

Kemampuan Adsorpsi Zeolit Alam Terimpregnasi Asam Lemak Hidroksamat Sebagai Agen Pengkelat Ion Logam Tembaga

Muhsinun, Fena Prayunisa

Program Studi Pendidikan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pendidikan Nusantara Global, Praya, Indonesia

*Corresponding Author: cinun.chemist@gmail.com

Received: October,07,2021 /Accepted: December,31,2021

doi: 10.24252/al-kimiav9i2.23993

Abstract: A way to recycle heavy metals in the prevention of environmental pollution is by using a solid-liquid extraction method through the impregnation mechanism of chelating agent in the adsorbent to increase its ability to bind heavy metal ions. In this study, the impregnation of fatty hydroxamic acids (FHA) successfully carried out on active natural zeolite (ZAA). This is has been done to increase the maximum adsorption capacity of ZAA towards heavy metals. The purpose of this study was to examine the adsorption ability of FHA impregnated onto ZAA as a chelating agent in copper metal ions by using column chromatography. This column contains FHA, which synthesized from crude rice bran oil and impregnated onto ZAA. There are several parameters were investigated, they are, the effect of FHA concentration, mass of FHA-ZAA resin and pH of the metal ion sample. From this study, the concentration of FHA impregnated on the zeolite surface reached 41.60%. The optimum conditions for Cu(II) adsorption by FHA-ZAA were as follows: mass ratio of FHA-ZAA resin with Cu(II) concentration (g : ppm) was 1:100 and the optimum condition of Cu(II) ion was at pH 5.

Key word: adsorption; active natural zeolite; impregnation; fatty hydroxamic acids; chelating agent

PENDAHULUAN

Bahaya pencemaran lingkungan akibat logam berat sudah sangat memprihatinkan, maka terdapat beberapa metode yang telah dikembangkan untuk mengurangi kandungan logam berat dari air limbah buangan, yaitu dengan metode koagulasi, kompleksasi, ekstraksi pelarut, penukar ion, dan adsorpsi. Salah satu metode yang masih dikembangkan adalah melalui proses adsorpsi dengan padatan anorganik. Contohnya metode impregnasi agen pengkelat dalam resin untuk memisahkan logam-logam dari air limbah. Metode impregnasi ini memudahkan pemisahan dan perolehan kembali logam-logam dari limbahnya dikarenakan agen pengkelat yang terikat pada fase padat resin, hanya akan mengikat logam-logam yang terkandung dalam air limbah sehingga sisa buangan menjadi bebas dari limbah logam.

Dalam penelitian ini, zeolit alam akan digunakan sebagai pengganti resin atau adsorben untuk impregnasi agen pengkelat. Zeolit alam telah banyak digunakan sebagai adsorben logam berat, namun hal tersebut dinilai masih memiliki kemampuan yang rendah dan tidak spesifik dalam mengikat ion logam. Penelitian Buasri (2008) melaporkan bahwa kapasitas maksimum adsorpsi Pb (II) menggunakan zeolit dengan tipe klinoptilolit mencapai 58,73 mg/g zeolit pada suhu 75 °C, kemudian adsorpsi Cu (II) menggunakan asam humat yang terimmobilisasi pada surfaktan-zeolit termodifikasi menghasilkan kapasitas maksimum adsorpsi pada kisaran 19,80 hingga 21,50 mg/g (Lin *et al.*, 2011).

Rendahnya kemampuan zeolit alam dalam mengadsorpsi logam menjadi pertimbangan penting dalam menanggulangi limbah logam berat, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut terhadap modifikasi zeolit alam. Salah satu inovasi yang dapat dikembangkan, yaitu dengan impregnasi suatu reagen pengkompleks logam pada zeolit alam aktif. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan kapasitas maksimum adsorpsi zeolit alam terhadap logam berat.

Adapun agen pengkelat yang akan diimpregnasi berupa asam lemak hidroksamat (Fatty Hydroxamic Acid/FHA), dimana FHA merupakan salah satu agen pengkelat yang dapat mengikat ion logam dari fase air secara spesifik (Lee *et al.*, 2001) dan kompleksnya dengan beberapa ion logam telah digunakan dalam kimia analitik sebagai reagen untuk gravimetri, spektrofotometri logam dan pengkelat untuk mineral bumi yang langka. Pada penelitian sebelumnya, peneliti telah berhasil melakukan sintesis FHA dengan bahan baku minyak mentah dedak padi, sehingga FHA dapat digunakan sebagai agen pengkelat penelitian ini. Dengan impregnasi FHA ke dalam zeolit alam diharapkan dapat meningkatkan kapasitas maksimum adsorpsi ion logam Cu (II).

