

Adsorpsi Logam Ni (II) pada Adsorben 'Ramah Lingkungan' Asam Humat Kotoran Kuda

Rohmatullaili¹

Program Studi Kimia, Sains dan Teknologi UIN Raden Fatah Palembang, Indonesia

E-mail: rohmatullaili_uin@radenfatah.ac.id

Abstrak

Ekstraksi asam humat dari kotoran kuda telah dilakukan dengan prosedur standar International Humic Substance Society (IHSS) di bawah atmosfer udara. Penelitian ini dilakukan untuk memanfaatkan asam humat kotoran kuda (AHKK) sebagai adsorben limbah logam Ni (II). Dugaan awal adanya Asam Humat dalam kotoran kuda dikarenakan kandungan lignin di dalamnya. Persentase ekstraksi asam humat murni dari kotoran kuda mencapai 0,4%. Interaksi AHKK dengan logam Ni(II) dilakukan dalam larutan. Aspek adsorpsi yang dipelajari meliputi pengaruh pH, waktu kontak, kinetika, kapasitas adsorpsi, dan model isoterm adsorpsi Asam Humat Kotoran Kuda terhadap logam Ni (II). Adsorpsi logam Ni (II) pada AHKK mengikuti model isoterm adsorpsi Langmuir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Asam Humat dapat diekstraksi dari kotoran kuda, dan dapat mengadsorpsi logam Ni (II) pada situs aktifnya. Adsorpsi yang terjadi hanya pada lapisan tunggal, yang berarti situs aktif pada permukaan adsorben memiliki kemampuan adsorpsi yang sama dan terdistribusi secara merata.

Kata kunci: asam humat; IHSS; adsorpsi; Ni(II)

Abstract

The extraction of humic acid from horse dung has been done using the standard procedure of International Humic Substance Society (IHSS) in air atmosphere. This research was conducted to utilize the 'horse dung humic acid' (HDHA) as a adsorbent of Ni(II). Hypotheses about the presence of humic acid in horse dung due to the content of lignin in it. The percentage of pure humic acid from horse dung reached 0.4%. Adsorption process carried out in the solution. The adsorption aspects studied include the influence of pH, contact time, kinetics, capacity adsorption, and isotherm adsorption model. Adsorption of Ni(II) in HDHA is according to Langmuir isotherm adsorption model. The results showed that humic acid can be extracted from horse dung, and can adsorb Ni(II) on its active site. Adsorption occurs only on a single layer, which means the active site on the surface adsorbent has the same adsorption ability and distributed evenly.

Keywords: humic acid; IHSS, adsorption; Ni(II)

Pendahuluan

Kotoran ternak merupakan salah satu limbah dengan jumlah yang cukup banyak, namun pemanfaatannya belum optimal. Pembuangan limbah ternak secara

langsung ke lingkungan berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan, bahkan konflik sosial. Pemanfaatan kotoran sapi sebagai bahan utama produksi biogas merupakan salah satu upaya mengurangi limbah ternak, sekaligus sebagai bentuk

pencarian solusi terhadap isu krisis energi (Buyang dkk., 2019). Upaya pemecahan konflik sosial akibat keberadaan limbah kotoran sapi yang tidak diolah secara benar telah dilakukan dengan cara menjadikan kotoran sapi sebagai bahan utama pembuatan batu bata (Nugroho dan Annur, 2014). Pemanfaatan kotoran sapi sebagai bahan utama pembuatan pupuk organik untuk meningkatkan produksi pertanian juga telah dilakukan guna mengatasi masalah lingkungan yang disebabkan oleh kotoran ternak (Ratriyanto, dkk., 2019).

