

DISTRIBUSI Sr-90 PADA ADSORPSI KESETIMBANGAN DALAM TANAH SEMENANJUNG MURIA

Herry Poernomo, Rahardjo dan Tri Suyatno

P3TM – BATAN

ABSTRAK

DISTRIBUSI SR-90 PADA ADSORPSI KESETIMBANGAN DALAM TANAH SEMENANJUNG MURIA. Hasil pengeboran tanah pada beberapa titik bor yang telah dilakukan oleh Newjiec-Jepang pada tahun 1994 untuk kepentingan studi kelayakan PLTN di Semenanjung Muria tidak dilengkapi dengan data karakteristik adsorpsi radionuklida. Dengan demikian perlu dilakukan penelitian mengenai distribusi ^{90}Sr pada adsorpsi kesetimbangan dalam sampel tanah sebagai calon lokasi penyimpanan limbah radioaktif. Tujuan penelitian ini adalah penentuan koefisien distribusi ^{90}Sr pada adsorpsi kesetimbangan isothermal dalam sampel tanah dari Semenanjung Muria pada kedalaman 25 - 30 m. Percobaan dilakukan dalam kolom yang terisi sampel tanah pada kondisi jenuh air yang dialiri larutan $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ 0,1 N bertanda ^{90}Sr dengan aktivitas $C_o = 807,4 \text{ Bq/cm}^3$. Konsentrasi ^{90}Sr dalam setiap volum 1 cm^3 efluen (C) dianalisis dengan alat cacah beta Ortec, kemudian dibuat kurva kesetimbangan konsentrasi ^{90}Sr dalam padatan (S) melawan C dalam skala logaritma. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah Semenanjung Muria memberikan koefisien distribusi (K_d) ^{90}Sr model adsorpsi kesetimbangan isothermal linier dengan K_d daerah Lemah Abang = $1223,48 \text{ cm}^3/\text{g} - 2385,06 \text{ cm}^3/\text{g}$ dan K_d daerah Genggengan = $882,47 \text{ cm}^3/\text{g} - 4433,02 \text{ cm}^3/\text{g}$.

ABSTRACT

DISTRIBUTION OF SR-90 ON THE ISOTHERMAL STEADY ADSORPTION IN THE SOILS OF MURIA PENINSULA. Drilling result of soil on the drill points has been done by Newjiec-Japan in 1994 to necessary feasibility study of the nuclear power plant (NPP) in the Muria Peninsula completeness by data of radionuclide adsorption characteristic. There by impotantance were carried out experience of the distribution of ^{90}Sr on the steady adsorption in the soil samples as location candidate of radioactive waste repository. The objective of this experiment is determination of the distribution coefficient of ^{90}Sr on the isothermal steady adsorption in the soils from Muria Peninsula by depth of 25 - 30 m has been done. The experiment were carried out in the column which was filled by soil sample on the water saturated condition were flown by 0.1 N Strontium nitrate solution labelled of ^{90}Sr by the activity $C_o = 807.4 \text{ Bq/cm}^3$. The concentration of ^{90}Sr in the effluent volume (C) of 1 cm^3 was analyzed by Ortec beta counter, then was made curve of the concentration of ^{90}Sr in the solid (S) versus C in the logarithmic scale. The experiment result showed that soils of Muria Peninsula area gave the distribution coefficient of ^{90}Sr on the isothermal steady adsorption of linear model by K_d of Lemah Abang area of $1223.48 \text{ cm}^3/\text{g} - 2385.06 \text{ cm}^3/\text{g}$ and K_d of Genggengan area of $882.47 \text{ cm}^3/\text{g} - 4433.02 \text{ cm}^3/\text{g}$.

Key words : distribution coefficient, isothermal steady adsorption, stontium, soil

PENDAHULUAN

Salah satu parameter penting untuk menentukan lokasi penyimpanan limbah radioaktif adalah dengan mengetahui karakteristik adsorpsi radionuklida dalam tanah sebagai penghalang alami. Data karakteristik adsorpsi radionuklida tersebut dapat digunakan sebagai salah satu bahan pertimbangan untuk pemilihan lokasi penyimpanan limbah radioaktif yang memenuhi kriteria keselamatan.