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan berderajat P.A (Pro Analyze) kecuali yang disebut khusus. Bahan tersebut adalah sebagai berikut: n-heksana, methanol, hidroksilamin hidroklorida, buffer asetat, enzim Lipase, zeolit alam Bayah, NaOH, HCl, Cu (NO₃)₂, Fe(NO₃)₃, AgNO₃, Aquades, pH universal Merck dan kertas saring Whatman.

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah: semua peralatan dasar dari gelas di laboratorium kimia, magnetic stirrer-pemanas, *water shaker batch*, pompa vakum, timbangan digital, statif-klem, pH meter digital, kromatografi kolom, *rotary evaporator*, *Scanning Electron Microscope* (SEM, Carl Zeiss EVO MA 10), *X-Ray Diffraction* (XRD, Shimadzu XRD-7000), spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UV-1700), spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR, Perkin Elmer Spectrum One) dan *Atomic Absorption Spectrofotometer* (AAS, Shimadzu AA-7000).

Prosedure Kerja

Sintesis FHA

Proses sintesis FHA dari minyak mentah dedak padi menggunakan mekanisme enzimatis. Reaksi pembuatan dilakukan dengan mereaksikan sejumlah 1,5 gram minyak mentah dedak padi yang dilarutkan dalam 15 mL n-heksana dengan 10 mmol hidroksilamin hidroklorida dalam 100 mL pada erlenmeyer yang tertutup dengan bantuan katalis enzim lipase. Campuran kemudian distirrer dengan kecepatan 100 rpm. FHA yang terbentuk diantara lapisan air-heksan, dipisahkan dari air dan lipase dengan filtrasi. Untuk mendapatkan FHA padat, fraksi n-heksana didinginkan dalam pendingin (< 5 °C) selama 5 jam. Kemudian disaring dan dicuci dengan n-heksana beberapa kali dan dikeringkan dalam vacuum desicator yang berisi Fosfor pentoksida selama 24 jam.

Aktivasi Zeolit Alam (modifikasi Wijayanti 2014)

Zeolit dibersihkan, digerus dan diayak menggunakan saringan 200 mesh. Zeolit yang telah diayak kemudian dipanaskan dalam oven 300 °C selama 3 jam. Zeolit kemudian diaktivasi menggunakan cara asam, menggunakan larutan HCl dengan konsentrasi 3 M. Sebanyak 100 g zeolit dicampur ke dalam 250 mL larutan asam dan diaduk selama 60 menit. Campuran kemudian dipisahkan dan dibilas dengan akuades hingga pH netral. Larutan tersebut diuji kandungan klorin dengan AgNO₃ dan dicuci kembali sampai tidak

mengandung klorin. Setelah pH netral dan bebas klorin lalu dikeringkan pada suhu 300°C selama 3 jam. Zeolit yang telah kering lalu digerus dan diayak hingga didapatkan ukuran zeolit 200 mesh. Selanjutnya zeolit dikarakterisasi menggunakan SEM dan XRD.

Impregnasi FHA pada Zeolit Alam Aktif (modifikasi Hoidy *et al.* 2014)

Sejumlah 5gram zeolit yang telah teraktivasi dicampurkan dengan 1000 ppm FHA dalam 100 mL methanol dan diaduk dengan alat shaker horizontal pada 35 rpm selama 24 jam. Serapan zeolit terhadap FHA diukur secara spektrofotometri. Satu mL FHA, sebelum dan setelah dikocok dengan zeolit, ditambahkan dengan 10 mL methanol dan 0,1 mL larutan Fe (III) 0,1M dalam HCl 0,01M. Kemudian, absorbansi diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimumnya untuk kalkulasi besarnya kapasitas jerapan zeolit. Hasil impregnasi FHA pada zeolit teraktivasi dilanjutkan dengan karakterisasi menggunakan FTIR.

