

## **ANALISIS DOSIS DARI OPERASI NORMAL DUA UNIT PWR PADA SATU TAPAK**

**Liliana Yetta Pandi**

Pusat Pengkajian Keselamatan Reaktor - Bapeten

### **ABSTRAK**

**ANALISIS DOSIS DARI OPERASI NORMAL DUA UNIT PWR PADA SATU TAPAK.** Tujuan analisis ini adalah untuk menghitung dosis efektif ekivalen tahunan dari gas mulia, iodium dan zat radioaktif lainnya yang terlepas ke lingkungan dari PLTN jenis PWR selama beroperasi normal. Dosis efektif ekivalen tahunan di luar daerah tapak PWR yang disebabkan oleh pelepasan gas mulia dan iodium radioaktif ke lingkungan harus dihitung secara seksama. Selama operasi normal, paparan tersebut, dihitung dengan *computer code* ANDOSE-JINS. ANDOSE-JINS digunakan oleh *Nuclear Power Engineering Corporation*, Jepang untuk mengevaluasi dosis operasi normal dari PLTN yang akan dibangun. Analisis dosis paparan radioaktif yang berasal dari dua unit PWR yang beroperasi secara normal pada satu tapak merupakan bahasan utama pada makalah ini. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa dosis untuk penduduk sekitar PWR masih di bawah batas yang diizinkan.

**Kata kunci:** PWR, dosis efektif ekivalen, ANDOSE-JINS

### **ABSTRACT**

**DOSE ANALYSIS FROM NORMAL OPERATION OF TWO PWRs LOCATED ON ONE SITE.** The purpose of this analysis is to calculate the annual equivalent effective doses of noble gases, radioiodine and other radioactive materials released to the environment from NPP PWR type, during normal operation. The equivalent effective doses outside the station due to the release of radioactive materials to the environment during normal operation were calculated using a computer code ANDOSE-JINS. ANDOSE-JINS code is used by Nuclear Power Engineering Corporation Japan to evaluate doses during normal operation of NPP that will be constructed. The analysis of radioactive exposure coming from 2 PWRs within the same site in normal operation is the focus of our elaboration. The calculation results indicate that the dose to the public around the PWR site still under the permitted values.

**Key words:** PWR, equivalent effective dose, ANDOSE-JINS

## I. PENDAHULUAN

Dengan bertambahnya penggunaan tenaga nuklir maka pelepasan zat radioaktif ke lingkungan makin bertambah, sehingga perlu dilakukan usaha untuk menjaga pelepasan zat radioaktif tersebut serendah mungkin. Oleh sebab itu, diperlukan suatu perhitungan tentang dosis efektif ekuivalen tahunan di sekitar tapak. Perhitungan dosis efektif ekuivalen tahunan ini dilakukan pada suatu tapak di mana terdapat dua unit PWR yang beroperasi secara bersamaan, sehingga perlu mempertimbangkan berbagai hal sebagai berikut.

- Paparan eksternal dari gas mulia radioaktif.
- Paparan internal dari iodium radioaktif yang diserap tubuh manusia melalui jalur pelepasan ke atmosfer (bernafas, mengkonsumsi sayuran dan susu).
- Paparan internal zat radioaktif lainnya ke dalam tubuh manusia melalui pelepasan zat radioaktif ke laut (makanan hasil laut).

Di samping itu, beberapa studi khusus dilakukan untuk mendapatkan pengaruh jarak dan tinggi cerobong dari pelepasan gas mulia dan konsentrasi I-131 ke udara. Hasil dosis yang dievaluasi dibandingkan dengan dosis objektif sebesar  $50 \mu\text{Sv}/\text{tapak-tahun}$  yang ditentukan oleh peraturan dosis objektif (Notice No. 283 MITI on dose equivalent limits, etc, based on the provisions of rules on the establishment, operator, etc. of Power Generating Nuclear Reactor for Practical Use).

## II. PROSEDUR ANALISIS

### II.1. Jalur Paparan

Jumlah zat radioaktif yang akan dilepas melalui cerobong PWR dan pembuangannya ke lingkungan harus dihitung, agar jumlah zat radioaktif gas, iodium radioaktif dan zat radioaktif cair dapat diantisipasi dan dijadikan pertimbangan.

Pelepasan gas radioaktif dari PWR dihitung berdasarkan pada pelepasannya dari sistem ejector udara condenser utama (*main condenser air ejector system*), sistem

uap tutup lubang turbine (*turbine shaft seal steam system*), pelepasan karena operasi pompa vakum condenser utama, pelepasan dari sistem ventilasi gedung dan pelepasan iodium selama inspeksi berkala. Pelepasan gas radioaktif tersebut harus dihitung untuk jalur-jalur pelepasan dan jalur-jalur pelepasan tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2, serta Tabel 1.