Hasil penelitian tentang kajian terhadap aspek lithomorfologi tanah dan evaluasi geologi lingkungan di Semenanjung Muria Jepara menyebutkan bahwa daerah Lemah Abang dan Genggengan merupakan daerah yang layak sebagai calon lokasi penyimpanan limbah radioaktif dibandingkan dengan daerah Ujung Watu.^(1, 2)

Tanah hasil pengeboran dari studi kelayakan yang telah dilakukan oleh Newjiec-Jepang⁽³⁾

tidak disertai dengan data karakteristik adsorpsi radionuklida dalam tanah, yang mana data ini sangat diperlukan sebagai salah satu bahan pertimbangan teknis untuk pemilihan lokasi penyimpanan limbah radioaktif yang memenuhi kriteria keselamatan terhadap lingkungan. Demikian juga hasil kajian terhadap aspek lithomorfologi tanah dan evaluasi geologi lingkungan di Semenanjung Muria Jepara yang telah merekomendasikan bahwa daerah Lemah Abang dan Gengrengan merupakan daerah yang layak sebagai calon lokasi penyimpanan limbah radioaktif pasti tidak disertai dengan data karakteristik adsorpsi radionuklida dalam tanah.

Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dilakukan pengembangan penelitian terhadap hasil studi kelayakan yang telah dilakukan oleh Newjec maupun hasil penelitian tentang kajian terhadap aspek lithomorfologi tanah dan evaluasi geologi lingkungan di Semenanjung Muria Jepara dengan maksud untuk melengkapi data dari aspek distribusi radionuklida dalam tanah yang diharapkan dapat digunakan sebagai salah satu bahan pertimbangan untuk pemilihan lokasi penyimpanan limbah radioaktif sistem tanah dangkal yang memenuhi kriteria keselamatan terhadap lingkungan.

Kemampuan tanah yang berfungsi sebagai adsorben dan berfungsi sebagai media padat berpori yang dapat menuruskan atau menghambat aliran air tanah dan menghambat migrasi radionuklida biasanya dinyatakan dengan faktor retardasi (R) yang merepresentasikan karakteristik fisis seperti densitas (ρ_b) dan porositas tanah (ϵ) serta merepresentasikan karakteristik sorpsi seperti koefisien distribusi (K_d).^(5, 8, 9) Faktor retardasi merupakan salah satu parameter penting yang digunakan sebagai indikator kimia dan fisika dari media padat berpori sebagai *natural barrier* atau *engineered barrier* pada sistem penyimpanan limbah radioaktif.^(8, 9) Interaksi antara nuklida dan adsorben yang disebabkan oleh mekanisme fisis dan kimia yang saling berhubungan biasanya secara empiris dinyatakan dengan koefisien distribusi, yaitu suatu tetapan yang menyatakan perbandingan antara banyaknya spesies kimia yang dijerap (diadsorpsi) dalam padatan dan konsentrasi spesies kimia dalam larutan yang berkontak dengan padatan.^(7, 9)

Pengembangan penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui distribusi ^{90}Sr pada adsorpsi kesetimbangan isothermal menurut model adsorpsi linier dalam sistem kesetimbangan tanah-air dengan menggunakan tanah dari hasil pengeboran yang dilakukan oleh Newjec. Hal ini perlu dilakukan untuk mengetahui kisaran nilai faktor retardasi pada tanah tersebut dengan membandingkan dengan hasil penelitian lain yang mempunyai nilai faktor retardasi untuk nuklida yang mudah terlindi pada *vault* sebagai penghalang alami (*natural barrier*) pada penyimpanan limbah radioaktif yang telah dilakukan oleh peneliti di *Atomic Energy Canada Limited (AECL)*.⁽⁸⁾

Penelitian dilakukan dengan proses unggun diam (*fixed bed*) secara aliran sinambung dalam kolom terisi sampel tanah yang diambil dari daerah Lemah Abang pada lokasi titik bor D7, D13, D44, D58, D60, D67, D75 dan daerah Gengrengan pada lokasi titik bor G3, G5, G8, G9, G13, G14, G15 dengan kedalaman 25 - 30 m.