Pengaruh pH pada adsorpsi Cu(II) oleh ZAA dan FHA-ZAA

Pengaruh pH ini ditentukan oleh teknik kesetimbangan kontinu. Sebanyak 20 mL logam standar Cu (II) 50 ppm diinteraksikan dengan 20 mg ZAA dan FHA-ZAA dan dihomogenkan menggunakan alat shaker-horisontal selama 1 jam untuk memastikan kesetimbangan tercapai pada kondisi yang sudah ditentukan. Untuk pH dari larutan ion logam Cu (II) diatur antara pH 3-8 dengan 0,01M larutan buffer asetat sebelum dikocok. Setelah setimbang, konsentrasi ion logam Cu (II) dalam filtrat masing-masing ditentukan menggunakan AAS untuk kalkulasi besarnya kapasitas serapan.

Pengaruh konsentrasi Cu (II) terhadap daya serapan ZAA dan FHA-ZAA

Proses adsorpsi dilakukan dengan metode *batch*. Sebanyak 20 mg bagian dari ZAA dan FHA-ZAA diinteraksikan dengan 10 mL ion logam Cu(II) pada 35 rpm selama 1 jam dengan konsentrasi Cu(II) divariasi sebesar 10, 20, 30, 50, 75 dan 100 ppm pada pH optimum adsorpsi ion logam Cu(II). Konsentrasi ion logam Cu(II) dalam filtrat masing-masing ditentukan menggunakan AAS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis Asam Lemak Hidroksamat (FHA).

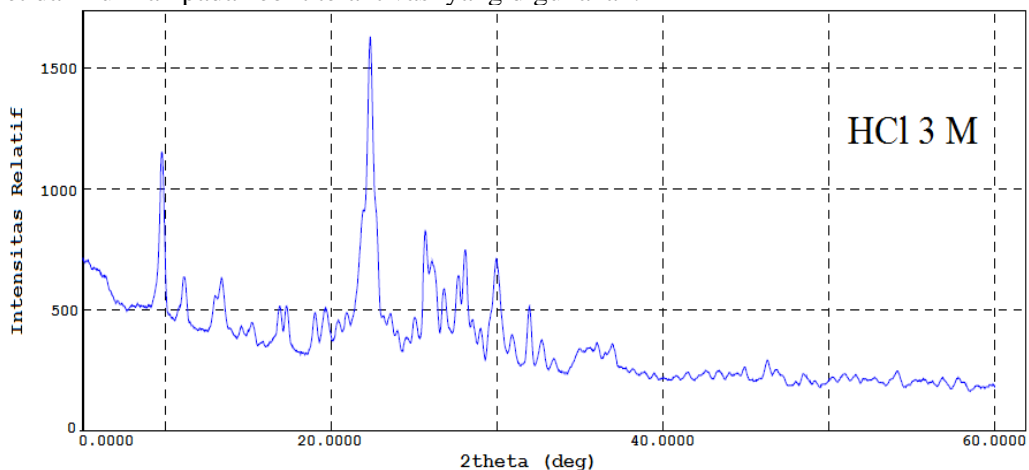
Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis FHA dengan kondisi optimum berdasarkan penelitian sebelumnya (Muhsinun *et al.*, 2020), dan diperoleh hasil sintesis yang relatif sama seperti pada penelitian tersebut, yaitu sekitar 470,6 mg atau dengan kata lain diperoleh hasil rendemen 32,02% dari total 1,5 g minyak dedak padi dalam satu kali sintesis. Hasil pengamatan menunjukkan, ketika semua reaktan dicampur dalam satu wadah, terbentuk dua lapisan dimana lapisan atas merupakan lapisan n-heksana yang mengandung minyak dan lapisan bawahnya adalah lapisan air yang mengandung hidroksilamina. Reaksi hidroksilaminolisis trigliserida terjadi diantara lapisan n-heksan dan lapisan air sehingga trigliserida yang larut dalam n-heksan dan hidroksilamina yang larut dalam air mengalami reaksi pembentukan produk FHA yang maksimum diantara lapisan air dan n-heksan tersebut (Blattner, 2005).

