

Gas ^{222}Rn Sebagai Perunut Gas CO_2 Dari Dalam Tanah

Susetyo Hario Putero

Jurusan Teknik Nuklir, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

Abstract

^{222}Rn occupies 40% of the universal radiation dose. On the other hand, CO_2 is the main green house gas. Both gases are emanated together from soil and affected by the environmental conditions. This research was conducted to study the emanation pattern of ^{222}Rn and CO_2 by the accumulation method and the use of ^{222}Rn as tracer gas for concentration change of CO_2 emanated from soil.

A top sealed plastic container was used as an accumulator and embedded into 20 cm depth soil. The influences of some environmental conditions that were air pressure, air temperature, air humidity, and soil temperature, on the emanation rate of both gases were also examined. ^{222}Rn concentration was detected by a passive method portable radon monitor "AlphaGUARD" PQ-2000 at one-hour measurement interval. AlphaEXPERT" version 3.0 software was used to record the data from "AlphaGUARD" monitor. CO_2 concentration in air was measured by an infrared method CO_2 monitor TG-1300 A and recorded by Pegasus INR-6041 recorder. This recorder was also used to record the soil temperature measured by a thermoelectric couple.

The ^{222}Rn and CO_2 concentrations on the container fluctuate in the same pattern that are affected by the variation of air pressure and soil temperature. After the gases fulfilled the container, the back diffusion resulting in the decreasing of gases emanation rate occurs.

1. Latar Belakang Masalah

Di alam dijumpai 3 deret radiasi primordial, yaitu uranium, thorium dan actinium dengan radionuklida induknya masing-masing adalah ^{238}U , ^{232}Th dan ^{235}U . ^{238}U dapat diketemukan di batu-batuan dan kerak bumi. ^{222}Rn (radon) adalah anggota deret uranium yang berbentuk gas dan merupakan isotop radon yang berumur paling panjang dibandingkan yang lain, yaitu ^{219}Rn (actinon) dan ^{220}Rn (thoron). Waktu paruh ^{219}Rn ($t_{1/2} = 3.96$ s) dan ^{220}Rn ($t_{1/2} = 55.6$ s) sangat pendek dibandingkan ^{222}Rn (3.82 hari). Selain itu kelimpahan ^{222}Rn di lingkungan juga lebih besar daripada ^{219}Rn and ^{220}Rn . ^{222}Rn yang berada di batu-batuan dan kerak bumi akan menjadi unsur gas tanah dan dipancarkan keluar ke udara bersama dengan unsur-unsur gas tanah

lain seperti CO_2 , H_2 , CH_4 , dsb (Dorr, H. dan München, K. O., 1990)

Dalam kaitannya dengan pemeliharaan kualitas lingkungan, isu yang sangat dominan pada saat ini adalah pemanasan global yang disebabkan oleh gas-gas rumah kaca, seperti CO_2 . CO_2 dan uap air yang berada di atmosfer menyerap radiasi inframerah ($\lambda = 14,000\sim 25,000$ nm), sehingga membentuk semacam perisai yang menghalangi sebagian besar radiasi yang dipancarkan dari bumi (De, Anil Kumar, 1987). Perisai

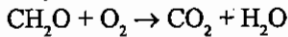
ini seolah-olah menjadi reflektor yang memancarkan kembali radiasi tersebut ke permukaan bumi. Akibatnya permukaan bumi menjadi semakin panas. Sebagian besar CO_2 diproduksi oleh pernafasan material organik dalam

Tabel I.1. Sumber-sumber ^{222}Rn di atmosfer.

| Sumber | Aktivitas (Ci/tahun) |
|------------------------|----------------------|
| Pemancaran dari tanah | 2×10^9 |
| Air tanah | 5×10^8 |
| Pemancaran dari lautan | 3×10^7 |
| Residu fosfat | 3×10^6 |
| Timbunan Uranium sisa | 2×10^6 |
| Residu batubara | 2×10^4 |
| Gas alam | 1×10^4 |
| Pembakaran batubara | 9×10^2 |
| Pernafasan manusia | 1×10^1 |

Sumber: NCRP (1984)

tanah dan akar tanaman. Pada kondisi normal, konsentrasi CO₂ di udara ± 350 ppm. Di dalam tanah konsentrasi ini mungkin berbeda karena adanya peluruhan unsur organik (Manahan, S.E., 1993):



Hal ini mengakibatkan kandungan CO₂ dalam tanah meningkat.