Titik-titik bor tersebut dipilih berdasarkan hasil pengeboran pada area tertentu yang dilakukan oleh Newjec pada saat dilakukan studi kelayakan PLTN di semenanjung Muria, Jepara.⁽³⁾ Sedangkan pengambilan sampel tanah pada kedalaman 25 s.d. 30 m dimaksudkan untuk mengevaluasi karakteristik tanah sebagai penghalang alami (*natural barrier*) yang berada di bawah repositori. Repositori untuk penyimpanan limbah tanah dangkal (PLTD) dirancang dengan tinggi ± 20 m.⁽⁴⁾

TATA KERJA

Bahan Penelitian : sampel tanah, akuades, larutan $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ 0,1 N, larutan limbah cair bertanda Sr-90 dengan aktivitas awal $C_0 = 807,4 \text{ Bq/cm}^3$.

Alat Penelitian : rangkaian alat penelitian dari kolom gelas, alat cacah beta Ortec.

Cara Kerja

Persiapan sampel tanah

Lokasi pengambilan sampel pada beberapa titik bor tersebut dapat dilihat pada peta lokasi daerah Lemah Abang dan Gengrengan seperti Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi pengambilan sampel tanah Lemah Abang dan Genggengan

Diperkecil secara cermat beberapa sampel padat kering berbentuk silindris dari hasil pengeboran yang diambil dari *base camp* Batan di Karanggondang, Semenanjung Muria, Jepara sehingga ukuran sampel menjadi diameter $d =$

1,53 cm dan tinggi $L = 5$ cm. Sampel diberi label sebagai tanda dari lokasi pengambilan sampel, kemudian ditimbang. Sampel tanah kemudian dimasukkan dalam ke wadah polietilen dan ditutup rapat untuk keperluan penelitian.

Penjenuhan kolom tanah

Akuades dalam buret dialirkan ke dalam kolom gelas sampai sampel tanah terendam, dan aliran efluen keluar dari kolom, bersamaan dengan keluarnya efluen, kran buret ditutup. Perlakuan tersebut diulang beberapa kali sampai diperoleh keadaan jenuh, yaitu volume influen sama dengan volume efluen.

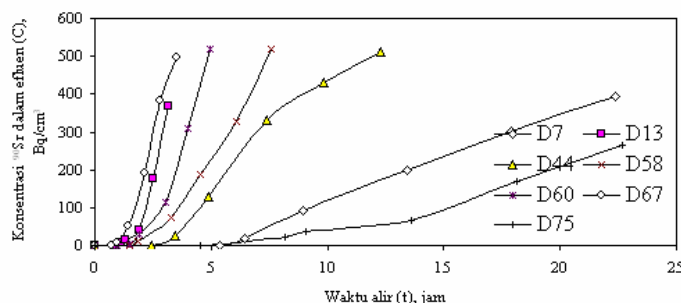
Penentuan adsorpsi kesetimbangan isothermal ⁹⁰Sr dalam tanah secara percobaan kolom

Buret diisi dengan umpan (influen) yaitu larutan pengemban Sr(NO₃)₂ 0,1 N bertanda ⁹⁰Sr dengan aktivitas awal C₀ = 807,4 Bq/cm³. Kran buret dibuka sehingga influen mengalir ke dalam sampel tanah jenuh dalam kolom gelas dengan

