

KINETIKA REAKSI PROSES ADSORPSI Cs-137 DALAM ASAM HUMAT DAN SENYAWA HUMAT

Dwi Biyantoro, Sukirno dan Kris Tri Basuki

P3TM – BATAN

ABSTRAK

KINETIKA REAKSI PROSES ADSORPSI Cs-137 DALAM ASAM HUMAT DAN SENYAWA HUMAT. Telah dipelajari kinetika reaksi proses adsorpsi Cs-137 dalam asam humat dan senyawa humat. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data kondisi optimum penyerapan Cs-137 dan kecepatan reaksi proses adsorpsi Cs-137 dalam asam humat dan senyawa humat. Penelitian ini dikerjakan memakai tipe reaktor batch dan kondisi isothermal pada suhu kamar. Proses penyerapan dilakukan dengan cara memasukkan adsorben asam humat dan senyawa humat ke dalam tiap-tiap 100 ml larutan Cs-137 = 0,318 $\mu\text{Ci/ml}$ disertai dengan pengadukan. Untuk mengetahui Cs-137 yang terserap dalam adsorben dikerjakan dengan cara melakukan analisis filtrat menggunakan spektrometer gamma. Parameter yang dipelajari yaitu pengaruh penambahan berat ke dalam larutan Cs-137, waktu penyerapan, dan pH larutan. Dari hasil percobaan ditunjukkan bahwa kondisi optimum diperoleh Cs-137 yang terserap dalam asam humat = 0,121 $\mu\text{Ci/ml}$ dan dalam senyawa humat = 0,089 $\mu\text{Ci/ml}$, pada penambahan berat adsorben = 1000 mg, waktu penyerapan = 20 menit, dan pH = 5,5. Evaluasi data hasil kinetika proses adsorpsi Cs-137 dilakukan memakai pendekatan model “Langmuir-Hinshelwood”, diperoleh persamaan garis lurus : asam humat : $y = -0,4196 x + 10,647$ dan senyawa humat : $y = -0,3450 x + 11,040$.

ABSTRACT

THE REACTION KINETICS OF SORPTION OF Cs-137 IN THE HUMIC ACID AND HUMIC SUBSTANCES. A kinetics reaction study on the sorption process of Cs-137 on the humic acid and humic substances have been done. The study of sorption optimum condition of Cs-137 and sorption process of reaction rate of Cs-137 of humic acid and humic substances have been carried out. A kinetics experiment was carried out isothermally at the room temperature using a batch-type reactor. The sorption process was done by added humic acid and humic substances adsorbent into 100 ml solution of activity of Cs-137 = 0,318 $\mu\text{Ci/ml}$ followed by agitation. To find activity of Cs-137 on the sorption in the adsorbent to be done analysis of filtrate by using gamma spectrometer. The parameters studied were the influence of weight adsorbent added in the Cs-137 solution, time of adsorption, and pH of Cs-137 solution. The results of experiment showed that the optimum condition received sorption in humic acid = 0,121 $\mu\text{Ci/ml}$ and humic substance = 0,089 $\mu\text{Ci/ml}$, with added adsorbent = 1000 mg, the time of adsorption of Cs-137 = 20 minutes, and pH = 5.5. The “Langmuir-Hinshelwood” (LH) kinetics model approach was used to describe the kinetics were received regression linear equation : humic acid: $y = -0.4196 x + 10.647$ and humic substances: $y = -0.3450 x + 11.040$.

PENDAHULUAN

Dengan semakin pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, termasuk meningkatnya penggunaan tenaga nuklir di Indonesia, maka pengawasan terhadap kemungkinan pencemaran lingkungan oleh radionuklida perlu dilakukan secara terus menerus. Salah satu cara pengawasan lingkungan yang dapat dirasakan manfaatnya guna menilai atau mengevaluasi secara dini pencemaran lingkungan oleh radionuklida akibat suatu

kegiatan instalasi nuklir adalah melalui pemantauan secara terus menerus.

