

# DIFUSI GAS RADON DARI DALAM TANAH DI DAERAH BENGKULU

Rida Samdara  
Ashar Muda Lubis

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Bengkulu, Jl. Raya Kandang Limun Bengkulu Gedung T Lantai I 38371  
e-mail : ridasmd2004@yahoo.com, asharmudalubis@yahoo.com

**Abstract:** The aim of this research is to achieve a rough estimation of the radon diffusion coefficient from soil in Bengkulu. The samples were taken from 28 points of different area in Bengkulu. We used a GM tube and LR-115-II detectors to detect the radon concentration. It is found that the average of radon concentration is  $136 \text{ Bq/m}^3$ . While, on the other hand the average of radon diffusion coefficient of soil increase linearly with increase of soil depth. We also found that radon exhalation rate from ground surface is  $0.88 \text{ mBq/m}^2/\text{s}$  up to  $1.51 \text{ mBq/m}^2/\text{s}$ .

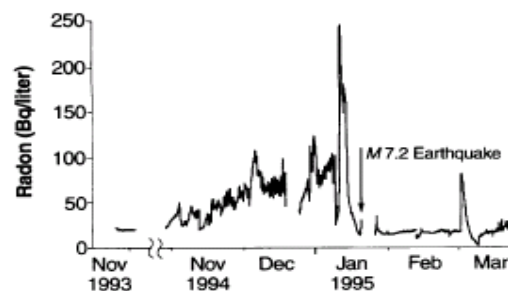
**Kata kunci:** radon, gas, difusi, pernafasan.

Bengkulu merupakan salah satu daerah di Indonesia bagian barat yang rawan terhadap gempa bumi karena Bengkulu terletak di antara dua patahan, yaitu patahan Mentawai dan patahan Semangko. Patahan tersebut berada di deretan pulau-pulau lepas pantai, seperti Pulau Enggano, Siberut, Mentawai, Nias, dan Simeuleu. Pertemuan dua lempeng tektonik di zona *subduction* ini dapat mengakibatkan terjadinya gesekan di daerah tersebut dan perubahan tekanan yang akan menaikkan lepasan gas alamiah yaitu radon.

Sumber utama gas radon berasal dari dalam tanah yang secara khusus berasal dari peluruhan radium (Sofyan, 1994). Keberadaan gas radon di lingkungan sangat dipengaruhi oleh kondisi, situasi, dan jenis batuan yang ada di daerah tersebut. Konsentrasi radium yang terkandung di tanah bagian atas berkisar antara  $10\text{-}170 \text{ Bq/kg}$ . Konsentrasi radium bawah lapisan tanah bergantung pada kondisi geologi dan berada pada orde  $15\text{-}3560 \text{ Bq/kg}$ . Kondisi geologi tersebut terdiri dari berbagai macam jenis batuan seperti *granit*, *andesit*, *basalt*, *dunite*, *diorite*, *clay*, *shale*, dan lain-lain.

Salah satu efek yang ditimbulkan oleh gempa bumi adalah anomali gas radon sebelum dan setelah gempa bumi. Analisis konsentrasi lepasan radon dan hubungannya dengan gempa bumi per-

tama kali terjadi di Jepang, yaitu gempa bumi Kobe pada tahun 1995 (Igarashi *dkk.*, 1995). Hasil pemantauan tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1. Anomali Gas Radon di dalam Air Tanah sebelum Gempa Kobe Jepang**

Telah diketahui bahwa gas radon merupakan molekul berat atom tunggal dan mempunyai mobilitas yang sangat tinggi. Karakteristik tersebut menjadikan gas radon mudah bergerak di antara celah batuan dan retakan tanah untuk lolos ke atmosfer. Studi awal tentang keberadaan gas radon di Bengkulu telah dilakukan pada tahun 2006 (Lubis, 2006). Keberadaan gas radon di udara dipengaruhi oleh beberapa faktor yang sa-

lah satunya adalah difusi gas radon dari dalam tanah ke udara. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengukur koefisien difusi gas radon sebagai studi awal mekanisme perpindahan gas radon di Bengkulu.

