

SINTESIS KALIKS[4]RESORSINARENA DARI MINYAK KAYUMANIS DAN PENGGUNAANNYA UNTUK EKSTRAKSI FASA PADAT LOGAM BERAT Hg(II) DAN Pb(II)

Oleh:

Ratnaningsih E. Sardjono, Gebi Dwiyantri, Siti Aisyah, Fitri Khoerunnisa

Jurusan Pendidikan Kimia FPMIPA
Universitas Pendidikan Indonesia
email: ratnaeksa@yahoo.com

ABSTRAK

Sintesis C-sinamal kaliks[4]resorsinarena (CSKR) dari minyak kayumanis dan penggunaannya untuk ekstraksi fasa padat logam berat Pb(II) dan Hg(II) telah dilakukan. CSKR diperoleh sebanyak 75% sebagai produk reaksi resorsinol dan sinamaldehida pada 77°C selama 24 jam. Isolasi sinamaldehida dari minyak kayumanis melalui metode bisulfit menghasilkan sinamaldehida sebanyak 79% dengan kemurnian 99,5%. Ekstraksi fasa padat Pb(II) dan Hg(II) oleh CSKR dilakukan dalam sistem batch pada berbagai pH, waktu interaksi, dan konsentrasi logam. Ekstraksi fasa padat Pb(II) berlangsung optimum pada pH 4, waktu interaksi 180 menit, dan konsentrasi awal 6,6 mg/L, mengikuti model kinetika pseudo orde dua, mengikuti model isoterm Langmuir, serta memberikan kapasitas ekstraksi sebesar 1,986 $\mu\text{mol/g}$ atau 37,2%. Sementara itu, ekstraksi fasa padat Hg(II) berlangsung optimum pada pH 5, waktu interaksi 180 menit, dan konsentrasi awal 0,36 mg/L, mengikuti model kinetika pseudo orde dua, mengikuti model isoterm Freundlich, serta memberikan kapasitas ekstraksi sebesar 0,71 $\mu\text{mol/g}$ atau 79,1%.

Kata kunci : *Ekstraksi Fasa Padat, Kaliks[4]resorsinarena, Minyak Kayumanis, Hg(II), Pb(II)*

PENDAHULUAN

Pelepasan kation logam berat ke dalam lingkungan perairan telah menjadi permasalahan yang makin meningkat dalam beberapa dekade terakhir. Polutan yang telah menjadi sumber permasalahan utama adalah keberadaan timbal, kromium, merkuri, uranium, selenium, seng, arsen, kadmium, emas, perak, tembaga, nikel, dan lain sebagainya. Polutan tersebut merupakan polutan yang bersifat karsinogenik dan mutagenik. Bahan-bahan ini dapat berasal dari pekerjaan pertambangan, pemurnian bijih, abu layang dari tungku pembakaran, pemrosesan bahan-bahan radioaktif, pelapisan logam, atau pabrik alat-alat listrik, cat, alloy, baterai, pestisida atau pupuk.

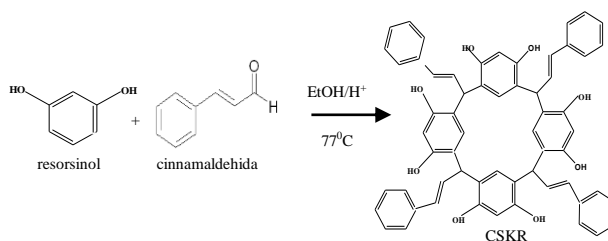
Prosedur yang umum digunakan untuk menghilangkan kation logam dari perairan adalah presipitasi, koagulasi, pertukaran ion, osmosis balik, dan ekstraksi

pelarut. Presipitasi adalah prosedur yang paling ekonomis, tetapi tidak efisien untuk larutan encer. Pertukaran ion dan osmosis balik pada umumnya efektif, tetapi memerlukan peralatan dan biaya operasional tinggi. Ekstraksi fasa padat adalah salah satu prosedur alternatif yang potensial, biasanya menggunakan ekstraktan fasa padat alami yang tersedia cukup berlimpah di alam, seperti kulit dan tongkol jagung¹, bunga pinus², batu bara³, abu layang⁴, zeolit^{5,6}, dan karbon aktif granular⁷. Penggunaan bahan alami yang tersedia berlimpah sebagai ekstraktor tentu sangat menguntungkan, akan tetapi seringkali sulit menjelaskan fenomena ekstraksi fasa padat yang berlangsung karena belum diketahuinya senyawa aktif yang berfungsi sebagai ekstraktor. Padahal untuk menemukan senyawa aktif dari ekstraktor alami bukan pekerjaan sederhana. Oleh karena itu, perlu digunakan ekstraktor fasa padat baru yang telah diketahui strukturnya, sehingga fenomena ekstraksi dapat dijelaskan dengan lebih baik.

