

## ANALISIS PROBABILISTIK KESELAMATAN RADIOLOGI RSG-GAS PADA TERAS SETIMBANG URANIUM SILISIDA 300 GRAM

Pudjijanto M.S., Pande Made Udiyani

[pudji\\_ms@batan.go.id](mailto:pudji_ms@batan.go.id) ; [pmade-u@batan.go.id](mailto:pmade-u@batan.go.id)

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir – BATAN

### ABSTRAK

**ANALISIS PROBABILISTIK KESELAMATAN RADIOLOGI RSG-GAS PADA TERAS SETIMBANG URANIUM SILISIDA 300 GRAM.** Dengan telah dimulainya penggunaan bahan bakar uranium silisida 250 g di teras RSG-GAS dan akan dilanjutkan dengan penggunaan bahan bakar uranium silisida 300 g, maka dilakukan penelitian tentang perhitungan lepasan radioaktif RSG-GAS jika menggunakan bahan bakar ini. Perhitungan dilakukan dengan paket program ORIGEN2.1 untuk menghitung karakteristik sumber, serta paket program PC-COSYMA untuk menghitung lepasan radioaktif RSG-GAS, untuk keadaan yang dipostulasikan. Perhitungan dilakukan untuk kondisi reaktor yang diasumsikan mengalami kecelakaan LOCA yang menyebabkan satu bahan bakar meleleh. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa aktivitas dan dosis radiasi yang diterima masyarakat dalam radius 5 km dari RSG-GAS, masih di bawah batas yang diijinkan untuk masyarakat yang bukan pekerja radiasi.

**Kata kunci:** analisis probabilistik, teras setimbang, uranium silisida 300 g

### ABSTRACT

**PROBABILISTIC ANALYSIS FOR RADIOLOGICAL SAFETY OF RSG-GAS AT EQUILIBRIUM CORE OF 300 G URANIUM SILICIDE.** The use of 250 g uranium silicide as fuel in RSG-GAS core had been started and will be continued with the use of 300 g uranium silicide fuel. Therefore a study on radioactive materials released from RSG-GAS when using 300 g uranium silicide fuel should be done. A situation was postulated and the source term characteristic was calculated using ORIGEN2.1 program whereas the radioactive materials released from RSG-GAS was calculated using PC-COSYMA. The reactor condition was assumed being in the LOCA situation which caused one fuel element melted. The calculation results indicate that the radioactivity and radiation doses received by public in 5 km radius from RSG-GAS are still lower than permitted doses for non radiation worker.

**Key words:** probabilistic analysis, equilibrium core, uranium silicide 300 g.

### PENDAHULUAN

Studi awal mengenai konversi tahap ke dua dari bahan bakar uranium silisida ( $U_3Si_2$ ) yang mengandung 250 g  $^{235}U$ , selanjutnya disebut sebagai uranium silisida 250g ( $\rho = 2,96 \text{ g/cm}^3$ ), ke uranium silisida 300 g ( $\rho = 3,56 \text{ g/cm}^3$ ) dengan teras campuran untuk RSG-GAS sudah pernah dilakukan [1]. Kemudian oleh Suparlina dkk [1] dilakukan penelitian membuat desain teras transisi, campuran uranium silisida 250 g dan 300 g, untuk mencapai teras setimbang uranium silisida 300 g yang memenuhi