Adapun jumlah FHA yang dihasilkan meningkat seiring dengan bertambahnya waktu dan mencapai kondisi optimumnya pada jangka waktu 25 jam. Setelah melewati jangka waktu 25 jam, hasil sintesis FHA menjadi menurun. Peningkatan hasil reaksi itu seiring dengan bertambahnya waktu reaksi, hal ini disebabkan oleh penambahan jumlah substrat yang dapat diubah menjadi produk. Dan titik optimum tercapai karena semua substrat sudah habis diubah menjadi produk, sehingga penambahan waktu pun tidak

menyebabkan peningkatan jumlah produk yang dihasilkan (Moghaddam et al., 2010). Kurva penurunan yang terjadi setelah mencapai kondisi optimum disebabkan karena asam lemak hidroksamat yang terbentuk dapat dihidrolisis kembali oleh lipase setelah mencapai kondisi optimumnya.

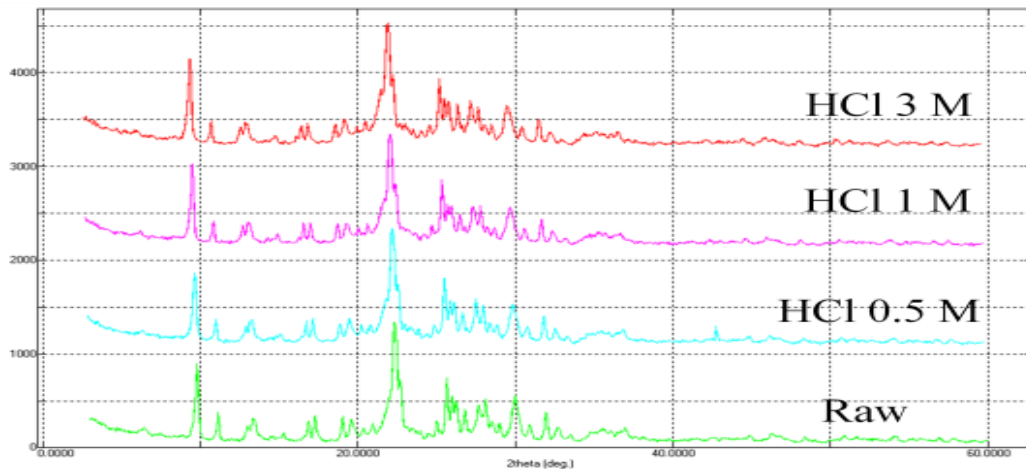
Aktivasi Zeolit Alam.

Aktivasi pada zeolit dilakukan secara kimia menggunakan pereaksi asam berupa HCl 3M, yang bertujuan untuk membersihkan senyawa organik yang menutupi permukaan pori-pori zeolit, membuang logam-logam pengotor dan mengatur kembali letak atom yang dipertukarkan sehingga diperoleh pori-pori zeolit yang bersih (Wijayanti, 2014). Perlakuan asam maupun basa dapat mengubah permukaan dari zeolit. Secara umum, asam dan basa akan membersihkan zeolit dari beberapa pengotor yang terikat di contoh zeolit alam. Dari Gambar 1 dibawah, memperlihatkan kesamaan pola difraktogram zeolit Bayah teraktivasi dengan pola difraktogram rujukan yang dilakukan oleh Arif (2011) seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Perlakuan asam menggunakan HCl 3M selama 6 jam tidak mengubah pola-pola difraksi sampel zeolit baik intensitas ataupun puncak-puncak 2θ dari zeolit teraktivasi yang dianalisis. Hal ini menunjukkan bahwa zeolit tahan terhadap perlakuan asam. Tingkat ketahanan yang tinggi terhadap senyawa ini diduga disebabkan karena adanya ketidakmurnian pada zeolit teraktivasi yang digunakan.



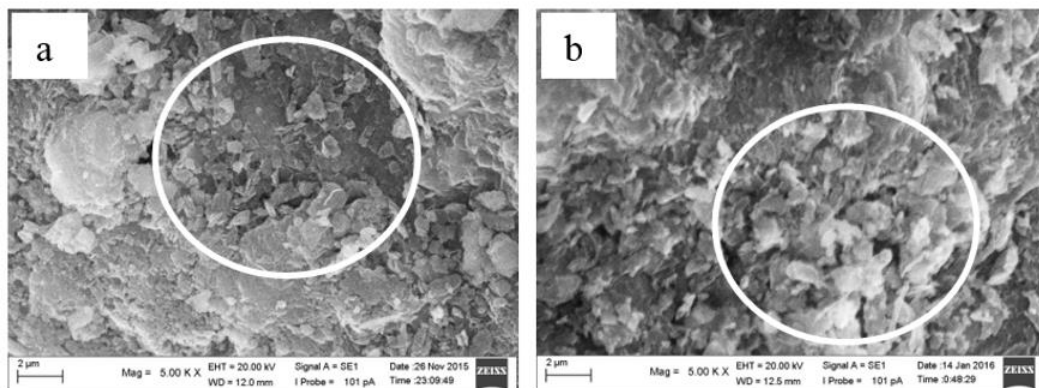
Gambar 1. Pola difraktogram zeolit alam teraktivasi