2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pola pemancaran gas ²²²Rn dan CO₂ dari dalam tanah dengan metode akumulasi. Dari hubungan antara keduanya akan dapat diketahui penggunaan gas ²²²Rn untuk merunut perubahan konsentrasi gas CO₂ yang dipancarkan dari dalam tanah.

3. Cara Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Tokai Research Establishment milik JAERI (Japan Atomic Energy Research Institute), Jepang dengan menggunakan metode akumulasi. Sebuah drum plastik yang disegel pada bagian atas dengan volume 300 l digunakan sebagai akumulator. Drum tersebut ditanam di tanah dengan kedalaman 20 cm. Konsentrasi ²²²Rn dalam drum diukur dengan sebuah detektor kamar ionisasi untuk radon secara pasif, yaitu "AlphaGUARD" PQ-2000 buatan Genitron Instruments, Jerman dengan interval waktu pengukuran 1 jam. Data yang tersimpan di dalam "AlphaGUARD" ditransfer ke dalam komputer dan dibaca dengan perangkat lunak "AlphaEXPERT" versi 3.0 dari

Genitron Instruments.

Konsentrasi CO₂ diukur dengan detektor untuk CO₂ dan direkam dengan rekorder Pegasus INR-6041. Untuk menghilangkan uap air, maka sebelum masuk ke dalam detektor udara disaring dengan CaCO₃. Rekorder Pegasus INR-6041 juga digunakan untuk merekam suhu tanah dengan kedalaman 30 cm dan 50 cm yang diukur dengan *thermocouple*.

Perubahan konsentrasi ²²²Rn di dalam drum dengan berubahnya waktu ditunjukkan dengan persamaan 3.1 (Hao, W., and Weng, P.S., 1981).

$$\frac{\partial C_{Rn}(t)}{\partial t} = \frac{Ed_{Rn}(t) \times A}{V} - \lambda C_{Rn}(t) \quad (3.1)$$

dimana

C_{Rn} ; konsentrasi ²²²Rn di udara (Bq/m³)

Ed_{Rn} ; kecepatan pemancaran ²²²Rn (Bq/m².detik)

A ; luas tanah yang ditutupi oleh drum plastik (0.44 m²)

V ; volume drum plastik (0.3 m³)

t ; waktu (detik)

λ ; konstanta peluruhan ²²²Rn (2.11 x 10⁻⁶ detik⁻¹)

Penyelesaian dari persamaan (3.1) adalah

$$C_{Rn} = \frac{Ed_{Rn}(t) \times A (1 - \exp^{-\lambda t})}{V \times \lambda} \quad (3.2)$$

Sehingga kecepatan pemancaran ²²²Rn dapat digambarkan dengan persamaan (3.3).

$$Ed_{Rn}(t) = \frac{C_{Rn} \times \lambda \times V}{A \times (1 - \exp^{-\lambda t})} \quad (3.3)$$

Kecepatan pemancaran CO₂ didapatkan dari persamaan (3.1) dengan memasukkan nilai λ = 0, sehingga menjadi

$$Ed_{CO_2}(t) = \frac{C_{CO_2} \times V}{A \times t} \quad (3.4)$$

Dimana C_{CO₂} adalah konsentrasi CO₂ di udara (ppm) dan Ed_{CO₂} adalah kecepatan pemancaran CO₂ (ppm.m/detik).