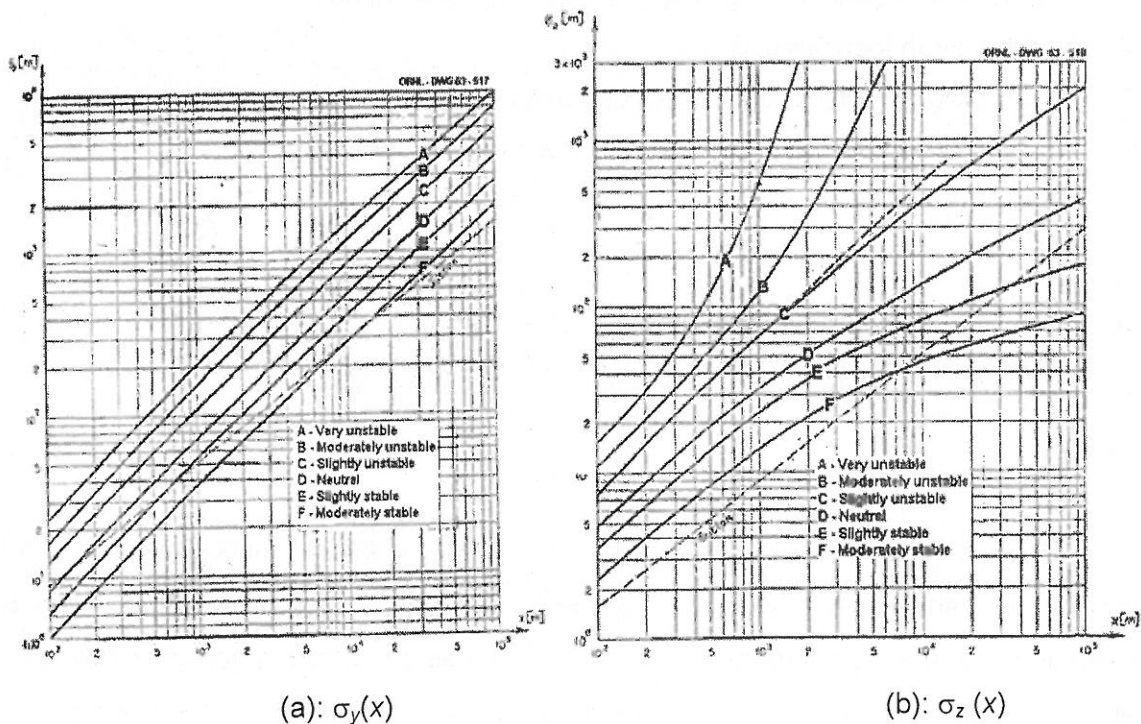
$$\chi = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z\bar{v}} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \quad (1)$$

dengan:

- $\chi$  = Konsentrasi radionuklida di atmosfer pada jarak  $x$  (sumbu radial  $X \Rightarrow$  arah angin) dari pusat sebaran, pada jarak  $y$  (sumbu horisontal  $Y \perp$  arah angin), dan pada ketinggian  $z$  (sumbu vertikal  $Z$  juga  $\perp$  arah angin) di atas permukaan tanah, meter ( $\text{Bq/m}^3$ );
- $Q$  = Lepasannya radionuklida rata-rata yang ke luar dari cerobong ( $\text{Bq/det}$ );
- $\bar{v}$  = Kecepatan angin rata-rata ( $\text{m/det}$ );
- $\sigma_y$  = Koefisien dispersi horisontal (arah  $y$ ) sebagai fungsi jarak  $x$  (m) (Gambar 2.a);
- $\sigma_z$  = Koefisien dispersi vertikal (arah  $z$ ) sebagai fungsi jarak  $x$  (m) (Gambar. 2.b);
- $y$  = Jarak tegak lurus arah angin (m);
- $z$  = Ketinggian dari atas tanah (m);

Tinggi cerobong efektif,  $H$  (m), diperoleh dari jumlah dua suku, yaitu: tinggi cerobong yang sesungguhnya:  $h$  (m) dan ditambah koreksi tinggi:  $\Delta h$  (m) sbb. [8]:

$$H = h + \Delta h \quad (2)$$



Gambar 2. Koefisien dispersi horisontal (a) dan koefisien dispersi vertikal (b), dalam m.

suhu lingkungan di sekitarnya) dan volume lepasannya cukup besar ( $U \geq 50 \text{ m}^3/\text{det}$ ). Sedangkan model ke tiga digunakan apabila keadaan atmosfer netral atau tidak stabil.