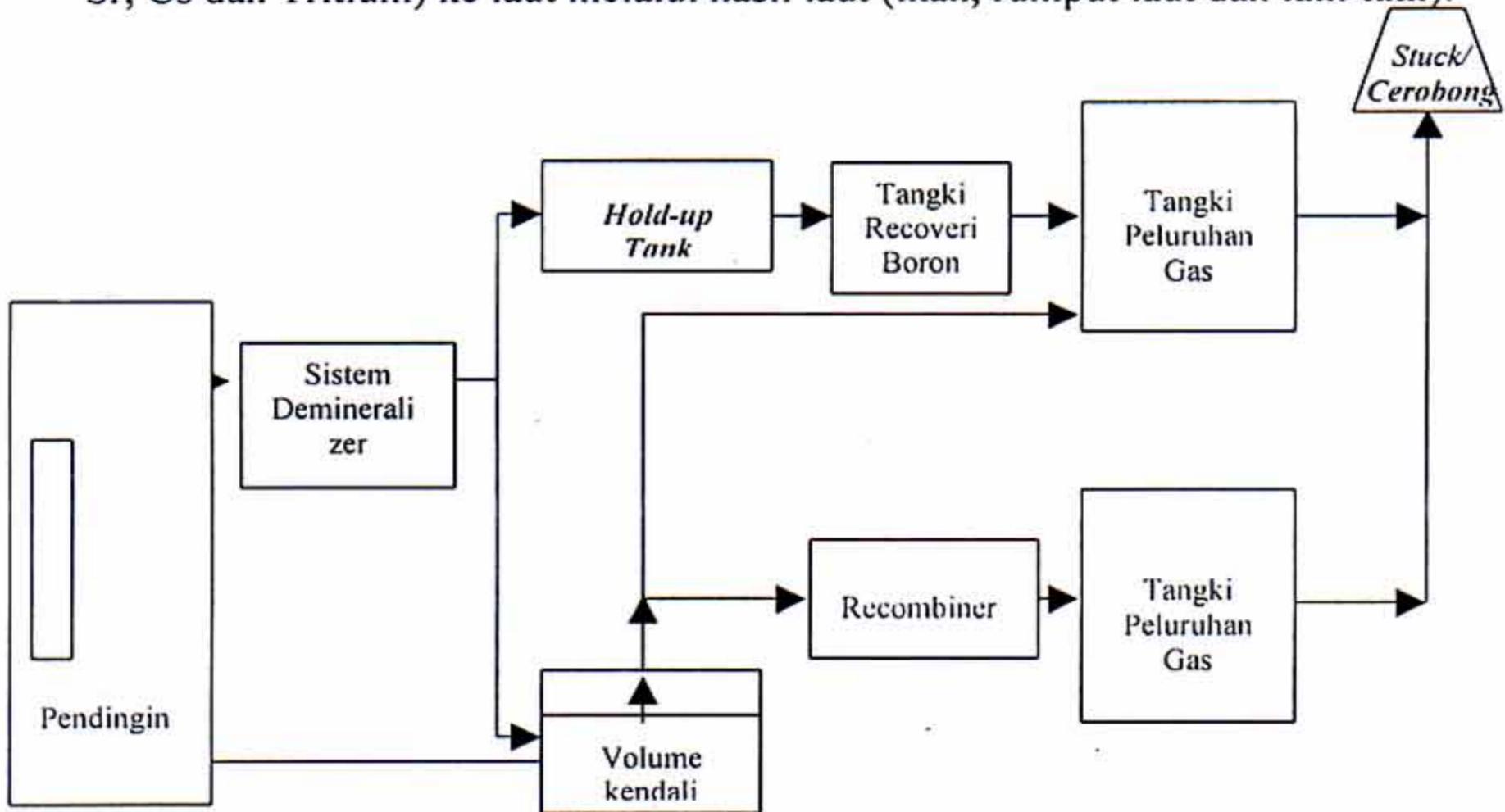
Pada Gambar 1 radionuklida gas dalam pendingin primer PWR diteruskan ke cerobong melalui *system recovery boron* ke tangki peluruhan gas dan ventilasi gedung reaktor. Pelepasan radionuklida selama inspeksi berkala termasuk limbah radioaktif cair dari PWR, dialirkan bersama-sama dengan limbah pembersihan peralatan dan lantai yang terkontaminasi. Gambar 2 menunjukkan bahwa radionuklida gas terlepas ke cerobong melalui pengungkung gedung bantu dan ventilasi.

Radioaktif	Pelepasan ke lingkungan melalui
Gas	<i>System recovery boron</i> ke tangki peluruhan gas Tangki kendali volume ke tangki peluruhan gas Ventilasi gedung reaktor Selama inspeksi berkala
Cair	Limbah pembersihan peralatan, dan lantai

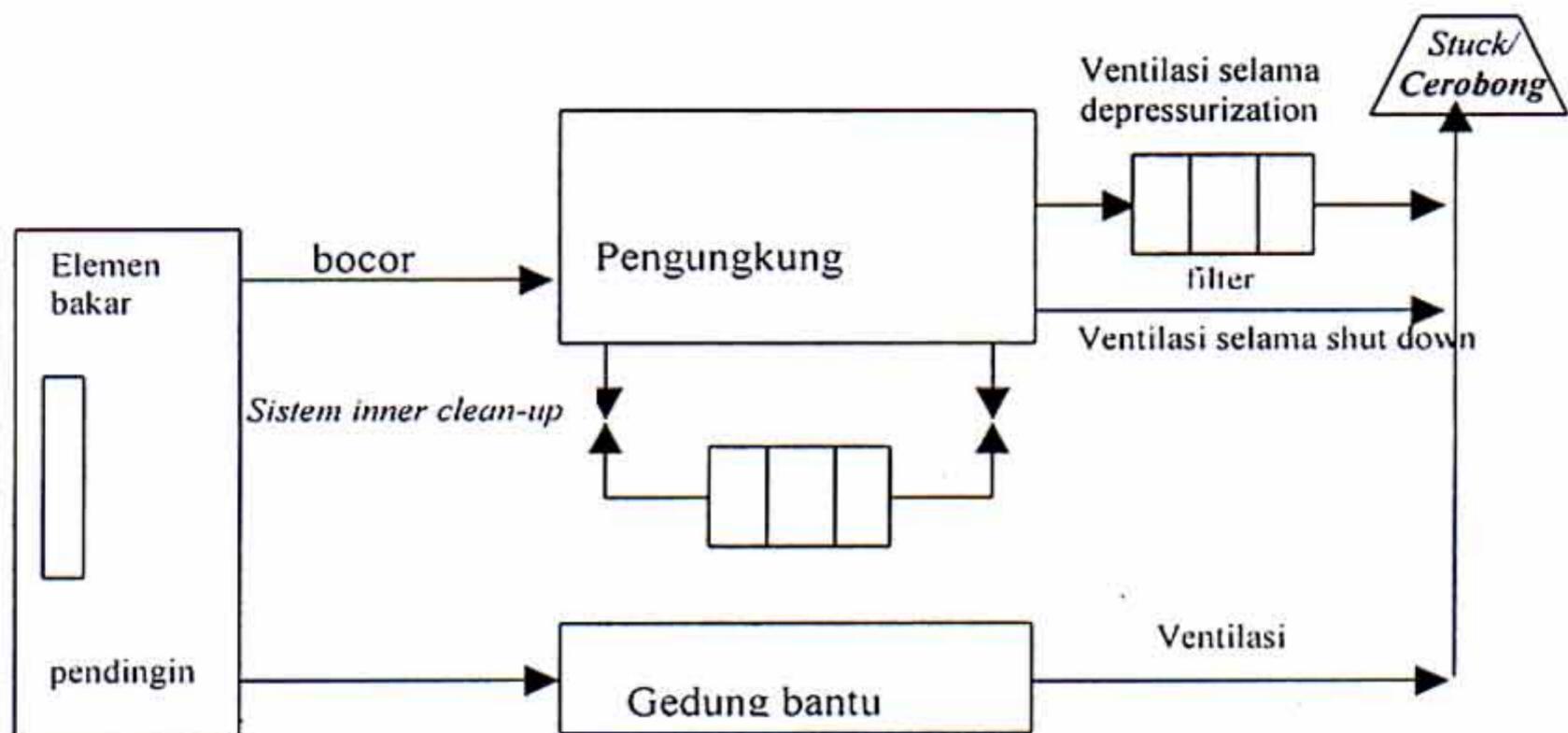
Berdasarkan pada “Pedoman Meteorologi untuk Analisis Keselamatan PLTN” dan “Pedoman Dosis Objektif Reaktor Daya Berpendingin Air Ringan”, yang masing-masing dikeluarkan oleh *Japan Nuclear Safety Commision* tahun 1989 dan *Japan Atomic Energy Commision* tahun 1975, jalur utama gas mulia radioaktif dan iodium yang dilepaskan ke lingkungan selama PWR beroperasi normal harus dievaluasi, yaitu meliputi :

1. Paparan eksternal sinar  $\gamma$  dan gas mulia (paparan eksternal sinar  $\gamma$  dari nuklida, penetrasi ke luar pengungkung dan yang terdapat dalam *containment* atau gedung reaktor harus lebih kecil dari 50  $\mu\text{Gy}$ /tapak-tahun).
2. Paparan internal radioiodium melalui pernafasan

3. Paparan internal radioiodium melalui makanan (antara lain: sayuran dan susu).
4. Paparan internal yang disebabkan oleh pelepasan zat radioaktif (Cr, Mn, Fe, Co, Sr, Cs dan Tritium) ke laut melalui hasil laut (ikan, rumput laut dan lain-lain).



