

KONSEP SERTIFIKASI BAKU MUTU NORM DALAM BAHAN BANGUNAN

Bunawas, Syarbaini

Abstract

Nowadays, there is a tendency that publics use raw materials which are contained a high concentration of NORM as building material. Therefore, exposure to radiation from natural radioactivity in building materials such as house and or offices are increasing significantly. Since, it is necessary to calculate the limit content of NORM in building material to protect of the public from prolonged exposure. In this concept, standard quality derived by using room model with dimensions $5 \times 4 \times 2.8 \text{ m}^3$ and walls 15 cm thick, constructed of material with a surface density of $100 - 500 \text{ kg/m}^2$. Thus, based on NORM characteristic in covers a wide range of building material in Indonesia and contribution of radiations from the walls in the room, a standar quality of NORM in building material can be found

by a general equation :
$$\frac{352}{\rho.d} \left\{ \frac{C_{Ra}}{227} (1 + 0,005 \cdot \rho.d) + \right\} + \frac{C_{Th}}{185} + \frac{C_K}{2551} \leq 1$$
. This calculation not only

consider the external and internal radiation from radon gas (^{222}Rn) but also density of building material. By using this index, natural radiation in the indoor to be minimize and import product of building materials with high NORM concentration in local market could be limited.

Keywords: standard quality, NORM, Building materials

1. PENDAHULUAN

Manusia cenderung menginginkan suatu kenyamanan dalam hidupnya, terutama yang berkaitan dengan rumah tempat tinggal, sehingga sering terdengar kata-kata "Rumahku adalah istanaku". Maka, tidaklah mengherankan kalau banyak manusia berusaha membuat rumah senyaman mungkin, bahkan tak jarang rumah menjadi sesuatu yang dijadikan kebanggaan atau simbol prestise bagi pemiliknya. Belakangan ini di Indonesia, seiring dengan perkembangan mode dan kemampuan ekonomi masyarakat, banyak warga yang menggunakan bahan bangunan yang berkilat seperti gypsum, granit, keramik dinding berornamen untuk memberi kesan megah dan mewah pada rumah tanpa menyadari bahan-bahan tersebut mengandung radionuklida alamiah (*Natural Occurring Radioactive Material - NORM*) dengan konsentrasi relatif tinggi.

Menurut laporan UNSCEAR mulai tahun 1997 – 2000 paparan radiasi eksterna yang berasal dari bahan bangunan cenderung mengalami kenaikan dari 0,36 mSv/tahun (1977), 0,41 mSv/tahun (1988), 0,46 mSv/tahun (1994) dan 0,48 mSv/tahun (2000) [1,2,3,4]. Kenaikan paparan radiasi eksterna tersebut akan sebanding dengan kenaikan radiasi interna dari inhalasi gas radon dan thoron dengan dosis rata-rata sebesar 1,196 mSv/tahun.^[4] Dosis radiasi eksterna dan interna yang berasal dari bahan bangunan ini mayoritas sekitar 95,83% dari dosis radiasi alamiah total. Sedangkan data

sementara untuk Indonesia sebesar 1,55 mSv/tahun (75,60%) dari dosis total berasal dari bahan bangunan.^[5]

Kenaikan paparan radiasi alamiah yang berasal dari bahan bangunan berhubungan erat dengan kecenderungan masyarakat menggunakan bahan bangunan yang mengandung NORM dengan konsentrasi relatif tinggi. Oleh karena itu beberapa negara sudah mengeluarkan batasan konsentrasi NORM dalam bahan-bahan bangunan, karena implikasinya berupa paparan jangka panjang.[6,7]

Di Indonesia batasan terhadap kandungan NORM dalam bahan bangunan masih belum diatur, sehingganya dengan mudah dijumpai di swalayan atau toko bahan bangunan, bahan-bahan yang mengandung NORM cukup tinggi, baik produk lokal maupun impor padahal di negara asalnya bahan bangunan tersebut sudah diperketat dan dibatasi pemakaiannya. Oleh karena itu perlu dilakukan pengkajian yang mendapat dukungan dari semua pihak yang terkait seperti BAPETEN (Badan Pengawas Tenaga Nuklir), Kementerian Negara Perumahan Rakyat, Kementerian Negara Lingkungan Hidup, Departemen Kesehatan dan Lembaga Konsumen Indonesia. Makalah ini merupakan masukan dalam upaya menyusun baku mutu NORM yang terkandung di dalam bahan bangunan.

