

---

## ANALISIS PERHITUNGAN DISPERSI ZRA (ZAT RADIOAKTIF) RSG-GAS PADA KONDISI OPERASI NORMAL

**Pande M. Udiyani, Sri Kuntjoro, Pudjijanto MS.**  
**Pusat Pengembangan Teknologi Reaktor Riset**

### ABSTRAK

**ANALISIS PERHITUNGAN DISPERSI ZRA (ZAT RADIOAKTIF) RSG-GAS PADA KONDISI OPERASI NORMAL.** Perhitungan dispersi zat radioaktif yang ke luar dari cerobong reaktor pada operasi normal sudah dilakukan dengan menggunakan paket program PC-Cream (*Consequences of Releases to the Environment Assessment Methodology*). Program ini memerlukan masukan sebagai berikut yaitu *source term* (suku sumber) dari pengoperasian reaktor yang meliputi asumsi pengotor bahan bakar, pengotor dari air, dan korosi; data meteorology, distribusi penduduk, serta produksi dan konsumsi hasil pertanian dan peternakan dari daerah yang akan dikaji. Perhitungan dilakukan pada daerah sekitar lokasi reaktor yang dibagi 16 sektor dan radius 1-5 km (total daerah kajian 80 titik). Dari perhitungan dan analisis diperoleh dosis radiasi dengan kisaran angka  $1.10E-03 - 1.30E-01 \mu\text{Sv}/\text{thn}$ . Dosis terbesar diterima oleh masyarakat pada kelompok umur bayi yang mendiami daerah sektor 9 pada radius 1 km. Aktivitas radiasi berdasarkan alur pemaparan tertinggi dari konsentrasi di udara sebesar  $1.0E-01 \text{ Bq}/\text{m}^3$  di daerah sektor 9 pada radius 3 km. Berdasarkan *foodstuff* konsentrasi tertinggi dari produk susu (*milk product*) sebesar  $2.0E-03 \text{ Bq}/\text{kg}$  di daerah sektor 9 pada radius 1-2 km. Sedangkan radionuklida yang dominan memberikan kontribusi terhadap dosis dan aktivitas radiasi yang diterima adalah I-131, I-133, Xe-133, dan Cs-137. Aktivitas dan dosis radiasi yang ditimbulkan dari dispersi ZRA dari pengoperasian kondisi normal RSG-GAS masih di bawah batas yang diijinkan oleh regulator.

**Kata Kunci :** *dispersi, ZRA (Zat radioaktif), RSG-GAS*

### ABSTRACT

**THE ANALYSIS OF RSG-GAS RADIOACTIVE DISPERSION AT CONDITION OF NORMAL OPERATION.** Calculation of radioactive dispersion which of reactor normal operation have been conducted by using program package of PC-CREAM (*Consequences Of Releases Environment Assessment Methodology the to*). This Program need the following input that is source term from normal operation of reactor covering assumption pollutant of fuel, pollutant of water, and corrosion; data of meteorology; population distribution, produce and agricultural product consumption and ranch of area to study. Calculation done at area of around that divided 16 reactor location and sector of radius 1-5 km ( total of study area 80 item). This calculation and analysis obtained that the range of radiation dose are  $1.10E-03 - 1.30E-01 \mu\text{Sv} / \text{years}$ . The biggest dose accepted by society at group infant old age, inhabiting the ninth sector area at radius 1 km. Activity of radiation pursuant to highest presentation path of concentration on the air equal to  $1.0E-01 \text{ Bq} / \text{m}^3$  in the ninth sector area at radius 3 km. Pursuant to highest concentration foodstuff of milk product equal to  $2.0E-03 \text{ Bq} / \text{kg}$  in sector area nine at radius 1-2 km. While dominant radionuclide give contribution to activity and radiation dose are accepted by I-131, I-133, Xe-133, and Cs-137. Activity and radiation dose generated of ZRA dispersion of RSG-GAS normal operation still under boundary permitted by regulator.

**Keyword :** *dispersion, ZRA, RSG-GAS*

---

## PENDAHULUAN

Berbicara mengenai masalah pencemaran, pasti tidak bisa lepas dari pembicaraan masalah lingkungan. Demikian pula, berbicara mengenai masalah reaktor nuklir beserta segenap produk yang dihasilkannya di forum masyarakat awam, pasti tidak bisa terhindar dari pembicaraan masalah cemaran (kontaminasi) radioaktif ke lingkungan. Bertolak dari kenyataan itu, pada kesempatan yang ada melalui makalah ini penulis ingin menyajikan ramuan iptek nuklir dan lingkungan ditinjau dari sudut pandang pengaruh keadaan alami lingkungan tapak reaktor nuklir RSG-GAS yang berada di dalam kawasan laboratoria Puspiptek Serpong Tangerang, Banten terhadap tingkat radioaktivitas dan estimasi dosis radiasi yang diterima oleh seluruh lapisan masyarakat dan lingkungan di sekitarnya fasilitas sampai jejari 5 km.