4. Hasil Dan Pembahasan

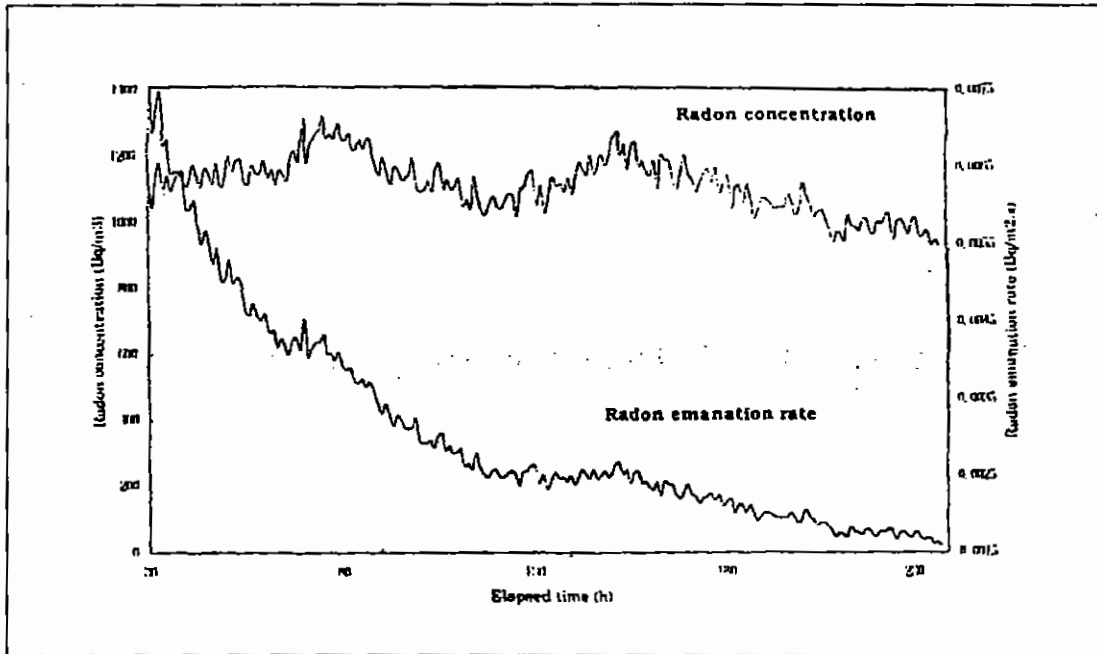
Berdasarkan data pengukuran konsentrasi ²²²Rn dan CO₂ yang telah didapatkan, maka dilakukan penghitungan kecepatan pemancaran dengan persamaan (3.3) dan (3.4). Hasil dari setiap periode pengukuran ditunjukkan dalam tabel IV.1.

Gambar 4.1 dan 4.2 menunjukkan bahwa perubahan kecepatan pemancaran ²²²Rn dan CO₂ dengan waktu berdasarkan persamaan (3.3) dan (3.4). Sedangkan fluktuasi harian konsentrasi ²²²Rn dan CO₂ ditunjukkan dalam gambar 4.3, dimana hubungan keduanya ditunjukkan dalam gambar 4.4.

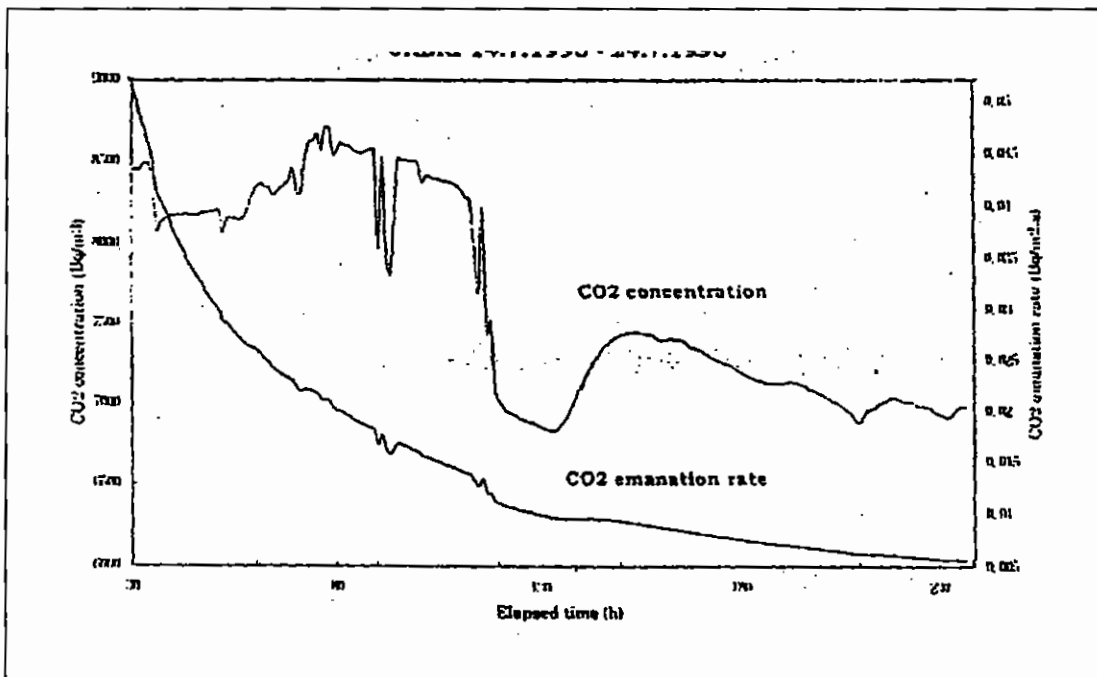
Pada saat pembentukannya ²²²Rn mengalami loncatan sejauh 20~70 nm. Pada saat itu ²²²Rn yang terbentuk dapat keluar dari butiran tersebut dan masuk ke butiran di sebelahnya. Jika jarak