Kategori kestabilan atmosfer yang digunakan adalah berdasar pada kriteria stabilitas menurut saran Pasquill-Gifford [8]. Untuk konsentrasi di atas permukaan tanah,  $z = 0$ , persamaan (1) menjadi:

$$\chi = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z \bar{U}} \cdot \exp \left[ - \left( \frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{H^2}{2\sigma_z^2} \right) \right] \quad (6)$$

Untuk konsentrasi di sepanjang sumbu x (sejajar arah angin bertiup dengan  $y = 0$ ) persamaan (6) menjadi:

$$\chi = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z \bar{U}} \cdot \exp \left( - \frac{H^2}{2\sigma_z^2} \right) \quad (7)$$

Untuk konsentrasi di permukaan tanah ( $H = 0$ ) persamaan (7) menjadi:

$$\chi = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z \bar{U}} \quad (8)$$

## METODE PERHITUNGAN

Perhitungan yang dilakukan meliputi perhitungan karakteristik sumber, simulasi model cara pelepasan, jalan lintas (*pathway*), rantai makanan (*foodchain*), fraksi lepasan, dan jumlah fase. Input data yang dibutuhkan oleh program PC-COSYMA adalah: karakteristik sumber RSG-GAS dengan kondisi yang dipostulasikan, sebaran penduduk dalam jarak yang ditentukan, data meteorologi selama satu tahun yang terjadi di daerah sekitar tapak reaktor, pola konsumsi masyarakat, serta produksi pertanian dan peternakan. Karakteristik sumber untuk 197 radionuklida tertentu yang sesuai bagi masukan PC-COSYMA dihitung dengan program ORIGEN2.1. Jenis radionuklida dipilih dari 1700 radionuklida hasil aktivasi, hasil fisi dan aktinida hasil transuran dalam satuan curie per elemen bakar uranium silisida dengan tingkat muat 300 g U-235; Sebaran penduduk untuk daerah Serpong dan sekitarnya, pola konsumsi masyarakat serta produksi pertanian dan peternakan diperoleh dari proyek pemutakhiran data lingkungan oleh Biro Pusat Statistik Kanwil Tangerang pada saat pemutakhiran SAR RSG-GAS Revisi-9. Data meteorologi selama satu tahun dalam tahun pengamatan 1998-1999 diperoleh dari Stasiun Cuaca Pondok Betung, Dep. Hub. BMG Jakarta. Besaran yang dihitung dengan PC-COSYMA meliputi konsentrasi

Tabel 1. Jenis dan aktivitas radionuklida dari elemen bakar uranium silisida 300 g