Hasil difraktogram rujukan contoh zeolit Bayah yang diaktivasi menggunakan beberapa variasi asam, ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pola difraktogram zeolit Bayah (Arif, 2011)

Berdasarkan analisis dengan membandingkan difraktogram ZAA dengan difraktogram rujukan pada Gambar 2, perlakuan yang melibatkan asam akan menyebabkan proses dealuminasi yang semakin kuat dengan naiknya suhu yang digunakan, dalam hal ini menggunakan suhu mencapai 300°C.



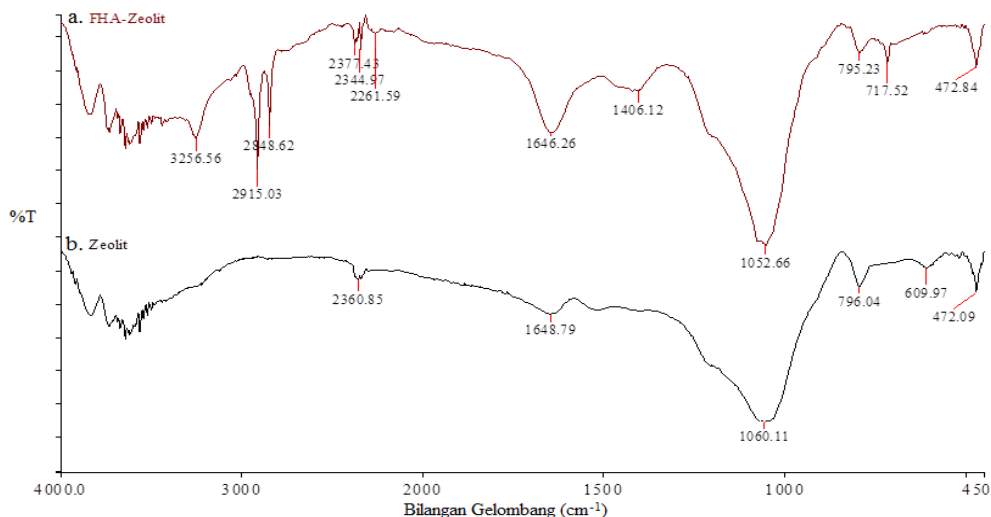
Gambar 3. Hasil foto SEM perbesaran 5000x, a) ZAA, b) FHA-ZAA

Pencirian menggunakan SEM dapat dilihat pada Gambar 3. Permukaan zeolit teraktivasi pada Gambar 3a, menunjukkan permukaan zeolit yang bersih dan cenderung berongga. Diasumsikan bahwa permukaan ini akan terisi oleh FHA yang terimmobilisasi kedalam zeolit. Kemudian Gambar 3b, menunjukkan permukaan zeolit yang telah terisi oleh FHA ditandai dengan hilangnya zona permukaan yang berongga.

Impregnasi FHA pada Zeolit Alam Aktif.

Telah dilakukan persiapan larutan induk FHA 1000 ppm dalam metanol. Hal ini dikarenakan FHA mudah larut pada pelarut polar. Dari penelitian terdahulu menyebutkan bahwa alkohol merupakan pelarut yang bagus untuk FHA (Suhendra *et al.*, 2005). Perlakuan yang sama juga dilakukan pada adsorben ZAA, yaitu direndam dengan methanol selama 24 jam, kemudian dicuci dengan HCl 6M, aquades, NaOH 2M, dan aquades hingga netral. Perendaman ini dimaksudkan untuk mengaktifkan sisi aktif dari adsorben sehingga dapat memudahkan immobilisasi dari FHA dalam adsorben ZAA (Haron *et al.*, 2012). Kapasitas adsorben merupakan faktor penting dalam menentukan jumlah adsorben

