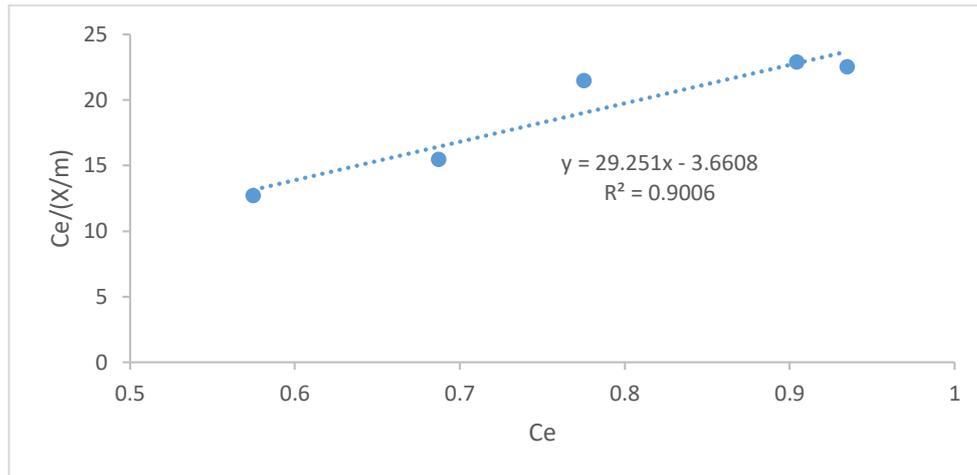
Tabel 4. Parameter Analisa Model Adsorpsi Isoterm Langmuir dan Freundlich

| Co (mg/L) | Ce (mg/L) | X/m (mg/g) | Ce/(X/m) | Log X/m | Log Ce |
|--------------|--------------|---------------|-------------|--------------|--------------|
| 1,9302 | 0,9352 | 0,0415 | 22,53493976 | -1,381951903 | -0,029095502 |
| | 0,9045 | 0,0395 | 22,89873418 | -1,403402904 | -0,043591429 |
| | 0,6874 | 0,0444 | 15,48198198 | -1,35261703 | -0,162790472 |
| | 0,5747 | 0,0452 | 12,71460177 | -1,344861565 | -0,240558803 |
| | 0,7754 | 0,0361 | 21,47922438 | -1,442492798 | -0,110474203 |

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses penjerapan suatu zat oleh suatu adsorben, seperti faktor jenis adsorben yang digunakan, jenis zat yang diserap, luas permukaan adsorben, dan konsentrasi zat yang diadsorpsi. Hal ini menyebabkan setiap adsorben yang menyerap zat yang satu dan yang lain memiliki pola adsorpsi yang tidak sama (Wijayanti dan Kurniawati, 2019). Untuk mengetahui pola adsorpsi pektin kulit lemon dalam menyerap logam Cr (VI), digunakan pendekatan model persamaan isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich seperti tercantum pada Tabel 4. Model isoterm adsorpsi Freundlich Cr (VI) seperti pada gambar 3 dan isoterm adsorpsi Langmuir Cr (VI) seperti pada Gambar 4 berikut.



Gambar 3. Isoterm Adsorpsi Freundlich Cr (VI)



Gambar 4. Isoterm Adsorpsi Langmuir Cr (VI)

Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan koefisien korelasi Langmuir lebih besar dari pada Freundlich, sehingga dapat dinyatakan bahwa adsorben pektin dalam menyerap ion Cr (VI) mengikuti adsorpsi isotherm Langmuir dengan konstanta Langmuir sebesar 3,6608 dan nilai slope R^2 sebesar 0,9006 serta nilai Q 0,2731 mg/g. Hal ini menyatakan bahwa kapasitas maksimum logam Cr (VI) yang terjerap sebesar 0,2731 mg dalam satu gram adsorben kulit lemon dan proses adsorpsi terjadi di tiap-tiap sisi. Penentuan daya adsorpsi maksimum pektin dihitung dengan menggunakan persamaan adsorpsi Langmuir karena dilakukan terhadap satu lapisan permukaan (*monolayer*) yang terjerap dari logam ion Cr (VI) pada setiap permukaan pektin (Slamet dan Masduqi, 2000 dalam Thrihardini, 2016).

SIMPULAN

Proses adsorpsi logam Cr (VI) dengan adsorben pektin kulit lemon optimum terjadi pada massa 1,5 gram yaitu sebesar 0,0452 mg/g (70,23%). Pola adsorpsi logam Cr (VI) menggunakan pektin kulit lemon cenderung mengikuti persamaan isotherm adsorpsi Langmuir dengan konstanta Langmuir sebesar 3,6608 dan nilai slope R^2 sebesar 0,9006.

