

## **KONSENTRASI GAS RADON DI UDARA DI LUAR DAN DALAM RUMAH SEKITAR NYALA-API KAWASAN TAMBANG MINYAK**

**Sutarman dan Wahyudi**

Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir – BATAN

**Luhantara**

Jurusan Fisika-FMIPA, Universitas Indonesia

### **ABSTRAK**

**KONSENTRASI GAS RADON DALAM UDARA DI LUAR DAN DALAM RUMAH SEKITAR NYALA-API KAWASAN TAMBANG MINYAK** Nyala-api banyak ditemukan di daerah pengeboran minyak yang tampak sebagai emisi gas bakar yang dilepas ke lingkungan melalui sebuah pipa yang tingginya sekitar 8 m di atas permukaan tanah. Nyala-api yang dilepas ke lingkungan bersama dengan beberapa gas hidrokarbon dan radon ( $^{222}\text{Rn}$ ). Dalam penelitian ini hanya dilakukan pengukuran konsentrasi gas radon saja. Radon adalah suatu gas yang bersifat radioaktif yang berasal dariuruhan uranium ( $^{238}\text{U}$ ). Pengukuran konsentrasi radon dalam udara di luar rumah dilakukan menggunakan metode dwi-tapis pada 23 lokasi yang mengelilingi nyala-api sebagai pusatnya. Pengukuran konsentrasi radon dalam udara di dalam rumah dilakukan pada 74 rumah penduduk (berjarak lebih dari pada 600 m dari nyala-api) dengan menempatkan detektor alfa jejak nuklir (CR-39) di ruang tamu selama sekitar tiga bulan. Pengukuran konsentrasi gas radon dilakukan di kawasan tambang minyak Cepu, Cirebon, dan Prabumulih. Hasil-hasil pengukuran memperlihatkan bahwa konsentrasi radon di luar rumah berkisar dari 108 Bq/m<sup>3</sup> sampai 256 Bq/m<sup>3</sup> di Cepu, 248 Bq/m<sup>3</sup> sampai 3525 Bq/m<sup>3</sup> di Cirebon, dan 51 Bq/m<sup>3</sup> sampai 114 Bq/m<sup>3</sup> di Prabumulih. Hasil-hasil pengukuran memperlihatkan bahwa konsentrasi radon di dalam rumah berkisar dari 11 Bq/m<sup>3</sup> sampai 38 Bq/m<sup>3</sup> di Cepu, 28 Bq/m<sup>3</sup> sampai 184 Bq/m<sup>3</sup> di Cirebon, dan 12 Bq/m<sup>3</sup> sampai 38 Bq/m<sup>3</sup> di Prabumulih. Data konsentrasi gas radon tertinggi dalam udara di luar rumah lebih tinggi dari pada tingkat tindakan yang direkomendasikan oleh Badan Tenaga Atom Internasional (IAEA) untuk daerah kerja. Konsentrasi gas radon tertinggi dalam udara di dalam rumah lebih rendah dari pada tingkat tindakan yang direkomendasikan oleh IAEA. IAEA merekomendasikan tingkat tindakan 1000 untuk daerah kerja dan 200 untuk permukiman. Data ini akan dipakai sebagai data dasar radioaktivitas lingkungan di Indonesia.

### **ABSTRACT**

**RADON CONCENTRATION IN OUTDOORS AND INDOORS AROUND THE FLARE IN OIL MINE SITES.** The flares are much found at the oil exploration areas which appear the combustion gases emission to the environment that pass through a pipe at about about 8 m high from the ground level. The flare is released into the environment together with the hydrocarbon and radon gases. This study has been carried out the measurement of the radon gas concentration only. Radon is a radioactive gas which comes from the natural radioactive decay of uranium ( $^{238}\text{U}$ ). The outdoor radon concentrations were measured in 23 locations with the two-filter method. The locations were determined by a circle which the flare as the point center. The outdoor radon concentrations were measured in 74 houses (more than distance of 600 m from the flare) with the alpha track detector (CR-39) placed in the living rooms for about three months. The measurements of the radon concentrations were carried out in Cepu, Cirebon, and Prabumulih oil mine sites. The results showed that the outdoor radon concentrations a range of 108 Bq/m<sup>3</sup> to 256 Bq/m<sup>3</sup> in Cepu, 248 Bq/m<sup>3</sup> to 3525 Bq/m<sup>3</sup> in Cirebon, and 51 Bq/m<sup>3</sup> to 114 Bq/m<sup>3</sup> in Prabumulih. The results showed that the indoor radon concentrations a range of 11 Bq/m<sup>3</sup> to 38 Bq/m<sup>3</sup> in Cepu, 28 Bq/m<sup>3</sup> to 184 Bq/m<sup>3</sup> in Cirebon, and 12 Bq/m<sup>3</sup> to 38 Bq/m<sup>3</sup> in Prabumulih. The data of the maximum radon concentration in outdoor air was higher than an actual level which recommended by International Atomic Energy Agency (IAEA) for workplaces. The maximum radon concentration in indoor air was lower than an actual level which recommended by IAEA for dwellings. IAEA recommends the actual level of 1000 Bq/m<sup>3</sup> for workplaces and 200 Bq/m<sup>3</sup> for dwellings. These data will be used for the baseline data of the environmental radioactivity in Indonesia.