Radionuklida cesium-137 (Cs-137) merupakan salah satu hasil pembelahan inti dari uranium yang sangat menarik perhatian, karena mempunyai waktu paruh fisik (“*physical half-life*”) cukup panjang yaitu 30 tahun dan akibat radiasi pengion pada makhluk hidup khususnya manusia menyebabkan gangguan pada fungsi sel-sel tubuh⁽¹⁾. Masuknya radionuklida Cs-137 ke lingkungan, kemungkinan dapat mencemari

lingkungan tanah dan air dalam jumlah yang cukup tinggi.

Mengingat bahaya yang timbul akibat pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh cesium-137 maka diperlukan penanganan agar limbah cesium yang timbul dapat dicegah tidak mencemari lingkungan dengan cara diserap dan dikungkung agar tidak keluar. Salah satu cara untuk mengatasi persoalan tersebut maka diperlukan penyerapan menggunakan suatu adsorben. Ada beberapa adsorben yang dapat dipakai untuk menyerap Cs-137 diantaranya yaitu asam humat dan senyawa humat.

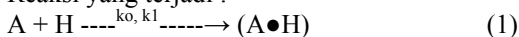
Asam humat merupakan senyawa alam yang penting di alam, bahan ini tersebar luas di dalam tanah sedimen, air sungai, laut, dan danau, serta air dalam maupun air permukaan. Senyawa ini merupakan hasil proses dekomposisi akhir sisa tanaman dengan bantuan mikroba⁽²⁾. Untuk mengetahui bagaimana peranan mekanisme kinetika reaksi proses adsorpsi asam humat dan senyawa humat tersebut, khususnya dengan polutan anorganik seperti logam cesium-137 sangat menarik untuk dipelajari. Dengan dikuasainya pengetahuan tentang kinetika reaksi tersebut akan banyak memberikan informasi penting seperti fenomena transport, transformasi, interaksi dan akumulasi polutan tersebut di alam lingkungan^(3,4). Informasi ini sangat penting bagi pengambil keputusan terhadap kemungkinan terjadinya kontaminasi ataupun kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh polutan tersebut dapat dicegah sedini mungkin. Sehingga kebijakan penguasa dalam penyelamatan atau remediasi alam lingkungan dapat dilakukan dengan tepat, tanpa menimbulkan dampak negatif lain bagi kehidupan manusia.

Untuk mencapai tujuan diatas, pada penelitian ini akan dipelajari kinetika proses adsorpsi Cs-137. Data eksperimen proses adsorpsi yang diperoleh akan dievaluasi dengan model kinetik nonlinier “Langmuir-Hinshelwood”. Model ini dipilih karena keunggulannya dalam menerangkan proses adsorpsi logam ke dalam asam humat dan senyawa humat (LH)⁽⁴⁾.

TEORI

Untuk mengetahui bagaimana asam humat dan senyawa humat mengadsorpsi cesium-137 dapat diterangkan dengan pendekatan model kinetika non linier “Langmuir-Hinshelwood”⁽⁴⁾. Model kinetik LH⁽⁵⁾.

Reaksi yang terjadi :



Model kinetik LH dapat dinyatakan :

$$-r_A = -\partial C_A / \partial t = k_1 C_A / (1 + k_0 C_A) \quad (2)$$

dengan :

- k_0 = konstanta kecepatan reaksi orde nol, M^{-1}
- k_1 = konstanta kecepatan reaksi orde satu, min^{-1}
- r_A = k_1 / k_0 = kecepatan reaksi, $\text{min}^{-1}M$
- C_A = konsentrasi ion Cs-137 dalam larutan
- A = logam Cs-137
- H = Asam humat atau senyawa humat
- t = waktu, min

Dari persamaan (2) diperoleh :

$$-(1 + k_0 C_A) \partial C_A = k_1 C_A \partial t \quad (3)$$

atau

$$(1 + k_0 C_A) \partial C_A / C_A = -k_1 \partial t \quad (4)$$

atau

$$\partial C_A / C_A + k_0 \partial C_A = -k_1 \partial t \quad (5)$$

persamaan (5) diintegrasikan diperoleh :

$$\ln C_A + k_0 C_A = -k_1 t + Y \quad (6)$$

dengan :