1.1 Karakteristik NORM dalam Bahan Bangunan

Konsentrasi radioanuklida alam yang terkandung dalam bahan bangunan khususnya yang digunakan untuk dinding ruangan seperti batako putih, batako semen, bata merah dan beton ringan (Hebel) yang diambil dari beberapa kota di Jawa dan Sumatera dilaporkan rendah dalam beton ringan dan tinggi dalam bata merah seperti yang disajikan pada Tabel 1.^[9]

Sedangkan laju lepasan gas radon (²²²Rn) dari bahan bangunan tersebut di atas, berkisar antara 0,25 – 1,32 Bq.m⁻².jam⁻¹, rendah untuk beton ringan dan tinggi untuk batako putih. Demikian pula pengaruh *finishing* seperti plester dan pengecatan akan menurunkan laju lepasan radon karena memperkecil porositas permukaan bahan bangunan tersebut seperti yang terlihat pada Tabel 2.^[11]

Konsentrasi radon di dalam ruangan 5 x 4 x 2,8 m³ dapat diperkirakan menggunakan persamaan^[11] :

$$C_{Rn} = L_D \cdot E_{Rn} \left(\frac{3,6}{\lambda \cdot V} \right) \text{ (Bq/m}^3\text{)} \quad [1]$$

$$= 3,047 \cdot \frac{E_{Rn}}{\lambda V} \text{ (Bq/m}^3\text{)}$$

dengan

$$L_D = \text{laju dinding efektif} \sim 47,4 \text{ m}^2$$

$$E_{Rn} = \text{laju lepasan radon (Bq.m}^{-2}\text{.jam}^{-1}\text{)}$$

$$V = \text{volume ruangan} \sim 56 \text{ m}^3$$

$$\lambda_V = \text{laju ventilasi ruangan} \sim 0,2 - 1 \text{ L per jam}$$

Berdasarkan laju lepasan gas radon pada Tabel 2 dan persamaan [1], maka konsentrasi radon di dalam ruangan yang menggunakan AC maupun tanpa AC adalah antara 0,83 – 9,29 Bq/m³ (Tabel 3).

Konsentrasi radon di dalam ruangan yang berasal dari dinding bangunan dengan asumsi kualitas dinding bagus (tidak ada retakan), maka laju lepasan radon hanya berasal dari porositas mikro dinding bangunan.

Tabel 1 Konsentrasi Rata-rata NORM dalam Bahan Bangunan

No.	Bahan Bangunan	Konsentrasi rata-rata (Bq/kg)		
		C _{Ra}	C _{Th}	C _K
1.	Batako Putih	19	23	141
2.	Batako Semen	15	21	139
3.	Bata Merah	33	58	175
4.	Beton Ringan	8	7	39

Tabel 2 Variasi Laju Lepas Gas Radon (²²²Rn) dari Dinding Bangunan^[11]

No.	Bahan Bangunan	Laju lepasan gas Radon (Bq.m ⁻² .jam ⁻¹)		
		Sebelum diplester	Setelah diplester	Setelah dicat
1.	Batako Putih	1,18 – 1,32 (1,21 ± 0,11)	0,70 – 0,77 (0,73 ± 0,07)	0,59 – 0,65 (0,61 ± 0,05)
2.	Batako Semen	1,10 – 1,23 (1,15 ± 0,09)	0,43 – 0,48 (0,45 ± 0,04)	0,38 – 0,41 (0,39 ± 0,04)
3.	Bata Merah	1,05 – 1,18 (1,07 ± 0,08)	0,33 – 0,36 (0,34 ± 0,02)	0,29 – 0,32 (0,30 ± 0,02)
4.	Beton Ringan	0,80 – 0,84 (0,83 ± 0,04)	0,29 – 0,31 (0,24 ± 0,01)	0,25 – 0,27 (0,26 ± 0,01)