## PENDAHULUAN

Gas radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) merupakan salah satu gas mulia yang bersifat radioaktif, tidak berwarna, tidak berbau, tidak dapat dilihat, dan tidak dapat dirasakan, sehingga tidak dapat dideteksi dengan pancaindera. Radionuklida ini merupakan radionuklida alam primordial, hasil anak luruh radium ( $^{226}\text{Ra}$ ) dari deret uranium ( $^{238}\text{U}$ ) yang terdapat kerak bumi. Gas radon dilepaskan dari permukaan bumi ke udara secara terus-menerus, bergerak dengan bebas dan masuk ke dalam rumah dengan cara difusi melalui pori-pori tanah, bahan bangunan dan air. Konsentrasi gas radon relatif tinggi dibandingkan dengan radionuklida alam lainnya. Diperkirakan sekitar 47 % konsentrasi radionuklida di alam berasal dari gas radon dan merupakan sumber radiasi terbesar yang diterima penduduk dunia, yaitu sekitar 1,3 mSv/tahun[1].

Dalam makalah ini dibahas hasil pemantauan konsentrasi gas radon di kawasan pengeboran minyak di Cirebon (Jawa Barat) dan Cepu (Jawa Tengah), dan Prabumulih (Sumatera Selatan). Pemantauan yang dilakukan meliputi pemantauan konsentrasi gas radon di udara di sekitar nyala-api atau *flare* (*outdoor radon monitoring*) dan daerah permukiman (*dwelling*) di sekitar nyala-api (*indoor radon monitoring*).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa besar konsentrasi gas radon dalam udara dan konsentrasi gas radon di dalam rumah penduduk di sekitar nyala-api. Hasil pemantauan konsentrasi gas radon tersebut dapat dipakai untuk pengkajian lebih lanjut

dalam memperkirakan dosis tahunan yang diterima penduduk yang bermukim di sekitar nyala-api.

Hasil peluruhan gas radon itu sebagian besar melekat atau terkandung ke butiran-butiran halus debu udara yang berdiameter 0,01–1 $\mu\text{m}$ , sehingga bila terhisap melalui hidung sangat berbahaya bagi kesehatan manusia, karena gas ini bersifat radioaktif dan mudah terendapkan di dalam saluran pernafasan. Radiasi alfa yang dipancarkan oleh radon dapat mengganggu saluran pernafasan, terutama anak luruhnya. Dosis radiasi alfa yang diterima oleh saluran pernafasan yang berasal dari anak luruh radon sekitar 20 kali lebih besar dari pada yang dipancarkan oleh gas radon itu sendiri. Adapun efek radiasi yang ditimbulkan mempunyai risiko sangat besar terhadap kesehatan saluran pernafasan tersebut, bergantung pada konsentrasi anak luruh radon di udara dan parameter fisiologik sistem pernafasan, misalnya dapat menimbulkan asma dan kanker paru-paru[2].

## PENGENDALIAN GAS RADON

Faktor-faktor geologik seperti struktur tanah dan batu-batuan dalam bentuk patahan (*faulting*) yang mengendalikan gas radon di dalam tanah. Gas radon berkonsentrasi tinggi biasanya dijumpai di dalam tanah dan batu-batuan yang banyak mengandung uranium. Batu-batuan tersebut antara lain, batuan granit dan batuan fosfat. Di tempat terbuka gas radon bergerak dengan bebas dan dapat larut dalam air, sehingga dapat lepas ke lingkungan melalui tanah yang berlubang atau celah atau batu-

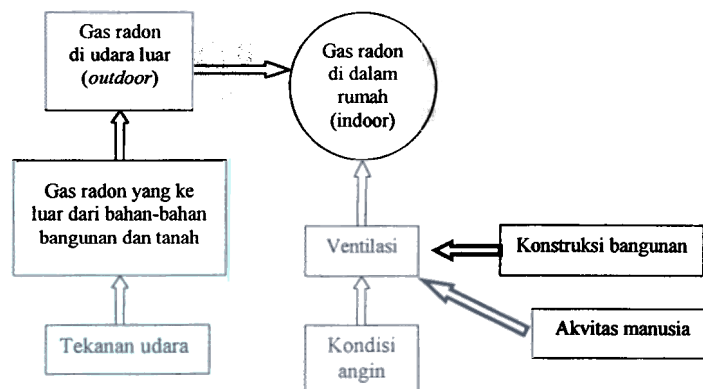
batuan yang retak, atau mengikuti aliran air ke permukaan tanah, terbawa oleh angin ke atmosfer, dan akhirnya terdistribusi kemana-mana, bergantung pada kondisi meteorologi setempat, misalnya angin, suhu dan tekanan udara.

Mekanisme perpindahan gas radon dari tanah ke dalam ruangan di dalam rumah dapat melalui beberapa cara, misalnya secara difusi melalui tanah/lantai yang retak atau fondasi yang kurang baik, sambungan tidak sempurna pipa atau kran air yang berasal dari tandon air, bahan-bahan bangunan yang dipakai untuk konstruksi rumah (batuan granit, gipsum, fosfat, semen campuran abu-terbang (*fly-ash*), dan aktivitas manusia (mandi dan memasak dengan bahan bakar minyak tanah/gas LPG). Ruang-ruang yang sempit dan kurang ventilasi atau ruang bawah tanah cenderung memberikan kontribusi konsentrasi gas radon di dalam rumah. Oleh karena itu peranan ventilasi dan jenis bahan bangunan sangat penting dalam pengendalian gas radon di dalam rumah. Jadi faktor-faktor yang mempunyai pengaruh atas besar-kecilnya konsentrasi gas radon di dalam rumah, antara lain sifat bahan bangunan rumah, struktur geologi/tanah, konstruksi/jenis bahan

bangunan, parameter meteorologi, dan aktivitas manusia (Gambar 1).