Y = konstanta integrasi

substitusi boundary condition (BC) : $C_A = C_0$ pada saat $t = 0$ diperoleh

$$Y = \ln C_0 + k_0 C_0 \quad (7)$$

substitusi Y ke dalam persamaan (6) diperoleh :

$$\ln C_A + k_0 C_A = -k_1 t + \ln C_0 + k_0 C_0 \quad (8)$$

$$\ln (C_A / C_0) + k_0 (C_A - C_0) = -k_1 t \quad (9)$$

atau

$$\ln (C_0 / C_A) + k_0 (C_0 - C_A) = k_1 t \quad (10)$$

penjabaran persamaan (9) lebih lanjut diperoleh :

$$\frac{\ln(C_0 / C_A)}{(C_0 - C_A)} + k_0 = k_1 t / (C_0 - C_A) \quad (11)$$

Bila dibuat kurva hubungan antara $\ln(C_0/C_A)/(C_0-C_A)$ versus $t/(C_0-C_A)$, akan didapat persamaan garis lurus dengan k_1 sebagai slope dan k_0 sebagai intercept dan kecepatan reaksi dapat dihitung.

Manfaat utama dari penelitian ini adalah memberikan informasi yang berguna dalam pemakaian asam humat dan senyawa humat dalam bidang teknologi nuklir khususnya masalah limbah Cs-137 sebagai pencemar lingkungan.

TATA KERJA

Bahan

Asam humat, Bahan tanah gambut asal Kalimantan Tengah, Natrium hidroksida, Asam klorida, Asam nitrat, Larutan Cs-137 = 0,318 $\mu\text{Ci/ml}$, Cs Nitrat = 50 ppm pengemban, Aquabidest, Kertas saring nomor 2

Alat

- Tabung reaktor gelas, Peralatan gelas (gelas ukur, erlenmeyer, labu ukur, corong pisah, vial,

pipet), pH meter, Seperangkat spektrometri γ , freeze drying, centrifuge, magnetic stirrer, neraca analitik, almari asam

Tata kerja

Pembuatan senyawa humat, Proses adsorpsi Cs-137 dalam senyawa humat.

Pembuatan senyawa humat

Cuplikan tanah gambut dibersihkan dari pengotor yang tampak, dicuci dengan HCl encer 1M, dan disaring untuk memisahkan pasir dari tanah gambutnya. Senyawa humat mudah terlarut dalam basa namun terendapkan dalam kondisi asam. Senyawa humat diisolasi dengan metode basa menggunakan NaOH 0,1 M menurut metode Schnitzer. Sejumlah cuplikan didijesti dan diaduk dengan larutan NaOH 0,1 M dengan perbandingan volume 1 : 5, dengan waktu 24 jam. Esok harinya supernatan dipisahkan dari residu tanah dengan disentrifugasi pada kecepatan 10.000 rpm selama 15 menit. Supernatan dikumpulkan dan dibersihkan lagi dengan cara sentrifugasi pada kecepatan 10.000 rpm selama 15 menit. Supernatan yang merupakan campuran dari asam humat dan asam fulvik dipisahkan dari endapan dengan HCl hingga pH 1,5-2. Endapan dan filtrat kemudian dimasukkan dalam freeze drying⁽⁶⁾.

Proses adsorpsi

A. Parameter berat adsorben senyawa humat

- Larutan Cs-137 pH = 6 dengan volume masing-masing =100 ml, kemudian ditambah dengan adsorben : asam humat dan senyawa humat hasil olah tanah gambut. Larutan yang sudah ditambah adsorben kemudian diaduk. Asam humat dan senyawa humat yang ditambahkan divariasi beratnya : 50 mg; 100; 250; 500; 750; 1000; 1250; 1500 mg selama waktu masing-masing = 20 menit.
- Filtrat dipisahkan dari endapan dengan disaring. Filtrat yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan spektrometer gamma dengan detektor NaI (TI). Pengukuran aktivitas Cs-137 dilakukan 3 kali pencacahan kemudian dihitung rata-rata.
- Dari perhitungan data hasil percobaan diperoleh kondisi penambahan berat adsorben yang optimum.

