

ANALISIS RADIOLOGIS PRODUK FISI NON VOLATILE DARI LWR PADA KONDISI KECELAKAAN PARAH

Pande Made Udiyani

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir (PTRKN) - BATAN
Kawasan PUSPIPTEK Gd. No. 80 Serpong, Tangerang Selatan 15310

e-mail: pmade-u@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS RADIOLOGIS PRODUK FISI NON VOLATILE DARI LWR PADA KONDISI KECELAKAAN PARAH. Lepasannya produk fisi dari LWR (Light Water Reactor) pada kondisi kecelakaan parah merupakan topik penelitian penting terkait dengan kecelakaan nuklir di Fukushima, karena konsekuensi radiologinya terhadap manusia dan lingkungan. Kecelakaan parah pada reaktor daya diakibatkan terjadinya kegagalan teras. Produk fisi non volatil dibandingkan dengan volatil, mempunyai efek radiologi yang lebih kecil, tetapi jika lepasannya dalam jumlah besar akan menghasilkan dampak yang signifikan. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mendapatkan aktivitas dan dosis radiasi akibat dispersi produk fisi non volatil ke lingkungan akibat kecelakaan parah untuk 2 tipe reaktor LWR yaitu PWR (*Presurized Water Reactor*) dan BWR (*Boiling Water Reactor*) yang mempunyai kapasitas masing-masing 1000 MWe. Analisis radiologis dispersi nuklida non volatil untuk PWR menghasilkan dosis radiasi maksimum untuk: inhalasi adalah $7.47 \times 10^{+01}$ Sv/hari (nuklida Ce-144), dosis eksternal dari cloudshine 7.43×10^{-02} mSv/hari (Te-132) dan groundshine 1.57×10^{-06} mSv/hari untuk nuklida Te-132. Sedangkan untuk reaktor BWR, dosis radiasi maksimum untuk: inhalasi adalah $6.55 \times 10^{+01}$ Sv/hari (Ce-144), dosis eksternal dari cloudshine 4.25×10^{-03} mSv/hari dan groundshine 8.27×10^{-08} mSv/hari untuk nuklida La-140

Kata kunci: Radiologis, produk fisi, non-volatile, LWR, kecelakaan parah

ABSTRACT

RADIOLOGICAL ANALYSIS OF NON VOLATILE FISSION PRODUCTS FROM LWR ON SEVERE ACCIDENT CONDITIONS. Fission products from LWR (Light Water Reactor) in severe accident conditions is an important research topic related to the nuclear accident in Fukushima, as a radiological consequence on humans and the environment. Severe accident at a reactor power caused the core failure. Non volatile fission products compared with the volatile, having a smaller radiological effects, but if the significant release will result in a significant impact. The purpose of this analysis is to get the activity, radiation dose, and dispersion models of non-volatile fission products into the environment due to severe accidents for the two types of LWR reactors are PWR (*Presurized Water Reactor*) and BWR (*Boiling Water Reactor*), which has a capacity of 1000 MWe each. Radiological dispersion analysis of non volatile nuclides for PWR produce maximum radiation dose to: inhalation is $7.47 \times 10^{+01}$ Sv/day (Ce-144), the external dose from cloudshine 7.43×10^{-02} mSv/day (Te-132) and groundshine 1.57×10^{-06} mSv/day for the nuclides Te-132. As for BWR reactors, the maximum radiation dose to: inhalation is $6.55 \times 10^{+01}$ Sv/day (Ce-144), the external dose from cloudshine 4.25×10^{-03} mSv/day and groundshine 8.27×10^{-08} mSv/day for the nuclides La-140.

Keywords: Radiological, fission product, non volatile, LWR, severe accident

1. PENDAHULUAN

Lepasannya produk fisi dari bahan bakar LWR pada kondisi kecelakaan parah merupakan topik penelitian penting, terkait dengan kecelakaan nuklir di Fukushima karena konsekuensi radiologinya terhadap manusia dan lingkungan^[1]. Pengoperasian PLTN yang direncanakan dari reaktor LWR (*Light Water Reactor*) di Indonesia memberikan keraguan terhadap masyarakat tentang lepasannya radioaktif ke lingkungan, sehingga diperlukan banyak kajian terhadap sumber sumber radioaktif di reaktor PLTN untuk memberikan informasi yang ilmiah kepada masyarakat tentang zat radioaktif