Pemantauan konsentrasi gas radon di udara di dalam dan di luar rumah banyak dilakukan orang dengan berbagai metode. Pengukuran konsentrasi gas radon di luar rumah dapat dilakukan, antara lain dengan metode bilik sintilasi (*scintillation chamber*) atau sering disebut *Lucas atau Van Dilla chamber*, dan dwi-tapis (*two-filter*). Adapun pengukuran konsentrasi gas radon di dalam rumah biasanya menggunakan dosimeter radon pasif, misalnya menggunakan arang aktif (*activated carbon*), dan detektor jejak nuklir (plastik Cr-39 dan LR-115) dengan tingkat sensitivitas tinggi. Untuk pemeriksaan konsentrasi radon sesaat biasanya digunakan alat pemantau yang dapat di bawa kemana-mana (*radon portable monitoring*), sedangkan untuk mendapatkan data akumulasi biasanya menggunakan dosimeter radon pasif yang dipasang selama 1-3 bulan. Semua metode di atas cukup baik karena banyak dipakai orang baik untuk memantauan gas radon di lapangan maupun di rumah-rumah penduduk atau tempat kerja (*workplace*)[2].

Seperti telah di jelaskan di atas bahwa



Gambar 1 Faktor-faktor yang mempengaruhi konsentrasi gas radon di dalam rumah

besarnya konsentrasi gas radon sangat bervariasi bergantung pada struktur geologi tanah, keadaan atmosfer setempat, dan ventilasi ruangan. Menurut ICRP (1981), konsentrasi gas radon rata-rata di dunia di dalam rumah ( $40 \text{ Bq/m}^3$ ) lebih tinggi dibandingkan dengan di tempat terbuka ( $10 \text{ Bq/m}^3$ )[3]. Konsentrasi gas radon (*indoor survey* di beberapa negara Eropa umumnya relatif tinggi, rata-rata  $72 \text{ Bq/m}^3$  dan yang tertinggi di Swedia dapat mencapai  $85000 \text{ Bq/m}^3$ , sedangkan di beberapa negara Asia umumnya konsentrasi gas radon relatif rendah, yaitu rata-rata  $36 \text{ Bq/m}^3$  dan tertinggi  $6000 \text{ Bq/m}^3$  di Kazakstan [4].

Konsentrasi gas radon tinggi dijumpai di daerah tempat kerja, misalnya daerah tambang terutama tambang uranium dan tambang bawah tanah, tempat-tempat rekreasi sumber air panas, sekolahan-sekolahan dan kantor-kantor yang menggunakan bahan bangunan yang mengandung uranium. Oleh karena itu konsentrasi gas radon di daerah tersebut harus ditekan serendah mungkin sehingga konsentrasi gas radon di tempat/daerah kerja dan di dalam rumah turun di bawah batas ambang konsentrasi gas radon yang diperbolehkan atau disebut tingkat tindakan (*action level*). Tingkat tindakan yang dimaksud adalah suatu upaya yang harus dilakukan bagaimana cara mengurangi konsentrasi gas radon tersebut agar dapat ditekan sehingga di bawah batas konsentrasi gas radon yang telah direkomendasikan. Tingkat tindakan yang dikeluarkan oleh beberapa negara dan badan internasional, diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Harga tingkat tindakan konsentrasi gas radon di dalam rumah dari beberapa negara dan tahun ditetapkannya [5].

Negara/ Badan Internasional	Tingkat tindakan		Tahun ditetapkan
	( $\text{Bq/m}^3$ )	Bq/l	
Australia	200	0,2	-
Kanada	800	0,8	1989
CSFR	200	0,2	1991
Cina	200	0,2	-
Jerman	250	0,25	1988
Irlandia	200	0,2	1991
Luksemburg	250	0,25	1988
Norwegia	200	0,2	1990
Swedia	200	0,2	1990
Inggris	200	0,2	1990
Amerika Serikat	150	0,15	1988
Rusia	200	0,2	1990
Rusia	400	0,4	1988
CEC	200-600	0,2-0,6	1993
ICRP	400	0,4	1986
Nordic WHO	100	0,1	1985

Catatan

CEC : *Commission of the European Communities*,  
 ICRP : *International Commission on Radiation*,  
 Nordic : Swedia, Norwegia, Finlandia, dan Denmark,  
 WHO : *World Health Organization*, - : belum  
 dilaporkan kepada IAEA (*International Atomic  
 Energy Agency*).

Komisi komunitas negara-negara Eropa (CEC) merekomendasikan tingkat tindakan  $1500 \text{ Bq/m}^3$  untuk daerah kerja dan  $400 \text{ Bq/m}^3$  untuk di dalam rumah. Badan Tenaga Atom Internasional (IAEA) juga telah merekomendasikan tingkat tindakan  $1000 \text{ Bq/m}^3$  bagi daerah kerja dan  $200 \text{ Bq/m}^3$  untuk di dalam rumah[4]. Indonesia melalui Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nasional (BAPETEN) telah mengeluarkan nilai batas konsentrasi tertinggi yang diizinkan untuk gas radon di udara (lingkungan) sebesar  $400 \text{ Bq/m}^3$  atau  $0,4 \text{ Bq/l}$ [6].

Dampak radiologi gas radon terutama anak luruhnya ( ${}_{83}\text{Bi}^{210}$ ,  ${}_{84}\text{Po}^{210}$  dan  ${}_{84}\text{Pb}^{210}$ ) sangat mengganggu kesehatan bagi saluran pernafasan, karena radionuklida tersebut akan terendapkan pada dinding permukaan saluran pernafasan (epithelium). Jika parikel alfa yang diendapkan dan terakumulasi cukup tinggi, maka diperkirakan dapat memberi risiko timbulnya rusaknya saluran pernafasan yang selanjutnya dapat menimbulkan kanker paru-paru. Menurut studi epidemiologi yang telah dilakukan di beberapa daerah tambang di Amerika Serikat dan Kanada ternyata terdapat kenaikan jumlah penderita kanker paru-paru akibat menghisap gas radon beserta anak luruhnya [2].