diperlukan untuk menghilangkan ion logam tertentu dari larutan. Dalam penelitian ini digunakan ion Fe(III) 0,1M dalam HCl 0,01M untuk membandingkan konsentrasi metanolik FHA baik sebelum dan sesudah dilakukan immobilisasi ke dalam zeolit. Diasumsikan bahwa selisih antara konsentrasi FHA sebelum dan sesudah immobilisasi menunjukkan nilai kapasitas jerapan adsorben. Hasil immobilisasi FHA pada ZAA menunjukkan besarnya kapasitas jerapan maksimum dari ZAA pada beberapa variasi perbandingan 1:100 dengan konsentrasi FHA, yaitu rata-rata sebesar 40,60% atau sekitar 35,64 mg/gram zeolit.



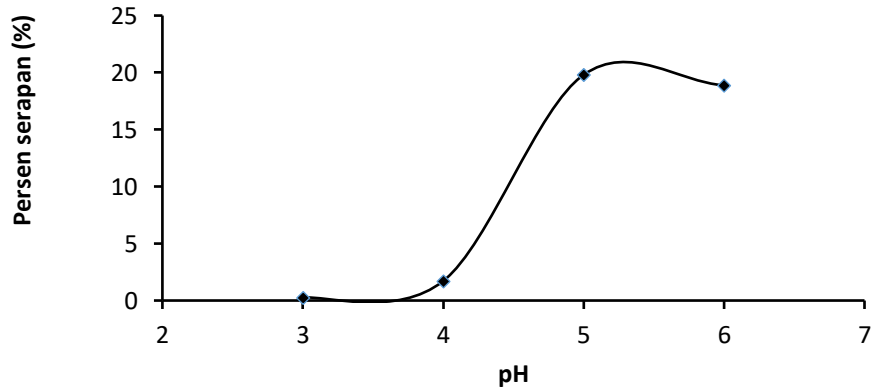
Gambar 4. Spektrum FTIR, a) FHA-ZAA, b) ZAA

Karakterisasi lainnya menggunakan spektrofotometer FTIR telah dilakukan untuk mengetahui terjadinya immobilisasi FHA pada ZAA, seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Spektrum FTIR sampel ZAA menunjukkan puncak lebar pada kisaran 3630 cm^{-1} sampai 3483 cm^{-1} berkaitan dengan adanya vibrasi gugus hidroksi Si-O(H)-Al dan O-H...O (Nasrollahzadeh *et al.*, 2014). Puncak lebar pada 1648 cm^{-1} berkaitan dengan deformasi vibrasi molekul H₂O yang terkandung dalam zeolit. Asimetri vibrasi Si-O-Si dan vibrasi regangan Al-O-Si dapat dilihat pada daerah 1060 cm^{-1} dan 796 cm^{-1} (Yu *et al.*, 2014). Pada daerah $650\text{--}480\text{ cm}^{-1}$ terlihat adanya vibrasi (TO₄) tetrahedral pada daerah serapan 609 cm^{-1} dan 472 cm^{-1} . Spektrum FTIR pada Gambar 4. juga menunjukkan adanya perbedaan antara sampel zeolit teraktivasi dengan sampel FHA-ZAA terlihat dari munculnya puncak-puncak baru pada spektrum FTIR sampel FHA-ZAA. Spektrum FTIR dari FHA menunjukkan karakteristik penyerapan ikatan dari gugus amina -NH- pada 3256 cm^{-1} dan regangan C-H alifatik muncul pada $2915\text{--}2848\text{ cm}^{-1}$. Adanya regangan dari C=O amida juga ditandai dengan meningkatnya intensitas puncak pada bilangan gelombang 1646 cm^{-1} (Suhendra *et al.*, 2006). Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa FHA telah terimmobilisasi pada ZAA dengan baik.

Pengaruh pH pada adsorpsi Cu(II) FHA-ZAA.

Menurut Kiran dan Revanasiddappa (2003) menyatakan bahwa perubahan pH akan mempengaruhi stabilitas warna kompleks. Oleh karena itu diperlukan penentuan pH optimum. Derajat keasaman (pH) optimum untuk ekstraksi ditunjukkan dengan besarnya serapan ion logam oleh FHA-ZAA. Terlihat pada Gambar 5. bahwa persentase ekstraksi

dari ion logam Cu (II) meningkat seiring meningkatnya pH dan kembali menurun setelah pH optimumnya (pH 5).