Radionuklida	Aktivitas(Bq)	Radionuklida	Aktivitas(Bq)	Radionuklida	Aktivitas(Bq)
Zn-65	1.98E+11	Mo-99	8.38E+14	I-133	9.40E+14
Zn-69	2.40E+11	Mo-101	7.02E+14	I-134	1.06E+15
Kr-83 <sup>m</sup>	7.30E+13	Tc-99 <sup>m</sup>	7.34E+14	I-135	8.79E+14
Kr-85	2.01E+12	Tc-101	7.02E+14	Xe-133	9.33E+14
Kr-85 <sup>m</sup>	1.74E+14	Ru-103	5.35E+14	Xe-133 <sup>m</sup>	2.75E+13
Kr-87	3.54E+14	Ru-105	1.55E+14	Xe-135	9.55E+13
Kr-88	4.98E+14	Ru-106	2.79E+13	Xe-135 <sup>m</sup>	1.59E+14
Rb-88	5.02E+14	Rh-103 <sup>m</sup>	4.82E+14	Xe-138	8.67E+14
Rb-89	6.60E+14	Rh-105	1.29E+14	Cs-134	4.36E+12
Sr-89	8.02E+14	Te-127	1.91E+13	Cs-137	1.66E+13
Sr-90	1.60E+13	Te-129	9.09E+13	Cs-138	9.37E+14
Sr-91	8.08E+14	Te-129 <sup>m</sup>	1.59E+13	Ba-139	8.96E+14
Sr-92	8.25E+14	Te-131	3.54E+14	Ba-140	8.68E+14
Sr-93	8.77E+14	Te-131 <sup>m</sup>	5.12E+13	La-140	8.84E+14
Y-90	1.71E+13	Te-132	5.93E+14	La-141	8.14E+14
Y-91	9.69E+14	Te-133	5.29E+14	La-142	8.19E+14
Y-91 <sup>m</sup>	4.69E+14	Te-133 <sup>m</sup>	4.21E+14	Ce-141	9.63E+14
Y-92	8.28E+14	Te-134	9.32E+14	Ce-143	8.22E+14
Y-93	8.92E+14	Sb-125	8.14E+11	Ce-144	4.35E+14
Zr-95	1.05E+15	Sb-127	1.92E+13	Pr-143	8.13E+14
Zr-97	8.13E+14	Sb-129	9.06E+13	Pr-145	5.43E+14
Nb-95	1.03E+15	Sb-131	3.51E+14	Np-238	2.16E+12
Nb-95 <sup>m</sup>	7.37E+12	I-131	3.95E+14	Np-239	5.70E+14
Nb-97	8.15E+14	I-132	5.95E+14		

Tampak pada Tabel 2, konsentrasi deposisi radionuklida di tanah terbesar disumbangkan oleh radionuklida Rb-88 sebesar  $1,75 \times 10^4$  Bq/m<sup>2</sup>. Model deposisi di permukaan tanah menunjukkan adanya korelasi dengan model konsentrasi radioaktif di udara, yaitu tertinggi di daerah dalam radius 0,5 km, dan semakin kecil dengan bertambahnya jarak. Jenis radionuklida yang menyumbangkan besarnya deposisi radioaktif di permukaan tanah berkorelasi dengan jenis dan besarnya radionuklida di udara. Konsentrasi radionuklida di udara lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi deposisi radionuklida di permukaan tanah, karena diperlukan waktu yang lebih lama dan faktor lain yang mempengaruhi deposisi radioaktif di permukaan tanah seperti suhu, kelembaban, kemampuan radionuklida untuk berdeposisi (unsur logam lebih besar dibandingkan unsur gas).

tempat tinggal penduduk dari pusat lepasan, maka kemungkinan dosis radiasi yang diterima akan makin kecil.

Probabilitas dosis kolektif yang diterima masyarakat dalam jangka waktu 50 tahun disajikan dalam Tabel 4. Persentase terbesar penerimaan dosis oleh organ tubuh berasal dari jalan lintas paparan awan radioaktif, dan terkecil lewat jalan lintas paparan makanan. Sesuai dengan besarnya persentase jalan lintas paparan dari awan radioaktif (82%), maka organ tubuh yang kemungkinan mendapatkan dosis radiasi terbesar adalah kelenjar gondok. Dosis radiasi pada kelenjar gondok disebabkan oleh radionuklida yodium dari hirupan udara yang terkontaminasi yang kemudian masuk lewat saluran pernafasan.

Tabel 4. Dosis kolektif dalam jangka waktu 50 tahun dan persentase kontribusi jalan lintas paparan

Organ tubuh	Dosis kolektif (man Sv)	Persentase kontribusi jalan lintas paparan (%)			
		Udara	Permukaan	Pernafasan	Makanan
Sumsum tulang	4.96E-01	82	1	3	14
Permukaan tulang	6.68E-01	72	1	4	23
Dada / Payudara	2.43E-01	98	1	1	0
Paru-paru	5.82E-01	77	1	22	0
Perut	5.80E-01	70	1	29	0
Usus	4.27E-01	91	1	4	4
Hati	4.21E-01	98	1	1	0
Pankreas	3.98E-01	97	1	2	0
Kelenjar gondok	9.76E-01	50	0	9	39
Gonads	4.04E-01	98	1	1	0
Lain-lain	4.64E-01	97	1	2	0
Efektif	5.32E-01	82	1	11	6