UCAPAN TERIMA KASIH

Bapak Ir. Ramli S.T., M.Eng selaku Direktur Politeknik Negeri Samarinda, Bapak Muh. Irwan S.T., M.T, Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Samarinda, tempat penulis melaksanakan penelitian atas sarana dan prasana yang disediakan dan Ibu Amiril Nur Azizah, S.E., M.M., Ph.D sebagai Kepala Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Politeknik Negeri Samarinda

DAFTAR PUSTAKA

- Akunwa, N., & M.N. Muhammad, J. A. (2014). Treatment of metal-contaminated wastewater: A comparison of low-cost biosorbents. *Journal of Environmental Management*, 517-523.
- Apriliani, A. (2010). Pemanfaatan Arang Ampas Tebu Sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu Dan Pb Dalam Air Limbah. Skripsi, 54–56. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2011.09.032>
- Aziz, T., Johan, M. E. G. and Sri, D. (2018). Pengaruh Jenis Pelarut, Temperatur dan Waktu Terhadap Karakterisasi Pektin Hasil Ekstraksi Dari Kulit Buah Naga (*Hylocereus polyrhizus*), 24(1), pp. 17–27.
- Dewi, D. S. (2015). Pengaruh Waktu Kontak Dan pH Terhadap Ion Cr(VI) Dalam Limbah Tekstil Menggunakan Bioadsorben Daun Jambu Biji Dan Daun Teh. *Jurnal Ilmiah "TEKNIKA"*.

- Ina, A.T. (2014). Pemanfaatan Pektin Kulit Buah Jeruk Siam (*Citrus Nobilis Va Microcarpa*) Sebagai Adsorben Logam Tembaga (Cu). Yogyakarta: Universitas Atma Jaya
- Ismael, N. S. (2012). *Extraction and Characterization of Pectin from Dragon Fruit (Hylocereus polyhizus) using Various Extraction Conditions*. Sains Malaysiana 41(1): 41-45.
- Hayati, N. A. (2020). Pengaruh Waktu Ekstraksi Terhadap Karakteristik Pektin Dari Kulit Lemon Dengan Menggunakan Metode Ekstraksi Berbantuan *Microwave*. Samarinda: Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Samarinda.
- Maulidiyah, Halimatussadiyah., Fitri, S., & Nurdin, A. (2014). Isolasi Pektin Dari Kulit Buah Kakao (*Theobroma Cacao L.*) Dan Uji Daya Serapnya Terhadap Logam Tembaga (Cu) Dan Logam Seng (Zn). *Argoteknos*, 4(2), 112–118.
- Nadir, M., & Risfani, E. I. (2018). Pengaruh Waktu Terhadap Ekstraksi Pektin Dari Kulit Pisang Kepok Dengan Metode Microwave Assisted Extraction (Mae). 2018, 92–98.
- Nugraheni, Z. V., Utomo, W. P., A'yuni, Q., Agustina, N. A., Kholik, J., & Puspita, C. (2018). Penggunaan pektin kulit jeruk manis (citrus sinesis) sebagai adsorben untuk mengurangi kadar ion kromium (vi) pada sampel air sungai jagir. *Akta kimia indonesia*, 3(1), 112. <https://doi.org/10.12962/j25493736.v3i1.3388>
- Syah, M. (2010). *Daya Serap Pektin Dari Kulit Buah Durian (Durio zibethinus) Terhadap Logam Tembaga dan Seng*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Trihardhini, R. (2016). Pemanfaatan daun matoa (*Pometia Pinnata*) sebagai adsorben logam timbal (Pb) dalam air menggunakan aktivator asam sitrat ($C_6H_8O_7$). Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta
- Tuhuloula, A., Budiarti, L. and Fitriana, E. N. (2013). Karakterisasi Pektin Dengan Memanfaatkan Limbah Kulit Pisang Menggunakan Metode Ekstraksi, *Jurnal Konversi*, 2(1), pp. 21–27.
- Widiastuti, D. R. (2015). Ekstraksi pektin kulit jeruk bali dengan microwave assisted extraction dan aplikasinya sebagai edible film disajikan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar ahli media program studi teknik kimia. 68. <https://lib.unnes.ac.id/22087/8>
- Wijayanti, I. E., & Kurniawati, E. A. (2019). Studi Kinetika Adsorpsi Isoterm Persamaan Langmuir dan Freundlich pada Abu Gosok sebagai Adsorben. *Jurnal Kimia dan Pendidikan*, 4(2)