Kaliks[4]resorsinarena adalah makromolekul sintetik yang merupakan tetramer residu resorsinol dalam suatu deret siklis dan dihubungkan oleh jembatan metina. Makromolekul ini diperoleh melalui kondensasi berkatalis asam dari resorsinol dan berbagai aldehida. Kaliks[4]resorsinarena mempunyai geometri molekul yang menarik, berbentuk seperti mangkuk dan berongga. Berbagai penelitian menggambarkan fungsi kaliks[4]resor-sinarena sebagai molekul *host* (inang) bagi berbagai *guest* (tamu), baik berupa kation, anion, atau molekul. Kelompok kaliks[4]resorsinarena telah digunakan untuk berbagai hal, di antaranya sebagai aditif pada elektroforesis kapiler⁸, membran cair^{9,10}, ekstraksi pelarut⁹, sensor kimia^{11,12}, dan fasa diam kolom high performance liquid chromatography (HPLC). Akan tetapi, penggunaan kaliks[4]resorsi-narena sebagai ekstraktor fasa padat dari kation logam berat masih sangat terbatas.

Minyak kayumanis diperoleh dari tanaman kayu manis, salah satu potensi alam Indonesia. Kandungan utama minyak atsiri ini adalah sinamaldehida. Reaksi sinamaldehida dan resorsinol dapat menghasilkan C-sinamal kaliks[4]-resorsinarena (CSKR).

CSKR mempunyai duabelas residu benzena, delapan gugus hidroksil, dan empat gugus alkenil (ikatan rangkap) (Gambar 1). Keberadaan pasangan elektron bebas pada gugus hidroksil, begitu pula keberadaan elektron π pada residu aromatis dan ikatan rangkap diperkirakan akan mempunyai afinitas khusus terhadap kation logam berat, khususnya Pb(II) dan Hg(II). Sesuai teori asam basa keras lunak Pearson, Pb(II) dan Hg(II) merupakan asam lunak, sedangkan CSKR dengan gugus hidroksil, ikatan rangkap, dan cincin aromatis dapat merupakan suatu basa keras ataupun lunak. Dengan demikian, sangat menarik untuk mengetahui interaksi CSKR dengan kation Pb(II) dan Hg(II).



Gambar 1. Skema reaksi sintesis CSKR

PROSEDUR PERCOBAAN

1. Preaksi

Larutan logam dibuat melalui pengenceran larutan standar $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ and $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ 1000 mg/L hingga konsentrasi yang diinginkan. Pengaturan pH dilakukan melalui penambahan tetes demi tetes larutan NaOH dan/atau HNO_3 ke dalam larutan logam, diikuti dengan pengadukan hingga diperoleh pH yang diinginkan. Bahan kimia yang diperlukan untuk melakukan sintesis CSKR adalah resorsinol, sinamaldehyda, HCl , dan etanol. Semua bahan yang diperlukan berkualitas *reagent grade* dari Merck.

2. Instrumen

Dalam penelitian ini, alat-alat yang diperlukan untuk melakukan sintesis dan karakterisasi CSKR meliputi set alat refluks, corong Buchner, kromatografi gas–mass spektrometer (Gas Chromatograph–Mass Spectrometer, GC–MS Shimadzu 5500), dan spektrometer infra merah (Fourier Transform Infra Red spectrophotometer, FTIR Shimadzu 8201PC). Sementara itu, alat-alat yang digunakan untuk percobaan ekstraksi fasa padat dan penentuan konsentrasi $\text{Hg}(\text{II})$ dan $\text{Pb}(\text{II})$ adalah shaker, spektrometer absorpsi atom (atomic absorption spectrophotometer, AAS Perkin Elmer Analyst-100), dan pH meter (Hanna).

3. Isolasi sinamaldehyda dari minyak kayumanis

Minyak kayumanis (10 g) ditempatkan dalam gelas kimia dan larutan natrium bisulfit jenuh ditambahkan hingga tidak terbentuk endapan lagi. Endapan disaring dan dicuci dengan etanol dan dietil eter. Endapan dan larutan HCl (250 mL, 5%) direfluks pada 60°C selama 30 menit. Campuran diekstraksi dengan metilen klorida (3 x 30 mL). Lapisan bawah digabung dan dikeringkan dengan Na_2SO_4 anhydrous. Sesudah penyaringan, larutan dievaporasi menggunakan *rotary evaporator* menghasilkan residu berupa sinamaldehyda sebanyak 69% (6,9 mL) sebagai cairan

kuning muda beraroma khas. Kemurnian: 99,5% (GC), MS m/z: 132 (M⁺); FTIR ν (cm⁻¹): 2748, 2815, 1678, 1624.