B. Parameter waktu pengadukan

- Larutan Cs-137 pH = 6 dengan volume masing-masing =100 ml, kemudian ditambah dengan senyawa humat pada berat yang optimum pada percobaan 1 disertai pengadukan. Senyawa humat yang ditambahkan masing-masing divariasi waktu pengadukan : 2,5 menit; 5; 7,5; 10; 12,5; 15; 20; dan 25 menit.
- Filtrat dipisahkan dari endapan dengan disaring. Filtrat yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan spektrometer gamma.
- Dari perhitungan data hasil percobaan diperoleh kondisi penambahan waktu pengadukan yang optimum.

C. Pengaruh pH larutan Cesium -137

- Larutan Cs-137 dengan volume masing-masing =100 ml, kemudian ditambah dengan asam humat dan senyawa humat pada berat yang optimum. Larutan yang sudah ditambah adsorben kemudian diaduk selama waktu yang optimum sampai tercapai keadaan seimbang. Larutan Cs-137 masing-masing divariasi pada berbagai pH (3,5;4; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5; 7; dan 7,5). Filtrat dipisahkan dari endapan dengan disaring. Filtrat yang diperoleh kemudian dianalisis.
- Dari perhitungan data hasil percobaan diperoleh kondisi optimum penambahan berat adsorben, waktu pengadukan dan pH.

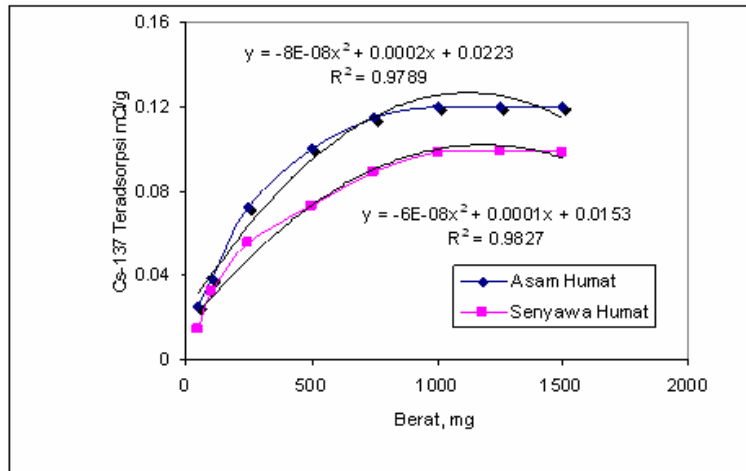
- D. Dari data hasil percobaan kemudian dilanjutkan untuk menghitung kinetika proses adsorpsi Cs-137. Data eksperimen proses adsorpsi dievaluasi dengan model "Langmuir-Hinshelwood". Model ini dipilih karena keunggulannya dalam menerangkan proses adsorpsi logam (Cs-137) ke dalam asam humat dan senyawa humat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengaruh penambahan berat asam humat dan senyawa humat.

(Aktivitas awal larutan = 0,138 μ Ci/ml ; pH =6 ; waktu pengadukan = 20 menit)

Percobaan dengan pengaruh berat dijalankan dengan memvariasikan berat asam humat dan senyawa humat ke dalam larutan Cs-137, tetapi peubah lainnya dibuat tetap. Gambar 1 menunjukkan hasil-hasil penelitian dengan pengaruh variasi berat pada proses adsorpsi.