Estimasi lepasan zat radioaktif (ZRA) ke lingkungan meliputi perhitungan terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya paparan dan dosis radiasi yang diterima masyarakat dan lingkungan yaitu: besar dan jenis sumber ZRA (*source term*) yang lepas ke lingkungan, meteorologi (kecepatan angin, curah hujan, kelembaban, arah angin, solar radiation, perbedaan temperatur udara, dan stabilitas), *pathway* (alur paparan *groundshine*, *cloudshine*, *ingestion*, *inhalation*, *aquatic*), *site condition*, kondisi tapak (inland atau coastal), *foodstuff* (konsumsi dan jenis makanan), dan kerapatan penduduk (distribusi penduduk dalam area estimasi).<sup>[1,2]</sup>

Dalam keadaan operasi normal (pada tingkat daya nominal 30 MW) telah dilakukan perhitungan dan pengukuran sebaran radisi dan dosis yang diterima oleh pekerja radiasi maupun penduduk awam di sekitar fasilitas RSG-GAS.<sup>[3,4]</sup> Berdasarkan laporan AMDAL dan rencana Pemantauan dan Pengelolaan Lingkungan (RKL-RPL AMDAL) perlu dilakukan perhitungan dan pengukuran radioaktivitas dalam jejari hingga 5 km. Revisi SAR (Safety Analysis Report) juga memerlukan pemuthakhiran hasil perhitungan dan pengukuran radioaktivitas lingkungan akibat pengoperasian RSG-GAS.

Tujuan penelitian ini adalah diperoleh hasil analisis tentang pengendalian lepasan dan sebaran ZRA dari teras reaktor RSG-GAS, menggunakan paket program PC-Cream, dan hasil analisis perhitungan digunakan untuk revisi SAR.

---

## TEORI

Suku sumber atau *source term* sebagai sumber lepasan ZRA ke lingkungan dari pengoperasian reaktor riset menghasilkan ZRA hasil fisi dan aktivasi. Perhitungan estimasi besarnya dan jenis ZRA yang mungkin lepas ke lingkungan terutama hasil fisi bisa dihitung dengan paket program ORIGEN-2. Suku sumber ZRA dihitung pada kondisi operasi normal yang rutin mengeluarkan ZRA ke lingkungan. ZRA hasil aktivasi bersumber dari sistem pendingin reaktor yaitu reaksi H<sub>2</sub>O yang berasal dari air yang melewati inti bahan bakar aktif. Hasil aktivasi air dengan neutron menghasilkan antara lain, N-16, N-17, dan O-19, nuklida-nuklida tersebut mempunyai waktu paruh pendek dan dengan adanya lapisan air hangat, tidak lepas dari kolam reaktor. Reaksi aktivasi juga terjadi antara kandungan natrium, dan khlorida yang secara alamiah terdapat dalam air seperti Na-24 dan S-35. Reaksi pembentukan tritium terjadi dari aktivasi deutrium (air berat) yang secara alamiah terdapat dalam air, pengotor litium yang terdapat pada bahan aluminium, dan reaksi aktivasi dari reflektor berilium. Ar-41 terbentuk dari gas argon yang terdapat di udara yang larut di air dengan neutron thermal dan epitermal. Reaksi yang menghasilkan C-14, dan nuklida-nuklida yang muncul dari bahan-bahan korosi adalah: Na-24, Na-25, Al-28, Mg-27, Cr-51, Mn-54, Mn-56, C0-58, C0-60, Ni-65, dan Fe-59<sup>[4]</sup>

Aktivitas yang terjadi dari nuklida-nuklida yang terbentuk akibat adanya kontaminasi (pengotor) pada permukaan bahan bakar. Karena keterbatasan pembuatan bahan bakar biasanya ada sedikit pengotor uranium yang terdapat di permukaan lempengan bahan bakar (10 µg-uranium) tiap lempengan, akan mengakibatkan adanya aktivitas dari nuklida-nuklida yang terbentuk dari hasil fisi dan aktivasi dengan neutron.

Nuklida-nuklida yang terbentuk adalah: I-128, I-131, I-132, I-134 sampai, I-136, Br-82, sampai Br-84, Sr-89, Sr-90, Y-90, Y-91, Zr-95, Nb-95, Ru-103, Rh-103 m, Ru-106, Rh-106, Sn-125, Sb-125, Te-127 m, Te-129 m, Te-131m, Te-132, Cs-137, Ba-140, La-140, Ce-141, Ce-144, Pr-144, Nd-147, Sm-151, Kr-83m, Kr-85 sampai 90, Xe-131 sampai Xe-138

Suku sumber zat radioaktif yang lepas lewat cerobong akan terdispersi ke lingkungan dipengaruhi oleh keadaan meteorologi udara daerah reaktor. Perhitungan timbulnya plume dihitung menggunakan persamaan-persamaan sebagai berikut:

---

## 1. Timbulnya *plume*<sup>[1,5]</sup>

Digunakan persamaan Brigg's:

$$\Delta h = 2.9(F / \mu S)^{1/3} \quad (1)$$

Keterangan :

$$S = (g / T_a)(\partial T_a / \partial z) + \Gamma$$

$$g = \text{percepatan gravitasi (m/dt}^2\text{)}$$

$$T = \text{suhu udara (}^0\text{K)}$$

$$\partial T_a / \partial z = \text{Gradien temperatur vertikal (}^0\text{K /m), Nilai } \partial T_a / \partial z \text{ untuk Kategori Pasquill E : } 7,280\text{E-02 } ^0\text{K /m, Pasquill F : } 1,090\text{E-01 } ^0\text{K /m, Pasquill G: } 1,455\text{E-01 } ^0\text{K /m}$$

$$z = \text{Jarak vertikal di atas cerobong (m)}$$

$$\Gamma = \text{Konstanta adiabatik udara (0.0098 } ^0\text{K /m)}$$

## 2. Dispersi *plume*<sup>[1,5]</sup>

Digunakan Persamaan Pasquill yang dimodifikasi Gifford:

$$X = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z\mu} [-1/2(y/\sigma_y)^2] \{ \exp[-1/2((z-H)/\sigma_z)^2] + \exp[-1/2((z+H)/\sigma_z)^2] \} 2$$

Keterangan:

$$X = \text{Konsentrasi di udara (chi) pada sumbu x searah angin,y.tegak lurus arah angin,z ketinggian di atas permukaan tanah, meter (Bq/m}^3\text{)}$$

$$Q = \text{Lepasan radioaktif rata-rata yang ke luar dari cerobong (Bq/dt)}$$

$$\mu = \text{Kecepatan angin rata-rata (m/dt)}$$

$$\sigma_y = \text{Koefisien dispersi horizontal (m)}$$

$$\sigma_z = \text{Koefisien dispersi vertikal (m)}$$

$$H = \text{Tinggi cerobong efektif}$$

$$y = \text{Jarak tegak lurus arah angin (m)}$$

$$z = \text{Ketinggian dari atas tanah (m)}$$

---

Alur pemaparan utama yang biasanya digunakan untuk model *radiological consequence* yaitu: <sup>[5,6]</sup>

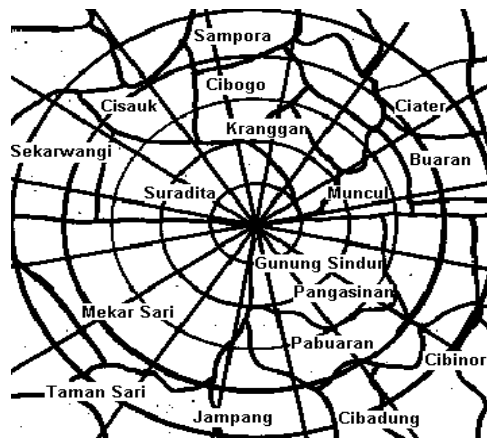
- External irradiasi dari deposit permukaan tanah (*Groundshine*)
- External irradiasi dari material di atmosfer (*Cloudshine*)
- Paparan internal lewat inhalasi (hirupan) material di atmosfer
- Paparan interna lewat makanan yang terkontaminasi (*ingestion*)
- Alur pemaparan air (*Aquatic pathway*)

Paparan radiasi yang diterima lewat makanan berkaitan erat dengan *foodstuff* (jenis dan banyaknya makanan, rantai makanan, yang terkontaminasi). Paparan radiasi yang diterima lewat makanan yang terkontaminasi yaitu: air minum, hasil pertanian, produk hewani, dan makanan laut. Paparan dan dosis radiasi yang diterima manusia juga tergantung dengan makanan dan minuman yang dikonsumsi yang meliputi : Rantai makanan, jenis makanan yang dikonsumsi, banyaknya makanan yang dikonsumsi, asal makanan (produksi setempat atau luar daerah), diet (porsi makanan untuk bayi, remaja, dewasa, gender, ras), proses (langsung dimakan, dicuci, dibersihkan, digoreng, dijemur, direbus, dipanggang), bagian tumbuhan (daun, akar, umbi, batang, buah, bunga, biji) atau hewan (daging, kulit, tulang, hati) yang dimakan, termasuk free food atau hasil pertanian, serta musim pertumbuhan dan pemanenan (musim hujan, kemarau, dingin)

CREAM (Consequences of Releases to the Environment Assessment Methodology) adalah program computer yang digunakan untuk estimasi dan kajian terhadap dampak yang ditimbulkan dari lepasan ZRA dari pengoperasian suatu instalasi nuklir untuk model lepasan normal (normal releases) yang terdispersi secara kontinyu. Sistem operasi CREAM bisa diaplikasikan dalam sistem Windows<sup>[7]</sup>. Model output estimasi CREAM bisa digunakan untuk 6 model output yaitu: (1) ASSESSOR (2) GRANIS, Gamma Radiation above Nuclides in Soil (3) RESUS, The Resuspension model (4) PLUME (5) FARMLAND, Food Activity from Radionuclide Movement on Land (6) DORIS, Dispersion of Radionuclides in the Sea. Estimasi dispersi atmosfer menggunakan model plume Gaussian, deposisi kering (*dry deposition*) menggunakan konsep susut-kadar sumber (*source depletion*), dan deposisi basah (*wet deposition*) menggunakan pendekatan koefisien *washout*. Inputan data untuk program ini adalah: suku sumber (yang dihitung dengan kode program ORIGEN-2), meteorologi (Wet atau Dry session), grid populasi (distribusi penduduk), grid produksi pertanian dan

perternakan (*green vegetables, root vegetables, grain, cow meat, cow liver, cow milk, cow's milk products, sheep meat, sheep liver*), *pathway* (alur paparan), *foodstuff* (jumlah dan jenis konsumsi makanan), *transfer location factor* (factor keberadaan di luar atau di dalam gedung), dan lainnya. Sedangkan keluaran berupa aktivitas radiasi dan dosis individu berdasarkan grid area dan usia populasi (bayi, anak-anak, dewasa), untuk perhitungan dispersi atmosfer, kelautan, dan sungai