4. Sintesis CSKR

Ke dalam larutan resorsinol (0,55 g, 5 mmol) dan sinamaldehyda (5 mmol) dalam 50 mL etanol 95% ditambahkan 0,5 mL asam hidroklorida. Larutan diaduk dan direfluks pada 77°C selama 24 jam. Produk yang terpisah disaring. Padatan dicuci menggunakan etanol-air, dan dikeringkan untuk menghasilkan produk padatan sebanyak 75%: t.l > 390°C (dec), FTIR ν (cm⁻¹): 3409, 3024, 2920, 1620, 1492.

5. Prosedur ekstraksi fasa padat

Percobaan dengan sistem *batch* dilakukan melalui penambahan 0,06 g CSKR ke dalam 10 mL larutan sampel Pb(II) dengan konsentrasi tertentu atau melalui penambahan 0,02 g CSKR ke dalam 10 mL larutan Hg(II) dengan konsentrasi tertentu. Campuran dikocok pada temperatur kamar selama periode waktu tertentu. CSKR disaring dan dikeringkan dalam sebuah desikator. Konsentrasi logam diukur dengan AAS. Data yang diperoleh kemudian dibandingkan dan dikoreksi oleh larutan blanko. Larutan blanko ekuivalen dengan larutan sampel, kecuali tanpa keberadaan ekstraktor. Jumlah logam yang terekstraksi dapat dihitung dari perbedaan konsentrasi antara kation logam sebelum dan sesudah ekstraksi. Kapasitas ekstraksi, q (μmol metal ion/g CSKR) ditentukan melalui persamaan:

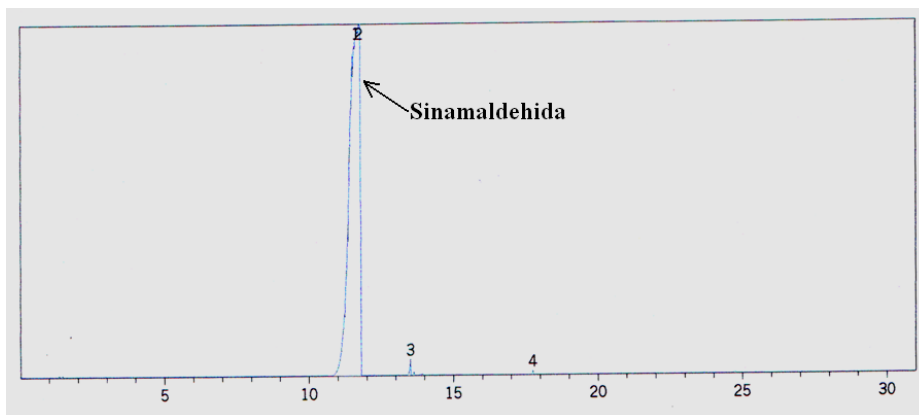
$$q = (C_0 - C) \times V/m \quad (1)$$

Dengan C_0 dan C berturut-turut adalah konsentrasi ion logam awal dan akhir (mg/L); V adalah volume larutan (mL); dan m adalah massa CSKR (g). Untuk setiap ion logam, percobaan dilakukan dalam tiga jenis variasi kondisi, yaitu variasi pH, waktu interaksi, dan konsentrasi logam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

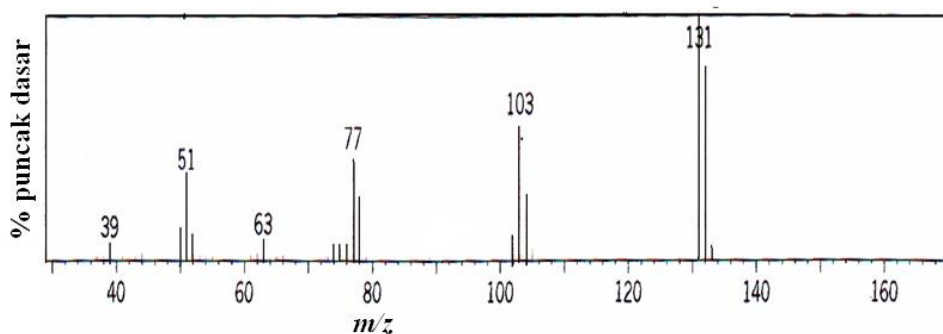
1. Isolasi sinamaldehyda dari minyak kayumanis

Tahap awal untuk sintesis CSKR adalah isolasi sinamaldehyda dari minyak kayumanis. Kandungan sinamaldehyda dalam minyak kayu manis yang tergolong tinggi menyebabkan isolasi berlangsung cukup mudah. Hasil isolasi mencapai 69% dengan tingkat kemurnian mencapai 99,5%.