Pemanfaatan limbah kotoran ternak dilakukan untuk tujuan yang cukup bervariasi, namun pemanfaatannya sendiri belum begitu optimal. Beberapa peneliti telah berhasil memanfaatkan kotoran sapi sebagai sumber asam humat. Barot dan Bagla (2009) melaporkan bahwa asam humat yang diekstraksi dari kotoran sapi memiliki karakteristik yang relatif sama dengan asam humat tanah yang dilaporkan Stevenson (1994). Kemampuan adsorpsi berbagai logam oleh asam humat telah dilaporkan oleh Burhan (2014) dan Nurmayanti (2014). Asam humat merupakan salah satu adsorben yang sedang dikembangkan. Asam humat hasil isolasi dari batubara terbukti mampu dijadikan adsorben logam Pb(II), Cu(II) dan Fe(II) (Yuliyati dan Natanael, 2016). Kemampuan asam humat sebagai adsorben disebabkan oleh adanya gugus-gugus fungsional utama yang dapat berinteraksi dengan logam, yaitu gugus karboksilat, alkohol, fenol, dan karbonil (Senesi dan Adriano, 1992).

Di lingkungan, keberadaan asam humat tersebar di perairan, sedimen, tanah, dan batuan endapan seperti batubara (Gaffney, dkk., 1996). Sumber tersebut diketahui merupakan sumber yang sulit diperbaharui. Salah satu sumber asam humat yang telah banyak digunakan adalah tanah gambut. Asam humat telah berhasil diekstraksi dari tanah gambut Sumatera dan Kalimantan dengan hasil karakterisasi yang menunjukkan adanya gugus COOH, OH, dan NH pada struktur asam humat (Rahmayanti,

dkk., 2019). Pengambilan lahan gambut secara terus-menerus akan mengubah fungsi gambut yaitu sebagai penyimpan gas CO₂, menjadi sumber emisi gas rumah kaca, sehingga pencarian sumber asam humat terbaru yang bersifat terbarukan menjadi fokus pada penelitian ini.

Asam humat dapat diekstraksi dari kotoran sapi disebabkan oleh kandungan lignin dalam kotoran sapi tersebut, dimana lignin merupakan senyawa utama dalam pembentukan asam humat (Stevenson, 1994). Telah diteliti bahwa dalam kotoran kuda terdapat senyawa lignin sekitar 14,20% (Sihotang, 2010). Berdasarkan uraian tersebut, peneliti tertarik untuk menjadikan kotoran kuda sebagai sumber ekstraksi asam humat yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai *green* adsorben pada proses adsorpsi logam Ni(II) dalam larutan. Kajian mengenai pengaruh pH, kinetika, dan isoterm adsorpsi dilakukan untuk melihat kemampuan asam humat hasil ekstraksi dari kotoran kuda sebagai adsorben logam.

Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan antara lain: mortar, ayakan 100 mesh, neraca analitik, *centrifuge*, *shaker*, *stirrer*, oven, furnace, pH meter, satu set penyaring Buchner, dan pengaduk magnet. Instrumen analisis terdiri dari Spektrofotometer *Fourier Transform Infrared (FT-IR)* Shimadzu Prestige 21 dan *Atomic Absorption Spectrometer (AAS)* Jena ContrAA 300, dan peralatan penunjang berupa peralatan gelas standar.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain: kotoran kuda kering yang diambil dari daerah Kenalan, Potorono, Bantul DIY, tanah gambut yang berasal dari Hutan Gambut Muara Kuang daerah Musi Banyuasin, Sumatra Selatan. Bahan kimia berkualitas analitik, meliputi: (1) Pereaksi untuk ekstraksi dan pemurnian asam humat, yaitu NaOH (Merck), HCl (Merck), HF (Merck), KCl (Merck) dan AgNO₃

(Merck); (2) pereaksi penentuan keasaman asam humat, yaitu $\text{Ba}(\text{OH})_2$ (Merck) dan $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Merck); (3) $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ PA (Merck) sebagai sumber logam Ni(II); dan (4) bahan lainnya yaitu indikator universal, *silica gel*, kertas saring whatman, buffer pH 4 dan 7, akuabides, dan akuades.