yang timbul dari pengoperasian PLTN. Pengoperasian PLTN secara normal memberikan konsekuensi radiasi yang kecil^[2]. Sedangkan untuk kejadian abnormal (kecelakaan terpostulasi atau kecelakaan parah) akan menimbulkan konsekuensi yang lebih tinggi dibandingkan konsekuensi radiasi kondisi operasi normal, karena adanya kerusakan atau pelelehan bahan bakar. Konsekuensi radiasi pada masyarakat dan lingkungan tergantung besarnya sumber radioaktif di dalam PLTN, yang dipengaruhi oleh kondisi kecelakaan dan fitur keselamatan reaktor.

Produk fisi yang terbentuk dari iradiasi bahan bakar uranium di dalam pelet bahan bakar antara lain gas mulia, gas mudah menguap (*volatile*) dan gas yang tidak mudah menguap (*non volatile*). Dalam tulisan ini ditekankan pada produk fisi yang tidak mudah menguap, karena mempunyai efek radiasi yang signifikan, yang mempunyai umur paruh lama. Produk fisi yang tidak mudah menguap antara lain adalah ruthenium (Ru-103, Ru-106), Zr-95, La-40, Ag-110, Sr, Ba, La, Ce, Te, Sb, Mo.^[3] Dari besarnya aktivitas yang terdispersi secara atmosferik ke lingkungan untuk jenis kecelakaan yang sama, aktivitas produk fisi *non volatile* lebih rendah dibandingkan dengan produk fisi *volatile*. Jika kecelakaan yang terjadi digolongkan kecelakaan parah seperti kasus Fukushima, maka dispersi atmosferik dari produk fisi *low volatile* akan meningkat dan akan menghasilkan penerimaan dosis radiasi masyarakat secara signifikan dari nuklida tersebut.

Tujuan dari analisis ini adalah untuk mendapatkan aktivitas dan dosis radiasi dari dispersi produk fisi *low volatile* ke lingkungan akibat kecelakaan parah untuk 2 tipe reaktor LWR yaitu PWR (*Pressurized Water Reactor*) dan BWR (*Boiling Water Reactor*) yang mempunyai kapasitas masing-masing 1000 MWe. Analisis dilakukan terhadap sumber radiasi yang ditimbulkan akibat terjadinya kegagalan teras karena kecelakaan parah yang diasumsikan gagal 50 % untuk reaktor LWR-1000. Nuklida produk fisi tidak mudah menguap yang akan dijadikan fokus kajian adalah Ru, Ba, La, Mo, Ce, Te, Sr

2. TEORI

Selama proses kejadian yang mengakibatkan kecelakaan parah *severe accident* pada reaktor LWR, produk fisi (*fission products* - FPs) di dalam kelongsong bahan bakar akan lolos dari teras yang gagal. Karakteristik dan kondisi produk fisi akan tergantung pada berbagai proses fisik dan kimia yang terjadi di dalam matrik bahan bakar dan gas-gas yang meliputinya. Kinetika lepasan untuk sebagian nuklida produk fisi yang mudah menguap seperti Xe, Kr, Cs, dan I, dipengaruhi oleh kecepatan proses difusi padatan di dalam matrik bahan bakar UO₂. Dengan kata lain produk fisi yang tidak menguap juga dipengaruhi tekanan parsial dari variasi bentuk kimia dari produk fisi (logam, oksida, hidroksida, campuran oksida).^[4] Produk fisi dapat diklasifikasikan berdasarkan tingkat kemampuan menguap yaitu: mudah menguap (*volatile*) lepasan produk fisi yang tinggi, kecepatan lepasan yang besar; dan adanya difusi atom di dalam pellet bahan bakar; dan tidak mudah menguap (*non-volatile*) yaitu pelepasan produk fisi yang berhubungan dengan penguapan/vaporisasi bahan bakar.^[5] Produk fisi *non-volatile* terdiri dari nuklida *semi-volatile* (lepasan produk fisi yang berpotensi mempunyai fraksi lepasan besar, kondisi reaksi redoks yang mengurangi fraksi lepasan,

dan evaporasi komposisi kimia mempengaruhi pelepasan; dan *low-volatile* (produk fisi yang daya lepasnya rendah walaupun pada suhu tinggi dan di bawah kondisi reaksi redoks).