Gambar 2. Kromatogram GC sinamaldehida

Spektrum massa dari puncak pada waktu retensi 11,748 menit ditunjukkan pada Gambar 3. Spektrum massa tersebut menampilkan ion molekuler pada $m/z = 132$ (M_r sinamaldehida) dan puncak dasar pada $m/z = 131$. Puncak-puncak lain yang muncul pada spektrum massa sesuai dengan fragmentasi sinamaldehida.



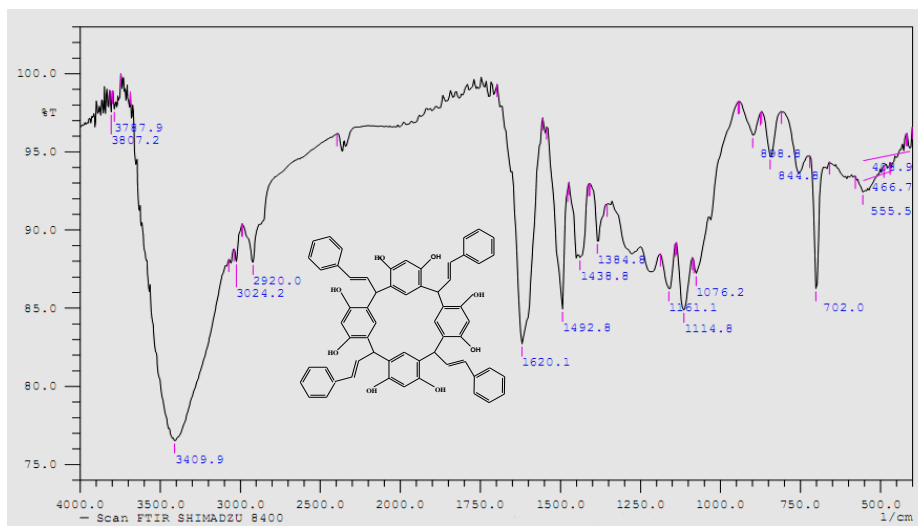
Gambar 3. Spektrum massa sinamaldehida

Struktur sinamaldehida hasil isolasi diperkuat oleh spektrum FTIR. Dua pita kembar pada 2815 dan 2742 cm^{-1} berasal dari C-H aldehida, begitu pula pita kuat pada 1678 cm^{-1} menunjukkan terdapatnya gugus karbonil yang terkonyugasi dengan ikatan rangkap pada senyawa produk isolasi.

2. Sintesis CSKR

Sintesis CSKR dilakukan pada 77°C pada berbagai waktu reaksi (20, 24, dan 30 jam). Produk sintesis terpisah langsung dari campuran reaksi sebagai padatan berwarna kemerahan sebanyak 75% pada waktu reaksi optimum (24 jam). Produk

tidak larut dalam sebagian besar pelarut organik, baik pelarut polar maupun non polar. Sifat kelarutan ini menyebabkan analisis NMR sulit dilakukan. Struktur CSKR dikarakterisasi menggunakan spektrometer FTIR.



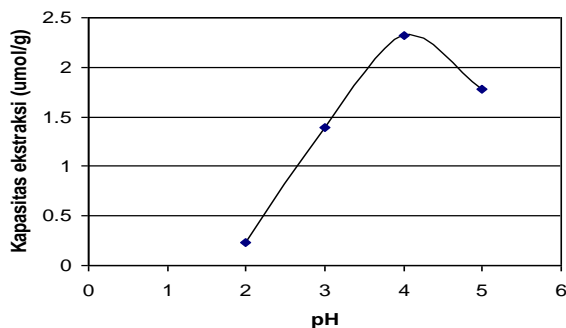
Gambar 4. Spektrum FTIR CSKR

Spektrum FTIR CSKR menampilkan pita pada 3409 cm^{-1} yang berasal dari vibrasi O-H. Telah umum diketahui bahwa vibrasi O-H bebas muncul di sekitar 3600 cm^{-1} , akan tetapi terdapatnya ikatan hidrogen menyebabkan pita ini bergeser ke frekuensi yang lebih rendah. Pita yang muncul pada frekuensi 3024 cm^{-1} berasal dari $\text{C}_{\text{sp}^2}\text{-H}$, dan pada 2920 cm^{-1} berasal dari $\text{C}_{\text{sp}^3}\text{-H}$. Selain itu, spektrum IR juga menampilkan pita serapan yang berasal dari vibrasi $\text{C}_{\text{sp}^2}\text{-C}_{\text{sp}^2}$ pada 1620 dan 1492 cm^{-1} . Semua pita serapan tersebut konsisten dengan struktur CSKR.