Gambar 1 melukiskan pembagian daerah sekitar lokasi tapak instalasi reaktor nuklir RSG-GAS dalam kawasan laboratoria Puspipstek Serpong menjadi 16 sektor yang sama, masing-masing  $22.5^\circ$  dan 5 ruas jejari dengan jarak yang sama, masing-masing 1 km, maksimum 5 km.



**Gambar 1. Pembagian daerah sekitar lokasi tapak instalasi reaktor nuklir RSG-GAS dalam kawasan laboratoria Puspipstek Serpong menjadi 16 sektor dan 5 ruas radial**

## TATA KERJA

### Alat dan Bahan

1. Data hasil perhitungan suku sumber (source term) RSG-GAS dalam kondisi operasi normal yang terdispersi secara kontinyu.
2. Data primer dan sekunder mengenai populasi dan konsumsi penduduk di dalam radius 5 km dari RSG-GAS
2. Data primer tentang keadaan cuaca dan angin selama 1 tahun
3. Data sekunder dan primer tentang penggunaan lahan dan konsumsi hasil pertanian dan peternakan masyarakat dalam area radius 5 km.
4. Satu set paket program ORIGEN 2
5. Satu set paket program PC-CREAM

---

## Cara Kerja

Data masukan yang disiapkan adalah: data *source term* yang dihitung dengan paket program ORIGEN 2; data hasil pertanian dan peternakan serta konsumsi penduduk yang mendiami daerah yang diestimasi ; data sebaran penduduk untuk 16 sektor ; data cuaca (kecepatan angin, curah hujan, arah angin, dan stabilitas), untuk 16 sektor dalam jejari 5 km yang diformat sesuai program PC-CREAM. Hasil perhitungan berupa aktivitas radiasi dan dosis individu berdasarkan grid area, usia populasi (bayi, anak-anak, dewasa), dan berdasarkan pathway dan foodstuff

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan aktivitas radiasi dan dosis individu berdasarkan grid area dan usia populasi (bayi, anak-anak, dan dewasa) tercantum dalam Tabel 1-3 dan Gambar 1-3. Pada Tabel 1 memuat hasil perhitungan aktivitas radiasi yang dihasilkan dari disperse RSG-GAS selama 1 tahun berdasarkan sector dan jejari 5 km, Tabel 2 berisi dosis individu yang diterima masyarakat di sector 9 (dosis tertinggi) berdasarkan jenis nuklida dalam jarak jejari 5 km, dan Tabel 3 penerimaan dosis dari alur paparan makanan.

Dari Tabel 1 data aktivitas radiasi di udara hasil dispersi untuk setiap sektor dan setiap jejari 1km menghasilkan aktivitas radiasi tertinggi terhitung di area sektor 9 (sudut 202-227<sup>0</sup>) dari arah angin bagian Utara dihitung searah jarum jam, dan dalam jejari 1 km. Aktivitas tertinggi mencapai 1.30E-01 Bq/m<sup>3</sup>, dan aktivitas terendah 1.10E-02 Bq/m<sup>3</sup>. Besarnya aktivitas radiasi pada setiap area sektor dan jejari menunjukkan adanya korelasi dengan model dispersi angin dan cuaca area yang bersangkutan. Besaran aktivitas di daerah tertentu berkaitan dengan fluktuasi cuaca didaerah tersebut. Pada area RSG-GAS kecepatan dan arah angin menunjukkan bahwa arah dengan sudut sudut 202-227<sup>0</sup> dari arah angina bagian Utara dominan dibandingkan dengan arah sudut yang lainnya.

**Tabel 1. Aktivitas radiasi (Bq/m<sup>3</sup>) di udara hasil dispersi lepasan ZRA RSG-GAS selama 1 tahun**

SEKTOR	1KM	2KM	3KM	4KM	5KM
1	1.10E-04	5.30E-03	1.10E-02	1.20E-02	1.20E-02
2	1.10E-04	5.30E-03	1.10E-02	1.20E-02	1.20E-02
3	8.20E-02	5.50E-02	4.10E-02	3.20E-02	2.70E-02
4	1.10E-01	6.90E-02	4.30E-02	2.90E-02	2.10E-02
5	2.70E-02	2.40E-02	1.90E-02	1.60E-02	1.30E-02
6	1.10E-01	9.30E-02	6.60E-02	4.90E-02	3.80E-02
7	8.60E-02	9.50E-02	7.70E-02	6.10E-02	5.00E-02
8	7.70E-02	8.00E-02	6.30E-02	4.90E-02	4.00E-02
9	1.30E-01	1.20E-01	1.00E-01	8.00E-02	4.00E-02
10	3.40E-02	3.10E-02	2.20E-02	1.50E-02	6.40E-02
11	2.10E-02	2.10E-02	1.10E-02	1.10E-02	1.10E-02
12	1.40E-02	7.50E-03	4.30E-03	9.50E-03	1.10E-02
13	9.50E-03	1.20E-02	8.70E-03	6.30E-03	1.10E-02
14	9.50E-03	1.20E-02	8.70E-03	6.30E-03	1.10E-02
15	9.50E-03	1.20E-02	8.70E-03	6.30E-03	1.10E-02
16	9.50E-03	1.20E-02	8.70E-03	6.30E-03	1.10E-02