Gambar 1. Sistem *recovery* boron ke tangki peluruhan gas dan tangki kendali volume dari PWR



Gambar 1. Pelepasan dari ventilasi gedung reaktor

## **II.2. Computer Code ANDOSE-JINS**

*Computer code* ANDOSE-JINS digunakan untuk perhitungan paparan radiasi di luar tapak PWR, berdasarkan pada Peraturan dosis efektif ekivalen tahunan, yang ada di Jepang

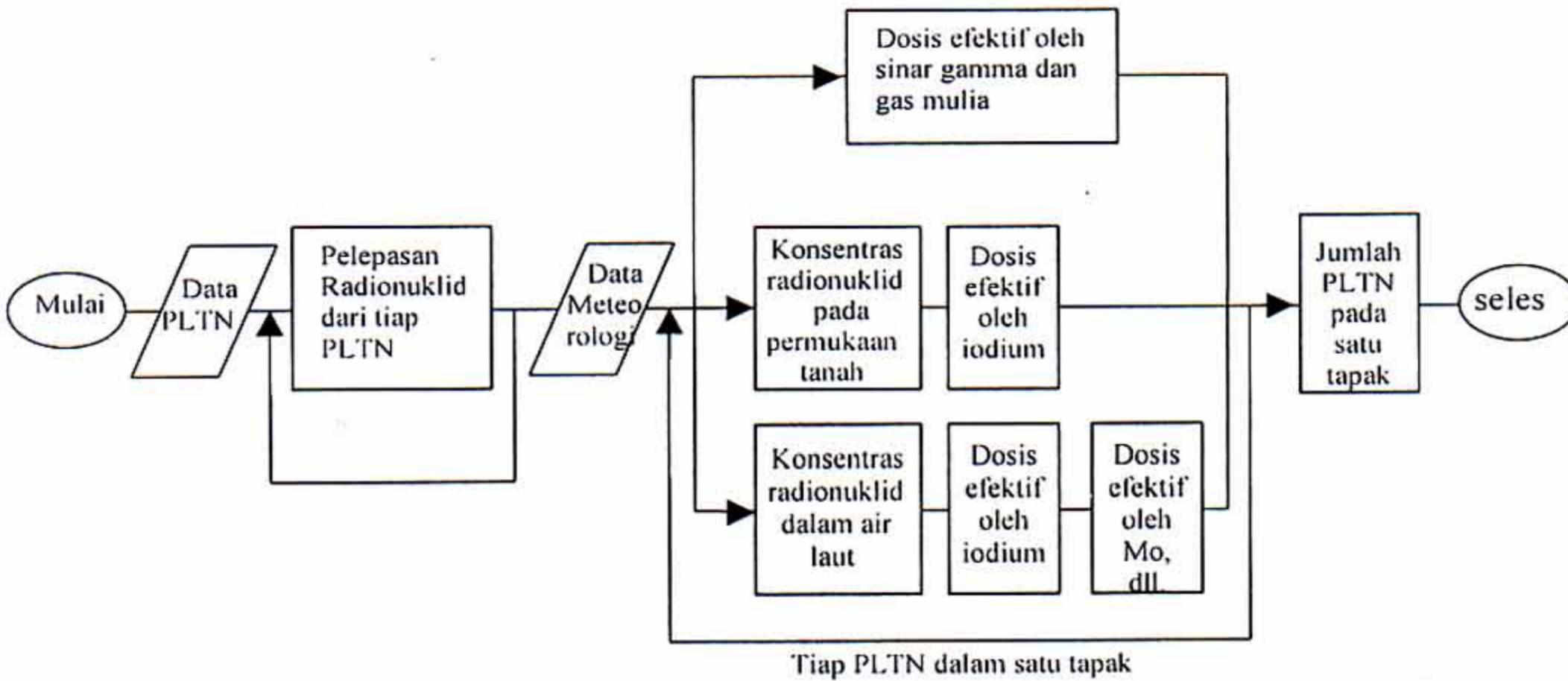
Data masukan untuk ANDOSE-JINS adalah sebagai berikut :

- Data kendali (jenis-jenis perhitungan, jumlah tapak dan fasilitas, nama tapak dan fasilitas, jenis fasilitas)
- Data perhitungan pelepasan (antara lain kondisi operasi PLTN dan jumlah data pelepasan)
- Perhitungan difusi, data perhitungan dosis paparan (data meteorologi dan sumber pelepasan)
- Data titik perhitungan (jarak, sektor titik perhitungan dan tingginya titik perhitungan di atas permukaan laut)

Data keluaran yang dihasilkan oleh ANDOSE-JINS meliputi :

- Rincian zat radioaktif gas yang dilepaskan
- Rincian dosis efektif dari gas mulia
- Rincian dosis efektif dari iodium gas dan konsentrasi I-131 di atas tanah.
- Dosis efektif dari setiap radionuklida kecuali I-131 dalam limbah cair
- Dosis efektif dari I-131 dan I-133 dalam limbah gas dan I-131 dalam limbah cair
- Dosis efektif total untuk perbandingan dengan dosis objektif.

Diagram alir *code* ANDOSE-JINS dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir *Code* ANDOSE-JINS

Evaluasi dosis ekivalen eksternal dan internal dilakukan berdasarkan rumus di bawah ini:

Dosis eksternal:  $D_w = K_w (D/Q)Q$

$K_w$  = konversi dari dosis absorpsi (Gy) terhadap dosis efektif/*whole body*.