## METODE

### Pengukuran Difusi Gas Radon (D)

Model perumusan distribusi gas radon di dalam Bumi dilakukan dengan asumsi: 1) koefisien difusi gas radon adalah tetapan yang nilainya sama, 2) radium, selaku sumber gas radon, tersebar secara homogen di dalam bumi, 3) porositas tanah bernilai sama, dan 4) model fisis yang dibuat satu dimensi karena jari-jari bumi lebih besar dibanding dengan jangkauan kedalaman yang ditinjau. Asumsi tersebut cukup realistis sejauh tinjauan dilakukan pada jangkauan kedalaman beberapa meter saja. Dengan demikian, perumusan persamaan transport dan distribusi gas radon di dalam bumi dapat dituliskan sebagai (Edwards dan Bates, 1980):

$$D = \frac{Ez}{C(z)} \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan (1) koefisien difusi gas radon (D) dapat ditentukan dengan mengukur E, z dan C(z).

### Pengukuran Laju Lepas Gas Radon (E)

Pengukuran konsentrasi gas radon dan laju lepasan gas radon menggunakan Dosimeter Radon Pasif buatan BATAN. Dosimeter yang telah disiapkan disungkupkan ke arah permukaan tanah seperti pada Gambar 2 yang terlebih dahulu dilengkapi dengan detektor LR-115-II. Dosimeter tersebut diletakkan selama 10 hari di lapangan. Laju lepasan gas radon dapat dihitung dengan mempergunakan persamaan (Aldenkamp *dkk.*, 1992):

$$E = \frac{C\lambda V}{A(1 - e^{-\lambda t})} \quad (2)$$

dimana E, V, A, t, dan C masing-masing adalah laju lepasan gas radon, volume dosimeter, luas penampang wadah dosimeter, lama penyungkupan, dan konsentrasi gas radon.

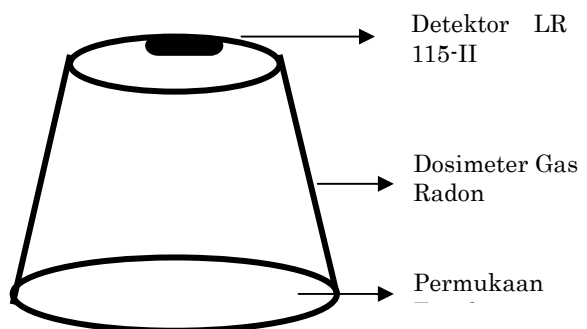
Konsentrasi gas radon dideteksi dengan detektor LR-115-II yang terbuat dari lembaran film padat. Partikel alpha dari peluruhan gas radon berinteraksi dengan detektor dan meninggalkan bekas berupa goresan (jejak). Interaksi ini dinyatakan dalam besaran energi yang hilang per satuan jarak tempuhnya dan disebut *daya henti*. Akibat interaksi ini elektron-elektron akan tereksitasi ke kulit terluar,

atau elektron akan terpental keluar dari atom-atomnya. Proses eksitasi dan ionisasi tersebut menyebabkan terjadinya kerusakan pada bahan detektor. Namun, kerusakan tergantung pada jangkauan energi partikel alpha untuk dapat merusak detektor. Batas atas jangkauan energi partikel alpha berhubungan dengan potensial henti (*daya henti*). Batas atas energi partikel alpha agar partikel alpha dapat dideteksi oleh detektor LR-115-II berkisar 4-5 MeV (Planinic, 1992). Untuk menghitung konsentrasi gas radon yang terdapat dalam dosimeter digunakan rumusan berikut (Bunawas *dkk.*, 1994).

$$C = \frac{N_t}{at} \quad (3)$$

di mana  $N_t$ , t, a masing-masing adalah jejak partikel alpha pada detektor LR-115-II, waktu penyungkupan, dan efisiensi/kepekaan dosimeter.

Jejak partikel alpha pada detektor LR-115-II dibaca dengan menggunakan mikroskop optik Nikon Japan dengan perbesaran 1000x. Sebelumnya, detektor terlebih dahulu dietsa dengan larutan NaOH 2,5 M selama 6 jam di dalam oven marmer buatan Jerman. Proses analisis laboratorium dan pembacaan jejak partikel alpha dilakukan di Laboratorium Dosimetri dan Kalibrasi P3KRBIN Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) Pasar Jum'at Jakarta.