Tabel 3 Perkiraan Konsentrasi Radon dari Bahan Bangunan

No.	Bahan Bangunan	C _{Rn} (Bq/m ³)	
		Tanpa AC	Dengan AC
1.	Batako Putih	1,87	9,29
2.	Batako Semen	1,22	5,94
3.	Bata Merah	0,94	4,57
4.	Beton Ringan	0,83	3,96

1.2 Model Paparan Radiasi di Dalam Ruang

Dosis radiasi yang diterima oleh seseorang yang tinggal di dalam ruangan ukuran 5 x 4 x 2,8 m³ dengan tebal dinding 15 cm dan kerapatan permukaan bervariasi antara 100 – 500 kg/m² adalah berasal dari 3 jenis paparan radiasi yaitu^[12] :

1. Paparan radiasi eksterna yang berasal dari radiasi gamma
2. Paparan radiasi eksterna yang berasal dari radiasi beta
3. Paparan radiasi interna yang berasal dari inhalasi gas radon (²²²Rn), gas thoron (²²⁰Rn) dan anak luruhnya yang berumur pendek.

Ketiga jenis paparan ini dapat diekspresikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$D_T = D_{e\gamma} + D_{e\beta} + D_{iRn}$$

dimana

$$D_{e\gamma} = \text{Laju dosis radiasi gamma}$$

$$D_{e\beta} = \text{Laju dosis radiasi beta}$$

$$D_{iRn} = \text{Laju dosis radiasi radon – thoron}$$

1.2.1 Dosis Radiasi Gamma

Bahan bangunan yang mengandung radionuklida alam (NORM) berasal dari peluruhan ²³⁸U, peluruhan ²³²Th dan ⁴⁰K yang dalam proses peluruhannya memancarkan radiasi gamma. Paparan radiasi gamma ini berasal dari 2 komponen yaitu :

1. Paparan radiasi gamma yang berasal dari bahan bangunan.
2. Paparan radiasi gamma yang berasal dari peluruhan radon-thoron di udara dalam ruangan.

Kedua paparan radiasi gamma ini diekspresikan dengan persamaan :

$$D_{e\gamma D} = D_{e\gamma D} + D_{e\gamma U}$$

$$D_{e\gamma D} = f_{Ra} C_{Ra} + f_{Th} C_{Th} + f_K C_K$$

$$D_{e\gamma U} = f_{Rn} C_{Rn} + f_{Tn} C_{Tn}$$

di mana:

$$D_{e\gamma D} = \text{laju dosis gamma dari dinding dan lantai (nGy/jam)}$$

$$D_{e\gamma U} = \text{laju dosis gamma dari udara di ruangan (nGy/jam)}$$

$$f_{Ra} = \text{laju dosis absorpsi spesifik di udara untuk deret } ^{238}\text{U (nGy/jam per Bq/kg)}$$

$$f_{Th} = \text{laju dosis absorpsi spesifik di udara untuk deret } ^{232}\text{Th (nGy/jam per Bq/kg)}$$

$$f_K = \text{laju dosis absorpsi spesifik di udara untuk } ^{40}\text{K (nGy/jam per Bq/kg)}$$

$$C_{Ra} = \text{Konsentrasi } ^{226}\text{Ra (Bq/kg)}$$

$$C_{Th} = \text{Konsentrasi } ^{228}\text{Th (Bq/kg)}$$

$$C_K = \text{Konsentrasi } ^{40}\text{K (Bq/kg)}$$

$$f_{Rn} = \text{laju dosis absorpsi spesifik di udara untuk } ^{222}\text{Rn (nGy/jam per Bq/m}^3\text{)}$$

$$f_{Tn} = \text{laju dosis absorpsi spesifik di udara untuk } ^{220}\text{Rn (nGy/jam per Bq/m}^3\text{)}$$

$$C_{Rn} = \text{Konsentrasi gas radon (Bq/m}^3\text{)}$$

$$C_{Tn} = \text{Konsentrasi gas thoron (Bq/m}^3\text{)}$$

Berdasarkan studi literatur dan metode komputasi, de Jong dkk tahun 2006 melaporkan bahwa nilai f_{Ra} , f_{Th} dan f_K bergantung pada kerapatan permukaan bahan. Untuk beton dengan densitas 2350 kg/m³, tebal 20 cm dan kerapatan permukaan 470 kg/m² diperoleh nilai f_{Ra} , f_{Th} dan f_K sebesar 0,90; 1,10 dan 0,08 nGy/jam per Bq/kg, seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.^[12]