$(D/Q)$  = dosis relatif (Gy/Bq)

$Q$  = aktivitas relatif (Bq)

Dosis internal:  $D_i = K_i B (X/Q)QK_i$

$B$  = laju nafas orang dewasa ( $m^3/s$ )

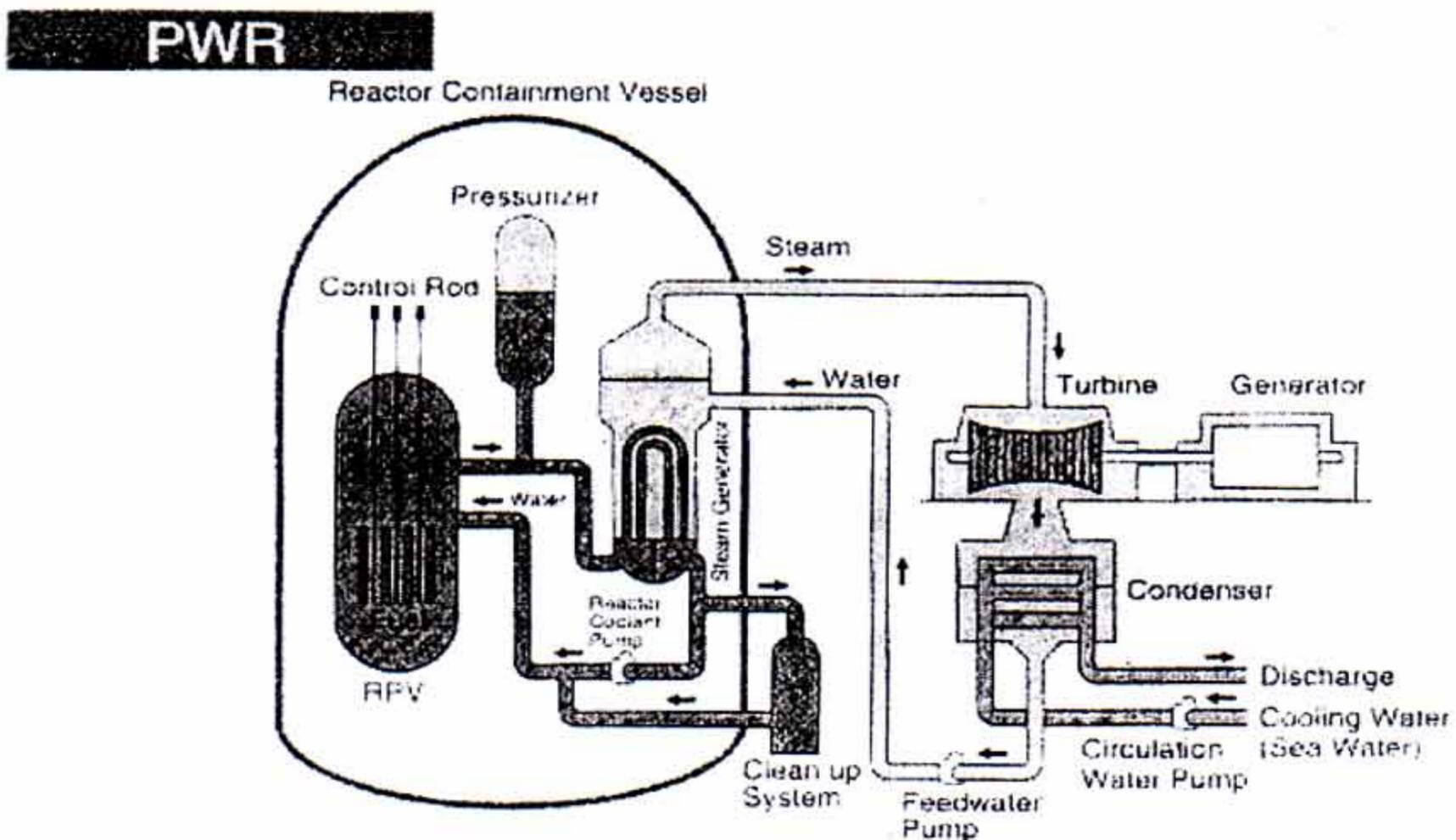
$K_i$  = konversi dari radioaktif yang terhisap terhadap dosis (Sv/Bq)

$K_i$  = konversi dosis orang dewasa terhadap dosis anak-anak

$X/Q$  = konsentrasi relatif ( $s/m^3$ )

### III. ANALISIS

Dalam analisis ini dibahas 2 kasus yaitu kasus dasar dan kasus sensitivitas. Pada kedua kasus tersebut 2 unit PWR dengan daya masing-masing 1650 MWt berada pada satu tapak. PWR unit 1 dinyatakan sebagai pusat sedangkan PWR unit 2 terletak 300 m arah timur laut dari unit 1. Gambar 4 menunjukkan PWR dengan sistem-sistemnya. Sistem-sistem yang terkontaminasi adalah sistem pendingin primer, *make-up tank* (tangki volume kendali kimia), sistem *demineralizer* dan *system recovery boron*. Dalam perhitungan dosis pada operasi normal PWR yang diperlukan adalah radionuklida yang ada dalam teras. Konfigurasi dari kedua PWR tersebut dapat dilihat pada Gambar 5, daerah tapak ditunjukkan dengan tanda "X".