Gambar 1. Hubungan antara berat adsorben dengan Cs-137 yang teradsorpsi

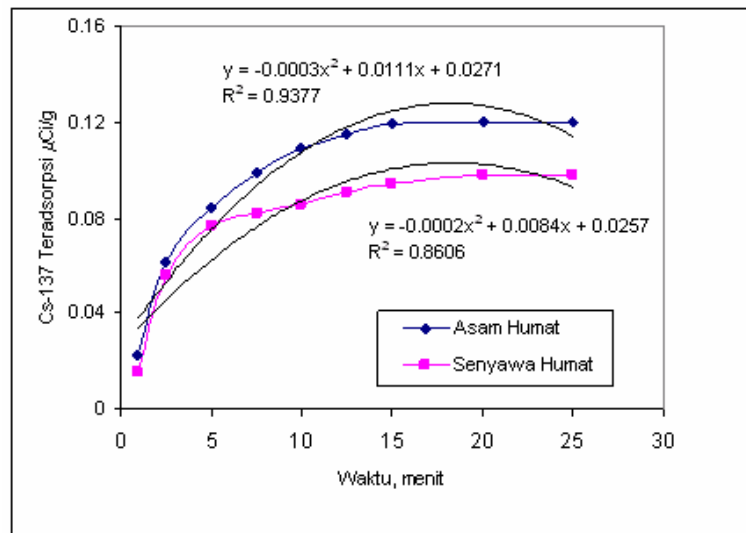
Dari Gambar 1 di atas dapat ditunjukkan bahwa hasil penyerapan Cs-137 ke dalam senyawa humat relatif baik pada penambahan 1000 mg. Pengaruh penambahan berat senyawa humat berdampak pada penyerapan Cs-137. Semakin banyak asam humat atau senyawa humat yang ditambahkan ke dalam larutan ditunjukkan bahwa terjadi kecenderungan peningkatan penyerapan Cs-137. Penyerapan akan optimal pada penambahan berat asam humat dan senyawa humat sampai 1000 mg. Penambahan senyawa humat di atas 1000 mg atau 1 gram sudah tidak optimal lagi karena cenderung penyerapan sudah stabil. Hal ini disebabkan karena keadaan seimbang sudah tercapai, sudah tidak terjadi perpindahan massa lagi. Dari data yang diperoleh dan Gambar 1

ditunjukkan bahwa senyawa humat hasil olah tanah gambut mempunyai profil yang mirip dengan asam humat dan mampu sebagai penyerap Cs-137 walaupun daya serapnya masih dibawah asam humat.

B. Pengaruh waktu pengadukan

(Aktivitas awal larutan = 0,138 0,318 $\mu\text{Ci/ml}$; pH =6 ; berat asam humat = berat senyawa humat = 1000 mg)

Percobaan dengan pengaruh waktu pengadukan dijalankan dengan memvariasikan waktu : 2,5 menit; 5; 7,5; 10; 12,5; 15; 20; dan 25 menit, tetapi peubah lainnya dibuat tetap. Gambar 2 menunjukkan hasil penelitian dengan pengaruh variasi waktu pada proses adsorpsi.



