

ANALISIS KRITERIA DAERAH EKSKLUSI DAN INKLUSI DAMPAK RADIASI AKIBAT KECELAKAAN BASIS DESAIN PLTN

Pande Made Udiyani

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir-BATAN
Kawasan PUSPIPTEK Gd. 80, Serpong, Tangerang Selatan, 15310
Email: pmade-u@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS KRITERIA DAERAH EKSKLUSI DAN INKLUSI DAMPAK RADIASI AKIBAT KECELAKAAN BASIS DESAIN PLTN. Pengoperasian instalasi nuklir PLTN memerlukan analisis keselamatan terutama untuk aktivitas radiasi yang ditimbulkan pada kondisi normal dan kecelakaan terhadap lingkungan. Penerimaan radiasi di lingkungan dibagi dalam beberapa kriteria, yang masih boleh diterima akibat dampak dari suatu kejadian abnormal, harus memenuhi kriteria yang ditentukan oleh badan regulator. Di lingkungan, penerimaan dampak radiasi terbagi dalam beberapa kriteria yang sesuai dengan level kecelakaan yaitu kondisi kecelakaan basis desain DBA (*Design Basis Accident*) atau di luar basis desain BDBA (*Beyond Design Basis Accident*). Tujuan dari studi ini adalah membuktikan bahwa dampak akibat kecelakaan PLTN PWR dengan daya 1000 MWe dengan kondisi basis desain, DBA untuk contoh daerah tapak Ujung Watu, memenuhi kriteria keselamatan berdasarkan ICRP 63, yang dihitung berdasarkan besarnya radioaktivitas yang terlepas ke lingkungan di udara untuk ketinggian tertentu dan radioaktivitas di permukaan tanah. Hasil analisis menunjukkan bahwa perhitungan memenuhi kriteria dampak lepasan untuk kondisi DBA atau kondisi basis desain (*Design Basis Condition*, DBC) level 3 dan 4 yaitu tidak ada tindakan antisipasi yang penting di dalam daerah eksklusi dan luar radius 800 m dari tapak, dan hanya menimbulkan dampak ekonomi yang sangat kecil (terbatas) pada daerah inklusi dan di luar inklusi.

Kata kunci: eksklusi, inklusi, Kecelakaan, PLTN

ABSTRACT

THE ANALYSIS OF RADIATION IMPACT FOR INCLUSION AND EXCLUSION AREA CAUSED BY NPPs DESIGN BASIS ACCIDENT. Operation of NPPs (Nuclear Power Plants) requires safety analysis especially for radiation activity to environment at normal condition and accident. The consequences of radiation dose in environment are divided into some criteria, which still can be received as result of impact an abnormal case, which criterion determined by regulator body. In environment, radiation impact divided in a few criterion based on level accident is DBA (*Design Basis Accident*) or BDBA (*Beyond Design Basis Accident*). The objective of this study is to prove that impact accident of PWR NPPs-1000 MWe with condition of DBA in Ujung Watu fulfills safety criteria based on ICRP 63, that are calculated based on level of radioactivity released to atmosphere for certain elevation and radioactivity on the surface of ground level. The analysis indicates that the calculation is to fulfill impact criteria for condition of DBA level 3 and 4 that there is no action necessary in exclusion area and beyond 800 m radius from the damaged plant, and very limited economic impact out of the plant, in inclusion and beyond inclusion area.

Key words : exclusion, inclusion, accident, NPPs

PENDAHULUAN

Pengoperasian instalasi nuklir PLTN memerlukan analisis keselamatan terutama untuk aktivitas radiasi yang ditimbulkan pada kondisi normal dan kecelakaan terhadap lingkungan. Pengawasan keselamatan radiasi ke lingkungan di Indonesia dilakukan dengan sangat ketat oleh badan pengawas nasional, BAPETEN dan pengawasan internasional IAEA. Pengawasan lebih diperlukan lagi

untuk kondisi anomali seperti kejadian abnormal. Aktivitas radiasi yang dipantau adalah yang menimbulkan potensi penerimaan dosis radiasi yang signifikan terhadap pekerja, masyarakat, dan lingkungan. Penerimaan radiasi di lingkungan dibagi dalam beberapa kriteria, yang masih boleh diterima akibat dampak dari suatu kejadian abnormal. Perhitungan akibat lepasnya radioaktif ke lingkungan