Suatu taksiran yang dibuat oleh Dewan Proteksi Radiologi Nasional Inggris (*National Radiological Protection Board* atau NRPB) tahun 1989, bahwa sekitar 4100 orang di Inggris yang menerima penyinaran radiasi (*exposure*) gas radon di dalam rumah ternyata sebanyak 2500 orang atau lebih per tahun menderita kanker paru-paru. Oleh karena itu untuk memberikan suatu tindakan khusus bagi kondisi rumah-rumah di Inggris, pemerintah telah merekomendasikan tingkat tindakan untuk gas radon dalam rumah adalah  $200 \text{ Bq/m}^3$  [5].

Penyinaran radiasi gas radon di dalam rumah sampai sekarang diakui oleh pemerintah Inggris sebagai risiko terhadap kesehatan masyarakat, karena sampai kini sekitar 10 % rumah di Inggris ditemukan mempunyai konsentrasi gas radon di atas tingkat tindakan [4]. Konsentrasi gas radon di dalam rumah telah dilaporkan memberikan dosis radiasi sebesar

47 % dari dosis pengan rata-rata yang diterima penduduk dunia.

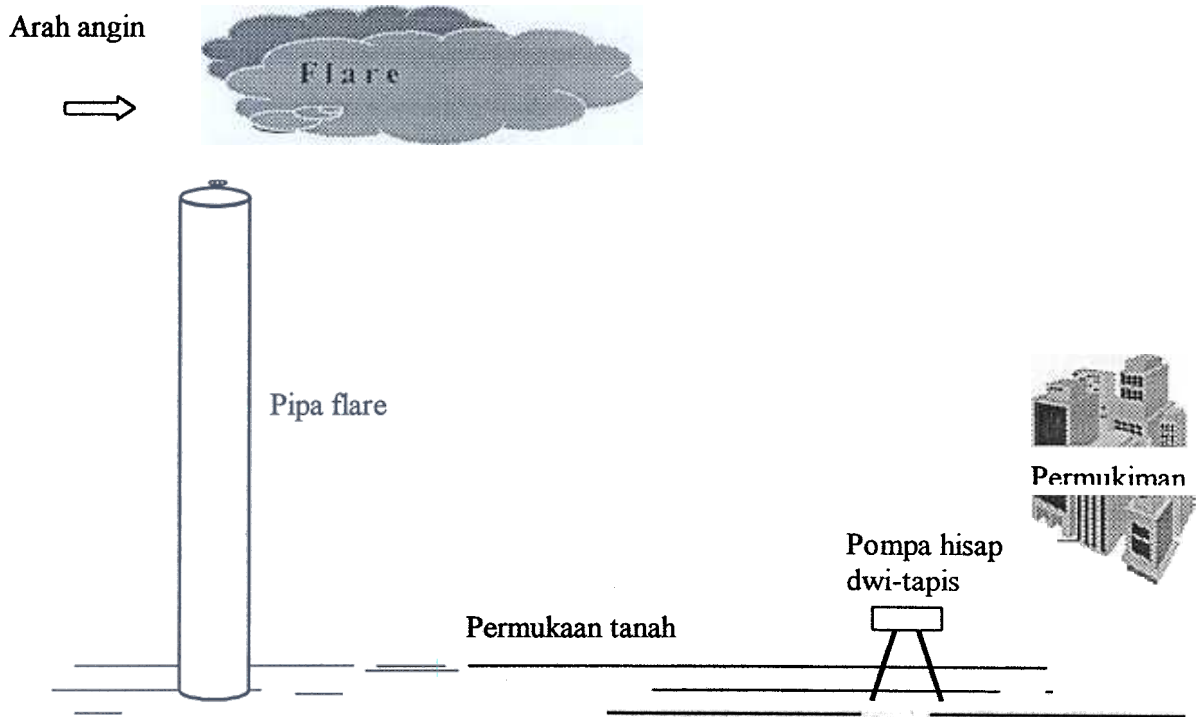
## BAHAN DAN METODE

### Metode Dwi-tapis [7,8]

Pengukuran konsentrasi gas radon menggunakan metode dwi-tapis biasanya dilakukan untuk menentukan konsentrasi radon di udara di luar rumah atau sering disebut *outdoor radon monitoring*. Metode ini akan menghasilkan konsentrasi gas radon sesaat pada titik penyelidikan tertentu yang dilakukan pengukuran secara aktif, karena contoh udara diambil dengan cara menghisap udara melalui pipa dwi-tapis (kedua ujung pipa dipasang kertas tapis) yang panjangnya 100 cm dan berdiameter 5 cm. Contoh udara dihisap menggunakan pompa vakum dengan laju 10 liter per menit, selama 15 menit pada ketinggian sekitar 1,5 m dari permukaan tanah.

Pengambilan contoh udara dilakukan berdasarkan radius dengan pipa buangan gas nyala-api sebagai titik pusatnya, yaitu dari radius 30-600 m bergantung pada kondisi di lapangan. Tinggi pipa nyala-api umumnya sekitar 8 meter dari permukaan tanah (Gambar 2)

Udara dihisap melewati kertas tapis depan (pertama) dan kertas tapis belakang (kedua) dalam tabung (pipa) dwi-tapis. Kertas tapis depan berfungsi sebagai penahan kotoran (debu) dan kertas tapis belakang berfungsi sebagai pengumpul partikel gas radon. Selama udara mengalir dalam tabung diperkirakan partikel radon akan meluruh menjadi  ${}^{218}\text{Po}$  (Ra-A) terkandung dalam debu udara tersebut,



Gambar 2. Sumber nyala-api dari dalam bumi yang lepas melalui pipa ke lingkungan

sebagian terdifusi ke dinding tabung, dan sebagian lagi terkandung dalam kertas tapis belakang.