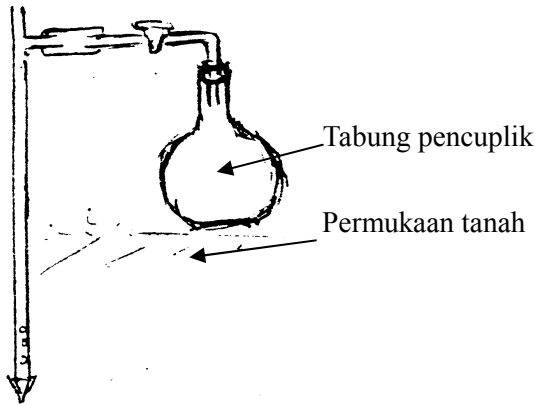


**Gambar 2. Penyungkupan Lepas Gas Radon dengan Dosimeter Pasif Buatan BATAN**

### Pengukuran Konsentrasi Aktivitas Gas Radon di dalam Tanah C(z)

Gas radon dicuplik dari dalam tanah dengan menggunakan botol detektor sintilasi hampa melalui pipa baja yang ujungnya berlubang kecil dan dimasukkan ke dalam tanah, seperti terlihat pada Gambar 3. Pencuplikan tersebut dilakukan dengan berbagai panjang pipa baja pencuplik sehingga diperoleh konsentrasi gas radon fungsi kedalaman C(z). Pencacahan dilakukan untuk tiap titik kedalaman dengan menggunakan pencacah Geiger Mul-

ler (GM) di Laboratorium Fisika Eksperimen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Bengkulu. Untuk keperluan ini digunakan filter GF/A sehingga hanya partikel alpha yang berasal dari gas radon saja yang terdeteksi.



**Gambar 3. Pencuplikan Gas Radon dari dalam Tanah**

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Tabel 1. Laju Lepas Gas Radon di Permukaan Tanah**

NO	Lokasi	Jumlah Jejak/area	Konsentrasi (Bq/m <sup>3</sup> )	E (mBq/m <sup>2</sup> /s)
1	Talang Pauh (A)	18	142	1,14
2	Talang Pauh (B)	17	134	1,07
3	Lempuing (A)	23	181	1,45
4	Lempuing (B)	21	165	1,32
5	Lempuing (C)	24	189	1,51
6	Medan Baru (A)	16	126	1,01
7	Medan Baru (B)	18	142	1,14
8	Medan Baru (C)	17	134	1,07
9	Pekik Nyaring (A)	16	124	0,99
10	Pekik Nyaring (B)	14	110	0,88
11	Pekik Nyaring (C)	17	134	1,07
12	Pematang Gubernur (A)	19	150	1,20
13	Pematang Gubernur (B)	17	134	1,07
14	Pematang Gubernur (C)	17	134	1,07
15	Perumahan Pinang Mas (A)	18	142	1,14
16	Perumahan Pinang Mas (B)	14	110	0,88
17	Perumahan Pinang Mas (C)	17	134	1,07
18	Sekip (A)	19	150	1,20
19	Sekip (B)	18	142	1,14
20	Sekip (C)	16	126	1,01
21	Hibrida (A)	16	126	1,01
22	Hibrida (C)	17	134	1,07
23	Laboratorium Fisika (A)	14	110	0,88
24	Laboratorium Fisika (B)	17	134	1,07
25	Laboratorium Fisika (C)	16	126	1,01
26	Kebon Tebeng (A)	17	134	1,07
27	Kebon Tebeng (B)	15	118	0,94
28	Kebon Tebeng (C)	17	118	0,94

Hasil pengujian detektor LR-115-II dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan data tersebut dan

menggunakan persamaan (3), konsentrasi gas radon yang diukur dengan dosimeter radon pasif dapat dihitung dengan nilai efisiensi dosimeter sebesar 0,0127 jejak/area/Bq/m<sup>3</sup> hari. Selanjutnya, dengan mengambil konstanta peluruhan untuk alpha sebesar  $\lambda = \ln 2/3,824 \text{ hari} = 5 \times 10^{-5} /s$  dan lama penyungkupan 10 hari, laju lepasan radon dari dalam tanah dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2).

Hasil pengukuran konsentrasi gas radon fungsi kedalaman dapat dilihat pada Tabel 2. Pengukuran dilakukan berturut-turut untuk kedalaman 40, 80, 120, 160, dan 200 cm pada 10 titik pengukuran di Bengkulu.