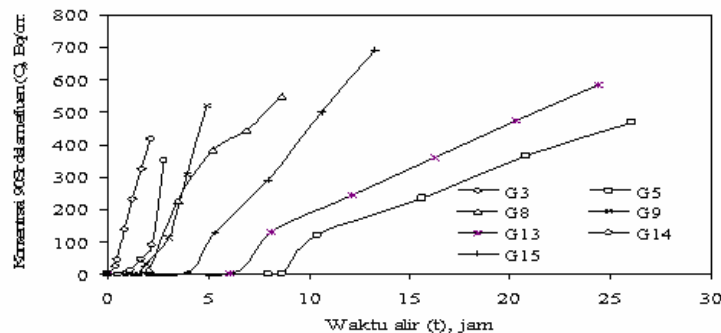
akuades. Ketinggian umpan dalam kolom dijaga tetap. Efluen yang keluar dari kolom ditampung dengan menggunakan vial yang telah diberi nomor urut, diambil setiap 1 cm³ dan dicatat waktu alir (t) untuk dianalisis konsentrasi ⁹⁰Sr dalam efluen (C) menggunakan alat cacah beta Ortec.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk menentukan profil kesetimbangan konsentrasi ⁹⁰Sr model adsorpsi linier pada percobaan kolom terisi sampel tanah Lemah Abang dan Genggengan, maka diperlukan bantuan data konsentrasi ⁹⁰Sr dalam efluen (C) yang masing-masing ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3.



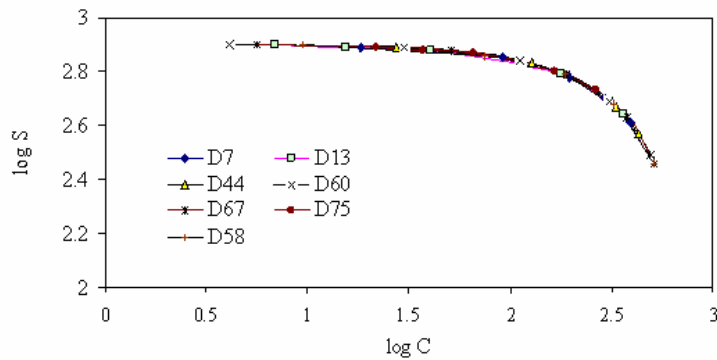
Gambar 2. Profil konsentrasi ⁹⁰Sr dalam efluen pada percobaan kolom terisi tanah Lemah Abang



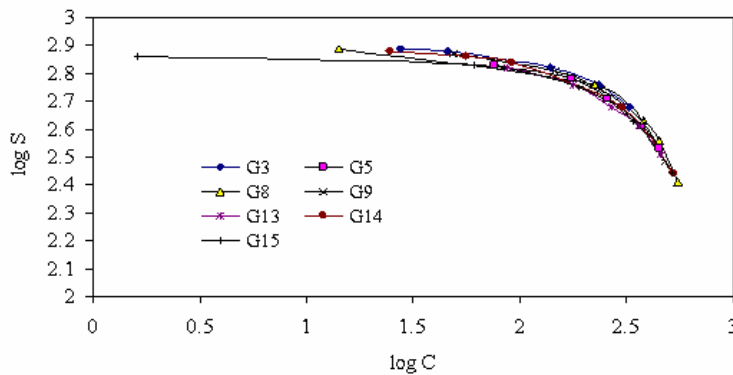
Gambar 3. Profil konsentrasi ⁹⁰Sr dalam efluen pada percobaan kolom terisi tanah Genggengan

Dari data konsentrasi ⁹⁰Sr dalam efluen (C) pada Gambar 2 dan 3, maka konsentrasi ⁹⁰Sr dalam tanah pada percobaan kolom (S) adalah konsentrasi ⁹⁰Sr awal dalam umpan (C₀) dikurangi dengan C. Kemudian data C dan S diubah dalam bentuk log C melawan log S untuk memudahkan perhitungan koefisien distribusi (K_d) seperti tertera pada linierisasi persamaan adsorpsi isothermal linier yang dijabarkan dengan persamaan : log S = log K_d + log C

dengan S adalah konsentrasi solut yang teradsorpsi (mg/kg), K_d adalah koefisien distribusi (l/kg) dan C adalah konsentrasi kontaminan yang terlarut (mg/l).⁽⁶⁾ Data log C dan log S diubah menjadi grafik profil kesetimbangan konsentrasi ⁹⁰Sr model adsorpsi linier dengan log C sebagai absis dan log S sebagai ordinat seperti ditunjukkan pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Profil kesetimbangan konsentrasi ^{90}Sr dalam tanah Lemah Abang