Pengertian tentang perilaku produk fisi yang meliputi afinitas kimia, redistribusi di dalam bahan bakar dan kinetika pelepasan di dalam berbagai fase atmosfer, adalah penting untuk mengevaluasi lepasan yang mungkin terdispersi ke lingkungan, terutama untuk kejadian kecelakaan parah. Produk fisi seperti Ba dan Mo adalah produk fisi aktif yang mempunyai kelimpahan tinggi (Ba 11 % dan Mo 25 %) dan muncul 1-8 hari pada saat sisa daya reaktor (residu power) setelah PWR *shut down*. Fraksi lepasan Barium terutama Ba-140 dan turunannya La-140 digunakan sebagai evaluator pada skenario kecelakaan parah *severe accident*. Barium (Ba) dan Molibdinum (Mo) mengakibatkan dampak pada kesehatan manusia terutama organ paru-paru dan tulang. Disamping kelimpahan tinggi dan efek kesehatan yang berarti, Mo juga merupakan *interfere* dari lepasan produk fisi yang lainnya yang diketahui sebagai pengontrol potensial untuk oksigen bahan bakar dan interaksi kimia dengan cesium, stronsium atau Ba. Barium dan molibdinum yang merupakan bagian produk fisi grup *semi-volatile* mempunyai fraksi lepasan terukur antara 33% sampai 100%. Barium lebih mudah lepas pada kondisi reaksi reduksi, sedangkan molibdinum pada kondisi teroksidasi^[5].

Perhitungan dosis dari alur paparan awan radioaktif (*cloudshine*), menggunakan persamaan^[6]:

$$D(r, t_0, t_1) = A(r, t_0, t_1) S(r) d(r) (t_1 - t_0) c \quad (1)$$

dengan,

- $D(r, t_0, t_1)$: dosis dari radionuklida r , Sv/tahun
- $A(r, t_0, t_1)$: konsentrasi *airborne* rata-rata dalam interval waktu $[t_0, t_1]$, Bq m⁻³
- $S(r)$: faktor lokasi
- $d(r)$: faktor konversi dosis, Sv/Bq dt m³
- c : 3600 x 24, detik hari⁻¹
- $[t_0, t_1]$: interval waktu paparan, hari
- $S(r)$: okupasi keberadaan

Perhitungan dosis dari alur inhalasi menggunakan persamaan^[6]:

$$D(r, t_0, t_1) = A(r, t_0, t_1) F(r) I(r, a) d(r, a) (t_1 - t_0) \quad (2)$$

dengan:

- $D(r, t_0, t_1)$: dosis dari radionuklida r , Sv
- $A(r, t_0, t_1)$: konsentrasi *airborne* rata-rata dalam interval waktu $[t_0, t_1]$, Bq m⁻³
- $F(r)$: faktor filter
- $I(r, a)$: kecepatan inhalasi, m³ jam⁻¹
- $d(r, a)$: faktor konversi dosis, Sv Bq⁻¹
- $[t_0, t_1]$: interval waktu paparan, hari
- $F(r)$: fraksi waktu di luar ruangan x faktor perisai di luar ruangan + fraksi waktu di

dalam ruangan x faktor perisai di dalam ruangan
 $I(r,a)$: fraksi waktu istirahat x kecepatan inhalasi waktu istirahat + fraksi waktu istirahat x kecepatan inhalasi waktu bekerja, untuk setiap kelompok umur.

Perhitungan dosis alur paparan permukaan tanah (*groundshine*), menggunakan persamaan^[6]:

$$D(r,t_0,t_1) = G(r)S(r)d(r)c \int_{t_0}^{t_1} \left[\alpha(r,s)e^{-(\lambda(r)+\lambda_1(r,s))t} + (1-\alpha(r,s))e^{-(\lambda(r)+\lambda_2(r,s))t} \right] dt \quad (3)$$

dengan,

$D(r,t_0,t_1)$: dosis radionuklida r dalam interval waktu t_0 sampai dengan t_1 , Sv