**Tabel 2. Hubungan Konsentrasi Gas Radon terhadap Kedalaman**

No	Lokasi	Z (cm)	C (Bq/m <sup>3</sup> )	No	Lokasi	Z (cm)	C (Bq/m <sup>3</sup> )
1	Talang Pauh	40	333	6	Perumahan Pinang Mas	40	333
		80	300			80	333
		120	367			120	433
		160	300			160	433
		200	333			200	467
2	Lempuing	40	367	7	Sekip	40	433
		80	367			80	433
		120	433			120	433
		160	300			160	467
		200	333			200	467
3	Medan baru	40	367	8	Hibrida	40	233
		80	300			80	300
		120	333			120	333
		160	400			160	333
		200	433			200	433
4	Pekik Nyaring	40	267	9	Laboratorium Fisika	40	333
		80	367			80	400
		120	333			120	433
		160	433			160	500
		200	467			200	667
5	Pematang Gubernur	40	300	10	Kebun Tebeng	40	300
		80	333			80	333
		120	333			120	367
		160	367			160	367
		200	367			200	433

Hasil pengukuran koefisien difusi (D) gas radon ditampilkan pada Tabel 3a-3j. Berdasarkan data pada Tabel 3a-3j dapat dilihat adanya peningkatan yang signifikan terhadap kedalaman tanah yang diteliti.

Nilai pengukuran konsentrasi gas radon di permukaan dalam penelitian ini berada pada 110-189 Bq/m<sup>3</sup> dengan nilai rata-rata 136 Bq/m<sup>3</sup>. Berdasarkan penelitian Bunawas *dkk.* (1994) konsentrasi gas radon di permukaan berkisar antara 500-1500 Bq/m<sup>3</sup>. Tampak bahwa hasil penelitian ini jauh di bawah hasil Bunawas *dkk.* (1994) tetapi masih dalam ambang batas yang diizinkan Komisi International Proteksi Radiasi (ICRP, *International Commission on Radiological Protection*) yaitu 200 Bq/m<sup>3</sup> (ICRP-65, 1994).

**Tabel 3a. Koefisien Difusi Gas Radon di Talang Pauh**

No	Z (10 <sup>-2</sup> m)	E (mBq/m <sup>2</sup> /s)			C (z)	D (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)		
		A	B	C		A	B	C
1	40	1,14	1,07	-	333	1,37	1,29	-
2	80	1,14	1,07	-	300	3,04	2,85	-
3	120	1,14	1,07	-	367	3,73	3,50	-
4	160	1,14	1,07	-	300	6,08	5,71	-
5	200	1,14	1,07	-	333	6,85	6,43	-

**Tabel 3b. Koefisien Difusi Gas Radon di Lempuing**

No	Z (10 <sup>-2</sup> m)	E (mBq/m <sup>2</sup> /s)			C (z)	D (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)		
		A	B	C		A	B	C
1	40	1,45	1,32	1,51	367	1,58	1,44	1,65
2	80	1,45	1,32	1,51	367	3,16	2,88	3,29
3	120	1,45	1,32	1,51	433	4,02	3,66	4,18
4	160	1,45	1,32	1,51	300	7,73	7,04	8,05
5	200	1,45	1,32	1,51	233	12,45	11,33	12,96

**Tabel 3c. Koefisien Difusi Gas Radon di Medan Baru**

No	Z (10 <sup>-2</sup> m)	E (mBq/m <sup>2</sup> /s)			C (z)	D (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)		
		A	B	C		A	B	C
1	40	1,45	1,32	1,51	367	1,58	1,44	1,65
2	80	1,45	1,32	1,51	300	3,87	3,52	4,03
3	120	1,45	1,32	1,51	333	5,23	4,76	5,44
4	160	1,45	1,32	1,51	400	5,80	5,28	6,04
5	200	1,45	1,32	1,51	433	6,70	6,10	6,97

**Tabel 3d. Koefisien Difusi Gas Radon di Pekik Nyaring**

No	Z (10 <sup>-2</sup> m)	E (mBq/m <sup>2</sup> /s)			C (z)	D (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)		
		A	B	C		A	B	C
1	40	1,45	1,32	1,51	267	2,17	1,98	2,26
2	80	1,45	1,32	1,51	367	3,16	2,88	3,29
3	120	1,45	1,32	1,51	333	5,23	4,76	5,44
4	160	1,45	1,32	1,51	433	5,36	4,88	5,58
5	200	1,45	1,32	1,51	467	6,21	5,65	6,47