Gambar 5. Profil kesetimbangan konsentrasi ^{90}Sr dalam tanah Genggengan

Penentuan K_d untuk sampel tanah dari setiap titik bor diperoleh dari kurva $\log C$ versus $\log S$ pada Gambar 4 dan 5 di atas dengan intersep = $\log K_d$. Profil kesetimbangan konsentrasi ^{90}Sr

pada tanah Lemah Abang yang ditunjukkan pada Gambar 4 dinyatakan dengan pendekatan persamaan model adsorpsi linier yang terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data persamaan model adsorpsi linier dengan koefisien korelasi (r) dan koefisien distribusi (K_d) pada tanah Lemah Abang dari beberapa titik bor.

Titik bor	Persamaan model adsorpsi linier dengan $x = \log C$, $y = \log S$	Koefisien korelasi, r	Koefisien distribusi, K_d
D7	$y = -0,1883x + 3,164$	0,8863	1458,81
D13	$y = -0,1372x + 3,0519$	0,8947	1126,94
D44	$y = -0,303x + 3,3775$	0,9069	2385,06
D58	$y = -0,2106x + 3,1734$	0,8164	1490,73
D60	$y = -0,1775x + 3,0876$	0,8094	1223,48
D67	$y = -0,1824x + 3,1032$	0,8309	1268,23
D75	$y = -0,1433x + 3,1025$	0,9407	1266,19

Dari Tabel 1 terlihat bahwa tanah dari titik bor D44 memberikan karakteristik adsorpsi kesetimbangan isothermal terbaik yang ditunjukkan dengan data $\log S$ melawan $\log C$ didekati persamaan $y = -0,303x + 3,3775$ dengan y adalah $\log S$ dan x adalah $\log C$ memberikan koefisien korelasi $r = 0,9069$.

Apabila data intersep pada persamaan model adsorpsi linier pada Tabel 1 tersebut dimasukkan ke dalam persamaan (2), maka akan diperoleh koefisien distribusi (K_d) pada Tabel 1. Ditinjau dari distribusi ^{90}Sr dalam tanah dan larutan pada sistem kesetimbangan tanah-air, maka tanah dari

titik bor D44 memberikan nilai K_d terbesar yaitu 2385,06 cm^3/g .

Profil kesetimbangan konsentrasi ^{90}Sr pada tanah Genggengan yang ditunjukkan pada

Gambar 5 dinyatakan dengan pendekatan persamaan model adsorpsi linier yang terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data persamaan model adsorpsi linier dengan koefisien korelasi (r) dan koefisien distribusi (K_d) pada tanah Genggengan dari beberapa titik bor.

Titik bor	Persamaan model adsorpsi linier dengan $x = \log C$, $y = \log S$	Koefisien korelasi, r	Koefisien distribusi, K_d
G3	$y = -0,1798x + 3,1698$	0,9415	1478,43
G5	$y = -0,3737x + 3,5694$	0,9363	3710,22
G8	$y = -0,2403x + 3,2013$	0,8551	1589,64
G9	$y = -0,3547x + 3,5205$	0,8894	3315,12
G13	$y = -0,4099x + 3,6467$	0,9534	4433,02
G14	$y = -0,3121x + 3,3829$	0,9088	2414,90
G15	$y = -0,128x + 2,9457$	0,7531	882,47

Dari Tabel 2 terlihat bahwa tanah dari titik bor G13 memberikan karakteristik adsorpsi kesetimbangan isothermal terbaik yang ditunjukkan dengan data $\log S$ melawan $\log C$ didekati persamaan $y = -0,4099x + 3,6467$ dengan y adalah $\log S$ dan x adalah $\log C$ memberikan koefisien korelasi $r = 0,9534$. Apabila data intersep pada persamaan model adsorpsi linier pada Tabel 1 tersebut dimasukkan ke dalam persamaan (2), maka akan diperoleh koefisien distribusi (K_d) yang terdapat pada

Tabel 2. Ditinjau dari distribusi ^{90}Sr dalam tanah dan larutan pada sistem kesetimbangan tanah-air, maka tanah dari titik bor G13 memberikan nilai K_d terbesar yaitu 4433,02 cm^3/g .