Prosedur Kerja

Ekstraksi AHKK

Ekstraksi asam humat dilakukan dengan prosedur *International Humic Substance Society (IHSS)* dan Stevenson (1994) pada atmosfer udara. Bubuk halus kotoran kuda dan tanah gambut masing-masing direndam dengan HCl 0,1 M, kocok selama 4 jam, kemudian disentrifugasi selama 10 menit pada 5000 rpm. Residu disaring dan dinetralsasi menggunakan NaOH 1 M hingga pH 7, lalu dilarutkan dalam NaOH 0,1 M. Suspensi ini dikocok selama 8 jam, didiamkan semalaman, dan disentrifugasi pada 5000 rpm selama 10 menit. Supernatan diambil dan kemudian diasamkan dengan HCl 1 M hingga pH 1, larutan didiamkan semalaman hingga terbentuk endapan. Endapan selanjutnya dinetralkan dengan NaOH, kemudian ditambahkan KCl sehingga konsentrasi K^+ adalah sebesar 0,3 M, dan ditambah dengan larutan HCl-HF (0,1 M HCl : 0,3 M HF). Suspensi dikocok selama 24 jam kemudian disentrifugasi pada 5000 rpm selama 10 menit, residu diambil, dibilas menggunakan akuades sampai air bilasan bebas dari ion Cl^- , dan dikeringkan di oven pada temperatur 60°C , sehingga diperoleh asam humat murni, untuk selanjutnya dikarakterisasi.

Karakterisasi AHKK

Karakterisasi gugus fungsi asam humat dilakukan untuk menentukan gugus-gugus fungsional karakteristik dari asam humat. Prosedur ini dilakukan dengan analisis sampel asam humat hasil ekstraksi menggunakan Spektrofotometer FT-IR.

Uji Adsorpsi AHKK

Asam humat yang telah dikarakterisasi selanjutnya digunakan untuk adsorpsi logam Ni(II). Sebanyak 15 mL larutan Ni(II) 25 ppm masing-masing diinteraksikan dengan 10 mg asam humat. Dilakukan variasi pH medium yaitu: 2; 3; 4; 5; 6; 7; dan 8. pH optimum adsorpsi yang diperoleh selanjutnya digunakan dalam adsorpsi dengan variasi waktu kontak. Variasi waktu kontak yaitu selama: 0; 10; 25; 40; 60; 75; 80; 90; 100; 120; 150; 180; 220; dan 250 menit. Setelah diperoleh pH dan waktu kontak optimum, dilakukan variasi konsentrasi masing-masing logam, yaitu: 5; 10; 20; 30; 40; 50; 100; 200; 300; 400; 500; 700; 800; dan 1000 ppm. Campuran kemudian disaring dan dianalisis kandungan logamnya dengan menggunakan AAS. Hasil yang diperoleh digunakan dalam penentuan kinetika dan isoterm adsorpsi Ni(II) pada Asam Humat Kotoran Kuda.

Hasil Penelitian dan Pembahasan

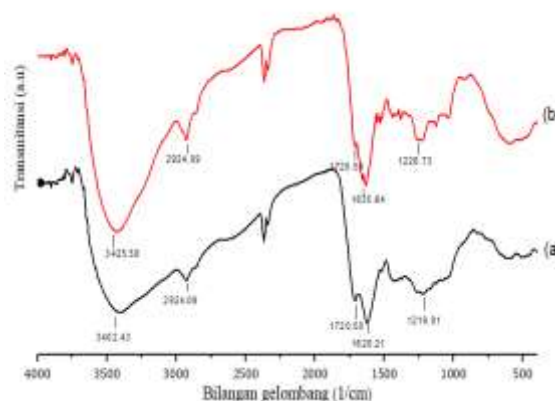
Ekstraksi AHKK

Ekstraksi dengan metode IHSS dan Stevenson (1994) didasarkan pada sifat asam humat yang larut dalam larutan alkali dan mengendap dalam larutan asam. Penambahan HCl 0,1 M bertujuan untuk mengendapkan asam humat, sekaligus menghilangkan pengotor larut asam. Sentrifugasi dilakukan untuk mempercepat proses pengendapan residu dan memperkecil pengotor yang ikut terendap. Tahap ekstraksi dilanjutkan dengan penambahan NaOH sehingga asam humat terlarut dan meninggalkan pengotor sebagai endapan. Proses dilakukan berulang untuk mendapatkan hasil yang lebih murni. Penggunaan larutan HCl-HF bertujuan untuk menghilangkan pengotor anorganik, Residu dibilas hingga bebas ion Cl^- dan dikeringkan. Hasil ekstraksi AHKK murni yang telah dikeringkan mencapai 0,4%, sedangkan Asam Humat Tanah Gambut mencapai 4,7%.