**Tabel 3e. Koefisien Difusi Gas Radon di Pematang Gubernur**

No	Z (10 <sup>-2</sup> m)	E (mBq/m <sup>2</sup> /s)			C (z)	D (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)		
		A	B	C		A	B	C
1	40	1,45	1,32	1,51	300	1,93	1,76	2,01
2	80	1,45	1,32	1,51	333	3,48	3,17	3,63
3	120	1,45	1,32	1,51	333	5,23	4,76	5,44
4	160	1,45	1,32	1,51	367	6,32	5,75	6,58
5	200	1,45	1,32	1,51	367	7,90	7,19	8,23

Laju lepasan gas radon di permukaan tanah di Bengkulu berada di antara 0,88-1,51 mBq/m<sup>2</sup>/s dengan nilai rata-rata 1,09 mBq/m<sup>2</sup>/s. Hasil ini berbeda dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Martin & Neznal (2001) yang menyatakan bahwa laju lepasan gas radon sebesar 2 mBq/m<sup>2</sup>/s. Perbedaan ini disebabkan faktor geografis antara kota Bengkulu dan tempat penelitian yang mereka lakukan.

babkan faktor geografis antara kota Bengkulu dan tempat penelitian yang mereka lakukan.

**Tabel 3f. Koefisien Difusi Gas Radon di Perumahan Pinang Mas**

No	Z (10 <sup>-2</sup> m)	E (mBq/m <sup>2</sup> /s)			C (z)	D (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)		
		A	B	C		A	B	C
1	40	1,14	0,88	1,07	333	1,37	1,06	1,29
2	80	1,14	0,88	1,07	433	2,11	1,63	1,98
3	120	1,14	0,88	1,07	533	2,57	1,98	2,41
4	160	1,14	0,88	1,07	433	4,21	3,25	3,95
5	200	1,14	0,88	1,07	467	4,88	3,77	4,58

**Tabel 3g. Koefisien Difusi Gas Radon di Sekip**

No	Z (10 <sup>-2</sup> m)	E (mBq/m <sup>2</sup> /s)			C (z)	D (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)		
		A	B	C		A	B	C
1	40	1,20	1,14	1,01	433	1,11	1,05	0,93
2	80	1,20	1,14	1,01	433	2,22	2,11	1,87
3	120	1,20	1,14	1,01	433	3,33	3,16	2,80
4	160	1,20	1,14	1,01	467	4,11	3,91	3,46
5	200	1,20	1,14	1,01	467	5,14	4,88	4,33

**Tabel 3h. Koefisien Difusi Gas Radon di Hibrida**

No	Z (10 <sup>-2</sup> m)	E (mBq/m <sup>2</sup> /s)			C (z)	D (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)		
		A	B	C		A	B	C
1	40	1,01	-	1,07	233	1,73	-	1,84
2	80	1,01	-	1,07	300	2,69	-	2,85
3	120	1,01	-	1,07	333	3,64	-	3,86
4	160	1,01	-	1,07	333	4,85	-	5,14
5	200	1,01	-	1,07	433	4,67	-	4,94

**Tabel 3i. Koefisien Difusi Gas Radon di Kebun Tebeng**

No	Z (10 <sup>-2</sup> m)	E (mBq/m <sup>2</sup> /s)			C (z)	D (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)		
		A	B	C		A	B	C
1	40	1,07	0,94	0,94	333	1,29	1,13	1,13
2	80	1,07	0,94	0,94	300	2,85	2,51	2,51
3	120	1,07	0,94	0,94	367	3,50	3,07	3,07
4	160	1,07	0,94	0,94	367	4,66	4,10	4,10
5	200	1,07	0,94	0,94	433	4,94	4,34	4,34

**Tabel 3j. Koefisien Difusi Gas Radon di Laboratorium Fisika**

No	Z (10 <sup>-2</sup> m)	E (mBq/m <sup>2</sup> /s)			C (z)	D (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)		
		A	B	C		A	B	C
1	40	0,88	1,07	1,01	333	1,06	1,29	1,21
2	80	0,88	1,07	1,01	300	2,35	2,85	2,69
3	120	0,88	1,07	1,01	367	2,88	3,50	3,30
4	160	0,88	1,07	1,01	367	3,84	4,66	4,40
5	200	0,88	1,07	1,01	433	4,06	4,94	4,67