Gambar 4. PWR dengan sistem-sistemnya

### III.1. Analisis Kasus Dasar

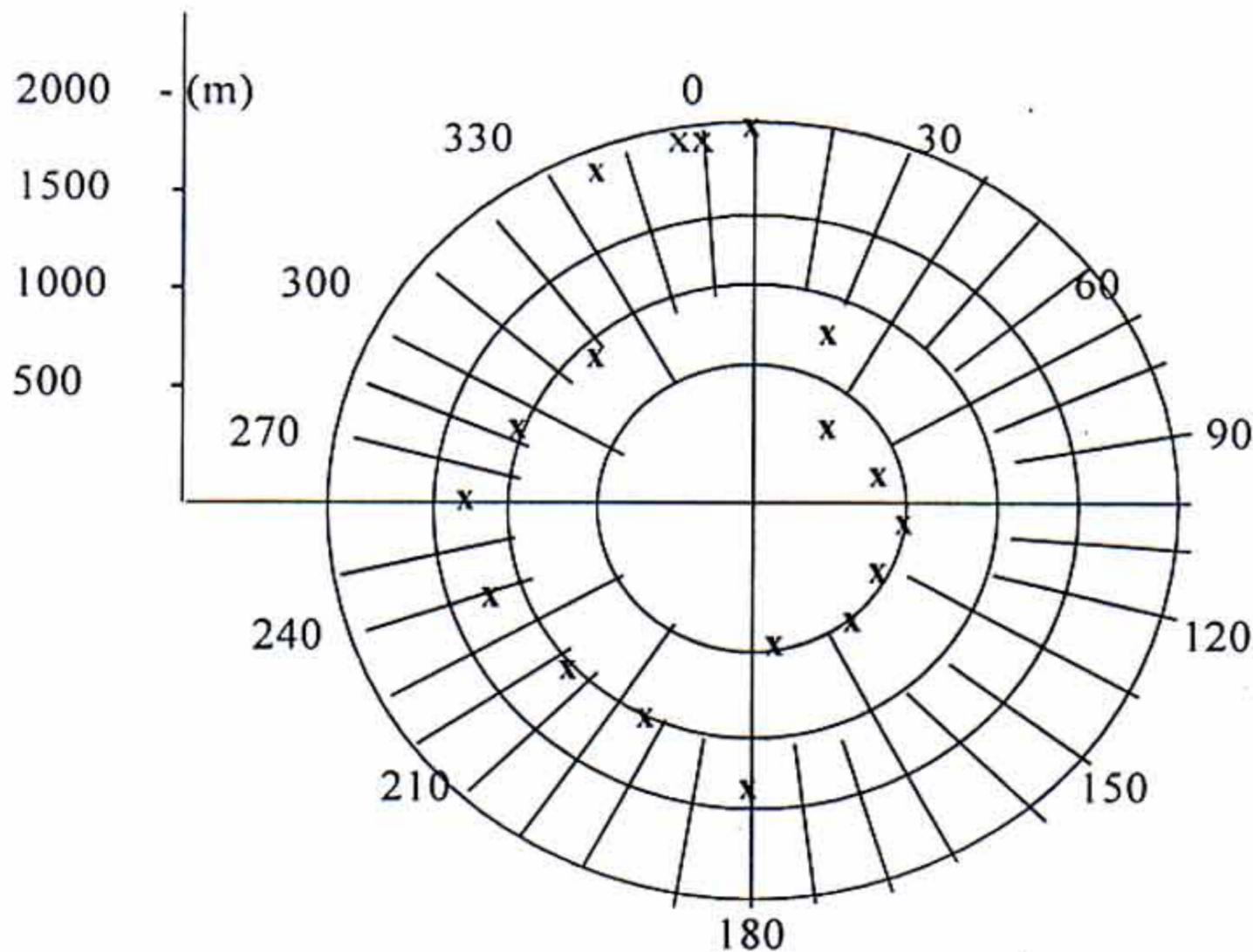
Pada kasus dasar, ekivalen dosis efektif eksternal tahunan dari gas mulia dan dosis internal dari iodium yang dilepaskan ke atmosfer, dihitung dari titik-titik yang diberi tanda "X". Lokasi untuk perhitungan diasumsikan berada pada jarak dan sudut sebagai berikut:

- pernapasan pada jarak 910 m dengan sudut  $22.5^{\circ}$
  - lokasi pengambilan sayuran pada jarak 370 m dengan sudut  $67.5^{\circ}$
  - lokasi pengambilan susu pada jarak 400 m dengan sudut  $112.5^{\circ}$
- } dari unit 1  
PWR,

Parameter data masukan yang digunakan untuk analisis kasus dasar ditunjukkan pada Tabel 2, sedang data jarak dan arah lokasi dapat dilihat pada Gambar 5.

Tabel 2. Parameter yang digunakan pada perhitungan kasus dasar

Parameter	Nilai
Waktu operasi	2.52E+07 (dtk)
Waktu tunda pada tangki peluruhan gas	2.59E+06 (dtk)
Inventori pendingin dalam sistem pendingin	1.21E+08 (gr)
Laju alir pendingin dalam sistem pembersih	2.81E+03 (gr/dtk)
Laju alir pendingin pada sistem <i>recovery</i> boron	4.72E+01 (gr/dtk)
Laju alir pendingin pada sistem <i>letdown</i>	9.27E+08 (gr/tahun)
Laju bocor pendingin pada sistem pembuangan	2.67E+08 (gr/tahun)
Laju alir dari sistem pembersih dalam <i>containment</i>	4.09E+05 (m <sup>3</sup> /hari)
Laju ventilasi selama <i>de-pressurization</i>	1.20E+05 (m <sup>3</sup> /tahun)
Isi <i>Containment</i>	4.02E+05 (m <sup>3</sup> )
Pembersihan saat reaktor <i>shutdown</i>	4 kali dalam setahun
<i>Off gas</i>	2 kali dalam setahun



Gambar 5. Lokasi pengambilan sampel dosis

### III.2. Analisis Kasus Sensitivitas

III.2.1. Dosis gas mulia dan konsentrasi iodium pada suatu titik di atas tanah adalah sebagai fungsi jarak. Kasus sensitivitas ini disebut kasus SENS-1. Dalam analisis, jarak yang digunakan untuk evaluasi dosis gas mulia dan konsentrasi iodium di atas tanah adalah 300m, 500m, 700m, 900m, 1200m, 1500m, 2000m, 2500m dan 3000m. Arah dari semua titik-titik tersebut adalah  $90^{\circ}$ .

III.2.2. Dosis dari gas mulia dan konsentrasi I-131 adalah sebagai fungsi tinggi cerobong. Kasus ini disebut kasus SENS-2. Dalam analisis digunakan variasi tinggi cerobong untuk menghitung dosis gas mulia dan konsentrasi I-131. Adapun tinggi cerobong tersebut adalah: 50m, 100m dan 150m.

## HASIL ANALISIS

### IV.1. Kasus dasar

Hasil perhitungan diperlihatkan pada Tabel 3, Tabel 4 dan Tabel 5. Pada Tabel 5 ditunjukkan ekivalen dosis total. Hasil dari Tabel 5 menunjukkan dosis efektif ekivalen tahunan total maksimum 4,6585  $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ . Nilai dosis tersebut tidak melampaui dosis objektif untuk penduduk yang ditentukan oleh Peraturan dosis objektif yaitu 50  $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ .

Tabel 3. Dosis Efektif Tahunan dari Gas mulia dan cairan

Jarak (m)	Sudut/arah ( $^{\circ}$ )	Dosis (mSv/year)
a. Gas mulia + cairan:		
910.0	22.5	6.563E-04
310.0	45.0	1.906E-03
370.0	67.5	2.459E-03
370.0	90.0	2.873E-03
400.0	112.5	2.508E-03
470.0	135.0	2.189E-03
430.0	157.5	1.877E-03
1340.0	180.0	6.302E-04
1100.0	202.5	4.120E-04
1040.0	225.0	4.285E-04
1270.0	247.5	3.772E-04
1270.0	270.0	4.401E-04
1170.0	292.5	5.703E-04
950.0	315.0	6.452E-04
1870.0	337.5	2.703E-04
1930.0	360.0	3.866E-04
Total		0.004548
b. Cairan		0.001674
c. Gas Mulia		0.002874

Catatan :

Dosis gas mulia+cairan= jumlah dosis dari unit 1 dan 2 berjarak 300 m dari unit 1 dengan arah  $22.5^{\circ}$ .

Dosis gas mulia (2.874E-03) adalah hasil pengurangan dosis gas mulia + cairan dengan dosis cairan.

Arah/sudut = arah dari unit 1 searah jarum jam dari arah utara.