3. Ekstraksi Fasa Padat Pb(II)

Pengaruh pH

Pengaruh pH pada ekstraksi Pb(II) oleh CSKR dipelajari pada daerah pH 2 hingga 5 dengan konsentrasi awal larutan Pb(II) sekitar 10 mg/L , dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 5. Dari gambar tersebut, tampak jumlah Pb(II) yang terekstraksi makin meningkat dengan makin meningkatnya nilai pH, dan mencapai nilai optimum pada pH 4.

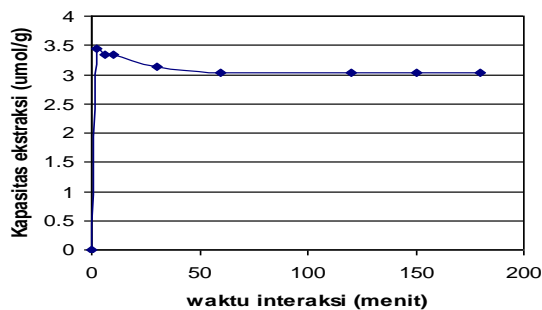


Gambar 5. Pengaruh pH pada ekstraksi fasa padat Pb(II) oleh CSKR

Data pada Gambar 5 menunjukkan bahwa tingkat keasaman (pH) merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam ekstraksi karena perubahan tingkat keasaman larutan logam dapat menyebabkan perubahan muatan dari permukaan ekstraktan maupun perubahan spesies ion logam. Pada tingkat keasaman yang tinggi (pH rendah), jumlah ion H^+ sangat melimpah sehingga dapat menyebabkan sebagian besar pasangan elektron bebas pada oksigen akan berikatan dengan H^+ . Hal ini dapat menyebabkan terjadinya tolakan elektrostatik antara ekstraktan dan kation logam yang sama-sama bermuatan positif. Akan tetapi, tingkat keasaman yang terlalu rendah (pH tinggi) akan menyebabkan persentase logam yang terekstraksi akan semakin berkurang karena akan terjadinya pengendapan logam. Dengan demikian penentuan pH optimum dalam ekstraksi fasa padat logam sangat perlu diperhatikan.

Pengaruh waktu interaksi

Percobaan untuk mengetahui pengaruh waktu terhadap ekstraksi logam Pb(II) dilakukan pada nilai pH optimum (sekitar pH 4) dan variasi waktu yang digunakan dari 2 menit sampai 180 menit. Hasil ekstraksi fasa padat Pb(II) pada berbagai waktu interaksi ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengaruh waktu interaksi pada ekstraksi Pb(II) pada CSKR

Hasil percobaan menunjukkan bahwa pada awalnya kapasitas ekstraksi meningkat dengan makin meningkatnya waktu interaksi. Gambar 6 menunjukkan ekstraksi berlangsung sangat cepat pada menit awal interaksi hingga 2 menit pertama. Selanjutnya kapasitas ekstraksi makin berkurang dengan makin bertambahnya waktu interaksi hingga mencapai nilai konstan pada menit ke-60, dan kapasitas ekstraksi tidak berubah hingga waktu interaksi mencapai 180 menit. Proses ekstraksi pada bagian konstan ini mencapai kesetimbangan antara ion logam yang terekstraksi dan ion bebas yang terdapat dalam larutan.

Kinetika ekstraksi fasa padat

Data percobaan pengaruh waktu interaksi pada ekstraksi Pb(II) digunakan untuk pemodelan kinetika. Persamaan yang digunakan adalah pseudo orde satu (Lagergren) dan pseudo orde dua (Ho). Nilai korelasi yang dihasilkan dari pengaluran linier log (q_e-q) terhadap t, dan t/q terhadap t ditunjukkan pada Tabel 1.

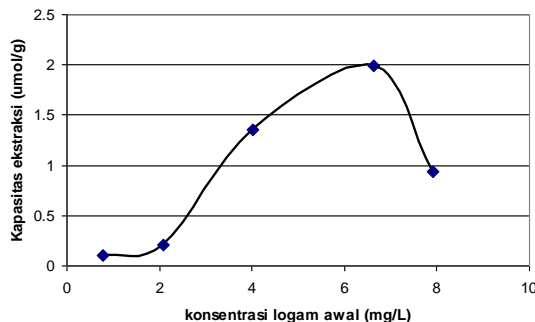
Dari Tabel 1 tampak nilai R² persamaan model kinetika pseudo orde dua, lebih besar dari model kinetika orde satu. Dengan demikian, berdasarkan nilai korelasi regresi liniernya, maka model kinetika pseudo orde dua adalah model paling cocok untuk ekstraksi Pb(II) pada CSKR.