Untuk bahan-bahan bangunan lain yang mempunyai densitas (ρ) berbeda, maka nilai f_{Ra} , f_{Th} dan f_K dapat diturunkan seperti yang ditampilkan pada Tabel 5.

Penelitian yang dilakukan di laboratorium Radon di EML – USA oleh Miller dan George, membuktikan bahwa konsentrasi radon maupun thoron sebesar 3700 Bq/m³, sewaktu berada di udara meluruh memancarkan radiasi gamma dengan laju paparan sebesar 0,50 μ Gy/jam dan 0,61 μ Gy/jam, dengan asumsi faktor kesetimbangan ~ 0,4.^[13]

Berdasarkan data konsentrasi NORM (Tabel 1), konsentrasi radon (Tabel 3), nilai f_{Ra} , f_{Th} dan f_K (Tabel 5) dan nilai f_{Rn} (Tabel 6), maka paparan radiasi gamma untuk ke 4 jenis dinding bangunan dapat dihitung menggunakan persamaan 3, 4 dan 5 seperti yang disajikan pada Tabel 7.

Pada Tabel 7 terlihat bahwa kontribusi radiasi gamma yang berasal dari luruhan radon yang berada di udara rendah yaitu kurang dari 2%.

Tabel 4 Laju Dosis Absorpsi Spesifik Beton dengan Tebal 20 cm dan $\rho = 2350 \text{ kg/m}^3$ (nGy/jam per Bq/kg)

No.	Metode	f_{Ra}	f_{Th}	f_K
1.	MCNP	0,85	1,18	0,076
2.	Marmar	0,91	1,11	0,076
3.	Microshield	0,81	1,15	0,072
4.	Koblinger	0,93	1,03	0,078
5.	Stranden	0,92	1,11	0,078
6.	Mustonen	0,93	1,10	0,081
7.	Mirza dkk	1,21	1,29	0,100
8.	Ahmad dkk	0,95	1,21	0,081
9.	Maduar – Hiromoto	0,70	0,92	0,072
10.	Ademola – Farai	0,92	1,24	0,084
	Rata - rata	$0,90 \pm 0,08$	$1,10 \pm 0,08$	$0,080 \pm 0,006$

Tabel 5 Nilai f_{Ra} , f_{Th} dan f_K untuk beberapa Jenis Bahan Bangunan (nGy/jam per Bq/kg)

No.	Bahan Bangunan	$\rho \text{ (kg/m}^3\text{)}$	f_{Ra}	f_{Th}	f_K
1.	Beton	2350	0,90	1,10	0,080
2.	Batako Semen	1830	1,16	1,41	0,103
3.	Bata merah	1670	1,27	1,54	0,112
4.	Batako putih	1100	1,92	2,35	0,171
5.	Beton ringan	580	3,64	4,45	0,324

Tabel 6 Nilai f_{Rn} dan f_{Tn} Udara Kering ^[13]

No.	Nuklida	Laju Dosis Absorpsi Spesifik (nGy/jam per Bq/m ³)
1.	Radon	0,135
2.	Thoron	0,162

Tabel 7 Laju Paparan Gamma Eksterna yang Berasal dari NORM yang Terkandung Bahan Bangunan

No.	Dinding Bangunan	Laju Paparan Gamma Eksterna (nGy/jam)		
		$D_{e\gamma D}$	$D_{e\gamma U}$	$D_{e\gamma T}$
1.	Batako Putih	68,99	1,26	70,25
2.	Batako Semen	92,89	0,79	93,68
3.	Bata Merah	135,16	0,61	135,77
4.	Beton Ringan	67,20	0,54	67,74