Kertas tapis yang di depan hanya berfungsi sebagai penapis debu, sehingga udara yang ditangkap kertas tapis belakang cukup bersih dan merupakan cuplikan udara yang akan diukur atau dicacah menggunakan pencacah sintilasi alfa dengan detektor ZnS(Ag). Pencacahan contoh dilakukan dua kali dengan waktu cacah masing-masing 15 menit, dan waktu tunda 15 menit[8]

Perhitungan konsentrasi  $^{222}\text{Rn}$  dalam contoh udara dilakukan menggunakan rumus berikut :

$$C_{\text{Rn}} = \frac{0,45 X \pm Sd}{EZVF_f} \quad (1)$$

dengan  $C_{\text{Rn}}$  adalah konsentrasi radon dalam contoh (pCi/l), 0,45 adalah konversi dari

peluruhan per menit (dpm) ke pCi, X adalah laju cacah selama selang waktu tertentu (cpm) setelah dikurangi dengan laju cacah latar (cpm), E adalah efisiensi pencacahan (%) yang ditentukan menggunakan sumber standar  $^{241}\text{Am}$ , V adalah volume tabung (l), Z adalah faktor koreksi (menit) yang ditentukan oleh waktu sampling (menit) dan waktu tunda ( $T_2 - T_1$ ) dalam Tabel 1;  $T_1$  adalah selang waktu pencacahan dimulai dan  $T_2$  (menit) adalah selang waktu pencacahan berakhir (menit),  $F_f$  adalah fraksi atom  $^{218}\text{Po}$  yang terbentuk dalam tabung yang menempel pada kertas tapis belakang, harga  $F_f$  dapat ditentukan dengan menghitung harga  $\mu$  lebih dulu (Lampiran-1 dan Lampiran-2) [8], Sd adalah simpangan baku ditentukan dari distribusi Poisson dengan selang kepercayaan 68 % [7].

Evaluasi data dilakukan menggunakan metode statistik, yaitu menggunakan simpangan

baku Poisson dan perhitungan batas deteksi terendah alat cacah yang digunakan (untuk menentukan apakah hasil pengukuran aktivitas radon yang telah diperoleh masih dapat terdeteksi atau tidak).

Pengukuran konsentrasi gas radon di udara dengan metode dwi-tapis secara lengkap dapat dilihat pada daftar pustaka [7,8].

### Metode Jejak Nuklir [7]

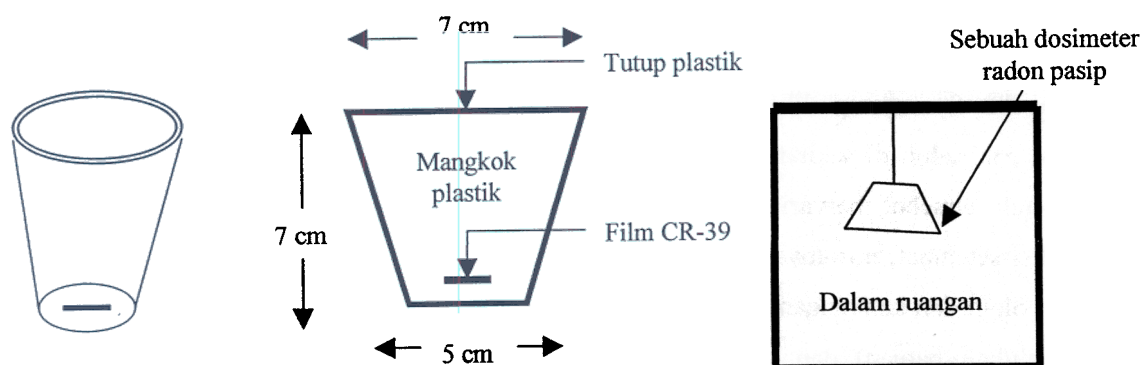
Pengukuran konsentrasi gas radon di ruangan dalam rumah penduduk sekitar nyala api menggunakan metode dosimeter radon pasip dengan detektor jejak nuklir CR-39 yang peka terhadap partikel-partikel alfa yang dipancarkan oleh gas radon beserta anak luruhnya. Detektor jejak nuklir CR-39 dengan nama dagang *Baryotrak* buatan Fukui Co Jepang, berupa film atau plastik tipis berbentuk lembaran padat yang transparan yang dibuat dari bahan polymer organik (*allyldiglicol carbonat* dengan rumus kimianya :  $C_{12}H_{18}O_7$ ).

Dalam penelitian ini detektor jejak nuklir CR-39 berukuran  $1\text{ cm} \times 3\text{ cm}$  diletakkan di dasar sebuah mangkok plastik tertutup dengan tinggi 7 cm, diameter atas 7 cm, dan

diameter bawah 5 cm, dan di atas diberi kertas tapis agar hanya gas radon saja yang masuk ke dalam mangkok, sedangkan gas thoron dan gas lain terhalang oleh kertas tapis tersebut (Gambar 3 a).

Dosimeter radon pasip ini digantung dengan tali di tengah-tengah ruangan (ruang tamu dan kamar tidur) selama tiga bulan (Gambar 3 b). Selama tiga bulan gas radon di dalam mangkok akan berinteraksi dengan CR-39 secara terus menerus. Prosedur secara lengkap dapat dilihat pada daftar pustaka [7].