Tabel 1. Model kinetika ekstraksi Pb(II) oleh CSKR

Model Kinetika	R²
Persamaan pseudo orde 1 (Lagergren) log(q _e -q)= log q _e -(k/2.303)t	0.6552
Persamaan pseudo orde 2 (Ho) t/q = 1/2 kq _e ² + t/q _e	0.9999

Pengaruh konsentrasi logam

Gambar 7 menunjukkan pengaruh konsentrasi logam pada ekstraksi Pb(II) pada CCCR. Jumlah Pb(II) yang terekstraksi makin meningkat sejalan dengan makin meningkatnya konsentrasi logam, dan mencapai nilai maksimum (1,986 μmol/g, 37,2%) pada konsentrasi logam awal 6,6 mg/L.



Gambar 7. Pengaruh konsentrasi logam Pb(II) pada CCCR

Isoterm ekstraksi fasa padat

Data kesetimbangan ekstraksi Pb(II) pada CCCR dianalisis menggunakan model isoterm Freundlich dan Langmuir, yaitu $\log q_e = \log K + 1/n \log C_e$ dan $1/q_e = 1/(K q_0 C_e) + 1/q_0$, dengan q_e adalah jumlah logam yang terekstrak pada kesetimbangan ($\mu\text{mol/g}$), C_e adalah konsentrasi larutan pada kesetimbangan ($\mu\text{mol/L}$), q_0 adalah kapasitas ekstraksi maksimum ($\mu\text{mol/g}$) dan K adalah tetapan ekstraksi. Hasil pengaluran linier $\log C_e$ terhadap $\log q_e$ (model Freundlich), dan $1/q_e$ terhadap $1/C_e$ (model Langmuir) ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Model isoterm ekstraksi Pb(II)

Model isotherm	Persamaan Linier	R ²
Freundlich	$y=0.5708x-0.795$	0.6640
Langmuir	$y=2.8208x+2.6527$	0.9023

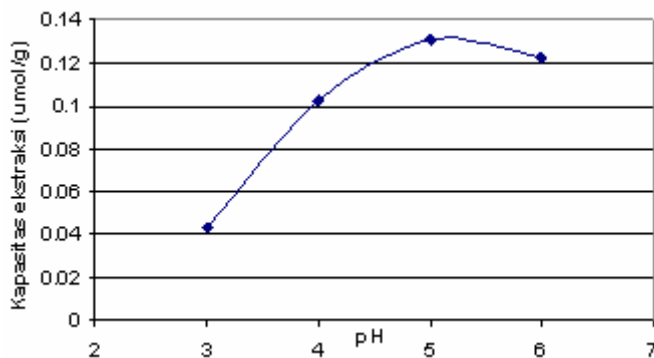
Data pada Tabel 2 menunjukkan model Langmuir memberikan nilai korelasi (R^2) lebih tinggi dari model Freundlich. Hal ini menunjukkan ekstraksi lebih mengikuti model Langmuir. Model ini mengasumsikan ion terekstraksi pada permukaan homogen sebagai monolapisan (mono-layer), dan tidak terjadi interaksi di antara ion-ion yang terekstraksi. Dengan demikian, model menunjukkan terjadinya penutupan monolayer oleh Pb(II) pada permukaan ekstraktor.

4. Ekstraksi fasa padat Hg(II)

Pengaruh pH

pH adalah parameter penting pada ekstraksi ion logam dari larutan air karena mempengaruhi kelarutan ion logam, konsentrasi ion lawan (*counter ion*) pada

gugus aktif ekstraktor, dan derajat ionisasi logam pada proses ekstraksi. Untuk mengetahui pengaruh pH terhadap efisiensi penghilangan Hg(II), pH divariasikan dari nilai pH 3 hingga 6. Seperti ditunjukkan pada Gambar 8, kapasitas ekstraksi Hg(II) tergantung pada pH, dan pH optimum terjadi pada pH 5.



Gambar 8. Pengaruh pH pada ekstraksi fasa padat Hg(II) pada CSKR

Fakta tersebut menunjukkan bahwa pada tingkat keasaman tinggi, protonasi terjadi pada sebagian besar gugus pendonor elektron, tetapi pada tingkat keasaman yang relatif rendah, proses pengendapan logam mulai berlangsung dan kelarutan ekstraktor dalam air makin meningkat.