1.2.2 Dosis Radiasi Beta Imersi di Udara

Gas radon dan thoron yang lepas dari bahan bangunan sewaktu di udara dalam ruangan akan meluruh dengan memancarkan radiasi beta dari ke-2 atau ke-3 anak luruhnya. Dianggap luruhan radon dan thoron tersebut terdistribusi merata di dalam ruangan. Apabila seseorang berada di tengah-tengah ruangan, maka orang tersebut akan terpapar radiasi beta secara imersi. Perlu

diketahui bahwa kulit epidermis dengan ketebalan sekitar 70 μm , paling peka terhadap radiasi beta. Kocher dan Echerman telah menghitung faktor konversi dosis kulit untuk luruhan radon-thoron menggunakan program Montecarlo point kernel, seperti terlihat pada Tabel 8. ^[14]

Tabel 8 Faktor Konversi Dosis Imersi Beta di Udara dari Radon ^[14]

No.	Radionuklida	T _{1/2}	f _{Bi} (nGy/jam per Bq/m ³)
1.	²¹⁴ Pb	26,8 m	0,0479
2.	²¹⁴ Bi	19,9 m	0,1484

Tabel 9 Laju Dosis Imersi Beta dari Radon di Udara

No.	Dinding Bangunan	^o D _{eβ} (nGy/jam)
1.	Batako putih	1,84
2.	Batako semen	1,01
3.	Bata merah	0,90
4.	Beton ringan	0,79

Dengan asumsi luruhan radon pemancar radiasi beta (²¹⁴Pb dan ²¹⁴Bi) berada dalam kesetimbangan radioaktif dengan induknya, maka dosis imersi dari radon dan luruhannya dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$D_{e\beta}^o = C_{Rn} \cdot f_{i\beta} \quad [6]$$

dengan:

C_{Rn} = konsentrasi radon (Bq/m³)

f_{iβ} = faktor konversi dosis imersi radon (nGy/jam per Bq/m³)

Dosis imersi beta dari luruhan radon yang berada di udara dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (6) dan Tabel 7, hasilnya seperti disajikan pada Tabel 9.

1.2.3 Radiasi Interna

Gas radon dan thoron yang lepas dari dinding bahan bangunan sewaktu di udara dalam ruangan akan meluruh menjadi ²¹⁸Po, ²¹⁴Po, ²¹⁶Po dan ²¹²Po yaitu berupa partikel halus dengan diameter antara 40 – 150 nm dengan memancarkan radiasi alfa. Dosis radiasi alfa secara inhalasi melalui jalur pernafasan, merupakan paparan radiasi interna yang cukup potensial.

Laju dosis internal yang berasal dari luruhan radon melalui jalur inhalasi dapat dihitung dengan persamaan 7 ^[4]:

$$D_{iRn}^o = F \cdot f_{iRn} \cdot C_{Rn} \quad (nGy/jam) \quad [7]$$

dengan :

F = faktor kesetimbangan ~ 0,4

f_{iRn} = faktor konversi dosis radon ~ 9 nGy per Bq/m³.jam

Berdasarkan persamaan [7], laju dosis interna dari inhalasi radon dapat diperkirakan dan hasilnya disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10 Laju Dosis Interna dari Inhalasi Radon Bahan Bangunan

No.	Bahan Bangunan	^o D _{iRn} (nGy/jam)
1.	Batako putih	83,59
2.	Batako semen	53,46
3.	Bata merah	41,15
4.	Beton ringan	35,64

Laju dosis total yang diterima seseorang yang tinggal di dalam ruangan ukuran 5 x 4 x 2,8 m³ dengan waktu tinggal di dalam ruangan selama 7.000 jam per tahun, berkisar antara 104,17 – 155,68 nGy/jam, seperti terlihat pada Tabel 11

Tabel 11 Laju Dosis Total yang diterima Seseorang dari Bahan Bangunan (nGy/jam)

No.	Bahan Bangunan	^o D _{eγD}	^o D _{eγU}	^o D _{iβ}	^o D _{iRn}	^o D _T
1.	Batako putih	68,99	1,26	1,84	83,59	155,68
2.	Batako semen	92,89	0,79	1,01	53,46	148,15
3.	Bata merah	135,16	0,61	0,90	41,15	177,82
4.	Beton ringan	67,20	0,54	0,79	35,64	104,17

Dengan asumsi masa tinggal di dalam ruangan selama 7.000 jam/tahun dan koefisien konversi 0,70 Sv/Gy, maka dosis total yang berasal dari dinding bangunan antara 0,510 – 0,8713 mSv/tahun.