Berdasarkan Tabel 1 data perhitungan dosis individu selama 1 tahun untuk sector 9 dalam jejari 1km terdapat pada Tabel 2. Dari Tabel 2 radionuklida yang memberikan kontribusi dosis tertinggi adalah KR-88 lewat alur paparan awan radioaktif gamma (cloud gamma) sebesar 6.2E-02 uSv.



**Tabel 2. Dosis Individu (uSv) selama 1 tahun pada sektor 9 dalam jejari 1 km berdasarkan jenis nuklida dan alur paparan, selain alur paparan lewat makanan**

Nuklida	Inhalasi	Cld gamma	Dep gamma	Resuspensi	Cld beta	Dep beta
KR-85	0.0E+00	6.1E-11	0.0E+00	0.0E+00	1.9E-10	0.0E+00
KR-85M	0.0E+00	2.3E-03	0.0E+00	0.0E+00	1.0E-04	0.0E+00
KR-88	0.0E+00	6.2E-02	0.0E+00	0.0E+00	3.5E-04	0.0E+00
KR-89	0.0E+00	2.2E-11	0.0E+00	0.0E+00	4.9E-13	0.0E+00
SR-90	7.2E-11	0.0E+00	8.5E-19	4.4E-14	8.3E-16	1.4E-13
ZR-95	1.6E-09	1.9E-11	1.4E-09	6.5E-13	8.7E-14	1.1E-12
NB-95	9.7E-10	3.8E-11	9.8E-10	3.4E-13	2.3E-14	8.4E-13
RU-106	1.1E-10	6.1E-14	5.2E-12	6.0E-14	1.2E-14	6.9E-12
SB-125	9.4E-12	6.4E-14	6.2E-12	5.5E-15	4.0E-16	3.4E-14
I-131	2.2E-05	8.8E-08	5.7E-06	4.4E-08	1.4E-09	1.8E-06
I-133	1.6E-04	5.1E-06	4.0E-05	5.3E-08	1.1E-07	4.5E-04
XE-131M	0.0E+00	1.8E-05	0.0E+00	0.0E+00	9.4E-06	0.0E+00
XE-133	0.0E+00	5.8E-04	0.0E+00	0.0E+00	4.4E-05	0.0E+00
XE-133M	0.0E+00	1.1E-03	0.0E+00	0.0E+00	2.2E-04	0.0E+00
XE-135	0.0E+00	2.1E-02	0.0E+00	0.0E+00	8.6E-04	0.0E+00
XE-135M	2.5E-08	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.9E-10	0.0E+00
XE-138	0.0E+00	6.0E-08	0.0E+00	0.0E+00	1.1E-09	0.0E+00
CS-137	2.7E-08	2.5E-10	2.8E-08	1.7E-11	3.3E-12	7.5E-10
BA-140	7.7E-08	2.1E-10	2.9E-08	1.9E-11	1.0E-11	3.2E-09
LA-140	7.6E-09	1.2E-09	1.7E-09	5.4E-13	8.8E-12	4.1E-09
CE-144	1.5E-08	6.4E-13	1.2E-10	7.8E-12	6.6E-14	0.0E+00
KR-85D KR-85M	0.0E+00	2.5E-12	0.0E+00	0.0E+00	6.3E-12	0.0E+00
Y-90D SR-90	1.4E-15	2.1E-24	0.0E+00	0.0E+00	2.0E-18	1.1E-15
NB-95D ZR-95	1.8E-14	8.6E-16	1.8E-14	6.3E-18	4.3E-19	1.6E-17
TE-125MD SB-125	3.4E-17	5.6E-21	0.0E+00	0.0E+00	1.4E-21	0.0E+00
XE-133D XE-133M	0.0E+00	4.3E-07	0.0E+00	0.0E+00	2.7E-08	0.0E+00
XE-135D XE-135M	0.0E+00	6.7E-11	0.0E+00	0.0E+00	2.3E-12	0.0E+00
LA-140D BA-140	1.3E-11	2.4E-12	2.8E-12	9.0E-16	1.5E-14	6.9E-12
PR-144D CE-144	7.2E-13	1.1E-13	0.0E+00	0.0E+00	1.1E-13	6.2E-11
Total	1.9E-04	8.7E-02	4.6E-05	9.7E-08	1.6E-03	4.6E-04

**Keterangan: Cld gamma(cloud gamma): awan radioaktif gamma; Dep gamma(deposition gamma): deposisi gamma; Cld beta(cloud beta): awan radioaktif beta; Dep beta (deposition beta ) deposisi beta**