Gambar 8 juga menunjukkan bahwa perbedaan nilai pH menyebabkan perbedaan kapasitas ekstraksi secara sangat signifikan. Dengan demikian kontrol pH pada proses ekstraksi sangat diperlukan. Selain itu, umumnya ekstraksi berlangsung dengan disertai kenaikan nilai pH, dan besar kenaikan pH sejalan dengan besarnya peningkatan kapasitas ekstraksi. Hal tersebut menunjukkan bahwa spesies dominan yang terekstraksi adalah M^{n+} . Dalam air, sebagian besar logam terhidrolisis sebagai berikut:

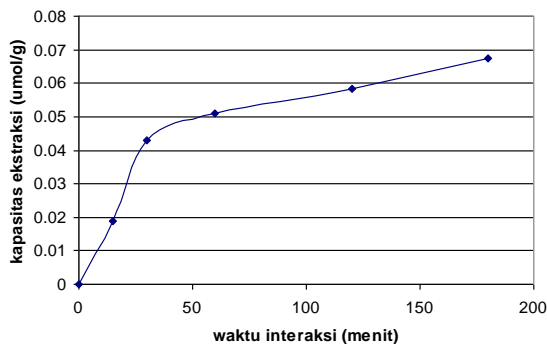


Bila M^{n+} diekstraksi sehingga konsentrasinya dalam larutan berkurang, reaksi akan bergeser ke kiri, sehingga jumlah proton akan berkurang atau nilai pH nya bertambah.

Pengaruh waktu interaksi

Hasil ekstraksi fasa padat Hg(II) pada berbagai waktu interaksi ditampilkan pada Gambar 9. Beberapa parameter percobaan ekstraksi seperti dosis ekstraktor, pH larutan, dan kecepatan pengocokan dijaga tetap, sedangkan temperatur dijaga pada temperatur kamar. Hasil ekstraksi menunjukkan kapasitas ekstraksi makin meningkat dengan makin meningkatnya waktu interaksi, dari 30 hingga 180 menit,

akan tetapi hingga waktu interaksi percobaan tertinggi, ekstraksi belum mencapai kondisi kesetimbangan.



Gambar 9. Pengaruh waktu interaksi ekstraksi Hg(II) pada CSKR

Kinetika ekstraksi fasa padat

Laju ekstraksi suatu ion pada permukaan ekstraktor adalah suatu parameter penting dalam mendisain ekstraksi fasa padat sistem *batch*. Dalam upaya menggambarkan laju ekstraksi dan mekanisme ekstraksi Hg(II) ke dalam CSKR, dua model kinetika diujikan pada data percobaan. Model pertama adalah model kinetika pseudo orde satu. Pengujian data percobaan pada model ini menunjukkan tingkat linieritas tidak cukup tinggi. Oleh karena itu, data percobaan diuji lagi dengan model kinetika pseudo orde dua.

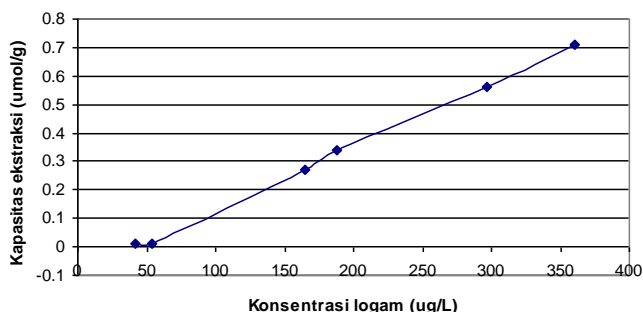
Menurut Ho *et al* dalam Ahalya *et al.*¹³, bila pengaluran terhadap model pseudo orde dua linier, maka proses ekstraksi fasa padat merupakan suatu proses ekstraksi secara kimia. Data percobaan dicocokkan dengan persamaan Ho, dan suatu pengaluran linier t/q_t terhadap t menghasilkan hubungan linier yang lebih baik. Dengan demikian, ekstraksi Hg(II) pada CSKR lebih mengikuti model kinetika pseudo orde dua.

Tabel 3. Model kinetika ekstraksi fasa padat Hg(II) oleh CSKR

Model Kinetika	R ²
Pseudo orde 1 (Lagergren) $\log(q_e - q) = \log q_e - (k/2,303)t$	0,9076
Pseudo orde 2 (Ho) $t/q = 1/2 kq_e^2 + t/q_e$	0,9817

Pengaruh konsentrasi logam

Pengaruh konsentrasi logam pada ekstraksi Hg(II) pada CSKR ditunjukkan pada Gambar 10. Jumlah Hg(II) yang terekstraksi secara konsisten makin meningkat dengan makin meningkatnya konsentrasi logam, dan mencapai nilai maksimum (0,71 $\mu\text{mol/g}$, 79,1%) pada konsentrasi logam awal 0,36 mg/L. Akan tetapi, hingga konsentrasi logam tertinggi yang dicoba, proses ekstraksi belum mencapai kondisi kesetimbangannya.