Pada Tabel 5 dan Tabel 11, terlihat bahwa pengaruh densitas (ρ) dan gas radon saling berkaitan. Oleh karena itu kontribusinya tidak dapat diabaikan karena nilainya berkisar antara 8,06 – 25,87%

2. BAKU MUTU NORM DALAM BAHAN BANGUNAN

Berdasarkan model paparan radiasi di dalam ruangan yang dibahas pada Bab di atas, maka secara umum dapat diturunkan baku mutu NORM dalam bahan bangunan untuk ruangan 5 x 4 x 2,8 m dan tebal dinding 0,15 m, dengan batas dosis 1 mSv/tahun.

$$\frac{C_{Ra}}{227} + \frac{C_{Th}}{185} + \frac{C_K}{2551} \leq 1 \quad [8]$$

Persamaan (8) di atas hanya untuk paparan eksterna dari radiasi gamma dan imersi beta untuk dinding beton dengan kerapatan 2350 kg/m³. Apabila untuk bahan lain dengan kerapatan yang lebih rendah maka koreksi absorpsi yang disederhanakan sebanding dengan koreksi ρ

$$\frac{\rho_{beton}}{\rho_{lain}} \left[\frac{C_{Ra}}{227} + \frac{C_{Th}}{185} + \frac{C_K}{2551} \right] \leq 1 \quad [9]$$

Untuk bahan bangunan yang mempunyai dimensi ketebalan seperti batako, bata merah, papan gypsum, beton ringan, maka persamaan (9) berubah menjadi:

$$\frac{\rho_{beton} \cdot d_{beton}}{\rho_{lain} \cdot d_{lain}} \left[\frac{C_{Ra}}{227} + \frac{C_{Th}}{185} + \frac{C_K}{2551} \right] \leq 1 \quad [10]$$

Untuk beton dengan kerapatan permukaan (ρ , d)~2350kg/m³x0,15m~352 kg/m², maka persamaan (10) disederhanakan:

$$\frac{352}{\rho \cdot d} \left[\frac{C_{Ra}}{227} + \frac{C_{Th}}{185} + \frac{C_K}{2551} \right] \leq 1 \quad [11]$$

Persamaan (11) hanya untuk paparan eksterna, apabila kontribusi gas radon yang memberikan paparan interna diperhitungkan, maka persamaan (11) berubah menjadi^[15]:

$$\frac{352}{\rho \cdot d} \left[\frac{C_{Ra}}{227} (1 + 0,1 \cdot \varepsilon \cdot \rho \cdot d) + \frac{C_{Th}}{185} + \frac{C_K}{2551} \right] \leq 1 \quad [12]$$

Fraksi lepasan gas radon rata-rata berdasarkan studi laju lepasan dari dinding bangunan sekitar 0,05 (5%), maka persamaan (12) dapat disederhanakan menjadi:

$$\frac{352}{\rho \cdot d} \left[\frac{C_{Ra}}{227} (1 + 0,005 \cdot \rho \cdot d) + \frac{C_{Th}}{185} + \frac{C_K}{2551} \right] \leq 1 \quad [13]$$

dengan:

ρ = kerapatan bahan bangunan (kg/m³)

d = tebal bahan bangunan (m)

C_{Ra} = konsentrasi ²²⁶Ra (Bq/kg)

C_{Th} = konsentrasi ²²⁸Th (Bq/kg)

C_K = konsentrasi ⁴⁰K (Bq/kg)

Baku mutu NORM di dalam bahan bangunan telah dirumuskan oleh beberapa negara atau lembaga berdasarkan kadar ²²⁶Ra, ²²⁸Th dan ⁴⁰K untuk dinding beton. Akan tetapi hanya berdasarkan pertimbangan dari paparan radiasi eksterna saja, seperti yang terlihat pada Tabel 12.