**Tabel 3. Dosis Individu (uSv) dalam waktu 1 tahun berdasarkan alur paparan lewat makanan (*ingestion*)  
Dan jenis radionuklida**

Nuclide Parent	Sayuran hijau	Biji-bijian	umbian	Daging sapi	Hati sapi	Daging kambing	Hati kambing	susu	Produk susu	Buah-buahan
SR-90	7.2E-11	5.4E-11	1.2E-12	3.2E-12	7.1E-13	2.2E-12	8.8E-13	8.0E-11	2.2E-10	1.1E-11
ZR-95	3.1E-10	1.1E-10	4.2E-13	4.2E-13	9.7E-14	4.6E-13	1.8E-13	2.6E-12	7.0E-12	5.0E-11
NB-95	3.2E-10	6.5E-11	7.8E-13	1.2E-13	2.8E-14	1.2E-13	4.8E-14	2.8E-12	7.5E-12	5.4E-11
RU-106	3.0E-11	1.8E-12	9.2E-14	2.1E-12	4.7E-13	1.9E-12	7.4E-13	2.5E-14	7.0E-14	2.5E-12
SB-125	2.6E-12	1.9E-12	1.4E-14	3.8E-13	8.4E-12	4.2E-13	1.7E-11	2.1E-13	5.7E-13	4.0E-13
I-131	2.9E-04	2.1E-06	9.9E-05	8.2E-05	2.2E-05	7.0E-05	2.8E-05	<b>1.2E-03</b>	<b>2.8E-03</b>	2.0E-04
I-133	3.2E-04	4.9E-26	3.9E-06	6.5E-06	7.1E-06	1.1E-05	4.4E-06	5.9E-04	3.3E-04	2.6E-04
CS-137	1.1E-07	5.2E-07	1.7E-07	3.7E-07	8.2E-08	3.8E-07	1.5E-07	3.9E-07	1.1E-06	5.7E-08
BA-140	2.2E-08	4.4E-10	1.4E-11	5.2E-10	1.3E-10	5.1E-10	2.0E-10	1.1E-08	2.8E-08	4.0E-09
LA-140	1.7E-09	4.4E-21	2.3E-13	3.4E-13	6.9E-12	5.5E-13	8.7E-12	3.6E-11	4.4E-11	3.4E-10
CE-144	2.3E-09	1.3E-10	6.9E-13	1.4E-11	6.5E-10	1.2E-11	9.8E-10	3.8E-11	1.0E-10	1.9E-10
NB-95D ZR-95	5.9E-15	1.2E-15	1.4E-17	2.3E-18	5.2E-19	2.2E-18	8.9E-19	5.3E-17	1.4E-16	1.0E-15
LA-140D BA-140	2.8E-12	7.4E-24	3.8E-16	5.7E-16	1.2E-14	9.1E-16	1.5E-14	6.0E-14	7.3E-14	5.8E-13
Total	6.1E-04	2.6E-06	1.0E-04	8.9E-05	2.9E-05	8.1E-05	3.2E-05	1.8E-03	<b>3.2E-03</b>	4.6E-04

---

Berdasarkan alur paparan selain alur paparan makanan (*ingestion*) maka kontribusi terbesaryaitu  $8.7E-02$  uSv adalah lewat alur paparan awan radioaktif gamma (*cloud gamma*). Awan radioaktif masuk ke tubuh manusia dengan cara paparan eksternal dan paparan internal. Karena kontribusi radionuklida yang menghasilkan awan radioaktif gamma berasal dari kelompok gas mulia, maka efek terhadap paparan radiasi internal lebih kecil dibandingkan paparan radiasi eksternal.

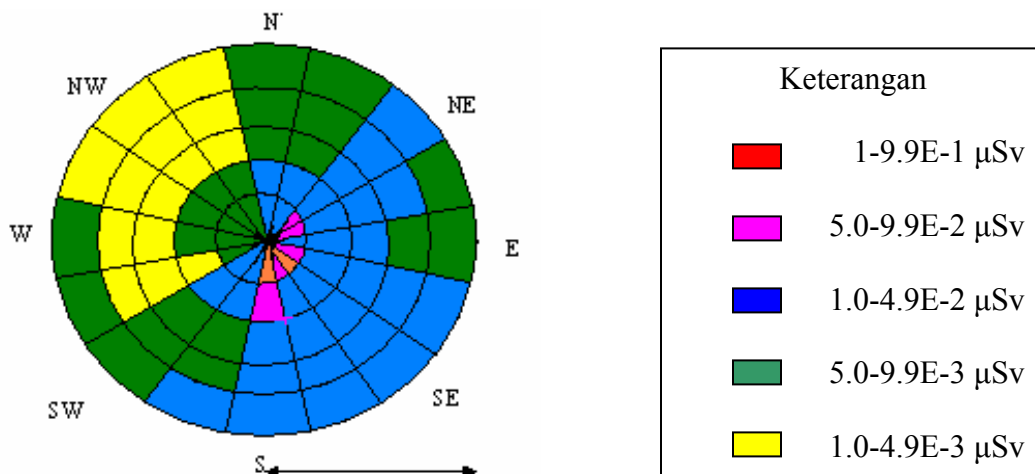
Alur paparan lewat makanan (*ingestion*) melalui makanan seperti *green vegetable* (tanaman hijau), *grain* (biji-bijian), *root vegetable* (ubi), *cow meat* (daging sapi), *cow liver* (hati sapi) *ship meat* (daging kambing), *ship liver* (hati kambing), *milk* (susu segar), *milk product* (hasil produk susu) dan *fruit* (buah-buahan). Tabel 3 memuat hasil perhitungan dosis radiasi yang diterima masyarakat di area sektor 9 dalam jejari 1 km berdasarkan alur paparan makanan (*ingestion*) dan jenis radionuklida. Untuk berbagai *foodstuff* (rantai makanan) sumbangan terbesar terhadap dosis radiasi yang diterima masyarakat adalah lewat minuman susu dan hasil produknya, yang disumbang oleh nuklida I-131. Hampir semua makanan yang mempengaruhi dosis radiasi disumbangkan oleh nuklida kelompok yodium (I-131 dan I-133), berikutnya disumbangkan oleh nuklida Cs-137. Ke dua jenis nuklida ini karena sifat kimia dan fisika serta rangkaian rantai makanan sangat mempengaruhi paparan radiasi yang diterima oleh manusia.