Secara umum, hasil yang diperoleh dari 10 titik pengamatan (Tabel 2) menunjukkan bahwa konsentrasi gas radon meningkat linear terhadap kedalaman tanah. Fenomena ini disebabkan sumber gas radon dan isotopnya berada di dalam perut bu-

mi. Konsentrasi gas radon di dalam tanah naik secara tajam dari kedalaman 0-1 meter dan mulai konstan setelah mencapai kedalaman 1,5 meter (Lubis, 2001). Hal lain yang perlu diperhatikan adalah bahwa konsentrasi gas radon di dalam tanah dipengaruhi oleh kondisi meteorologi yaitu faktor kedalaman tanah, porositas, suhu, dan kelembaban (Sutarman, 1996). Korelasi suhu tanah dengan konsentrasi gas radon dan thoron cukup nyata. Jika suhu tanah turun maka gas tanah akan mengalami penyusutan sehingga konsentrasi gas radon dan thoron akan naik. Hal ini sesuai dengan Hukum Boyle-Charles yang menyatakan bahwa gas akan naik sebesar  $1/273$  dari volumenya untuk setiap kenaikan suhu  $1^{\circ}\text{C}$ .

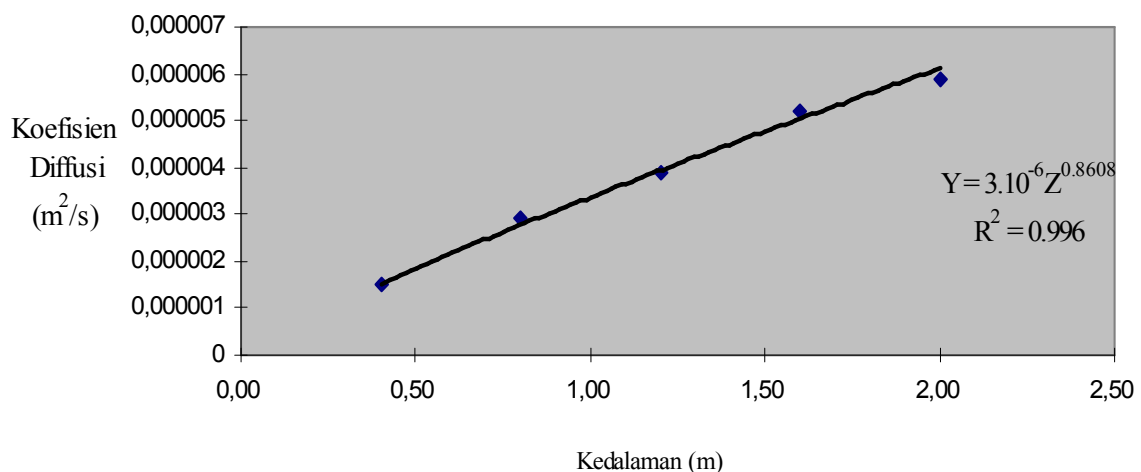
Nilai rata-rata koefisien difusi yang diukur pada kedalaman 40, 80, 120, 160, dan 200 cm berturut-turut adalah  $1,49 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ;  $2,90 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ;  $3,91 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ;  $5,19 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ; dan  $5,88 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ . Nilai koefisien difusi gas radon terkecil terdapat pada kedalaman 40 cm yaitu antara  $0,93 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  sampai  $1,84 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  dengan nilai rata-rata  $1,49 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ . Nilai koefisien difusi terbesar terdapat pada kedalaman 200 cm yaitu  $9,07 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ . Penelitian yang dilakukan oleh Sun *dkk.* (2004) menunjukkan bahwa nilai D di udara sekitar  $0,11 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ . Silker & Kalkwarf (1983) telah mengukur koefisien difusi dari dalam tanah  $(3,0 \pm 1,3) \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  untuk tanah yang tidak padat. Jika dibandingkan dengan hasil yang diperoleh hasil pengamatan Sun *dkk.* (2004), koefisien difusi yang diperoleh jauh lebih besar. Koefisien difusi gas radon terhadap kedalaman tanah disajikan dalam Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4, terlihat bahwa koefisien hubungan koefisien difusi dan kedalaman tanah mengikuti persamaan. Selain itu, pada saat

gempa bumi terjadi, partikel-partikel tanah mengalami tegangan (*tension*), regangan (*strain*), dan tekanan (*stress*) sehingga memperbesar pori-pori tanah. Hal ini meningkatkan kemampuan bermigrasi gas radon dari dalam tanah.