Tabel 4. Dosis Effektif Tahunan dari Iodium

Gas Iodium		Dosis (mSv/tahun)
I-131	Dewasa :	
	- Pernafasan	3.808E-06
	- sayuran	2.798E-08
	- susu	4.321E-06
	<b>Total</b>	<b>8.157E-06</b>
	Anak-anak :	
	- Pernapasan	5.695E-06
	- sayuran	5.875E-08
	- Susu	4.537E-05
	<b>Total</b>	<b>5.112E-05</b>
	Bayi :	
	- Pernapasan	5.364E-06
- Sayuran	4.756E-08	
- Susu	4.248E-05	
<b>Total</b>	<b>4.790E-05</b>	
I-133	Dewasa :	
	-Pernapasan	3.749E-07
	- sayuran	4.901E-10
	- Susu	3.350E-08
	<b>Total</b>	<b>4.089E-07</b>
	Anak-anak :	
	- Pernapasan	5.738E-07
	- Sayuran	1.127E-09
	- Susu	3.852E-07
	<b>Total</b>	<b>9.601E-07</b>
	Bayi :	
	- Pernapasan	6.064E-07
- Sayuran	8.625E-10	
- Susu	4.053E-08	
<b>Total</b>	<b>6.478E-07</b>	
<b>Total of I-131 &amp; I-133</b>	Dewasa	<b>8.565E-06</b>
	Anak-anak	<b>5.208E-05</b>
	bayi	<b>4.858E-05</b>

Catatan:

Dosis melalui pernapasan pada jarak 910m dan arah 22.5°, melalui sayuran pada jarak 370 meter dan arah 67.5°, dan melalui susu pada jarak 400 m dan arah 112.5°, masing-masing dari unit 1.

Tabel 5. Dosis ekuivalen total

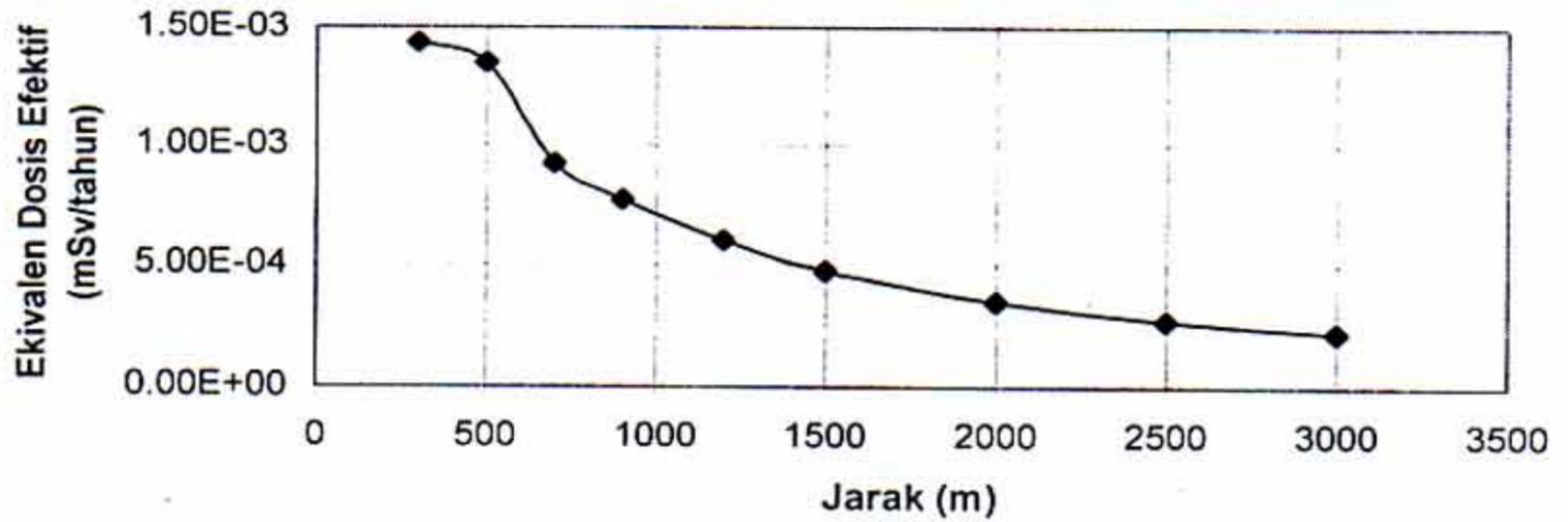
Jalur Paparan		Dosis Ekuivalen (mSv/tahun)
Gas Mulia	Sinar $\gamma$ - ray dalam efluen gas	<b>2.874E-03*</b>
Iodium dalam efluen gas dan cairan (mengandung rumput laut)	Dewasa	0.0000318
	Anak-anak	0.0000989
	Bayi	0.0000998
Iodium dalam efluen gas dan cairan (tidak mengandung rumput laut)	Dewasa	0.0000364
	Anak-anak	<b>1.105E-04*</b>
	Bayi	0.0000959
Zat radioaktif dalam efluen cairan tanpa Iodium (Cr, Mn, Fe, Co, Sr, Sc)		<b>1.674E-03*</b>
Total (dari jumlah nilai dosis yang bertanda *)		0.0046585

#### IV.2. Kasus SENS-1

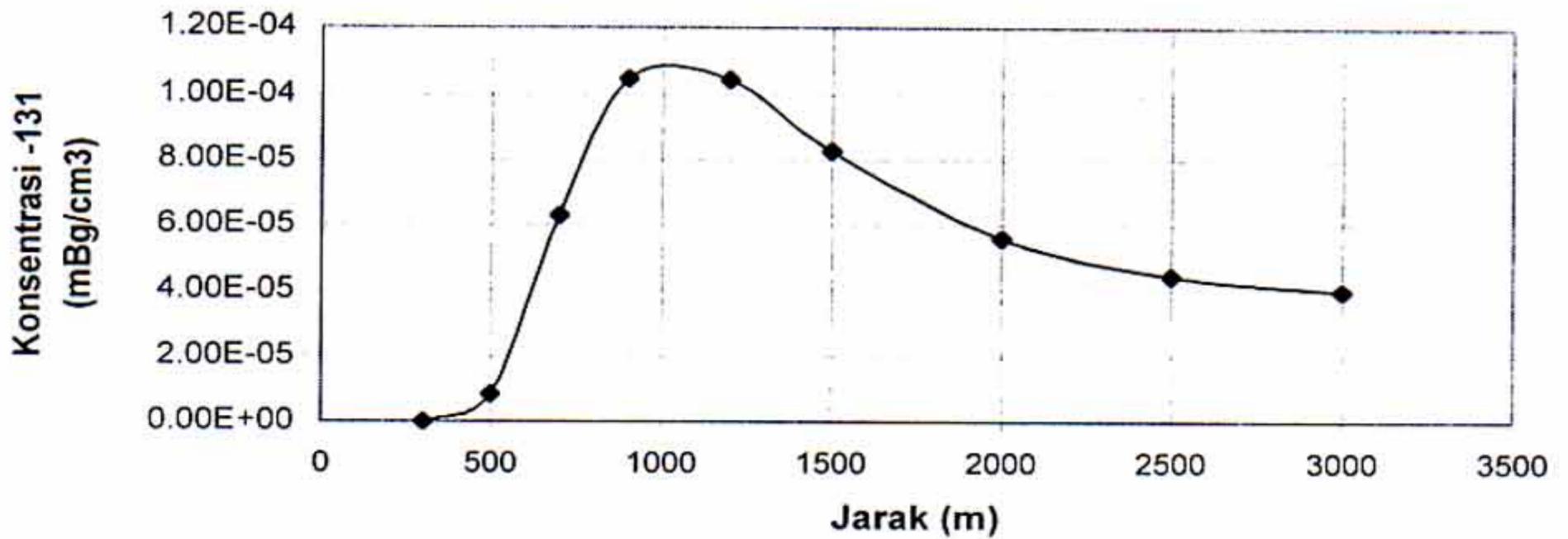
Hasil perhitungan analisis ini ditunjukkan pada Tabel 6. Konsentrasi iodium digambarkan pada Gambar 6 yang menunjukkan bahwa konsentrasi maksimum iodium diperoleh pada jarak 1000m, setelah itu menurun. Pada gambar 7 menunjukkan dosis efektif dari gas mulia.