Nilai koefisien distribusi ^{90}Sr pada tanah dari masing-masing titik bor daerah Lemah Abang dan Genggengan dapat dibuat pengharkatan atau *scoring* dengan *score* tertinggi adalah 7 dan terendah adalah 1. *Score* koefisien distribusi ^{90}Sr (K_d) pada Semenanjung Muria dari beberapa titik bor disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Scoring koefisien distribusi ^{90}Sr (K_d) pada Semenanjung Muria dari beberapa titik bor.

Semenanjung Muria					
Daerah Lemah Abang			Daerah Genggengan		
Titik bor	K_d (cm^3/g)	Score K_d	Titik bor	K_d (cm^3/g)	Score K_d
D7	1458,81	5	G3	1478,43	2
D13	1126,94	2	G5	3710,22	6
D44	2385,06	7	G8	1589,64	3
D58	1490,73	6	G9	3315,12	5
D60	1223,48	1	G13	4433,02	7
D67	1268,23	4	G14	2414,90	4
D75	1266,19	3	G15	882,47	1

Tinjauan terhadap karakteristik adsorpsi kesetimbangan isothermal ^{90}Sr pada sampel tanah dari setiap titik bor lebih representatif dinyatakan dalam data bidang dengan cara membagi area pada tujuh titik pengambilan sampel tanah dari daerah Lemah Abang dan Genggengan masing-masing menjadi empat bidang. Empat bidang tersebut yaitu untuk daerah Lemah Abang adalah bidang D7-D44-D60 mewakili kawasan utara, bidang D58-D60-D67 mewakili kawasan barat, bidang D7-D13-D-44 mewakili kawasan timur,

bidang D13-D58-D75 mewakili kawasan selatan. Sedangkan untuk daerah Genggengan empat bidang tersebut adalah bidang G5-G8-G13 mewakili kawasan utara, bidang G3-G5-G9 mewakili kawasan barat, bidang G9-G14-G15 mewakili kawasan timur, bidang G3-G9-G15 mewakili kawasan selatan. *Scoring* K_d berdasarkan data bidang pada Semenanjung Muria pada daerah Lemah Abang dan Genggengan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. *Scoring* koefisien distribusi ^{90}Sr (K_d) pada Semenanjung Muria berdasarkan data bidang dari tiga titik bor.

Semenanjung Muria			
Daerah Lemah Abang		Daerah Genggangan	
Bidang	Σ score K_d	Bidang	Σ score K_d
D7-D44-D60	13	G5-G8-G13	16
D58-D60-D67	11	G3-G5-G9	13
D7-D13-D44	14	G9-G14-G15	10
D13-D58-D75	11	G3-G9-G15	8

Peringkat penilaian terhadap distribusi ^{90}Sr dalam tanah dan larutan didasarkan pada kemampuan tanah untuk menyerap ^{90}Sr baik secara pertukaran ion, pengendapan, filtrasi maupun absorpsi oleh elektrolit. Distribusi ^{90}Sr dalam tanah dan larutan mempunyai nilai besar apabila K_d semakin besar. Ditinjau dari hasil penilaian karakteristik adsorpsi kesetimbangan isotermal ^{90}Sr pada empat bidang tanah dari daerah Lemah Abang, maka bidang tanah D7-D13-D44 mempunyai karakteristik adsorpsi kesetimbangan isotermal yang terbaik dengan Σ score $K_d = 14$. Sedangkan karakteristik adsorpsi kesetimbangan isotermal yang terbaik pada tanah dari daerah Genggangan diberikan oleh tanah dari bidang G5-G8-G13 dengan Σ score $K_d = 16$.