Setelah tiga bulan, dosimeter radon pasip yang dipasang di dalam ruangan diambil dan film CR-39 dietsa dengan larutan Na OH 6 N selama 6,5 jam pada suhu  $60^\circ\text{ C}$  di dalam inkubator. Jejak nuklir yang terkena radiasi alfa yang dipancarkan oleh gas radon dibaca (dihitung) menggunakan mikroskop (Opithipot-2-Nikon buatan Jepang) dengan perbesaran 400 kali. Agar bacaan jejak nuklir representatif dan memenuhi metode statistik, bacaan jejak tersebut dilakukan 50 kali, metode lengkapnya dapat dilihat pada daftar pustaka [7].



Gambar 3. Dosimeter radon pasip dan pemasangan di dalam ruangan

Tabel 2. Hasil pengukuran konsentrasi gas radon di kawasan pengeboran minyak di Cepu Cirebon, dan Prabumulih dengan metode dwi-tapis[9].

Lokasi	Radius (m)	Konsentrasi (Bq/m <sup>3</sup> )	Lokasi	Radius (m)	Konsentrasi (Bq/m <sup>3</sup> )	Lokasi	Radius (m)	Konsentrasi (Bq/m <sup>3</sup> )
<b>Cepu</b>			<b>Cirebon</b>			<b>Prabumulih</b>		
<b>A-1</b>	30	162	<b>B-1</b>	50	2018	<b>C-1</b>	100	105
	50	126		100	992		200	95
	100	108		150	579		300	84
<b>A-2</b>	50	130		300	413		400	77
	100	127		400	248		500	64
	200	120	<b>B-2</b>	100	661		600	53
<b>A-3</b>	50	256		200	331	<b>C-2</b>	100	114
	100	132		300	248		200	91
	200	110	<b>B-3</b>	30	3525		300	84
				100	2712		400	77
				200	452		500	66
				400	362		600	51

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemantauan konsentrasi gas radon di udara terbuka (oudoor monitoring) yang dikumpulkan dari beberapa lokasi di sekitar nyala-api kawasan pengeboran minyak di Cepu (9 lokasi), Cirebon (12 lokasi), dan Prabumulih (12 lokasi) menggunakan metode dwi-tapis diperlihatkan pada Tabel 2. Sementara hasil pemantauan konsentrasi gas radon di udara di dalam rumah penduduk (indoor monitoring) yang dikumpulkan dari beberapa lokasi di sekitar nyala-api di kawasan pengeboran minyak di Cepu (14 lokasi), Cirebon (40 lokasi), dan Prabumulih (15 lokasi) menggunakan metode jejak nuklir diperlihatkan pada Tabel 3[9].

Tabel 2 memperlihatkan bahwa konsentrasi gas radon di sekitar nyala-api dari ketiga daerah tersebut bervariasi bergantung pada kondisi setempat, misalnya struktur tanah (struktur geologi dan kandungan unsur kimia di dalam tanah/batu-batuan) dan keadaan cuaca

(arah/kecepatan angin, kelembaban, dan suhu udara) pada waktu pengukuran dilakukan.

Bersarnya konsentrasi gas radon di Cepu berkisar dari 108 sampai 256 Bq/m<sup>3</sup>, di Cirebon berkisar dari 248 Bq/m<sup>3</sup> sampai 3525 Bq/m<sup>3</sup>, dan di Prabumulih berkisar dari 51 Bq/m<sup>3</sup> sampai 114 Bq/m<sup>3</sup>

Harga konsentrasi rata-rata dari ketiga daerah tersebut pada jarak yang sama (200 m dari sumber titik nyala-api) adalah (115±50) Bq/m<sup>3</sup> di Cepu, (1455±633) Bq/m<sup>3</sup> di Cirebon, dan (93±40) Bq/m<sup>3</sup>. Perbedaan harga ini disebabkan kondisi cuaca dan struktur geologi tanah di daerah penyelidikan berbeda. Data konsentrasi rata-rata gas radon tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi rata-rata gas radon di dnuia di tempat terbuka bukan daerah tambang. Hal ini memperlihatkan adanya lepasan gas radon di udara bersama-sama dengan nyala-api yang dilepas dari pipa ke lingkungan.

Umumnya pada radius 30-100 m di sekitar flare konsentrasi gas radon relatif besar



dan konsentrasi gas radon tertinggi adalah 3525 Bq/m<sup>3</sup> yang diukur pada jarak 30 m dari nyala-api (radius 30 m) di Cirebon.

Konsentrasi gas radon tertinggi di sekitar nyala-api di kawasan pengeboran minyak Cirebon sudah melebihi tingkat tindakan untuk tempat/daerah kerja yang direkomendasikan oleh badan-badan internasional (CEC: 1500 Bq/m<sup>3</sup>, IAEA: 1000 Bq/m<sup>3</sup>, dan BAPETEN : 400 Bq/m<sup>3</sup> sebagai nilai batas tertinggi konsentrasi gas radon di dalam udara yang diizinkan untuk lingkungan)

Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian konsentrasi gas radon di sekitar nyala-api di kawasan pengeboran minyak yang berkaitan dengan struktur geologi dan kandungan unsur-unsur di dalam tanah, serta kesehatan masyarakat di sekitar daerah penyelidikan, terutama di kawasan pengeboran minyak Cirebon

Tabel 2 memperlihatkan bahwa hasil pengukuran konsentrasi gas radon di sekitar nyala-api di ketiga daerah bervariasi bergantung dari keadaan daerah penyelidikan, misalnya struktur geologi tanah, bahan bangunan yang digunakan, dan ventilasi rumah. Konsentrasi gas radon di beberapa rumah di sekitar nyala-api Cirebon umumnya relatif besar, kemungkinan tanah/ batu-batuan dan bahan bangunan yang digunakan daerah penyelidikan banyak mengandung uranium, namun hal tersebut perlu pengkajian lebih lanjut, karena faktor cuaca, ventilasi, dan bentuk bangunan rumah dapat memberikan kontribusi tingginya konsentrasi gas radon di dalam rumah.