Karakterisasi AHKK

Konfirmasi bahwa senyawa yang berhasil diekstraksi dari kotoran kuda tersebut adalah asam humat dilakukan dengan cara membandingkan spektra hasil karakterisasi gugus fungsi menggunakan Spektrofotometer FT-IR. Asam humat tanah gambut yang diekstrak pada penelitian ini dijadikan sebagai asam humat standar. Perbandingan spektra FT-IR dari asam humat gambut murni (sebagai standar) dengan senyawa yang diduga asam humat dari kotoran kuda ditampilkan pada Gambar 1. Pada gambar terlihat bahwa spektra FT-IR antara asam humat gambut standar (a) relatif sama dengan spektra senyawa yang diduga asam humat dari kotoran kuda (b).

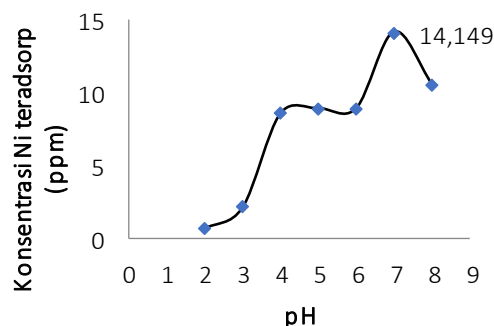
Adanya vibrasi ulur oleh gugus -OH teridentifikasi pada bilangan gelombang sekitar 3400 cm^{-1} , dan vibrasi ulur C-H alifatik ditunjukkan dengan adanya puncak pada daerah bilangan gelombang $2924,09\text{ cm}^{-1}$. Munculnya puncak serapan di daerah bilangan gelombang $1720,50\text{ cm}^{-1}$ mengidentifikasi adanya vibrasi ulur C=O dari gugus -COOH. Adanya gugus -C=C- aromatik dan H terkonjugasi dari keton diidentifikasi dengan adanya puncak serapan pada bilangan gelombang 1620 sampai 1635 cm^{-1} , sedangkan puncak serapan pada bilangan gelombang sekitar 1200 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi tekuk -OH dan vibrasi ulur C-O dari -COOH. Data puncak serapan tersebut merupakan puncak serapan khas dari spektra FT-IR asam humat yang dikemukakan oleh Stevenson (1994), dengan demikian dapat dikonfirmasi bahwa peneliti telah berhasil mengekstraksi asam humat dari kotoran kuda.



Gambar 1. Perbandingan Spektra FT-IR Asam Humat Gambut/Standar (a) terhadap Asam Humat Kotoran Kuda/AHKK (b)

Uji Adsorpsi AHKK

Penentuan pH optimum adsorpsi pada menunjukkan adsorpsi optimum logam Ni(II) terhadap adsorben AHKK terjadi pada pH 7. Hal ini menunjukkan bahwa pH medium adsorpsi berpengaruh baik terhadap asam humat maupun logam Ni(II). Hasil pengujian disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik pengaruh pH terhadap adsorpsi logam dan Ni(II) pada AHKK

Pada pH sistem yang rendah, jumlah ion H^+ semakin melimpah sehingga menyebabkan terjadinya protonasi pada situs aktif asam humat (Barot dan Bagla, 2009), sedangkan pada pH tinggi situs aktif pada permukaan asam humat akan terdeprotonasi akibat banyaknya ion OH^- (Hizal dan Apak, 2006). Deprotonasi tersebut mengakibatkan gugus aktif pada

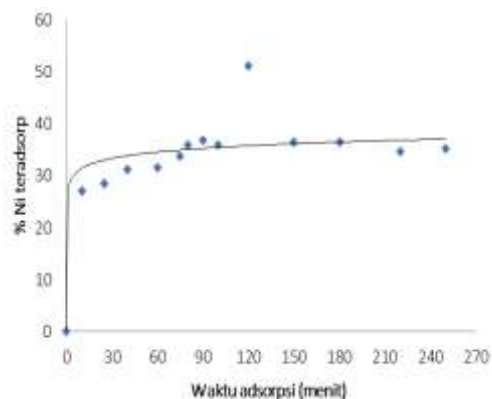
permukaan asam humat akan bermuatan negatif dan menjadi lebih terbuka (Swift, 1989). Titik isoelektrik asam humat yang diekstrak dari tanah berada pada pH kurang dari 3 (Komulski, 2009), ini berarti pada pH medium lebih besar dari 3 asam humat akan bermuatan negatif, dan memiliki kemampuan lebih baik untuk mengadsorpsi ion logam positif.