Hasil penelitian sebelumnya terhadap pengukuran karakteristik fisis tanah Lemah Abang dan Genggangan yang dilakukan pada lokasi pemboran yang sama menunjukkan bahwa tanah Lemah Abang mempunyai densitas (ρ_b) = 1,0 – 1,44 g/cm³ dan porositas (ϵ) = 0,631 – 0,860. Sedangkan tanah Genggangan mempunyai densitas (ρ_b) = 1,05 – 1,30 g/cm³ dan porositas (ϵ) = 0,457 – 0,838. Apabila diambil nilai rerata, maka kedua daerah tersebut mempunyai densitas (ρ_b) rerata sekitar 1,15 g/cm³ dan porositas (ϵ) rerata sekitar 0,74. ^(10, 11) Kemudian jika faktor retardasi (R) ditentukan dengan memasukkan data K_d dari hasil penelitian ini dan data karakteristik fisis ρ_b dan ϵ dari hasil penelitian sebelumnya ^(10, 11) ke dalam persamaan seperti yang tercantum di bawah : ⁽⁹⁾

$$R = 1 + \frac{\rho_b \cdot K_d}{\epsilon}$$

maka diperoleh nilai faktor retardasi tanah terhadap radionuklida ^{90}Sr pada tanah daerah Genggangan dan Lemah Abang dengan $R = 1372,4$ s.d. 6889,15.

Data faktor retardasi pada penyimpanan limbah radioaktif dalam *vault* yang dipersyaratkan oleh *Atomic Energy Canada Limited (AECL)* sebagai *natural barrier* untuk

nuklida yang mudah terlindi yaitu sekitar 7×10^3 .

⁽⁸⁾ Dengan demikian apabila dilakukan komparasi antara R hasil penelitian ini dengan R penghalang alami pada penyimpanan limbah radioaktif dalam *vault* untuk nuklida yang mudah terlindi seperti ^{90}Sr yang dipersyaratkan oleh *AECL*, maka tanah dangkal pada kedalaman 25 – 30 m di daerah Lemah Abang dan Genggangan adalah layak dipertimbangkan sebagai lokasi penyimpanan limbah radioaktif sistim tanah dangkal. Hal ini disebabkan karena biasanya *vault* yang dipilih untuk penyimpanan limbah radioaktif adalah yang tersusun dari batuan granit^(8,12) dengan densitas (ρ_b) granit yang lebih besar daripada tanah sehingga nilai R juga lebih besar daripada R tanah.

KESIMPULAN

Koefisien distribusi ^{90}Sr pada adsorpsi kesetimbangan isotermal linier dalam tanah dari daerah Lemah Abang dan Genggangan dapat digunakan sebagai salah satu data masukan pemilihan lokasi penyimpanan limbah radioaktif sistem tanah dangkal berdasarkan karakteristik distribusi ^{90}Sr yang baik dalam tanah yang diberikan oleh nilai koefisien distribusi ^{90}Sr dengan Σ score K_d yang terbesar. Nilai K_d untuk ^{90}Sr pada daerah Semenanjung Muria adalah 882,47 cm³/g s.d. 4433,02 cm³/g.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini kami ucapkan terima kasih kepada Bapak Eddy Murdjito dan Saudara Sodikin staf Pusat Pengkajian Energi Nuklir yang telah membantu kami memberikan sampel tanah dari Wisma Kerja Batan Karanggondang, Semenanjung Muria, Jepara.