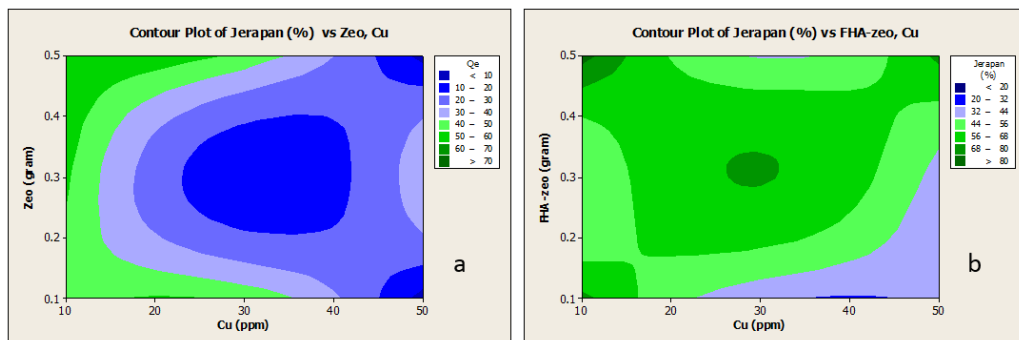


Gambar 5. Pengaruh pH terhadap persen jerapan oleh FHA-ZAA

Umumnya untuk mengetahui serapan dari ion logam Cu(II) dalam FHA-ZAA dapat diujikan pada nilai pH berbeda dengan menggunakan metode kontinu dan hasilnya ditunjukkan pada grafik diatas. Hasil itu mengindikasikan bahwa ion logam Cu(II) menunjukkan kapasitas serapan maksimumnya pada pH 5. Dan ini disebabkan adanya kestabilan kompleks dari Cu-FHA yang terbentuk pada proses ekstraksi. Kapasitas resin juga adalah salah satu faktor penting dalam menentukan jumlah resin yang diperlukan untuk memindahkan secara kuantitatif sebuah spesifik ion logam dari suatu larutan (Khawassek et al., 2012).

Pengaruh konsentrasi Cu (II) terhadap daya serapan ZAA dan FHA-ZAA.

Pada tahap ini dilakukan ekstraksi komponen logam Cu (II) menggunakan adsorben yang berbeda, yaitu dengan membandingkan jerapan maksimum antara ZAA dan FHA-ZAA. Adapun plot optimasi dari kedua resin tersebut dalam menyerap komponen logam ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Nilai jerapan optimum ekstraksi komponen logam, a) Cu (II) menggunakan ZAA, b) Cu (II) menggunakan FHA-ZAA

Dari contour plot optimasi pada Gambar 6. diatas terlihat perbedaan yang nyata antara jerapan maksimum ZAA dengan FHA-ZAA. Pada contour plot (a) menunjukkan terjadinya peningkatan jerapan Cu (II) seiring dengan peningkatan ZAA namun tidak dibarengi dengan peningkatan konsentrasi Cu (II). Hal ini menandakan bahwa peningkatan konsentrasi Cu (II) tidak terlalu berpengaruh terhadap jerapan maksimum ZAA. Contour plot (b) menunjukkan pengaruh massa FHA-ZAA dan konsentrasi Cu (II) terhadap jerapan