Besarnya konsentrasi gas radon di rumah penduduk di sekitar nyala-api (lebih dari 600 m dari pipa nyala-api) di Cepu berkisar dari 11 Bq/m<sup>3</sup> sampai 38 Bq/m<sup>3</sup> dengan harga rata-ratanya (22 ±2) Bq/m<sup>3</sup>, di Cirebon berkisar dari 28 Bq/m<sup>3</sup> sampai 184 Bq/m<sup>3</sup> dengan harga rata-ratanya (106 ±10) Bq/m<sup>3</sup>, dan di Prabumulih berkisar dari 12 Bq/m<sup>3</sup> sampai 38 Bq/m<sup>3</sup> dengan harga rata-ratanya (23 ± 1) Bq/m<sup>3</sup>. Harga konsentrasi gas radon yang tertinggi dari hasil pemantauan dari ketiga daerah tersebut masih di bawah batas tingkat tindakan yang direkomendasi oleh badan-badan internasional (Tabel 1), namun untuk daerah Cirebon perlu mendapat perhatian, karena konsentrasi gas radon rata-rata di dalam rumah lebih tinggi dari tingkat tindakan yang direkomendasikan oleh EPA (Amerika Serikat : 150 Bq/m<sup>3</sup>) dan WHO (100 Bq/m<sup>3</sup>).

Secara teori dengan menggunakan persamaan kepul Gauss (*Gaussian plume equation*), konsentrasi maksimum gas radon dalam udara di tempat terbuka pada jarak tertentu dari pipa nyala-api ke lingkungan dapat diperhitungkan, jika diketahui laju lepasan konsentrasi gas radon secara terus-menerus, tinggi efektif pipa, dan kondisi meteorologi setempat (arah/kecepatan angin dan stabilitas atmosfer). Adapun konsentrasi gas radon dalam rumah sulit diperhitungkan dengan di atas karena lepasan gas radon dapat berasal dari berbagai sumber, misalnya bahan bangunan, kondisi tanah, dan struktur bangunan rumah.

Tabel 3. Hasil pengukuran konsentrasi gas radon (indoor monitoring) di kawasan pengeboran minyak di Cepu, Cirebon, dan Prabumulih dengan metode jejak nuklir [9].

Lokasi	Konsentrasi (Bq/m <sup>3</sup> )	Lokasi	Konsentrasi (Bq/m <sup>3</sup> )	Lokasi	Konsentrasi (Bq/m <sup>3</sup> )	Keterangan
Cepu		Cirebon		Prabumulih		D, E, dan F rumah-rumah penduduk (dwellings) di sekitar flare
D1	33	E1	123	F1	19	
D2	15	E2	70	F2	29	
D3	19	E3	70	F3	25	
<b>D4</b>	<b>11</b>	E4	108	F4	19	
D5	15	E5	63	<b>F5</b>	<b>12</b>	
D6	19	E6	70	<b>F6</b>	<b>38</b>	
D7	15	E7	101	F7	21	
D8	24	E8	124	F8	21	
D9	27	E9	108	F9	15	
D10	24	E10	53	F10	21	
D11	19	E11	111	F11	22	
<b>D12</b>	<b>38</b>	E12	80	F12	19	
D13	22	E13	103	F13	30	
D14	29	E14	86	F14	25	
		E15	55	F15	25	
		<b>E16</b>	<b>28</b>	F16	26	
		E17	78	F17	29	
		E18	103	F18	28	
		E19	53	F19	21	
		E20	48	F20	18	
		E21	76			
		E22	63			
		E23	102			
		E24	50			
		E25	151			
		E26	80			
		E27	61			
		E28	86			
		E29	133			
		E30	139			
		E31	46			
		E32	118			
		E33	103			
		E34	126			
		E34	126			
		E35	<b>184</b>			
		E36	75			
		E37	75			
		E38	60			
		E39	172			
		E40	86			
	22±2		106±10		23±1	

### KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil pengukuran konsentrasi gas radon di sekitar nyala-api di luar dan di dalam rumah penduduk yang berjarak lebih dari 600 m dari

nyala-api di Cirebon umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan di Cepu dan Prabumulih.

Konsentrasi gas radon di luar rumah di Cirebon berkisar dari 248 Bq/m<sup>3</sup> sampai 3525 Bq/m<sup>3</sup>. Umumnya pada radius 30-100 m di

sekitar nyala-api konsentrasi gas radon relatif besar dan konsentrasi gas radon tertinggi adalah  $3525 \text{ Bq/m}^3$  yang diukur pada jarak 30 m dari pipa nyala-api (radius 30 m) di Cirebon. Konsentrasi rata-rata gas radon di kawasan pengeboran minyak di Cirebon sudah melebihi batas tingkat tindakan tempat/daerah kerja yang direkomendasikan oleh badan-badan internasional.

Besarnya konsentrasi gas radon di dalam rumah penduduk di sekitar nyala-api di Cirebon, berkisar dari  $28 \text{ Bq/m}^3$  sampai  $184 \text{ Bq/m}^3$  dengan harga rata-ratanya ( $106 \pm 10$ )  $\text{Bq/m}^3$  Harga konsentrasi yang tertinggi ini ( $184 \text{ Bq/m}^3$ ) melebihi tingkat tindakan untuk konsentrasi gas radon dalam rumah yang direkomendasi oleh EPA dan WHO.