DAFTAR PUSTAKA

1. SUCIPTA, Aspek Litomorfologi Daerah Semenanjung Muria Bagian Utara untuk Calon Lokasi Penyimpanan Limbah Radioaktif PLTN, Prosiding Seminar Teknik Nuklir dalam Eksplorasi

- Sumberdaya Energi, PPBGN-Batan, Jakarta, (1994).
2. SUCIPTA, YATIM, S., MARTONO, H., PUDYO, A., Evaluasi Geologi Lingkungan Calon Tapak Penyimpanan Bahan Bakar Bekas dan Limbah Radioaktif Aktivitas Rendah – Menengah, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, PPNY-Batan, Yogyakarta, (1997).
 3. NEWJEC Inc., Feasibility Study of the First Nuclear Power Plants at Muria Peninsula Central Java, Step-1 Report, BATAN-NEWJEC Agreement, Jakarta, (1992).
 4. SUCIPTA, Evaluasi Pendahuluan Geologi Lingkungan untuk Calon Lokasi Penyimpanan Limbah Radioaktif PLTN Daerah Muria Bagian Utara, Prosiding Seminar III Teknologi dan Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir, PPTKR-PRSG BATAN PPTA Serpong, (1995).
 5. SAEFUDDIN SARIEF, H.E., Fisika Kimia Tanah Pertanian, Pustaka Buana, Bandung, (1989).
 6. http://www.water.hut.fi/wr/kursit/Yhd-12.126/oppimaterinali/fr_fys_e.htm
 7. WIEDERHOLD, E.W., Use of Local Minerals in the Treatment of Radioactive Waste, Technical Report Series No. 136, IAEA, Vienna, (1974).
 8. LENEVEU, D.M., Vault Submodel for the Second Interim Assesment of the Canadian Concept for Nuclear Fuel Waste Disposal : Post-Closure Phase, Atomic Energy of Canada Ltd., AECL-8383, (1986).
 9. LOPEZ, R.S., JOHNSON, L.H., Vault Sealing Research and Development for the Canadian Nuclear Fuel Waste Management, Atomic Energy of Canada Limited, AECL-9053, (1986).
 10. POERNOMO, H., BUDIONO, M.E., NGASIFUDIN, MARNOTO, K.H., Karakteristik Migrasi Sr-90 pada Tanah Dangkal di Daerah Ujung Lemah Abang, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, PPNY-Batan, Yogyakarta, (1998).
 11. POERNOMO, H., SARDJONO, D., SUPARDI, Dispersi Sr-90 pada Tanah di Daerah Genggengan Muria sebagai Kawasan Tapak PLTN, Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir IV, PEBN-Batan, Jakarta, (1998).

12. VERSTRICHT, J., DEMARCHE, M., GATABIN, C., Development of Backfill Material within the Belgium Concept for Geological Disposal of High-Level Radioactive Waste : An Example of Successful International Co-operation, Waste Management Conceference, Tucson Arizona, (2001).

TANYA JAWAB

Supriyanto C.

– *Sr-90 digunakan sebagai tracer, mengapa?*

Herry Poernomo

– *Radionuklida ⁹⁰Sr adalah merupakan radionuklida yang paling toksis, juga ⁹⁰Sr merupakan hasil fisi yang terbesar persentase diantara radionuklida hasil fisi pemancar beta/gamma yang terkandung dalam limbah konsentrat evaporator dari pengolahan limbah reaktor PWR sesuai reference waste No. 7 dan 8.*

Sutarman

- *Mohon dapat dijelaskan manakah yang lebih baik antara daerah Lemah Abang dan Ujung Genggengan!*
- *Tanah yang dipakai untuk simulasi diambil dari mana?*

Herry Poernomo

- *Berdasarkan nilai koefisien distribusi ⁹⁰Sr pada tanah daerah Lemah Abang dan Genggengan, maka daerah Lemah Abang relatif lebih dari pada daerah Genggengan.*
- *Tanah yang dipakai sebagai simulasi adalah tanah dari hasil pengeboran yang dilakukan oleh Newjec, Jepang.*

Budi Sulisty

- *Mengapa kepentingan dilakukan penelitian distribusi ⁹⁰Sr pada tanah?*

Herry Poernomo

- *Perlu dilakukan penelitian distribusi ⁹⁰Sr dalam tanah karena tanah adalah sebagai tempat penyimpanan limbah radioaktif yang dapat berfungsi sebagai penghalang alami terhadap dispersi radionuklida ke lingkungan.*