harus memenuhi kriteria yang ditentukan oleh badan regulator. Di lingkungan penerimaan dampak radiasi terbagi dalam beberapa kriteria yang sesuai dengan tingkat atau level kecelakaan, apakah masuk dalam kondisi kecelakaan basis desain DBA (*Design Basis Accident*) atau di luar basis desain BDBA (*Beyond Design Basis Accident*). Penentuan kriteria daerah dengan parameter acuan yang berbeda untuk kondisi kecelakaan parah *severe accident* pernah dilakukan^[1]. Tujuan dari studi ini adalah mendapatkan konfirmasi bahwa dampak akibat kecelakaan PLTN PWR dengan daya 1000 MWe pada kondisi basis desain DBA level 3 dan level 4 untuk contoh daerah tapak Ujung Watu, memenuhi kriteria berdasarkan ICRP 63^[2], yaitu kriteria dampak lepasan untuk kondisi DBA atau kondisi basis desain (*Design Basis Condition*, DBC) level 3 dan 4 yang meliputi:

- Tidak ada tindakan antisipasi yang penting di dalam dan luar radius 800 m dari tapak (daerah eksklusi)
- Hanya menimbulkan dampak ekonomi yang sangat kecil (terbatas) untuk daerah inklusi dan luar inklusi.

Kejadian abnormal (kecelakaan) basis desain DBA (*Design Basis Accidents*) didefinisikan sebagai kejadian di luar kejadian-kejadian operasional yang mampu diantisipasi dan mempunyai kemungkinan kecil untuk terjadi. Pada penelitian ini dipostulasikan terjadi kecelakaan DBA kategori 3 (*Small Break LOCA*), dan untuk kategori DBA kategori 4 (*Large Break LOCA*)^[3]. Kriteria daerah eksklusi, inklusi dan dampak ekonomi dihitung berdasarkan besarnya radioaktivitas yang terlepas ke lingkungan di udara untuk ketinggian tertentu dan radioaktivitas di permukaan tanah^[2]. Untuk itu diperlukan postulasi kejadian DBA untuk menghasilkan karakteristik sumber radioaktif yang lepas ke lingkungan dari pengungkung PLTN, dan kondisi meteorologi di sekitar tapak untuk menentukan dispersi dan deposisi radionuklida di sekitar tapak. Perhitungan konsentrasi radionuklida yang terdispersi dari reaktor ke lingkungan dilakukan menggunakan PC COSYMA dan persamaan Gaussian.

TEORI

Kejadian abnormal (kecelakaan) basis desain DBA (*Design Basis Accidents*) didefinisikan sebagai kondisi di luar kejadian-kejadian operasional yang mampu diantisipasi dan mempunyai kemungkinan kecil untuk terjadi, seperti^[2]:

- kehilangan pendingin atau perubahan yang berarti di dalam pendinginan teras
- terjadi penyisipan reaktivitas yang tidak biasa atau terjadi perubahan daya reaktor yang cepat
- terjadi pelepasan yang abnormal dari bahan radioaktif ke lingkungan
- terjadi perubahan tekanan tidak biasa di dalam pengungkung reaktor
- dll

Evaluasi untuk pelepasan radioaktif untuk kejadian abnormal basis desain adalah untuk kejadian:

- kegagalan sistem limbah gas radioaktif
- terjadi pecahnya tabung pembangkit uap, *Steam Generator Tube Rapture* (SGTR)
- *fuel assembly drop*
- kehilangan pendingin, *Loss of Coolant Accident* (LOCA)
- *control rods ejection*

Kategori kejadian DBA di reaktor PWR digolongkan menjadi 3 yaitu^[2]:

Kategori 1:

Kondisi tunak (*steady-state*), kondisi *start-up and shutdown* :

- daya operasi, *power operation*
- *start-up*
- *hot standby*
- *hot shutdown*
- *cold shutdown*
- *refuelling shutdown*
- operasi dengan loop tidak aktif

Kondisi operasi transien yang terukur

- Kenaikan dan penurunan temperatur dengan kecepatan maksimum 55°C per jam
- Penambahan dan pengurangan beban berkisar 10%

Kategori 2

- Penarikan tanpa sengaja dari *Rod Cluster Control Assembly* (RCCA) dengan kondisi reaktor subkritis

- Penarikan tanpa sengaja dari RCCA dengan kondisi reaktor pada daya operasi
- Ketaksebarisan dari perakitan batang kendali atau grup batang kendali
- Penutupan tanpa sengaja dari katup isolasi uap utama
- Kehilangan beban total dan atau terjadi kedip pada turbin
- Kehilangan air umpan ke pembangkit uap
- Kesalahan fungsi dari pembangkit uap atau sistem air umpan utama
- Kehilangan total tenaga dari luar (< 2 jam)
- Kenaikan berlebihan dari beban turbin
- Pengurangan tekanan sementara pada Sistem Pendingin Reaktor
- Pembukaan palsu Generator Uap atau katup pengaman atau yang lain
- Pengurangan tekanan sisi sekunder yang disebabkan oleh suatu kegagalan tunggal
- Start-up palsu dari sistem injeksi keselamatan
- Kegagalan pemakaian bahan kimia & sistim pengatur volume
- Kehilangan pendingin yang sangat kecil