Dalam perkembangannya, baku mutu NORM tidak hanya berdasarkan radiasi eksterna tetapi juga berdasarkan radiasi interna dari gas radon. Disamping itu koreksi kerapatan bahan bangunan juga mulai diperhitungkan paparan radiasi eksterna dan internanya.

Tabel 12 Baku Mutu NORM dalam Bahan Bangunan Berdasarkan Paparan Eksterna

No.	Pengusul	Tahun	Indek Paparan Eksterna
1.	OECD	1979	$\frac{C_{Ra}}{150} + \frac{C_{Th}}{259} + \frac{C_K}{4810} \leq 1$
2.	UNSCEAR	1982	$\frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{259} + \frac{C_K}{4810} \leq 1$
3.	SWEDIA	2000	$\frac{C_{Ra}}{300} + \frac{C_{Th}}{200} + \frac{C_K}{3000} \leq 1$
4.	AUSTRIA	1992	$\frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{260} + \frac{C_K}{4810} \leq 1$
5.	RUSIA	1980	$\frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{260} + \frac{C_K}{4810} \leq 1$

No.	Pengusul	Tahun	Indek Paparan Eksterna
6.	JERMAN	1987	$\frac{C_{Ra}}{185} + \frac{C_{Th}}{259} + \frac{C_K}{4810} \leq 1$
7.	YUGOSLAVIA	1987	$\frac{C_{Ra}}{400} + \frac{C_{Th}}{300} + \frac{C_K}{5000} + \frac{C_{Fissi}}{4000} \leq 1$
8.	AUSTRALIA	1985	$\frac{C_{Ra}}{185} + \frac{C_{Th}}{259} + \frac{C_K}{4810} \leq 1$
9.	CHINA	2001	$\frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{260} + \frac{C_K}{4200} \leq 1$
10.	JERMAN	1990	$\frac{C_{Ra}}{740} (1 + 0,1 \cdot \rho d) + \frac{C_{Th}}{520} + \frac{C_K}{9620} \leq 1$
11.	AUSTRIA	1992	$\frac{\rho \cdot d}{250} \left\{ \frac{C_{Ra}}{740} (1 + 25 \cdot \varepsilon) \right\} + \frac{C_{Th}}{520} + \frac{C_K}{9620} \leq 1$
12.	CHINA	2001	$\frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{260} + \frac{C_K}{4200} \leq 1$ (Eksterna)
13.			$\frac{C_{Ra}}{200} \leq 1$ (Interna)
14.	INDONESIA (Usulan)	2008	$\frac{352}{\rho \cdot d} \left\{ \frac{C_{Ra}}{227} (1 + 0,005 \cdot \rho \cdot d) \right\} + \frac{C_{Th}}{185} + \frac{C_K}{2551} \leq 1$

3. KESIMPULAN

Belakangan ini telah terjadi kenaikan paparan radiasi dari bangunan baik rumah maupun ruang kantor sebagai akibat dari kecenderungan masyarakat menggunakan bahan bangunan yang mengandung NORM dengan konsentrasi tinggi. Oleh karena itu konsep baku mutu NORM yang terkandung di dalam bahan bangunan yang beredar di Indonesia baik produk lokal maupun produk impor dengan menggunakan indeks paparan eksterna maupun gabungan paparan eksterna dan interna perlu dipertimbangkan. Dengan penerapan indeks paparan ini, upaya untuk melindungi masyarakat dari paparan jangka panjang dan pembatasan masuknya bahan bangunan yang mengandung NORM tinggi dari Negara lain dapat dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bunawas, Status Mutakhir Paparan Radon dan Resiko Kanker serta upaya Proteksi Radiasi kedepan, Orasi Ahli Peneliti Utama, 22 April 2004
- Bunawas, Emlinarti, Minarni, Penentuan Laju Lepas Radon dari Bahan Bangunan Menggunakan Metode Pasip dengan Detektor Jejak Nuklir, Prosiding PIKRL – PTKMR – BATAN, Agustus 1996
- De Jong, P., Van Dijk, W., Van Der Graaft, E. R., De Groot, T. J. H., National Survey of

the Natural Radioactivity and ²²²Rn Exhalation Rate of Building Materials in the Netherlands, Health Physics 91 (2006) 200 – 210