Tabel IV.1. Kecepatan pemancaran ²²²Rn dan CO₂

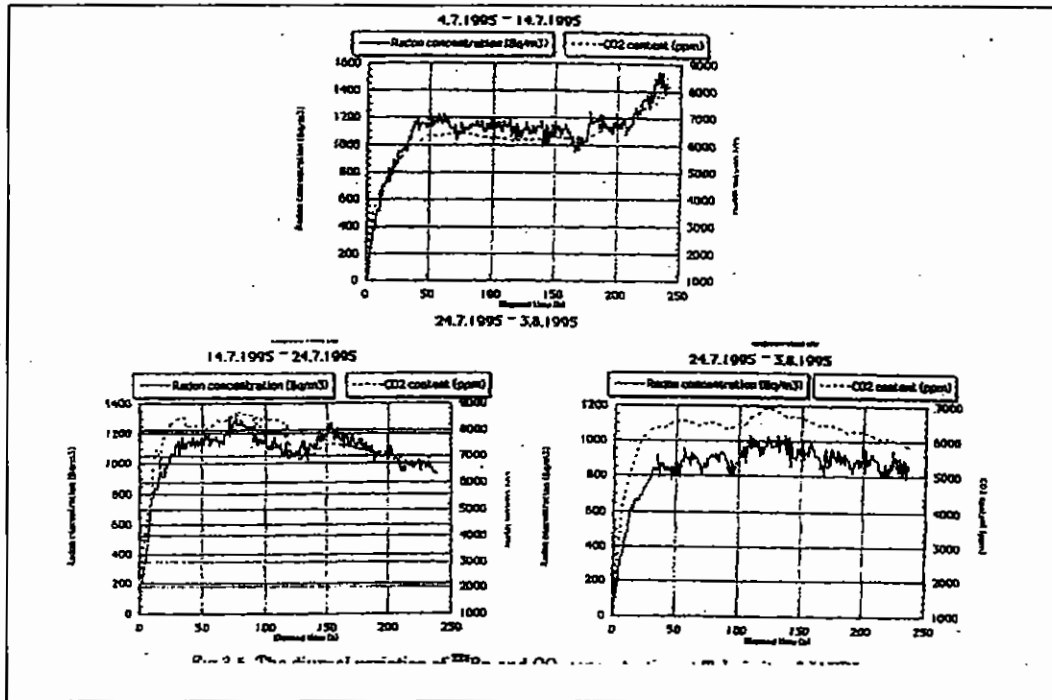
| Periode | Kecepatan pemancaran ²²² Rn (Bq/m ² .detik) | Kecepatan pemancaran CO ₂ (ppm.m/detik) |
|-----------------------|---|--|
| 4.7.1995 ~ 14.7.1995 | 0.002 ~ 0.026 | 0.006 ~ 0.201 |
| 14.7.1995 ~ 24.7.1995 | 0.002 ~ 0.018 | 0.006 ~ 0.265 |
| 24.7.1995 ~ 3.8.1995 | 0.0014 ~ 0.042 | 0.005 ~ 0.226 |



Gambar 4.1. Perubahan kecepatan pemancaran ^{222}Rn dengan waktu.



Gambar 4.2. Perubahan kecepatan pemancaran CO_2 dengan waktu.



Gambar 4.3. Fluktuasi harian konsentrasi ²²²Rn dan CO₂.

antara 2 butiran tanah tersebut lebih besar dari jarak lompatan ²²²Rn, maka ²²²Rn tersebut akan masuk ke dalam pori-pori tanah. Kemungkinan ini diperbesar dengan adanya air di dalam pori-pori tanah. Sedangkan CO₂ diproduksi oleh pernafasan material organik dalam tanah dan akar tanaman. Setelah diproduksi CO₂ juga akan masuk ke dalam pori-pori tanah. Setelah masuk ke dalam pori-pori tanah, ²²²Rn dan CO₂ akan mengalir ke atas mengikuti aliran air di dalam pori-pori tanah dan akhirnya terlepas ke udara.