Gambar 2. Hubungan antara waktu pengadukan dengan Cs-137 yang teradsorpsi

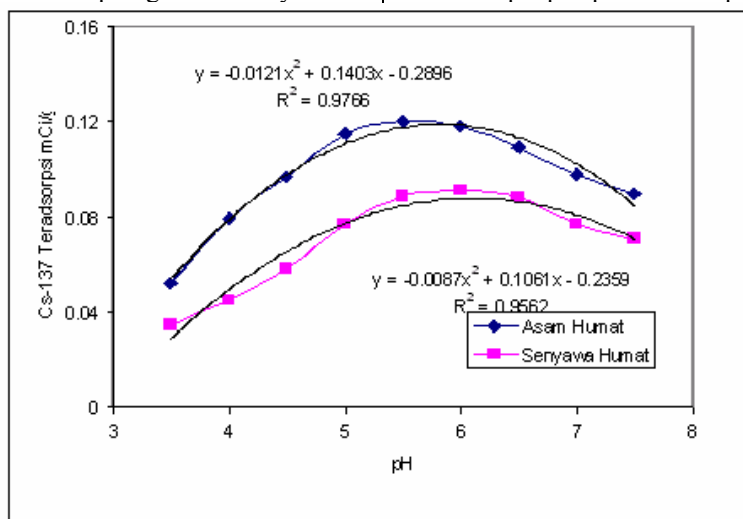
Dari data yang disajikan seperti pada Gambar 2 di atas ditunjukkan bahwa hasil relatif baik pada waktu pengadukan/penyerapan 20 menit, hal ini ditunjukkan bahwa nilai penyerapan Cs-137 baik ke dalam asam humat maupun senyawa humat sudah optimal. Selama pengadukan dibawah waktu 20 menit hasil penyerapan belum optimal, sebaliknya di atas waktu pengadukan ini relatif sudah stabil. Tampak bahwa waktu pengadukan sudah diperoleh keadaan yang seimbang, dimana sudah tidak terjadi lagi perpindahan massa, massa Cs-137 sudah seimbang, Cs-137 yang berada dalam cairan sudah tidak diserap lagi oleh senyawa

humat. Aktivitas Cs-137 yang teradsorpsi relatif sudah konstan.

C. Pengaruh pH larutan

(Aktivitas awal larutan = 0,138 $\mu\text{Ci/ml}$; berat asam humat = berat senyawa humat = 1000 mg ; waktu pengadukan = 20 menit)

Percobaan dengan pengaruh pH larutan dijalankan dengan variasi pada berbagai pH : 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5; 7; dan 7,5, tetapi peubah lainnya dibuat tetap. Gambar 3 menunjukkan hasil penelitian dengan pengaruh variasi pH pada proses adsorpsi.



Gambar 3. Hubungan antara pH dengan Cs-137 yang teradsorpsi

Dari Gambar 3 di atas ditunjukkan dengan naiknya pH larutan maka kemampuan daya adsorpsi asam humat dan senyawa humat meningkat sampai pH 5,5 dan sesudah itu cenderung menurun pada pH yang lebih besar. Diatas pH 6 atau daerah menuju ke basa kemampuan atau daya serapnya menurun hal ini disebabkan karena pada kondisi pH basa asam humat dan senyawa humat akan terlarut atau terurai menjadi senyawa lain. Semakin tinggi nilai pH maka senyawa humat akan mudah terlarut dalam kondisi basa, sehingga kapasitas adsorpsi akan menurun. Pada keadaan ini (pH = 5,5) kemampuan asam humat maupun senyawa humat dalam menyerap Cs-137 relatif sudah optimal.

Dari hasil percobaan tersebut di atas tampak bahwa asam humat dan senyawa humat mempunyai kemampuan untuk mengikat (mengkelat) species polutan Cs-137, hal ini karena asam humat dan senyawa humat secara

kimia berupa makromolekul yang sangat besar berdimensi tiga, terdiri dari banyak gugus fungsional seperti karboksil dan hidroksi phenolik.

D. Kecepatan reaksi adsorpsi

Pada proses adsorpsi terjadi pengambilan komponen Cs dari cairan dengan penjerapan oleh padatan adsorben asam humat dan senyawa humat. Langkah-langkah yang terjadi pada proses adsorpsi menggunakan adsorben padatan adalah perpindahan zat cair Cs kepermukaan luar adsorben selanjutnya perpindahan massa Cs dari permukaan padatan ke bagian dalam padatan melewati dinding pori. Oleh karena itu, dalam adsorpsi terjadi proses perpindahan massa dan penjerapan di permukaan. Percobaan kinetika "Langmuir-Hinshelwood" (LH) dikerjakan dengan cara melakukan pengambilan cuplikan berurutan terhadap sistem asam humat dan senyawa humat, menghasilkan data