Tabel 6. Konsentrasi I-131 dan Ekuivalen Dosis Efektif Gas Mulia (SENS-1) pada variasi jarak dari tapak

Jarak (m)	Konsentrasi I-131, mBq/cm <sup>3</sup> )	Dosis efektif ekuivalen (mSv/tahun)
300	2,379E-09	1,433E-03
500	8,368E-06	1,135E-03
700	6,285E-05	9,222E-04
900	1,047E-04	7,684E-04
1200	1,045E-04	6,027E-04
1500	8,269E-05	4,737E-04
2000	5,596E-05	3,502E-04
2500	4,424E-05	2,731E-04
3000	3,960 E-05	2,248E-04



Gambar 6. Ekivalen Dosis Efektif gas mulia pada berbagai jarak dari tapak (kasus 1)



Gambar 7. Konsentrasi I-131 pada berbagai jarak dari tapak

### IV.3. Kasus SENS-2

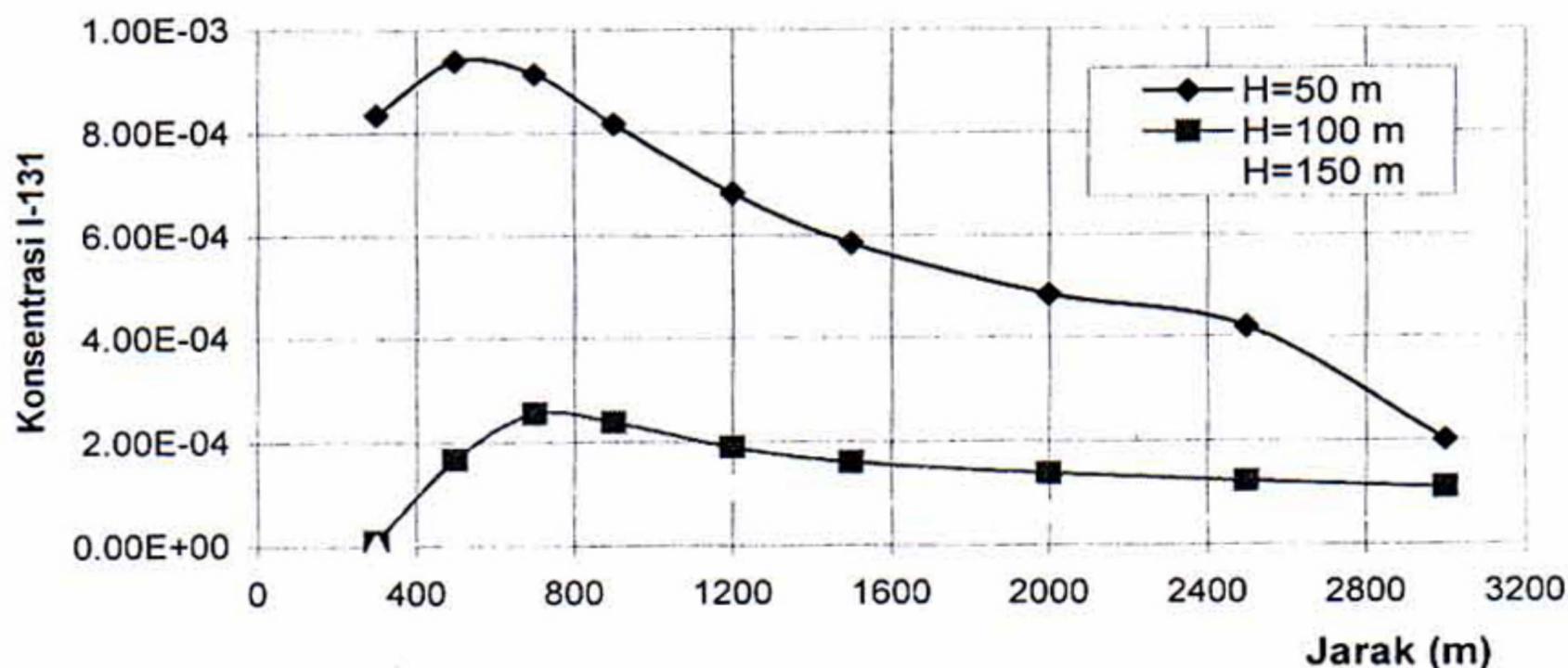
Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 7, Tabel 8, Gambar 8 dan Gambar 9. Gambar 8 menunjukkan konsentrasi I-131 maksimum pada beberapa jarak tergantung pada tinggi cerobong.

Penurunan perubahan dosis lebih berkesinambungan/ kontinu daripada konsentrasi iodium karena dosis merupakan integrasi seluruh bagian awan radioaktif sedangkan konsentrasi iodium tidak. Nilai konsentrasi I-131 bertambah pada beberapa jarak dari setiap tinggi cerobong kemudian menurun pada jarak setelah 1000 m.