$G(r)$: konsentrasi total pada permukaan, Bq m⁻²

$S(r)$: faktor lokasi

$d(r)$: faktor konversi dosis, Sv/Bq dt m²

$\alpha(r,s)$: faktor komponen bergerak

$\lambda(r)$: laju peluruhan radionuklida, hari⁻¹

$\lambda_1(r,s)$: kecepatan migrasi komponen pada tanah, hari⁻¹

$\lambda_2(r,s)$: kecepatan migrasi komponen tetap pada tanah, hari⁻¹

$[t_0,t_1]$: interval waktu, dihitung setelah satu hari, hari⁻¹

c : 3600 x 24, detik hari⁻¹

3. TATA KERJA

Berdasarkan perhitungan sumber radiasi di dalam teras untuk PWR-1000^[7] dan BWR-1000^[8], dilakukan perhitungan radiasi untuk produk fisi *non volatile* yang lepas ke lingkungan dengan asumsi 50 % teras gagal. Pemodelan *source term* mengikuti model yaitu: Radionuklida dari inventori ke sungkup mengikuti langkah-langkah fenomena perpindahan atau transport nuklida yaitu : radioaktivitas inventori teras, fraksi kegagalan bahan bakar yang diskenariokan, lepasan produk fisi dari teras ke sistem pendingin, lepasan aktivitas dari sistem pendingin ke sungkup primer (*primary containment*), dan retensi nuklida di sungkup^[9]. Aktivitas dispersi di atmosfer (*cloudshine*) dan deposisi di permukaan tanah (*groundshine*) dihitung menggunakan program EC MARIA (*Methods for Assessing Radiological Impact of Accident*).^[10] Penerimaan dosis radiasi masyarakat yang berdomisili di daerah tapak contoh, digunakan koefisien dosis untuk paparan radiasi internal dan eksternal dari ICRP 60.^[11]

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Aktivitas radiasi produk fisi *non volatile* yang lepas ke lingkungan akibat terjadinya kecelakaan parah dengan postulasi 50 % teras gagal dari reaktor LWR (PWR-1000 dan BWR-1000) diberikan pada Tabel 1. Hasil perhitungan dispersi dan deposisi diberikan pada Tabel 2. Perhitungan radiologis untuk paparan internal dan eksternal diberikan pada Gambar 1 sampai Gambar 3.

Perhitungan aktivitas radiasi yang ke lingkungan untuk PWR-1000 dan BWR-1000, menggunakan asumsi yang sama yaitu kegagalan teras 50 %, nuklida produk fisi non volatile (Ru, Ba, La, Mo, Ce, Te, Sr) yang ke luar ke sistem RCS (*Reactor Cooling System*) dan pengungkung diasumsikan 1 % dari produk fisi teras,^[9] dan sistem pengurangan aktivitas radiasi seperti sistem semprot air, kondensasi serta sistem filtering diasumsikan berfungsi.

Tabel 1. Aktivitas radiasi produk fisi non volatile lepas ke lingkungan dari reaktor LWR (PWR-1000 dan BWR-1000)

Nuklida <i>non volatile</i>	Aktivitas Tbg		Nuklida <i>non volatile</i>	Aktivitas Tbg	
	PWR-1000	BWR-1000		PWR-1000	BWR-1000
Ru -103	2.66x10 ⁺⁰²	3.51 x10 ⁺⁰²	Ce-141	2.86 x10 ⁺⁰²	2.51 x10 ⁺⁰²
Ru -106	7.88 x10 ⁺⁰¹	1.04 x10 ⁺⁰²	Ce-144	2.13 x10 ⁺⁰²	1.87x10 ⁺⁰²
Ba-140	3.19 x10 ⁺⁰²	2.47 x10 ⁺⁰²	Sr-89	1.80 x10 ⁺⁰²	2.13 x10 ⁺⁰²
La-140	3.33 x10 ⁺⁰²	2.52 x10 ⁺⁰²	Sr-90	1.32 x10 ⁺⁰¹	1.56 x10 ⁺⁰¹
Te-132	2.50 x10 ⁺⁰²	2.05 x10 ⁺⁰²	Mo-99	3.28 x10 ⁺⁰²	2.97 x10 ⁺⁰²