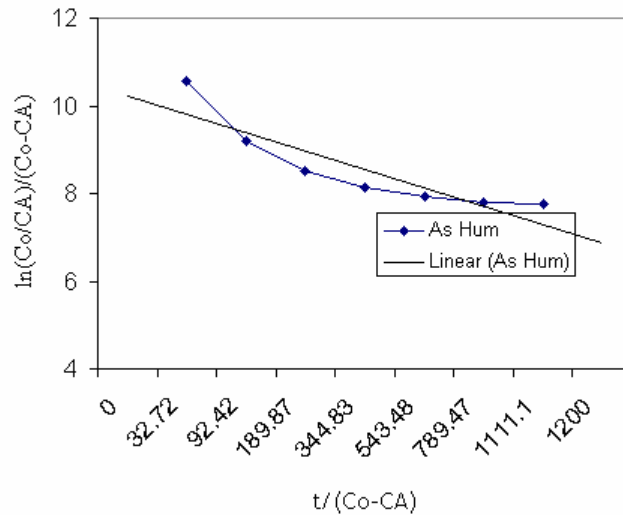
konsentrasi/aktivitas Cs-137 pada waktu tertentu. Dengan mensubstitusikan data-data percobaan kedalam persamaan (11) maka diperoleh kurva nilai $t/(Co - CA)$ versus $\ln(Co/CA)/(Co - CA)$.

Jika grafik dapat didekati dengan garis lurus dengan metoda kuadrat terkecil ("regresi linier")

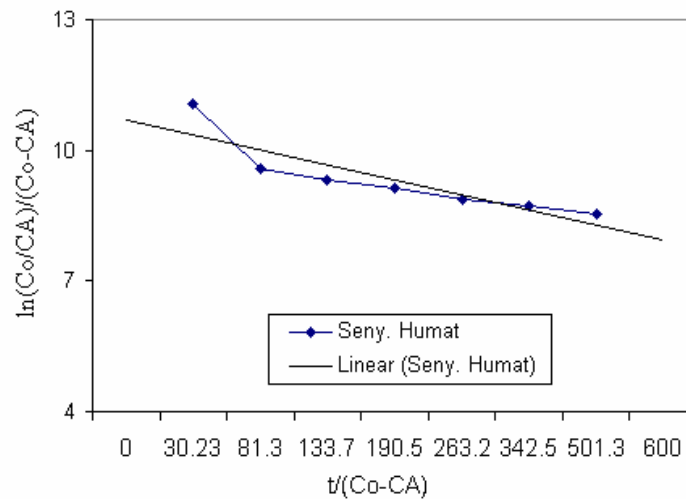
maka nilai k_1 dan k_0 dapat dicari. Dengan regresi linier diperoleh persamaan :

$$y = k_1 (x) + k_0$$

Selanjutnya bila $t/(Co - CA)$ versus $\ln(Co/CA)/(Co - CA)$ digambarkan, maka dapat didekati dengan garis lurus seperti tampak pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Hubungan $t/(Co - CA)$ dengan $\ln(Co/CA)/(Co - CA)$



Gambar 5. Hubungan $t/(Co - CA)$ dengan $\ln(Co/CA)/(Co - CA)$

Dari hasil penelitian didapatkan nilai koefisien kecepatan reaksi orde nol (k_0), koefisien kecepatan reaksi orde satu (k_1), yaitu sebagai intercept dan slop dan kecepatan reaksi ($rA = k_1 / k_0$). Hasil selengkapnya untuk nilai (k_0), (k_1) dan rA pada reaksi asam humat dan

senyawa humat dengan Cs-137 dapat dilihat dalam Tabel 1.