Tabel 7. Konsentrasi I-131 pada variasi jarak dari tapak

Jarak (m)	Konsentrasi I-131 (mBq/cm <sup>3</sup> )		
	H = 50 m	H= 100 m	H=150 m
300	8.353E-04	8.966E-06	1.241E-08
500	9.3959E-04	1.671E-04	1.358E-05
700	9.142E-04	2.554E-04	7.910E-05
900	8.171E-04	2.384E-04	1.190E-04
1200	6.823E-04	1.896E-04	1.122E-04
1500	5.848E-04	1.613E-04	8.767E-05
2000	4.839E-04	1.383E-04	6.086E-05
2500	4.197E-04	1.230E-04	5.001E-05
3000	2.008E-04	1.099E-04	4.567E-05

Catatan : H = tinggi cerobong

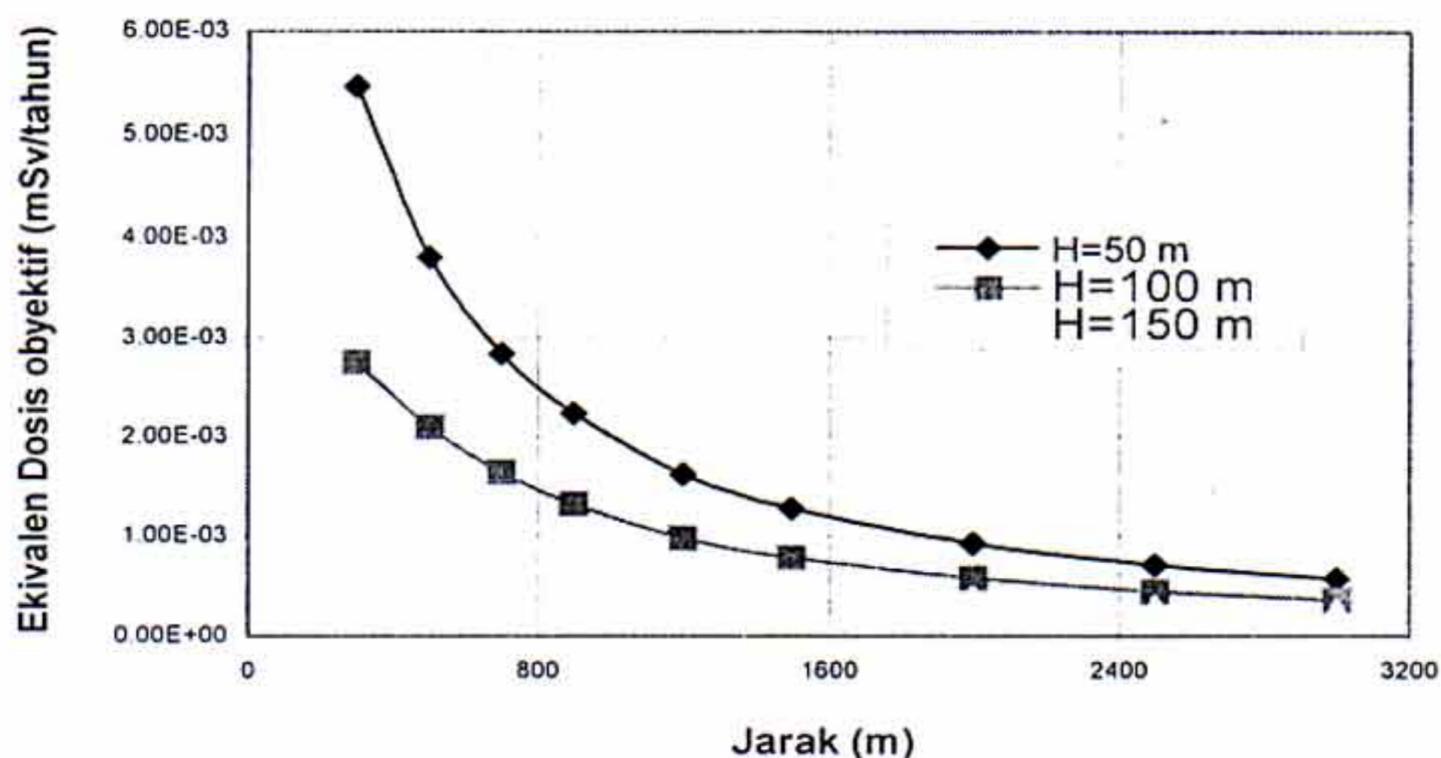


Gambar 8. Konsentrasi I-131 pada variasi jarak dari tapak

Tabel 8. Dosis ekivalen efektif gas mulia pada variasi jarak dari tapak

Jarak(m)	Ekivalen Dosis Efektif (mSv/tahun)		
	H = 50 m	H= 100 m	H = 150 m
300	5.467E-03	2.752E-03	1.535E-03
500	3.815E-03	2.097E-03	1.222E-03
700	2.836E-03	1.639E-03	9.956E-04
900	2.236E-03	1.324E-03	8.304E-04
1200	1.625E-03	9.865E-04	6.487E-04
1500	1.281E-03	7.885E-04	5.072E-04
2000	9.291E-04	5.819E-04	3.746E-04
2500	7.169E-04	4.488E-04	2.926E-04
3000	5.743E-04	3.626E-04	2.454E-04

Catatan : H = tinggi cerobong



Gambar 9. Dosis ekivalen objektif gas mulia pada berbagai jarak dan tinggi cerobong dari tapak

## V. KESIMPULAN

Dari hasil analisis kasus dasar dapat diambil kesimpulan bahwa pelepasan zat radioaktif dari 2 unit PWR pada satu tapak selama beroperasi normal mempunyai ekivalen dosis tahunan lebih rendah dari nilai dosis objektif yang diperkenankan dari

Peraturan dosis objektif. Ekuivalen dosis total yang dihitung adalah 4,7  $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$  menunjukkan bahwa PWR memperhatikan konsep yang direkomendasikan oleh ICRP yaitu konsep ALARA.

Hasil analisis SENS-1 dan SENS-2 menunjukkan bahwa pengaruh jarak dan tinggi cerobong, ekuivalen dosis efektif gas mulia masih di bawah nilai dosis objektif. Melalui perhitungan dosis dari banyak unit PWR yang beroperasi normal pada satu tapak akan menjaga dosis untuk penduduk serendah mungkin sehingga masih di bawah batas 50  $\mu\text{Sv}/\text{tapak.tahun}$ .

## VI. DAFTAR PUSTAKA

1. *Evaluation of Exposure during Normal Operation* Training Material, Long-Term Training Course on Safety Regulation and Safety Analysis, Nuclear Power Engineering Corporation, Jepang, 1997
2. *Ministry of International Trade and Industry Notice No. 283*, Notice of Dose Equivalent Limits Etc. Based on the Provisions of Rules on the Establishment Operation, Etc. of Power Generating Nuclear Reactors for Practical Use, , Jepang, 1993.
3. *Japan Atomic Energy Commissions Guide for Dose Objectives around Light-Water-Cooled Power Reactors*, 1975.
4. FUNAYAMA, K., Y. TAKAHASHI DAN M. KAJIMOTO, *Calculation of Doses during Routine Release from LWRs-Model Description* ,Bahan Seminar, Januari, 2001.
5. FUNAYAMA, K., Y. TAKAHASHI DAN M. KAJIMOTO, *Calculation of Doses during Routine Release from LWRs-Application of ANDOSE-JINS* ,Bahan Seminar, Januari, 2001.