Tabel 5 dan 6 memuat data dosis individu jangka panjang dalam organ dan presentase kontribusi jalan lintas paparan pada jarak 0,5 km dan 4,5 km. Pada jarak 0,5 km dosis tertinggi diterima pada organ tubuh kelenjar gondok (*thyroid*) sebesar  $6,17 \times 10^{-5}$  Sv yang 34 % disumbang lewat jalan lintas udara, dan 60 % lewat makanan. Sedangkan pada jarak 4,5 km, nilai dosis sebesar  $8,19 \times 10^{-6}$  Sv disumbang lewat jalan lintas udara 19 %, dan lewat jalan lintas makanan 75 %.

Tabel 7. Dosis individu jangka panjang dan persentase kontribusi jalan lintas paparan melalui makanan dalam radius 0,5 km.

Organ tubuh	Dosis (Sv)	Persentase kontribusi bahan makanan (%)						
		Susu	Daging	Produk bijian	Kentang	Sayuran hijau	Sayuran lainnya	Umbi
Sumsum tulang	1.71E-05	23	0	0	36	3	20	7
Permukaan tulang	3.88E-05	23	0	0	36	3	20	7
Dada / Payudara	1.26E-07	14	1	0	44	6	16	6
Paru-paru	1.38E-07	14	1	0	44	6	16	6
Perut	2.06E-07	14	1	0	38	6	24	5
Usus	3.28E-06	15	0	0	37	4	27	5
Hati	1.46E-07	13	1	0	46	6	16	6
Pankreas	1.46E-07	13	1	0	46	6	15	6
Kelenjar gondok	3.73E-05	20	0	0	1	5	59	3
Gonads	1.46E-07	13	1	0	44	6	17	6
Lain-lain sisanya	2.12E-07	13	1	0	39	6	22	6
Efektif	4.65E-06	21	0	0	22	4	36	5

Tabel 8. Dosis individu jangka panjang dan persentase kontribusi jalan lintas paparan melalui makanan dalam radius 4,5 km.

Organ tubuh	Dosis (Sv)	Persentase kontribusi bahan makanan (%)						
		Susu	Daging	Produk bijian	Kentang	Sayuran hijau	Sayuran lainnya	Umbi
Sumsum tulang	1.48E-06	23	0	0	32	3	27	6
Tulang	3.36E-06	23	0	0	32	3	27	6
Dada / Payudara	1.16E-08	16	1	0	37	5	27	5
Paru-paru	1.31E-08	16	1	0	35	5	29	5
Perut	2.27E-08	16	0	0	27	4	42	4
Usus	3.70E-07	14	0	0	25	3	47	4
Hati	1.39E-08	14	1	0	37	5	29	5
Pankreas	1.38E-08	14	1	0	37	5	28	5
Kelenjar gondok	6.12E-06	27	0	0	0	1	69	0
Gonads	1.56E-08	13	1	0	32	4	37	4
Lain-lain sisanya	2.40E-08	14	0	0	27	4	43	4
Efektif	5.57E-07	25	0	0	14	2	52	3

Tabel 7 dan 8 memuat data dosis radiasi yang diterima individu lewat jalan lintas paparan melalui makanan (*ingestion*) dalam jangka waktu panjang (*longterm dose*). Daerah yang dijadikan konsentrasi perhitungan adalah daerah terdekat, yaitu 0,5 km dari pusat lepasan, dan daerah terjauh, yaitu radius yaitu 4,5 km (yang dijadikan fokus perhitungan dalam radius 5 km). Kontribusi dosis radiasi terbesar melalui jalan lintas