- Emlinarti, Buchari, Turahyati, Konsentrasi Radionuklida Alam (Ra-226, Th-228 dan K-40) dalam Bahan Bangunan di Daerah Pekan Baru dan sekitarnya. Prosiding PIKRL – PTKMR, BATAN, Agustus 1997
- Emlinarti, Suyati, Idra, P., Rofiq, S., Konsentrasi Radionuklida Alam di dalam Bahan Bangunan sekitar Bogor dan Tangerang, Prosiding PIKRL – PTKMR – BATAN, Agustus 1995
- ICRP, The System of Radiological Protection Revised Protection of the Public Against Prolonged Exposure ICRP Publication 82 (1999)
- Karpov, V. I., and Krixiuk, E. M., Estimation of Indoor Gamma Dose Rate, Health Physics 39(1980) 819 – 821
- Kocher, D. C., and Eckerman, K. F., Electron Dose Rate Conversion Factors for External Exposure of the Skin, Health Physics 40 (1987) 467 – 475
- Miller, K. M., and George, A. C., External γ -Ray Dose Rates from ²²²Rn Progeny Indoor, Health Physics 54 (1988) 203 – 206
- Nordic, Naturally Occurring Radioactivity in the Nordic Countries – Recommendations, ISBN91-89230-00-0 (2000)

11. NCC, Limits of Radionuclide in Building Materials, Beijing, State Environmental Protection Administration GB6566, National Criteria of China (2001)
12. OECD – NEA, Exposure to Radiation from Natural Radioactivity in Building Materials, Expert Report (1979) 1 – 39
13. Othman, I., and Mahrouma, M., Radionuclide Content in Some Building Materials in Syria and their Indoor Gamma Dose Rate, Radiation Protection Dosimetry 55 (1994) 299 – 304
14. Panlovic, S., Pavlovic, R., Avramovic, I., and Markovic, S., and Milanovic, S., Radiological Assessment of an Imported Building Material: A Case Study, Environment International Vol. 22 (1) (1996) 295 – 300
15. Papastefanou, C., Manolopu, M., and Chazalembous, S., Exposure from the Radioactivity in Building Materials, Health Physics 47 (1984) 775 – 779
16. Sutarman, Bunawas, Dadong, i., Khaerudin, A., Hudi, S., Konsentrasi Radionuklida Alam di dalam Bahan Bangunan yang digunakan di Jakarta dan Sekitarnya, Proseeding PIKRL – PTKMR, BATAN, Agustus 1994
17. Steger, F., Kunsch, B., and Buchner, I., ONORM S 5200, Radioactivity in Building Materials (A Standard in Austria to Limit Natural Radioactivity in Building Materials), Radiation Protection Dosimetry 45 (1992) 721 – 722
18. UNSCEAR, Sources and Effects of Ionizing Radiation United Nations, New York 1977
19. UNSCEAR, Sources and Effects of Ionizing Radiation United Nations, New York 1982
20. UNSCEAR, Sources and Effects of Ionizing Radiation United Nations, New York 1991
21. UNSCEAR, Sources and Effects of Ionizing Radiation United Nations, New York 2000
22. Zikovsky, L., and Kennedy, G., Radioactivity of Building Materials Available in Canada, Health Physics 63 (4) (1992) 449 – 452

BIODATA

Bunawas

Penulis dilahirkan di Nganjuk pada tanggal 7 Agustus 1956. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 Jurusan Fisika UGM pada tahun 1985. Penulis saat ini bekerja sebagai peneliti dengan jabatan Peneliti Utama pada Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, BATAN

Syarbaini

Penulis dilahirkan di Lubukbasung, Sumatera Barat pada tanggal 11 November 1956. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 Jurusan Kimia UNAND tahun 1984, S2 Jurusan Kimia Lingkungan (Radioekologi) Kanazawa University Jepang pada tahun 1994. Saat ini penulis bekerja sebagai peneliti dengan jabatan Peneliti Madya pada Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, BATAN