Adanya penurunan persentase adsorpsi logam Ni(II) pada pH tertentu terjadi karena adanya perubahan spesiasi logam yang diadsorpsi. pH optimum adsorpsi logam Ni(II) tercapai pada pH 7, yaitu sebesar 49,583%, dan penurunan persentase adsorpsi mulai terlihat pada pH diatas 7. Sheng, dkk. (2011) berhasil menggambarkan diagram spesiasi logam Ni(II) dalam larutan berair, hasil penelitiannya menunjukkan bahwa Ni(II) terdistribusi sebagai ion Ni²⁺ pada pH sistem dibawah 8. Transisi Ni²⁺ menjadi Ni(OH)⁺ mulai terjadi pada pH 8 dan mencapai titik isoelektrik pada pH sekitar 10 dengan spesiasi Ni berupa Ni(OH)₂ yang tidak bermuatan.

Semakin tinggi pH sistem, spesies logam Ni(II) yang berada dalam larutan cenderung berukuran semakin besar, sehingga interaksinya dengan sisi aktif asam humat berada dalam jarak yang lebih jauh, hal ini mengakibatkan kurang efektifnya interaksi yang terjadi (Suyanta, dkk., 2004). Bertambahnya spesies logam Ni(II) bermuatan netral pada pH yang semakin tinggi menyebabkan interaksinya dengan gugus-gugus aktif asam humat yang bermuatan negatif semakin sedikit, sehingga persentase adsorpsi akan menurun Wang, dkk. (2009).

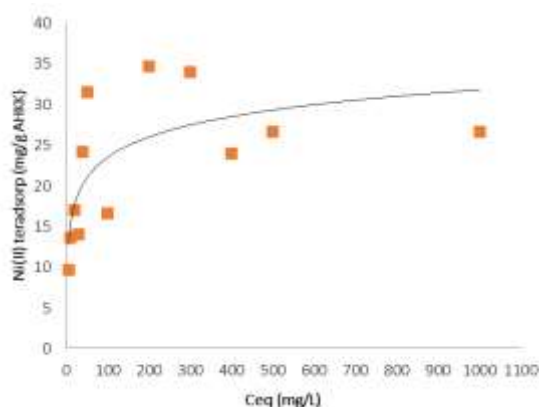
Hasil penentuan waktu kontak optimum ditampilkan pada Gambar 3. Penentuan waktu optimum adsorpsi menunjukkan adsorpsi optimum logam Ni(II) terhadap AHKK terjadi pada kontak selama 120 menit, yaitu sebesar 51,12%. Persen Ni(II) yang teradsorpsi terus naik secara drastis pada 10 menit pertama, namun selanjutnya, kenaikan hanya perlahan sampai titik optimumnya tercapai,

dan cenderung menurun hingga mencapai keadaan konstan.



Gambar 3. Grafik penentuan waktu optimum adsorpsi Ni(II) pada AHKK

Kajian kinetika adsorpsi dari hasil uji variasi waktu menunjukkan kesesuaian dengan kinetika adsorpsi pseudo orde 2, dengan nilai linieritas sebesar 0,979. Kesesuaian kinetika adsorpsi Pb(II) dan Ni(II) pada ATHK murni terhadap kinetika Pseudo orde 2 Ho dan McKay mengindikasikan bahwa tahap pembatas laju (*rate-limitting*) melibatkan proses kemisorpsi melalui pemakaian bersama atau pertukaran elektron antara adsorben dan adsorbat (Nurmayanti, 2014).



Gambar 4. Pola isotherm adsorpsi logam Ni(II) pada AHKK

Pola isotherm adsorpsi dikaji melalui variasi konsentrasi logam Ni(II) yang diinteraksikan dengan adsorben AHKK. Hasil

variasi konsentrasi logam Ni(II) menunjukkan pola isoterm adsorpsi yang sesuai dengan isoterm adsorpsi Langmuir. Pola isoterm adsorpsi logam Ni(II) pada adsorpsi dengan AHKK ditampilkan pada Gambar 4.