maksimum Cu (II), dan diperoleh perbedaan hasil yang signifikan jika dibandingkan dengan adsorben ZAA. Dari contour plot tersebut setelah dianalisis, menghasilkan nilai perbandingan 1:100 antara FHA-Zeo dengan konsentrasi Cu (II) untuk dapat meningkatkan jerapan Cu (II) pada FHA-Zeo sehingga dapat digunakan sebagai acuan untuk aplikasi penanggulangan pencemaran limbah logam.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan kajian pustaka yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa FHA telah berhasil diimpregnasi pada ZAA dengan besaran konsentrasi mencapai 41,60%. Adapun kondisi optimum untuk penjerapan Cu (II) oleh FHA-ZAA adalah sebagai berikut: perbandingan massa resin FHA-ZAA dengan konsentrasi Cu (II) (g: ppm) adalah 1:100 dan kondisi optimum ion Cu (II) pada pH 5.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Direktur Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Deputi Bidang Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional yang telah mendanai penelitian ini melalui skema Penelitian Dosen Pemula dengan Surat Kontrak No: 239/E4.1/AK.04.PT/2021 dan Surat Kontrak No: 1960/LL8/KM/2021.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif Z. (2011). Karakterisasi dan modifikasi zeolit alam sebagai bahan media pendeteksi studi kasus: kromium heksavalen [Tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Blattner, C. (2005). *Biocatalysis using lipase immobilised in organogels in supercritical carbon dioxide*. Disertasi. University of Regensburg.
- Buasri A, Chaiyut N, Phattarasirichot K, Yongbut P, Nammueng L. (2008). Use of natural clinoptilolite for the removal of lead (II) from wastewater in batch experiment. *Chiang Mai J. Sci.* 35(3): 447-456.
- Haron, M.J., Jahangirian, H., Silong, S., Yusof, N.A., Kassim, A., Moghaddam, R.R., Peyda, M., Abdollahi, Y., Amin, J., Gharayebi, Y. (2012). Copper extraction by fatty hydroxamic acids derivatives synthesized based on palm kernel oil. *J. Oleo Sci.* 61(4): 189-195.
- Hoidy WH, Ahmad MB, Mulla EAJA, Ibrahim NAB. (2009). Synthesis and characterization of organoclay from sodium montmorillonite and fatty hydroxamic acids. *Am.J.Appl.Sci.* 6(8): 1567-1572.
- Khawassek, Y.M., Cheira, M.F., Mahmoud, G.M. (2012). Studies on the extraction of copper (II) by pyrazoloquinazolinone derivatives from aqueous solutions. *Res.J.Chem.Sci.* 2(6): 30-37.
- Kiran KTN, Revanasiddappa HD. (2003). Rapid and sensitive spectrophotometric determination of trace amounts of iron(III) using leuco Xylene cyanol FF. *Anal. Bioanal. Chem.* 376(7): 1126-1130.

- Lee TS, Jeon DW, Kim JK, Hong SI. (2001). Formation of metal complex in a poly (hydroxamic acid) resin bead. *Fibers and Polymers*. 2(1):13-17.
- Lin J, Zhan Y, Zhu Z. (2011). Adsorption characteristics of copper (II) ions from aqueous solution onto humic acid-immobilized surfactant-modified zeolite. *Physicochem. Eng. Aspects*. 384(1-3): 9-16.
- Moghaddam, M.G., Ahmad, F.B.H., Basri, M., Rahman, M.B.A. (2010). Lipase-Catalyzed Esterification of Betulinic Acid Using Anhydride in Organic Solvent Media: Study of Reaction Parameters. *Journal of Applied Sciences*. 10(4):337-342.
- Muhsinun, Prayunisa F. (2020). Optimasi Sintesis Asam Lemak Hidroksamat Menggunakan Minyak Mentah Dedak Padi. *Jurnal Kimia Mulawarman*. 18(1): 38-43.
- Nasrollahzadeh M, Ehsani A, Rostami-Vartouni A. (2014). Ultrasound-promoted green approach for the synthesis of sulfonamides using natural, stable and reusable Natrolite nanozeolite catalyst at room temperature. *Ultrasonics Sonochemistry*. 21(1): 275-282.
- Suhendra D, Yunus WMZ, Haron MJ, Basri M, Silong S. (2005). Enzymatic synthesis of fatty hydroxamic acid from palm oil. *J. Oleo Sci*. 54(1): 33-38.
- Suhendra, D., Yunus, W.M.Z., Haron, M.J., Basri, M., Silong, S. (2006). Separation and preconcentration of copper ion by fatty hydroxamic acid immobilized onto Amberlite XAD-4. *Indo. J. Chem*. 6(2): 165-169.
- Wijayanti IE. (2014). Biosensor antioksidan menggunakan ekstrak protein dari bakteri *Deinococcus Radiodurans* terimobilisasi pada nanopartikel zeolit. [Tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Yu Y, Shaptera JG, Popelka-Filcoff R, Bennett JW. (2014). Copper removal using bio-inspired polydopamine coated natural zeolites. *J. Hazard. Mat*. 273: 174-182.