Aktivitas radiasi produk fisi *non volatile* akibat kecelakaan parah pada LWR pada Tabel 1 ditimbulkan karena adanya kerusakan teras, sehingga produk fisi yang terkungkung di dalam kelongsong bahan bakar lepas ke RCS dan akhirnya ke lingkungan. Dari Tabel 1, aktivitas nuklida yang lepas ke lingkungan untuk reaktor PWR tertinggi dari nuklida La-140, kemudian nuklida Mo-99, dan Ba-140. Nuklida dari grup Mo, La dan Ba merupakan nuklida golongan *semi volatile*, dan karena yang dihitung adalah lepasan dispersi atmosferik, maka nuklida yang mudah menguap lebih besar dibandingkan yang sukar menguap. Selain itu nuklida Ba, La dan Mo mempunyai kelimpahan yang tinggi. Sedangkan dari reaktor BWR nuklida yang lepas ke lingkungan dengan aktivitas tertinggi dari Ru-103.

Berdasarkan data lepasan dari Tabel 1 dengan menggunakan data meteorologi daerah contoh tapak Bojanegara-Serang,^[12] dihitung menggunakan program EC-MARIA diperoleh hasil yang diberikan pada Tabel 2 (Hasil perhitungan konsentrasi dari alur paparan *cloudshine*) dan Tabel 3 (*groundshine*).

Tabel 2. Hasil perhitungan konsentrasi cloudshine lingkungan dari reaktor LWR (PWR-1000 dan BWR-1000)

Nuklida <i>non volatile</i>	Konsentrasi <i>cloudshine</i> Bq dt/m ³		Nuklida <i>non volatile</i>	Konsentrasi <i>cloudshine</i> Bq dt/m ³	
	PWR-1000	BWR-1000		PWR-1000	BWR-1000
Ru -103	7.02E+07	5.32E+07	Ce-141	7.94E+06	3.81E+07
Ru -106	9.77E+06	1.58E+07	Ce-144	4.77E+06	2.84E+07
Ba-140	8.18E+07	3.73E+07	Sr-89	4.65E+07	3.23E+07
La-140	1.13E+07	3.83E+07	Sr-90	2.25E+06	2.37E+07
Te-132	6.35E+08	3.04E+07	Mo-99	8.51E+07	4.39E+07

Hasil perhitungan pada Tabel 2 (dispersi) dan Tabel 3 (deposisi), adalah perhitungan dispersi dan deposisi nuklida untuk jarak radius 3 km dari tapak (daerah inklusi untuk masyarakat umum), dan dalam jangka waktu 2 jam sampai 24 jam setelah terjadinya lepasan. Aktivitas tertinggi

untuk dispersi PWR di atmosfer dilepaskan oleh nuklida Te-132, sedangkan dispersi BWR dari Ru-103 (Tabel 2). Aktivitas radiasi dari *cloudshine* akan mempengaruhi penerimaan dosis internal yaitu dari pernafasan untuk pemancar β , dan eksternal dari paparan γ .

Tabel 3. Hasil perhitungan konsentrasi *groundshine* lingkungan dari reaktor LWR (PWR-1000 dan BWR-1000)

Nuklida <i>non volatile</i>	Konsentrasi <i>groundshine</i> Bq /m ²		Nuklida <i>non volatile</i>	Konsentrasi <i>groundshine</i> Bq /m ²	
	PWR-1000	BWR-1000		PWR-1000	BWR-1000
Ru -103	7.02E+04	5.32E+04	Ce-141	7.94E+03	3.81E+04
Ru -106	9.77E+03	1.58E+04	Ce-144	4.77E+03	2.84E+04
Ba-140	8.18E+04	3.73E+04	Sr-89	4.65E+04	3.23E+04
La-140	1.13E+04	3.83E+04	Sr-90	2.25E+03	2.37E+03
Te-132	6.35E+05	3.04E+04	Mo-99	8.51E+04	4.39E+04

Konsentrasi nuklida yang terdeposisi di *groundshine* diberikan pada Tabel 3. Konsentrasi *groundshine* tertinggi untuk PWR dikeluarkan dari nuklida Te-132, dan untuk BWR dari nuklida Ru-103. Konsentrasi nuklida di *groundshine* dipengaruhi oleh besarnya aktivitas nuklida yang terdispersi di atmosfer, kondisi meteorologi (kecepatan angin, suhu, kelembaban, curah hujan) serta sifat nuklida. Aktivitas dispersi Te-132 dan Ru-103 di atmosfer dari Tabel 2 memberikan kontribusi yang berarti terhadap deposisi nuklida tersebut di *groundshine*. Konsentrasi nuklida radioaktif di *groundshine* akan mempengaruhi penerimaan dosis radiasi eksternal dan ingesi (makanan).