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dan dilakukan tindakan intervensi untuk mengurangi konsentrasi gas radon di rumah-rumah penduduk di sekitar nyala-api, terutama di beberapa lokasi di sekitar nyala-api di kawasan pengeboran minyak Cirebon Perlu dilakukan penelitian mengenai kemungkinan dampak terhadap kesehatan bagi penduduk di sekitarnya.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. GONZALES, A.J., ANDERER, J. *Radiation Versus Radiation : Nuclear Energy in Perspective*, IAEA Bulletin, Quarterly Journal of the International Atomic Energy Agency, Vol. 31, No.2, June 1989, Vienna, 1989, pp. 21,24.
2. EPA, *A Citizen's Guide to Radon*, United States Environmental Protection Agency, New York, 1986.
3. ICRP, *Limits for Inhalation of Radon Daughters by Workers International*

*Comission on Radiological Protection*, ICRP Publication 52, Oxford Pergamon, 1981.

4. ROSLIH MAHAT, *Radon As A Source of Radiation Hazard in the Workplace*, Proceedings of Radiation and Occupational Health Symposium, 22-23 Nov. 1993, University of Malaya, Kuala Lumpur, 1993, pp.98.
5. JASIMUDDIN, U.A, *Radon in the Human Environment : Assessing the Picture*, IAEA Bulletin, Vol.36, No.2, Quarterly Journal of the International Atomic Energy Agency (IAEA) Vienna, 1994, pp. 33.
6. BAPETEN, *Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nasional*, No.02/Ka.BAPETEN-99, Jakarta, 1999.
7. BATAN, *Prosedur Analisis Sampel Radioaktivitas Lingkungan*, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta 1998.
8. IAEA, *Manual on Radiological Safety in Uranium and Thorium Mines and Mills*, International Atomic Energy Agency, Vienna (1976). IAEA, *Manual on Radiological Safety in Uranium and Thorium Mines and Mills*, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1976.
9. LUHANTARA DAN SUTARMAN, *The Radioactive Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) Effect of Combustion Gases Emission from the Flare to the Environment in Prabumulih Area as Justification of the Data Gathered both in Karangampel and Cepu Areas*, Report to Application for Research Grant, Science & Technology Research Center, University of Indonesia, Jakarta, 1998.

#### TANYA JAWAB

##### *Arif – Dinas Kesehatan*

Daerah mana saja di Cirebon yang dijadikan tempat pengambilan sample ?

##### *Sutarman*

Daerahnya adalah Karangampel meliputi desa Kaplongan, Kedokansari dan Kedungungu.

**Ruben Napitupulu – PERTAMINA Dumai**

1. Berapa tingkat keakuratan penelitian ini ?
2. Apakah yang berada didalam minyak, radon atau hidrokarbon ?

**Sutarman**

1. Berkisar antara 5-10% dengan tingkat kepercayaan 68%.
2. Kedua-duanya yaitu gas radon dan hidrokarbon

**Sutrisno**

1. Pada jarak berapa kita aman dalam bekerja dari nyala api (flare) ?
2. Kapan waktu yang aman untuk bekerja ?

**Sutarman**

1. Perlu dilakukan penelitian tiap lokasi yang terdapat flare (dilakukan rutin) sehingga dapat menentukan berapa jauh konsentrasi gas radon lepas di lingkungan (digunakan rumus distribusi Gauss dan Paquil).
2. Konsentrasi gas radon menurun biasanya pada siang hari sekitar pukul 12.00, tergantung kondisi tempat penelitian dilakukan (cuaca, struktur tanah dsb).

**Leli Nirwani – P3KRBiN BATAN**

Bagaimana mengurangi konsentrasi radon dalam rumah ?

**Sutarman**

Dengan cara memberi ventilasi yang baik, konstruksi bangunan dengan bahan yang tidak mengandung uranium, menjauhkan tendon air dari ruang tidur atau ruang tamu.

Lampiran 1 Harga  $F_f$  yang dipakai untuk menentukan konsentrasi gas radon [8].

$\mu$	$F_f$	$\mu$	$F_f$
0.005	0.877	0.25	0.420
0.008	0.849	0.30	0.384
0.01	0.834	0.35	0.349
0.02	0.778	0.40	0.324
0.03	0.737	0.45	0.302
0.04	0.705	0.50	0.282
0.05	0.678	0.60	0.248
0.06	0.654	0.70	0.220
0.07	0.633	0.80	0.197
0.08	0.614	0.90	0.178
0.09	0.596	1.00	0.162
0.10	0.580	1.50	0.110
0.12	0.551	2.00	0.083
0.14	0.525	2.50	0.067
0.16	0.502	3.00	0.056
0.18	0.481	4.00	0.042
0.20	0.462	5.00	0.033

**Catatan**

$\mu = \pi DL/q$  dengan  $\pi = 3,1416$ ,  $D =$  konstanta difusi 0,085 untuk RaA,  $L =$  panjang tabung dwi-tapis (cm), dan  $q =$  laju penghisapan contoh udara ( $\text{cm}^3/\text{s}$ )

Lampiran 2 Harga Z yang dipakai untuk menentukan konsentrasi gas radon [8].

T	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	Z
5	1	6	1.672
5	1	15	2.597
5	1	30	3.411
5	1	100	6.314
10	1	6	2.312
10	1	15	3.803
10	1	30	5.425
10	1	100	11.068
15	1	6	2.656
15	1	15	4.634
15	1	30	7.070
15	1	100	15.281