Fluktuasi yang terjadi disebabkan oleh pengaruh dari tekanan udara dan suhu tanah. Peningkatan tekanan udara akan menekan gas yang berada di permukaan tanah menuju ke tempat yang lebih dalam, sehingga jumlah gas di permukaan tanah akan menurun. Sedangkan jika suhu tanah meningkat, maka air di dalam pori-pori tanah akan berkurang. Karena koefisien difusi gas di udara lebih besar daripada di air. Proses ini menghasilkan peningkatan

pengangkutan gas ke permukaan tanah dan penyimpanan gas di permukaan tanah.

Berdasarkan persamaan (3.3), perubahan konsentrasi ²²²Rn akan mencapai kondisi stabil (*steady-state*) setelah melewati waktu paruhnya (± 91 jam). Namun seperti terlihat pada gambar 4.1 kondisi tersebut dicapai setelah 30 jam. Sedangkan berdasarkan persamaan (3.4), perubahan konsentrasi CO₂ seharusnya tidak akan mencapai kondisi stabil. Namun seperti terlihat pada gambar 4.2 dan 4.3 kondisi tersebut juga dialami oleh CO₂. Hal-hal tersebut diperkirakan terjadi karena adanya efek ventilasi yang terdiri dari difusi balik dan kebocoran.

Konsentrasi gas di dalam drum semakin lama semakin meningkat karena akumulasi gas yang terjebak di dalam drum. Setelah drum dipenuhi oleh gas, maka gas yang masuk sebagian akan masuk kembali ke dalam tanah di bawah drum. Proses inilah yang disebut proses difusi balik yang menyebabkan penurunan konsentrasi

gas. Adanya kebocoran pada drum karena segel yang tidak rapat atau lubang, juga akan menyebabkan penurunan. Kesetimbangan antara pemasukan dan pengeluaran gas akan menyebabkan tercapainya kondisi stabil.

Dengan adanya difusi balik, maka persamaan (3.3) dan (3.4) harus dikoreksi. Seperti terlihat pada gambar 4.4, Ed_i dapat digambarkan sebagai (Chen, C.J., et.al., 1993):

$$Ed_i(t) = Ed_0 - \alpha C_i(t) \quad (4.1),$$

Dimana Ed₀ adalah kecepatan pemancaran pada t = 0 (*initial*) dan α adalah kecepatan ventilasi (m/detik). Dengan mengganti Ed_i(t) pada persamaan (3.1) dengan persamaan (4.1), maka akan didapatkan:

$$\frac{\partial C_n(t)}{\partial t} = \frac{Ed_0 - \alpha C_i(t) \times A}{V} - \lambda CR_n(t) \quad (4.2),$$

$$\frac{\alpha \times A}{V} = \beta \quad (4.3),$$

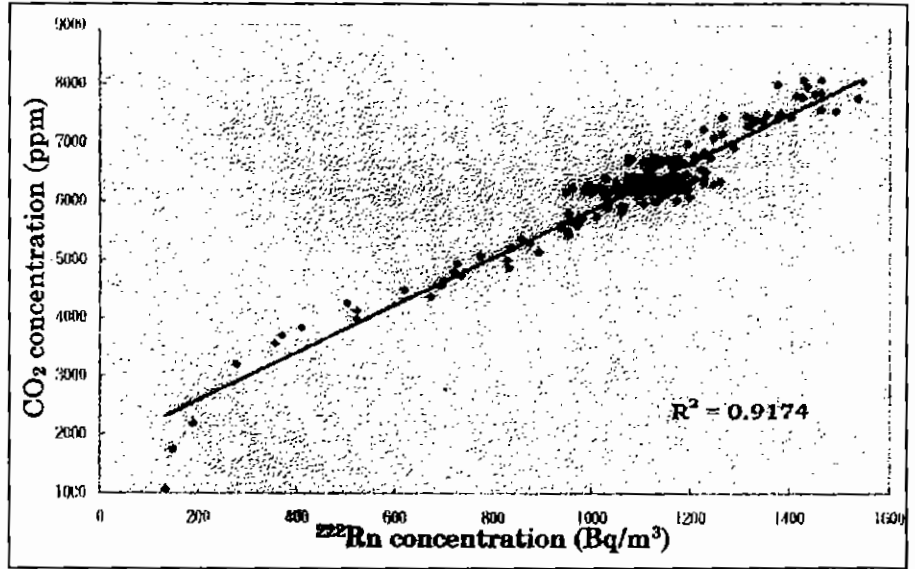
dimana β adalah konstanta ventilasi (detik⁻¹). Sehingga persamaan (4.2) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Ed_{Rn0} = \frac{C_{Rn}(t) \times (\lambda + \beta) \times V}{A \times (1 - \exp^{-(\lambda + \beta)t})} \quad (4.4)$$