Hal tersebut menunjukkan bahwa permukaan adsorben mempunyai sejumlah situs aktif, dimana setiap situs aktif hanya mampu mengadsorpsi satu molekul adsorbat pada lapisan tunggal (monolayer), sehingga bila setiap situs aktif telah mengadsorpsi adsorbat maka adsorben sudah tidak dapat lagi mengadsorpsi (Triyono, 2013).

Kesesuaian terhadap model isoterm adsorpsi Langmuir dibuktikan dengan nilai koefisien determinasi R^2 adsorpsi logam Ni(II) pada AHKK yaitu sebesar 0,974. Penentuan energi dan kapasitas adsorpsi logam Ni(II) pada AHKK selanjutnya ditentukan menggunakan model isoterm Langmuir, hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil perhitungan parameter Isoterm Adsorpsi Langmuir Logam Ni(II)

Parameter Isoterm Adsorpsi Langmuir Logam Ni(II)	
b (mg/g)	27,78
K	10951
E (kJ/mol)	23,199

Nilai b didefinisikan sebagai kapasitas adsorpsi maksimum AHKK terhadap logam Ni(II) (Kusuma, dkk., 2014). Kapasitas adsorpsi AHKK dipengaruhi oleh ukuran ion logam ataupun ion hidrat logam Ni(II). Ukuran ion hidrat yang semakin besar menyebabkan asam humat mengadsorpsi lebih sedikit logam Ni(II), sehingga kapasitas adsorpsi akan bernilai lebih kecil.

Interaksi antara kation logam dengan ligan-ligan dapat dikategorikan sebagai hubungan asam-basa Lewis (Jin, dkk. dalam Rahmawati, 2012). Asam-basa Lewis yang berperan sebagai akseptor dan donor elektron selanjutnya digolongkan ke dalam asam-basa keras dan lunak berdasarkan pendekatan sifat-sifat ion logam dan ligan.

Asam-basa keras digambarkan sebagai suatu spesies yang mempunyai ukuran relatif kecil dengan polarisabilitas rendah, begitupun sebaliknya (Pearson, 1986). Ikatan yang relatif kuat akan terjadi ketika asam keras berinteraksi dengan basa keras, begitu pula sebaliknya.

Berdasarkan pengklasifikasian asam-basa keras dan lunak Pearson (1986), Ni^{2+} termasuk dalam golongan asam *borderline* (antara asam keras dan lunak). Kation logam Ni^{2+} dapat dinyatakan sebagai asam Lewis, sedangkan gugus-gugus aktif pada permukaan asam humat (adsorben) dinyatakan sebagai basa Lewis, maka pengklasifikasian asam-basa keras dan lunak dapat diterapkan pada proses adsorpsi (Rahmawati, 2012). Gugus aktif pada permukaan asam humat yang didominasi oleh gugus -OH dan -COOH merupakan basa keras, sehingga dapat diprediksikan bahwa ikatan yang terjadi antara Ni(II) dengan situs aktif asam humat akan lebih kuat jika energi adsorpsi semakin besar.

Salah satu parameter yang mengidentifikasi suatu proses adsorpsi berlangsung secara kimia ataupun fisik adalah dengan menghitung besarnya energi adsorpsi. Menurut Adamson (1990), batas minimal adsorpsi kimia adalah 20,92 kJ/mol, dengan demikian adsorpsi logam Ni(II) pada AHKK dapat digolongkan sebagai adsorpsi kimia karena energi adsorpsinya lebih besar dari 20,92 kJ/mol. Besarnya energi adsorpsi logam Ni(II) pada AHKK dapat memprediksikan model interaksi yang mungkin terjadi.