Besarnya dosis radiasi yang diterima masyarakat di sekitar RSG-GAS melalui alur paparan makanan (*ingestion*) sangat dipengaruhi oleh kondisi produk dan tingkat konsumsi masyarakat terhadap hasil pertanian dan peternakan. Model perpindahan radiasi dari satu produk ke produk makanan yang lain tergantung pada rantai makanan yang bersangkutan, serta jenis, sifat kimia-fisik, dan waktu paruh radionuklida.

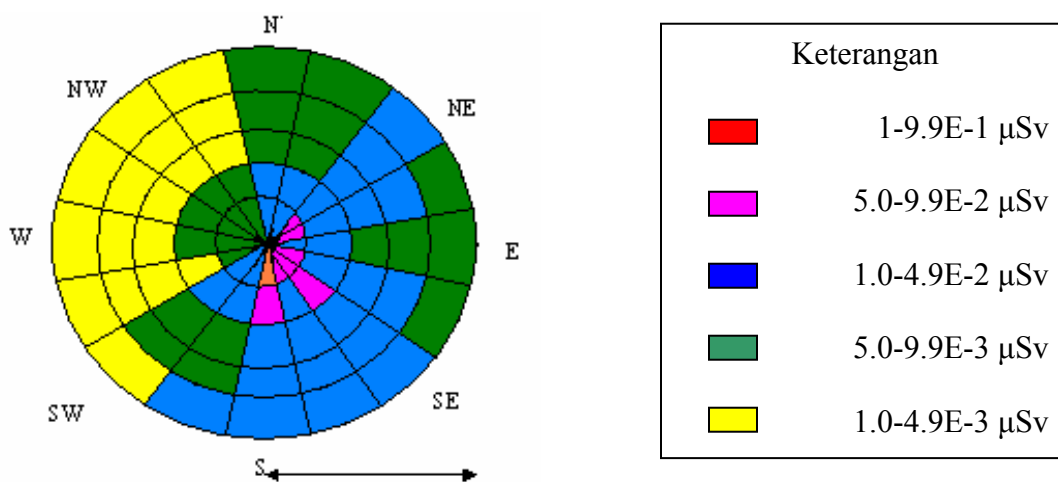
Gambar 1-3 berisi tentang kondisi sebaran besarnya dosis radiasi yang diterima masyarakat akibat adanya sebaran ZRA ke lingkungan dari pengoperasian RSG-GAS dalam kondisi normal. Dosis dihitung untuk berdasarkan paparan semua alur (*pathway* : internal, eksternal, dan makanan), semua jenis nuklida yang terdispersi, untuk 16 sektor dalam jejari 5 km dari reaktor, dan juga berdasarkan usia penerima radiasi (bayi, anak-anak, dan dewasa). Gambar 1 untuk penerimaan dosis pada usia bayi, Gambar 2

penerimaan dosis untuk usia anak-anak, dan Gambar 3 penerimaan dosis untuk usia dewasa.