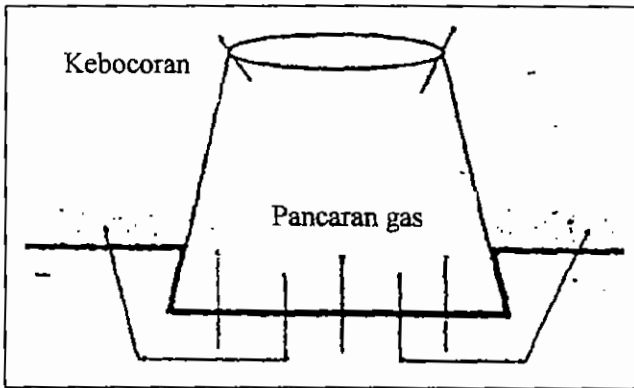
Kecepatan pemancaran CO₂ menjadi:

$$Ed_{CO_2} = \frac{C_{CO_2}(t) \times \beta \times V}{A \times (1 - \exp^{-\beta t})} \quad (4.5)$$

Nilai α untuk kedua gas tersebut pada periode pengukuran berbeda karena adanya efek peluruhan pada ²²²Rn.



Gambar 4.4. Hubungan antara fluktuasi harian konsentrasi ²²²Rn dan CO₂.



Gambar 4.5. Proses difusi balik.

1. 5. Kesimpulan

Perubahan konsentrasi kedua gas di dalam drum mempunyai pola yang sama. Sehingga dengan diketahuinya pola salah satu gas tersebut akan dapat diketahui pula perubahan konsentrasi gas yang lain. Dengan demikian gas ²²²Rn dapat digunakan untuk merunut perubahan konsentrasi gas CO₂ dari dalam tanah.

Fluktuasi yang terjadi disebabkan oleh pengaruh dari tekanan udara dan suhu tanah. Peningkatan tekanan udara akan menurunkan konsentrasi gas di permukaan tanah. Sedangkan peningkatan suhu tanah akan meningkatkan konsentrasi gas di permukaan tanah.

Setelah drum terisi penuh dengan

gas, maka akan terjadi proses difusi balik yang menyebabkan berkurangnya kecepatan pemancaran gas-gas tersebut dari dalam tanah.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Prof. Kunio Higashi, Ass. Prof. Kazuo Shin, Ass. Prof. Ikuji Takagi dan Dr. Haruyuki Fujita dari *Department of Nuclear Engineering, Kyoto University* atas bimbingannya dan bantuan dalam mempersiapkan penelitian ini. Tidak lupa pula penulis ucapkan terimakasih kepada Dr. Hikaru Amano dan Mariko Atarashi, M.Eng dari Laboratorium Kimia Lingkungan, JAERI atas ijinnya menggunakan peralatan untuk penelitian ini.

Daftar Pustaka

1. Chen, C.J., et.al. (1993). Radon Exhalation Rate from Various

Building Materials, *Health Physics Vol. 64*, p. 613 - 619.

2. De, Anil Kumar, 1987. *Environmental Chemistry*, Wiley Eastern Ltd. New Delhi.
3. Dorr, H., and Münnich, K.O. (1990). ²²²Rn Flux and Soil Air Concentration Profiles in West German: Soil ²²²Rn as Tracer for Gas Transport in The Unsaturated Soil Zone, *Chemical Physics Meteorology, Vol. 42*, p. 20.
4. Hao, W., and Weng, P.S. (1981). Measurement of Radon Emanation Rate in Soil with Thermoluminescent Dosimeters, *International Journal of Applied Radiation and Isotope, Vol. 32*, p. 522.
5. Manahan, S.E. (1993). *Fundamentals of Environmental Chemistry*, Lewis Publishers, Michigan, p.519, 549.
6. National Council on Radiation Protection and Measurements (1984). *Evaluation of Occupational and Environmental Exposures to Radon and Radon Daughters in The United States*, NCRP Report No. 78, Bethesda, Maryland.