Beberapa model interaksi kation logam dengan gugus aktif pada asam humat telah diusulkan oleh Stevenson (1994). Proses adsorpsi kation logam pada permukaan asam humat dapat melibatkan berbagai macam mekanisme, antara lain : (1) melalui ikatan hidrogen, dimana atom hidrogen dari suatu molekul terikat secara kovalen dengan atom yang sangat elektronegatif; (2) melalui interaksi elektrostatis yang dihasilkan dari gaya tarik menarik antara ion-ion yang berlawanan muatannya, adanya gaya

elektrostatik akan mengakibatkan ion-ion tertarik ke permukaan adsorben yang muatannya berlawanan; (3) melalui ikatan kovalen yang terjadi karena adanya penggunaan pasangan elektron secara bersama-sama atau pembentukan ikatan kompleks antar gugus donor dengan akseptor tunggal; dan (4) melalui ikatan koordinasi yang menghasilkan struktur siklik. Persamaan reaksi ke (3) dan (4) melibatkan ikatan kompleks dengan energi adsorpsi yang cukup tinggi, sedangkan persamaan reaksi ke (1) dan (2) dapat terjadi dengan energi adsorpsi yang lebih kecil (Hizal dan Apak, 2006).

Interaksi kation logam dengan gugus aktif asam humat yang terjadi, dapat mengikuti satu atau lebih dari keempat model interaksi tersebut, bahkan dapat melibatkan keempatnya secara simultan (Samat & Lesbani, 2012). Berdasarkan model interaksi yang diusulkan oleh Stevenson (1994) tersebut, dapat diprediksikan bahwa adsorpsi kimia logam Ni(II) pada AHKK murni yang terjadi mengikuti model interaksi ke (3) dan (4). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada pH optimum adsorpsi, gugus aktif asam humat cenderung terdeprotonasi membentuk muatan negatif. Gugus aktif asam humat yang mengalami deprotonasi ditunjukkan oleh jenis interaksi (3) dan (4), namun tidak menutup kemungkinan bahwa interaksi yang terjadi juga melibatkan model interaksi ke (1) dan (2). Hal tersebut dapat terjadi karena dalam sistem adsorpsi tidak dapat diketahui secara pasti apakah seluruh gugus aktif asam humat telah mengalami deprotonasi.

Simpulan

Asam humat dapat diekstraksi dari kotoran kuda menggunakan prosedur IHSS, dengan persentase hasil ekstraksi asam humat murni mencapai 0,40%. Asam humat kotoran kuda menunjukkan kemampuan adsorpsi terhadap logam Ni(II). Adsorpsi optimum terjadi pada pH 7 dan waktu kontak 120 menit. Kinetika adsorpsi logam tersebut mengikuti kinetika pseudo orde

dua, dengan konstanta laju adsorpsi Ni(II) mencapai 0,071 g/mg menit. Pola isoterm adsorpsi mengikuti model isoterm Langmuir, dengan nilai kapasitas adsorpsi sebesar 27,78 mg/g. Energi adsorpsi sebesar 23,199 kJ/mol menunjukkan bahwa adsorpsi logam Ni(II) pada permukaan asam humat terjadi secara kimia.

Daftar Pustaka

- Adamson, A.W. 1990. *Physical Chemistry of Surfaces*, 5th Edition. New York: John Wiley and Sons.
- Barot, N.S., dan Bagla, H.K. 2009. Extraction of Humic Acid from Biological Matrix – Dry Cow Dung Powder. *Green Chem. Lett. and Reviews*. 2 (4), 217-221.
- Burhan, A.H. 2014. Studi Adsorpsi Kompetitif Cadmium(II) dan Seng(II) dengan Green Adsorben Asam Humat Tinja Sapi. *Tesis*, tidak dipublikasikan. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Buyang, Y., Palittin, I.D., & Waremra. R.S. 2019. Pemanfaatan Kotoran Sapi sebagai Sumber Energi Pengganti Bahan Bakar Minyak. *Dharma Raflesia*. 17 (1), 1-7.
- Gaffney, J.S., Marley, N.A., dan Clack, S.B. 1996. *Humic and Fulvic Acid: Isolation, Structure, and Environmental Role*, Wahington DC: American Chemical Society.
- Hizal, J., dan Apak, R. 2006. Modeling of Copper (II) and Lead (II) Adsorption on Kaolinite-Based Clay Minerals Individually and in the Presence of Humic Acid. *J. Colloid Interface Sci.* 295, 1-13.
- Komulski, M. 2009. pH Dependent Charge Surface Charging and Point of Zero Charge. *J. Colloid Interface Sci.* 3337, 439-448.
- Kusuma, I.D.G.D.P., Wiratini, N.M., Wiratma, I.G.L. 2014. Isoterm Adsorpsi Cu²⁺ oleh Biomassa Rumput Laut *Euchema spinosium*. *e-Jur. Kimia*