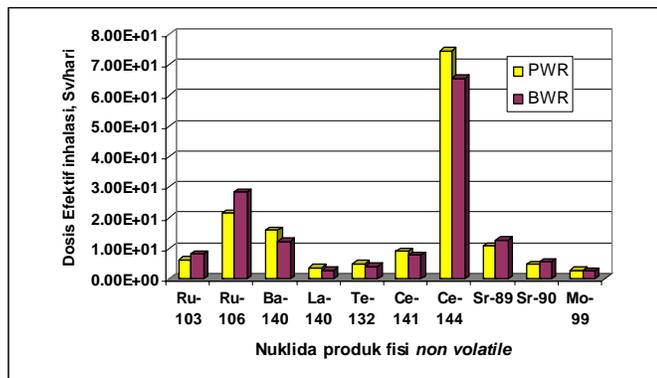
Berdasarkan koefisien yang tercantum di Tabel 4, dapat dihitung penerimaan dosis masyarakat dari lepasan nuklida produk fisi *non volatile* akibat kecelakaan parah pada LWR. Hasil perhitungan penerimaan dosis dari inhalasi diberikan pada Gambar 1.

Tabel 4. Koefisien dosis efektif untuk paparan internal dan eksternal^[11]

Nuklida <i>non volatile</i>	Paparan internal	Paparan eksternal	
	Koefisien dosis inhalasi (Sv /Bq)	Koefisien dosis eksternal dari <i>cloudshine</i> (Sv m ³ /Bq dt)	Koefisien dosis eksternal dari <i>groundshine</i> (Sv m ² /Bq)
Ru -103	2.4 x10 ⁻⁰⁹	2.08 x10 ⁻¹⁴	4.49 x10 ⁻¹⁶
Ru -106	2.8 x10 ⁻⁰⁸	1.06 x10 ⁻¹⁴	3.45 x10 ⁻¹⁶
Ba-140	5.1 x10 ⁻⁰⁹	8.07 x10 ⁻¹⁵	1.90 x10 ⁻¹⁶
La-140	1.1 x10 ⁻⁰⁹	1.11 x10 ⁻¹³	2.16 x10 ⁻¹⁵
Te-132	2.0 x10 ⁻⁰⁹	1.17 x10 ⁻¹³	2.47 x10 ⁻¹⁵
Ce-141	3.2 x10 ⁻⁰⁹	3.10 x10 ⁻¹⁵	6.93 x10 ⁻¹⁷
Ce-144	3.6 x10 ⁻⁰⁸	3.42 x10 ⁻¹⁵	1.82 x10 ⁻¹⁶
Sr-89	6.1 x10 ⁻⁰⁹	4.37 x10 ⁻¹⁶	6.86 x10 ⁻¹⁷
Sr-90	3.6 x10 ⁻⁰⁸	9.83 x10 ⁻¹⁷	1.64 x10 ⁻¹⁸
Mo-99	8.9x10 ⁻¹⁰	6.99 x10 ⁻¹⁵	1.78 x10 ⁻¹⁶

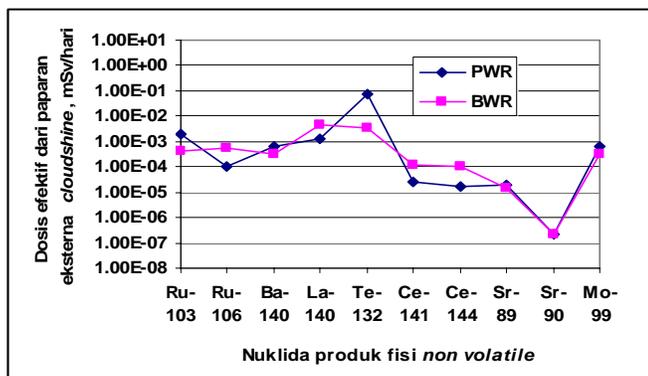
Penerimaan dosis inhalasi dari Gambar 1, sumbangan terbesar diberikan oleh nuklida Ce-144 untuk PWR dan nuklida yang sama untuk BWR. Dari hasil perhitungan pada Gambar 1, penerimaan dosis radiasi masyarakat umum dari inhalasi akibat kecelakaan parah di LWR di radius 3 km dari reaktor sudah melebihi ambang batas. Oleh karena itu perlu dilakukan kedaruratan radiasi dengan melakukan tindakan proteksi seperti penggunaan masker, *sheltering* (di dalam ruangan

dengan ventilasi yang minimum) dan evakuasi. Menurut ICRP 60, dosis radiasi yang melebihi 50 mSv, harus dilakukan tindakan evakuasi bagi masyarakat umum yang berdomisili di daerah tersebut (dalam kasus perhitungan di makalah ini, dalam radius 3 km).