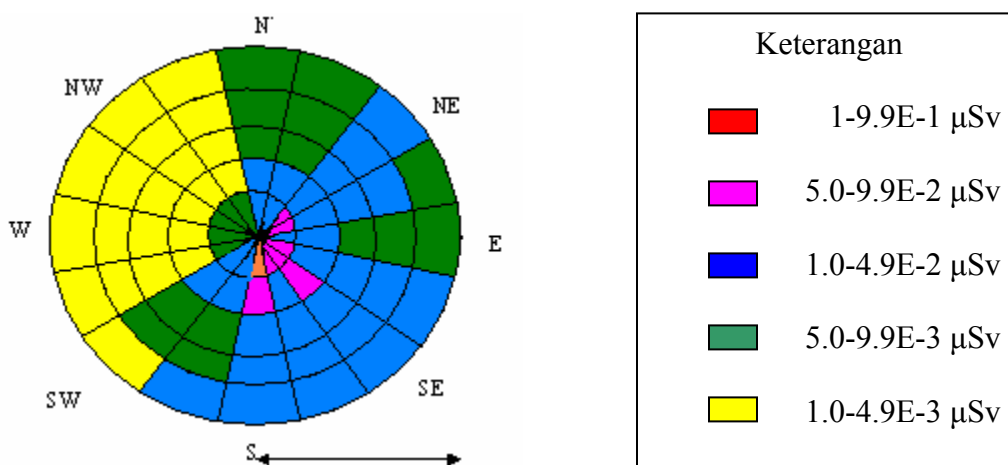
Dari perhitungan dan analisis diperoleh dosis radiasi dengan kisaran angka  $1.10E-03$  –  $1.30E-01$   $\mu\text{Sv}/\text{thn}$ . Dosis terbesar diterima oleh masyarakat pada kelompok umur bayi yang mendiami daerah sektor 9 pada radius 1 km (Gambar 1). Dari Gambar 2 dosis terbesar diterima oleh masyarakat yang mendiami daerah sektor 9 pada radius 1 km sebesar  $1.20E-01$   $\mu\text{Sv}/\text{thn}$ , dan dari Gambar 3 dosis terbesar diterima oleh masyarakat yang mendiami daerah sektor 9 pada radius 1 km sebesar  $1.20E-01$   $\mu\text{Sv}/\text{thn}$ .



**Gambar 1. Dosis Individu ( $\mu\text{Sv}$ ) yang diterima masyarakat dalam jejari 5 km untuk 16 sektor kelompok umur bayi**



**Gambar 2. Dosis Individu ( $\mu\text{Sv}$ ) yang diterima masyarakat dalam jejari 5 km untuk 16 sektor kelompok umur anak-anak**



**Gambar 3. Dosis Individu ( $\mu\text{Sv}$ ) yang diterima masyarakat dalam jejari 5 km untuk 16 sektor kelompok umur dewasa**

Estimasi lepasan zat radioaktif (ZRA) ke lingkungan melibatkan berbagai faktor yang mempengaruhi besarnya paparan dan dosis radiasi yang diterima masyarakat dan lingkungan selain besarnya suku sumber ZRA (*source term*) yang lepas ke lingkungan, seperti meteorology (kecepatan angin, curah hujan, kelembaban, arah angin, solar radiation, perbedaan temperatur udara, dan stabilitas), *pathway* (alur pemaparan : *groundshine, cloudshine, ingestion, inhalation, aquatic*), *site condition*, kondisi tapak (daerah pertanian, perkotaan, pedesaan, hutan, coastal), *foodstuff* (konsumsi dan jenis makanan), dan kerapatan penduduk, sudah bisa dihitung. Perhitungan menggunakan paket program Cream (*Consequences of Releases to the Environment Assessment Methodology*) terhadap dispersi zat radioaktif yang ke luar dari cerobong reaktor pada operasi normal, menghasilkan penerimaan radiasi pada masyarakat dalam jejari 5 km, masih di bawah batas yang diijinkan oleh regulator.

## KESIMPULAN

Data analisis lepasan dan sebaran ZRA RSG-GAS dalam kondisi normal pada daya operasi reaktor 30 MW pada radius 5 km dari reaktor, dengan menggunakan paket program PC-Cream dapat diperoleh. Data hasil kajian dan analisis meliputi dosis individu 16 sektor dan setiap radius (1-5 km) yang diterima masyarakat berdasarkan usia, jenis radionuklida, *pathway* (alur paparan), dan *foodstuff* (rantai makanan). Hasil perhitungan

---

menunjukkan aktivitas dan dosis radiasi masih di bawah batas yang diijinkan oleh regulator.

## DAFTAR ACUAN

- [1] IAEA, Generic Models and Parameters for Assessing the Environmental Transfer of Radionuclides from Routine Releases, Safety Series No. 57, IAEA, Vienna, 1982
- [2] Domel R.U., 2005, Overview: Data Requirements for Consequences Analysis, modul IAEA RCA project on Assessment of Radiological Risks RAS/9/031, Sydney
- [3] Udiyani, P.M., Setiawan, M.B., dan Kuntjoro, S., Analisis Dosis Radiasi yang Diterima Penduduk akibat Pengoperasian Reaktor RSG-GAS, Proseding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, No. ISSN 0216-3128, Yogyakarta, 2003
- [4] BATAN, Multipurpose Reactor GA Siwabessy, Safety Analysis Report, Rev. 9, 2001
- [5] PARKS, B, *Mathematical Models*, CAP88-PC Version 2.0. US. Department of Energy ER-8/GTN 19901 Germantown, Maryland, 1977
- [6] Crawford, J., Domel R.U, 2000, RadCon: a Radiological Consequences Model, User Guide, ANSTO M-128, ISBN 0-642-59983
- [7] Cream-PC, 1997, Consequences of Releases to the Environment Assessment Methodology (the Radiological Impact of Routine releases), User Guide, National Radiological Protection Board, European Commission, EUR 17791 EN – NRPB-SR 296, Chilton