- Visvitalis Pendidikan Ganesha Jurusan Pendidikan Kimia. 2 (1).*
- Nugroho, M.D. & Annur, M.D.R. 2014. Pemanfaatan Kotoran Sapi untuk Material Konstruksi dalam Upaya Pemecahan Masalah Sosial serta Peningkatan Taraf Ekonomi Masyarakat. *Jurnal Sosioteknologi. 13 (2)*, 101-109.
- Nurmayanti, Y. 2014. Ekstrak Humat Kotoran Sapi untuk Adsorpsi Kompetitif ion Logam Pb(II) dan Ni(II) dalam Larutan. *Tesis*, tidak dipublikasikan. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Pearson, R.G. 1986. Hard and Soft Acids and Bases, HSAB, Part II: Underlying Theories. *J. Chem. Educ. 45 (10)*, 643.
- Rahmawati, A., dan Santosa, S.J. 2012. Studi Adsorpsi Logam Pb(II) dan Cd(II) pada Asam Humat dalam Medium Air. *Alchemy. 2 (1)*, 46-67.
- Rahmayanti, M., Yunita, E., Prandini, M.N. 2019. Isolasi Asam Humat dari Tanah Gambut Sumatera dan Kalimantan dan Analisis Kandungan Gugus Fungsionalnya. *Integrated Lab Journal. 7 (2)*, 133-139.
- Ratriyanto, A., Widyawati, S.D., Suprayogi, W.P.S., Prastowo, S., & Widayas, N. 2019. Pembuatan Pupuk Organik dari Kotoran Ternak untuk Meningkatkan Produksi Pertanian. *Jurnal SEMAR. 8 (1)*, 9-13.
- Samat, dan Lesbani, A. 2012. Studi Interaksi Seng (II) pada Asam Humat Muara Kuang serta Aplikasinya terhadap Limbah Industri Pelapisan Seng. *JPS. 15 (1)*, 22-25.
- Senesi, N. dan Adriano, D.C. 1992. *Biogeochemistry of Trace Metals*. Boca Raton: Lewis Publishers.
- Sheng, G., Yang, S., Sheng, J., Zhao, D., dan Wang, X. 2011. Influence of Solution Chemistry on the Removal of Ni (II) from Aqueous Solution to Titanate Nanotubes. *Chem. Eng. J., 168*, 178-182.
- Sihotang, B. 2010. *Kandungan Senyawa Kimia Pada Pupuk Kandang Berdasarkan Jenis Binatangnya*. Diakses tanggal 15 April 2018 dari [r.yuwie.com /blog/entry](http://r.yuwie.com/blog/entry).
- Stevenson, F.J. 1994. *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*, Second Edition. New York: John Wiley dan Sons Inc.
- Suyanta, Sudiono, S., dan Santosa, S.J. 2004. Determination of Rate Constant and Stability of Adsorption in Competitive Adsorption of Cr (III) and Cd (II) on Humic Acid by Using the New Model of Kinetic Formulation. *Indo. J. Chem., 4 (3)*, 161-167.
- Swift, R.S. 1989. *Molecular Weight, Size, Shape, and Charge Characteristics of Humic Substance: Some Basic Considerations*. Chichester: John wiley and Sons.
- Triyono. 2013. *Keseimbangan Kimia*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Wang, S., Hu, J., Li, J., dan Dong, Y. 2009. Influence of pH, Soil Humic/Fulvic Acid, Ionic Strength, Foreign Ions and Addition Sequences on Adsorption of Pb(II) onto GMZ Bentonite. *J. Hazard. Mater. 167*, 44-51.
- Yuliyati, Y.B., & Natanael, C.L. 2016. Isolasi Karakterisasi T Asam Humat dan Penentuan Daya Serapnya terhadap Ion Logam Pb (II), Cu (II), dan Fe (II). *Al-Kimia. 4 (1)*, 43-53.