Gambar 1. Penerimaan dosis efektif paparan internal inhalasi dari nuklida produk fisi non volatile pada kecelakaan parah LWR

Dosis radiasi internal dari inhalasi dipengaruhi oleh besarnya aktivitas dispersi nuklida di atmosfer dan koefisien konversi dosis inhalasi. Koefisien konversi dosis inhalasi ditentukan berdasarkan sifat radioaktif nuklida terhadap organ pernafasan, mobilitas dan daya ikat nuklida, sifat toksisitas dan radiasi serta waktu paruh nuklida tersebut. Koefisien konversi dosis inhalasi untuk nuklida Ce-144 dan Sr-90 mempunyai nilai konversi yang sama, tetapi aktivitas dispersi atmosfer Ce-144 lebih tinggi dibandingkan Sr-90, sehingga dosis inhalasi Ce-144 lebih besar.

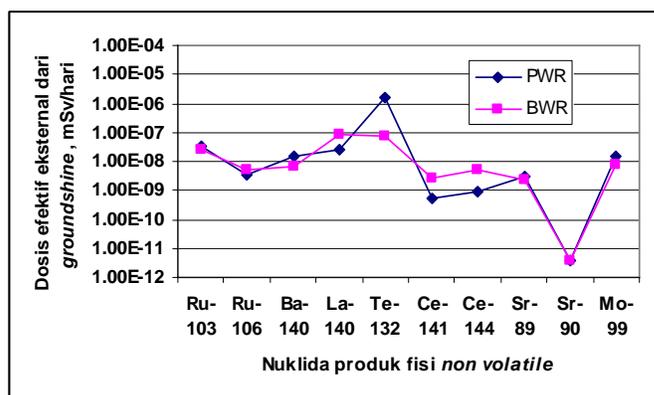


Gambar 2. Penerimaan dosis efektif paparan eksternal cloudshine dari nuklida produk fisi non volatile pada kecelakaan parah LWR

Hasil perhitungan dosis eksternal dari paparan cloudshine ditampilkan pada Gambar 2. Penerimaan dosis radiasi dari paparan eksternal cloudshine tertinggi untuk PWR adalah 7.43×10^{-02} mSv/hari (Te-132) dan untuk reaktor BWR, 4.25×10^{-03} mSv/hari (La-140). Dosis eksternal cloudshine dipengaruhi oleh aktivitas dispersi atmosfer dan koefisien konversi dosis radiasi eksternal cloudshine. Konversi dosis ditetapkan berdasarkan sifat nuklida dalam memancarkan paparan γ , dan sifat toksisitas nuklida.

Penerimaan dosis eksternal dari groundshine, hasil perhitungan ditampilkan pada Gambar 3. Dosis radiasi dari groundshine maksimum untuk PWR 1.57×10^{-06} mSv/hari dari nuklida Te-132, dan

BWR 8.27×10^{-08} mSv/hari dari nuklida La-140. Perhitungan dosis radiasi eksternal dipengaruhi oleh konsentrasi deposisi nuklida di permukaan tanah, dan besarnya koefisien konversi dosis eksternal *groundshine*. Koefisien konversi ini dipengaruhi oleh aktivitas deposisi, sifat nuklida dalam memancarkan paparan γ , dan sifat toksisitas nuklida. Hasil perhitungan dosis masih di bawah ambang batas penerimaan dosis masyarakat umum.