Gambar 10. Pengaruh konsentrasi logam pada ekstraksi Hg(II) oleh CSKR

Isoterm ekstraksi fasa padat

Kapasitas ekstraksi fasa padat Hg(II) pada CSKR dievaluasi menggunakan model isoterm Freundlich dan Langmuir. Isoterm Langmuir mewakili suatu keadaan kesetimbangan distribusi ion logam pada kondisi padat dan cair. Isoterm Langmuir didasarkan pada beberapa asumsi, yaitu ion logam terekstraksi secara kimia pada sejumlah tertentu situs aktif, setiap situs aktif hanya dapat mengikat satu ion, semua situs ekuivalen secara energi, dan tidak ada interaksi di antara ion-ion. Hasil pengaluran linier $\log C_e$ terhadap $\log q_e$ (model Freundlich), dan $1/q_e$ terhadap $1/C_e$ (model Langmuir) ditunjukkan pada Tabel 4.

Table 4. Model isoterm ekstraksi Hg(II)

Model Isotherm	Persamaan linier	R ²
Freundlich	$y=3,3901x+1,286$	0,9949
Langmuir	$y=2,679x-5,7328$	0,9999

Data pada Tabel 4 menunjukkan kedua model isoterm mempunyai nilai korelasi R² tinggi, akan tetapi model Langmuir memberikan nilai intersep (perpotongan) negatif sehingga tidak mungkin ditafsirkan. Oleh karena itu ekstraksi Hg(II) oleh CSKR lebih mengikuti model isoterm Freundlich.

KESIMPULAN

CSKR yang dihasilkan dari minyak kayumanis dapat menjadi ekstraktor logam berat Pb(II) dan Hg(II). Ekstraksi fasa padat Pb(II) oleh CSKR berlangsung optimal pada pH 4, waktu interaksi 180 menit, dan konsentrasi awal logam 6,6 mg/L, mengikuti model kinetika pseudo orde dua, mengikuti model isoterm Langmuir, serta memberikan kapasitas ekstraksi 1,986 $\mu\text{mol/g}$ atau 37,2%. Sementara itu, kondisi optimum ekstraksi fasa padat Hg(II) adalah pH 5, waktu interaksi 180 menit, dan konsentrasi logam awal 0,36 mg/L. Selain itu, ekstraksi Hg(II) mengikuti model kinetika pseudo orde dua, mengikuti model isoterm Freundlich, dan mempunyai kapasitas ekstraksi sebesar 0,71 $\mu\text{mol/g}$ atau 79,1%.

DAFTAR PUSTAKA

- Igwe, J.C.; Ogunewe, D.N.; Abia, A.A., *Afr. J. Biotechnol.* **2005**, *10*, 1113-1116.
- Izanloo H.; Nasseri, S., *Iranian J. Env. Health Sci. Eng.* **2005**, *2*, 33-42.
- Qadeer, R., *J. Zhejiang Univ. SCI* **2005**, *5*, 353-356.
- Li, Z.; Sun, X.; Luo, J.; Hwang, J.-Y., *J. Min. & Mat. Char. & Eng.* **2002**, *1*, 79-96.
- Barros, M.A.S.D.; Zola, A.S.; Arroyo, P.A.; Sousa-Agular, E.F.; Tavares, C.R.G., *Acta Scientarium* **2002**, *6*, 1619-1625.
- Barros, M.A.S.D.; Zola, A.S.; Arroyo, P.A.; Sousa-Agular, E.F.; Tavares, C.R.G., *Braz. J. Chem. Eng.* **2003**, *20*, 4.
- Dianati-Tilaki, R.A.; Mahmood, S., *Pak. J. Biol. Sci.*, **2004**, *5*, 865-869.
- Britz-Mckibbin, P.; Chen, D.D.-Y., *Anal. Chem.* **1998**, *70*, 907-912.
- Jain, V.K.; Pillai, S.G.; Pandya, R.A.; Agrawal, Y.K.; Shrivastav, P.S., *Anal. Sci.* **2005**, *21*, 129-135.
- Mustafina, A.R.; Skripacheva, V.V.; Fedorenko, S.V.; Kazakova, E.K.; Kononov, A.I., *Butlerov Comm.* **2000**, *3*.
- Wei, A.; Kim, B.; Pusztay, S.V.; Tripp, S.L.; Balasubramanian, R.; *J. Incl. Phen. & Macrocyc. Chem.* **2001**, *41*, 83-86.
- Pietraszkiewicz, M.; Pietraszkiewicz, O.; Uzig, E.; Prus, P.; Brzozka, Z.; Woniak, K.; Bilewicz, R.; Borowiak, T.; Czynski, M.M., *Butlerov Comm.* **2000**, *3*.
Available on website
<http://chem.kstu.ru/JCHEM&CS/English/n3/sm3/sm3.htm>
- Ahalya, N.; Kanamadi, R.D.; Ramachandra, T.V.; *E.J. Biotech*, **2005**, *8*, 3.