Salah satu keterbatasan penelitian ini adalah di dalam memformulasikan persamaan (1) telah diasumsikan bahwa porositas tanah homogen di setiap tempat. Pada kenyataannya, kerapatan tanah di setiap tempat pengamatan tidak sama, ada yang kering dan ada yang sedikit basah. Menurut Rogers & Nielson (1991), besaran seperti porositas, densitas tanah, dan kebasahan tanah mempengaruhi laju lepasan dan koefisien difusi gas radon. Adapun keunggulan penelitian ini adalah penentuan koefisien difusi dapat dihitung sampai kedalaman tanah yang diinginkan.

## KESIMPULAN

Dari 28 titik pengamatan di Bengkulu, konsentrasi gas radon yang diukur dengan detektor LR-115-II berkisar antara 110-189  $\text{Bq}/\text{m}^3$ . Hasil ini berada di bawah ambang batas yang diizinkan yaitu 200  $\text{Bq}/\text{m}^3$ . Laju lepasan gas radon rata-rata di permukaan yang diukur sekitar 1,09  $\text{mBq}/\text{m}^2/\text{s}$  dan konsentrasi gas radon meningkat drastis terhadap kedalaman tanah. Hasil pengukuran koefisien difusi gas radon lebih besar dari penelitian Sun *dkk.* (2004). Hasil pengamatan juga menunjukkan bahwa koefisien difusi gas radon di Bengkulu meningkat terhadap kedalaman tanah. Untuk penelitian lebih lanjut, pada saat validasi data perlu memperhatikan parameter-parameter fisika yang lain, seperti kerapatan, porositas, laju lepasan, koefisien difusi, dan kadar air untuk mendeteksi konsentrasi gas radon.



Gambar 4. Hubungan Koefisien Difusi Gas Radon terhadap Kedalaman Tanah

## DAFTAR RUJUKAN

- Aldenkamp, F.J., de Meijer, R.J., Put, L.W. & Stoop, P. 1992. An Assessment of in Situ Radon Exhalation Measurement, and the Relation Between Free and Bound Exhalation Rates. *Radiation Protection Dosimetry*, 45 (1/4):449-453.
- Bunawas, Iskandar, D. & Purba, V. 1994. *Pengukuran Radon di dalam Gedung PPTA Pasar Jum'at dengan Detektor Jejak Nuklir CR-39*. Proceeding PSPK. Jakarta: BATAN.
- Edwards, J.C. & Bates, R.C. 1980. Theoretical Evaluation of Radon Emanation Under a Variety of Conditions. *Health Physic*, 39:263-274.
- Igarashi, G., Saeki, S., Takahata, N., Sumikawa, K., Tasaka, S., Sasaki, Y., Takahashi, M. & Sano, Y. 1995. Ground-Water Radon Anomaly Before the Kobe Earthquake in Japan. *Science*, 269 (5220): 60-61.
- Lubis, A.M. 2001. Calibration Dosimeter Radon Thoran Passive to Determine Environmental Radiation. *Thesis Undergraduate Unpublished*. University of Andalas.
- Lubis, A.M. 2006. Investigasi Konsentrasi Gas Radon di Daerah Rawan Gempa Bumi Kota Bengkulu. Universitas Riau. *Jurnal Nature Indonesia*, 9:24-29.
- Martin, N. & Neznal, M. 2001. Measurement of Radon Exhalation Rate from the Ground Surface: Can the Parameter be Used for a Determination of Radon Potential of Soils, *RADON, v.o.s. corp.* Novakovyeh 6. 180 00 Praha 8. Czech Republic.
- Planinic, J. 1992. <sup>222</sup>Rn Detection Efficiency and Sensitivity Coefficient of the LR-115-II Nuclear Track Detection. *Health Physics*, 23(1):356-358.
- Rogers, V.C. & Nielson, K.K. 1991. Multiphase Radon Generation and Transport in Porous Materials. *Health Physic*, 60:807-815.
- Sofyan, H. 1994. Mewaspadai Gas Radon. *Buletin Alara*, 1(3):17-24.
- Sutarman. 1996. Gas Radon dan Permasalahannya. *Buletin Batan*, Tahun XVIII1, (1):1-15.
- Sun, K., Guo, K. & Zhuo, W. 2004. Feasibility for Mapping Radon Exhalation Rate from Soil in China. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 41(1):86-90.