Gambar 3. Penerimaan dosis efektif paparan eksternal *groundshine* dari nuklida produk fisi non volatile pada kecelakaan parah LWR

Secara umum aktivitas dan dampak radiologis lepasan produk fisi *non volatile* dari reaktor PWR dengan reaktor BWR tidak berbeda, karena perhitungan dan analisis dilakukan pada reaktor dengan kapasitas yang sama, serta asumsi-asumsi perhitungan yang sama. Dari sisi dampak kecelakaan nuklir pada reaktor daya yang perlu dilakukan adalah meminimalisasi penyebab kecelakaan, penggunaan sistem keselamatan yang andal, serta persiapan mitigasi kecelakaan nuklir. Sehingga jika terjadi kecelakaan nuklir, bisa dicegah sekecil mungkin dampak yang diterima.

5. KESIMPULAN

Analisis radiologis dispersi nuklida *non volatile* untuk LWR menghasilkan dosis radiasi maksimum untuk PWR yaitu untuk inhalasi adalah: $7.47 \times 10^{+01}$ Sv/hari (nuklida Ce-144), dosis eksternal dari *cloudshine* 7.43×10^{-02} mSv/hari (Te-132) dan *groundshine* 1.57×10^{-06} mSv/hari untuk nuklida Te-132. Sedangkan untuk reaktor BWR, dosis radiasi maksimum untuk inhalasi adalah: $6.55 \times 10^{+01}$ Sv/hari (Ce-144), dosis eksternal dari *cloudshine* 4.25×10^{-03} mSv/hari dan *groundshine* 8.27×10^{-08} mSv/hari untuk nuklida La-140.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. DUCROS, G., PONTILLION, Y., MALGOUYRES, et al, "Rhutenium release at high temperature from irradiated PWR fuels in various oxidizing conditions; main findings from the VERCORS program", International conference Nuclear Energy for New Europe, (2005).
- [2]. PANDE, M.U., "Evaluasi dampak Radiologi pada Operasi Normal dan kecelakaan yang Dipostulasikan pada Reaktor Daya", Laptah-BPAKR- PTRKN (2009).

- [3]. SOIFER, L., BURSON, S.B., FERREL, C.M., LEE, R.Y., RIDGELY, J.N., "Accident Source Terms for Light Water Nuclear Power Plants", NUREG-1465, Division of System Technology Office of Nuclear Regulatory Research U.S. Nuclear Regulatory Commission Washington, DC 20555-0001 (1995)
- [4]. LEWIS, B. J., et al, Low volatile fission product release and fuel volatilization during severe reactor accident conditions, *J. Nucl. Mater.* [Volume 252, Issue 3](#), February (1998), 235-256
- [5]. BRILLANT, G., Interpretation and modelling of fission product Ba and Mo releases from fuel, *Journal of Nuclear Materials* 397 (2010) 40–47
- [6]. CRAWFORD, J., DOMEL R.U., "RadCon: a Radiological Consequences Model", User Guide, ANSTO M-128, ISBN 0-642-59983, Sydney, (2000) 2-10.
- [7]. WESTINGHOUSE, "AP1000 European Design Control Document", EPS-GW-GL-700 Revision 1, (2009).
- [8]. SUGIYANTO, "Perhitungan Inventori Zat Radioaktif pada Reaktor Daya Tipe BWR", Prosiding Seminar III Teknologi dan Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir, (1995).
- [9]. IRSN, "Research and Development with Regard to Severe Accidents in Pressurised Water Reactors", Summary and Outlook, Rapport IRSN-France (2007).
- [10]. EUROPEAN COMMISSION, "Code System of Methods for Assessing Radiological Impact of Accident ", User Guide, National Radiological Protection Board, orschungszentrum Karlsruhe GmbH, (1995)
- [11]. ICRP-60, "Recommendations of the International Commission on Radiological Protection", (1990)
- [12]. BMG, Data Meteorologi Kabupaten Serang 2008-2009, Serang (2010)

DISKUSI/TANYA JAWAB:

1. PERTANYAAN: (Endiah PH., PTRKN-BATAN)

- Mohon dijelaskan pengaruh dosis radiasi yang berlebihan untuk instalasi terhadap kesehatan masyarakat?.

JAWABAN: (Pande Made U., PTRKN-BATAN)

- *Penerimaan dosis radiasi dari alur inhalasi, berasal dari paparan beta. Paparan beta dari nuklida produk fisi akan berinteraksi dengan jaringan tubuh dan mengakibatkan kerusakan jaringan terutama yang berhubungan dengan organ pernafasan seperti paru-paru.*