Dari Gambar 4 didapat persamaan garis lurus :

$$\text{asam humat} : y = -0,4196 x + 10,647 \quad (12)$$

$$\text{senyawa humat} : y = -0,3450 x + 11,040 \quad (13)$$

Tabel 1. Koefisien reaksi dan kecepatan reaksi pada adsorpsi asam humat dan Senyawa humat

Adsorben	Koefisien reaksi orde nol, (μCi) ⁻¹	Koefisien reaksi orde satu, menit ⁻¹	Kecepatan reaksi, (k_1/k_0), $\mu\text{Ci}/\text{menit}$
Asam humat	10,647	0,4196	$3,941 \cdot 10^{-2}$
Senyawa humat	11,040	0,3450	$3,125 \cdot 10^{-3}$

Sesuai dengan model kinetika “*Langmuir-Hinshelwood*”, reaksi mula-mula mengikuti orde nol, setelah konsentrasi tertentu mengikuti orde satu. Reaksi orde nol berarti bahwa kecepatan reaksi tidak tergantung kepada konsentrasi asam humat dan senyawa humat maupun konsentrasi cesium-137, sedangkan orde satu berarti kecepatan reaksi bergantung kepada salah satu reaktan. Mula-mula adsorpsi berjalan cepat. Setelah adsorpsi mencapai kejenuhan, adsorpsi terjadi melalui gaya tarik fisis elektrostatis, sehingga reaksi berubah lebih lambat mengikuti orde satu.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian kinetika adsorpsi Cs-137 aktivitas awal = 0,138 $\mu\text{Ci}/\text{ml}$ dengan adsorben asam humat dan senyawa humat diperoleh kondisi optimum yaitu pada pemakaian berat = 1000 mg, waktu adsorpsi = 20 menit, dan pH = 5,5. Pada kondisi ini asam humat dapat menyerap Cs-137 = 0,121 $\mu\text{Ci}/\text{ml}$ dan senyawa humat hasil olah tanah gambut dapat menyerap Cs-137 = 0,089 $\mu\text{Ci}/\text{ml}$.

Kapasitas adsorpsi radio nuklida Cs-137 ke dalam asam humat lebih besar daripada senyawa humat.

Penelitian sesuai dengan model kinetika *Langmuir-Hinshelwood* didapat persamaan asam humat : $y = -0,4196 x + 10,647$ dan senyawa humat : $y = -0,345 x + 11,040$ dengan nilai $k_1 = 0,4196 \text{ menit}^{-1}$ untuk asam humat dan $k_1 = 0,3450 \text{ menit}^{-1}$ untuk senyawa humat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Sdr. Purwoto dan Atok Suhartanto yang telah membantu melakukan penelitian ini hingga selesai.

DAFTAR PUSTAKA

1. MARKHAN, “Efek Biologi Pengion”, Pengantar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi

Nuklir, Bab XVII, hal. 443, BATAN., Jakarta. (1978)

2. ANONIM, “Science of Soil”, Soil humic substances, home pge, <http://www.hintzone.com/sos/index.html>, September(1977).
3. SHONOOR, J. L., “Environmental Modelling”, Fate and Transport of Pollutants in Water, Air, and Soil., pp. 414-423., John Wiley & Sons. Inc., New York (1996).
4. JIN, X., et al., “Kinetics of Single and Multiple Metal Ion Sorption Processes on Humic Substances”, Soil Science, Vol. 161 No. 8., pp. 509-520 (1996).
5. LIVENSPIEL, O, “Chemical Reaction Engineering”, second edition, pp 64-68, Departement of Chemical Engineering Oregon State University, John Wiley & Sons, New York (1972).
6. TAN, K.H., *Principles of Soil Chemistry*, second edition, Marcel Dekker Inc., New York, (1992).

TANYA JAWAB

Ir. Pujadi

- Apa manfaat penelitian Bapak, terutama untuk memajukan nuklir?

Dwi Biyantoro

- Manfaat penelitian ini adalah memberikan informasi yang berguna dalam pemakaian asam humat dan senyawa humat dalam bidang teknologi nuklir khususnya masalah limbah Cs-137 sebagai pencemar lingkungan.

Budi Sulisty

- Kinetika reaksi yang terjadi pada proses adsorpsi Cs-137 dalam senyawa humat mengikuti reaksi orde berapa?

Dwi Biyantoro

- Sesuai dengan model kinetika “*Langmuir-Hinshelwood*”, reaksi mula-mula mengikuti reaksi orde nol, setelah konsentrasi tertentu mengikuti reaksi orde satu.