Kategori 3

- Kehilangan pendingin reaktor, pecah kecil pada perpipaian (*small pipe break*)
- Pecah kecil pada pipa sekunder
- Pengurangan paksa di dalam aliran air pendingin reaktor
- Posisi yang salah dari konfigurasi bahan bakar di dalam teras
- Penarikan dari RCCA
- Pengoperasian palsu dari katup pengaman tekanan
- Pecahnya tangki pengontrol volume
- Pecahnya tangki penghambat limbah gas
- Kegagalan dari tangki efluen limbah cair
- Pecahnya satu tabung pembangkit uap
- Kehilangan total tenaga luar tapak

Kategori 4

- Pecahnya aliran uap utama
- Pecahnya aliran air umpan utama
- Terkuncinya baling-baling pompa pendingin reaktor
- Ejeksi dari setiap RCCA
 - Hilangnya pendingin reaktor sampai ke dan termasuk peristiwa patah putus pada sistem pendingin reaktor, RCS-*Reactor Cooling*

System

- Kecelakaan penanganan bahan bakar

Semua kriteria daerah eksklusi dan inklusi akibat dampak lepasan radioaktif ke lingkungan dan penerimaan paparan masyarakat di sekitar tapak reaktor dalam kondisi kecelakaan menggunakan kriteria ICRP 63. Kriteria dampak lepasan untuk kondisi DBA atau kondisi basis desain (*Design Basis Condition, DBC*) level 3 dan 4 meliputi :

- Tidak ada tindakan antisipasi yang penting di luar radius 800 m dari tapak
- Hanya menimbulkan dampak ekonomi yang sangat kecil (terbatas)

Kriteria yang digunakan sebagai syarat dirumuskan dengan formula sbb^[2] :

$$\sum_{i=1}^3 R_{ig} \cdot C_{ig} + \sum_{i=1}^3 R_{ie} \cdot C_{ie} < \text{criteria} \dots\dots (1)$$

dengan:

- R_{ig} dan R_{ie} adalah total lepasan (di permukaan tanah dan level elevasi ketinggian yang di hitung) dari 3 isotop referensi selama periode lepasan dari sistem pengungkung
- C_{ig} dan C_{ie} adalah koefisien pada Tabel 1 yang berhubungan dengan dampak lingkungan dari kesatuan lepasan

Tabel 1. Target lepasan untuk kecelakaan basis desain DBA, dengan kriteria tidak ada tindakan proteksi darurat sampai di luar radius 800 m dari tapak^[2]

Isotop	Koefisien untuk lepasan pada level permukaan C _{ig}	Koefisien untuk lepasan pada level ketinggian di udara, C _{ie}
Xe ₁₃₃	1,5.10 ⁻⁸	3,0.10 ⁻⁹
I ₁₃₁	8,1.10 ⁻⁵	5,5.10 ⁻⁶
Cs ₁₃₇	1,5.10 ⁻⁴	8,1.10 ⁻⁶

Kriteria penerimaan^[2] :

$$\sum_{i=1}^3 R_{ig} \cdot C_{ig} + \sum_{i=1}^3 R_{ie} \cdot C_{ie} < 1.10^{-3} \quad \text{untuk}$$

DBA atau DBC kategori 3 (2)

$$\sum_{i=1}^3 R_{ig} \cdot C_{ig} + \sum_{i=1}^3 R_{ie} \cdot C_{ie} < 5.10^{-3} \quad \text{untuk}$$

DBA atau DBC kategori 4 (3)

Lepasan dalam TBq

Untuk kriteria target dampak ekonomi, hanya menggunakan 2 isotop referensi yaitu I_{131} dan Cs_{137} , ada pada Tabel 2.

Tabel 2. Target lepasan untuk kejadian basis desain DBA, dengan kriteria hanya menimbulkan dampak ekonomi yang sangat kecil (terbatas) [2]

Isotope	Target untuk lepasan pada level permukaan TBq	Target untuk lepasan pada level ketinggian di udara TBq
I_{131}	10	150
Cs_{137}	1,5	20

TATA KERJA

Postulasi kecelakaan reaktor PWR dengan kapasitas 1000 MWe diskenarioikan untuk kecelakaan basis desain DBA kategori 3 dan kategori 4. Postulasi kategori 3 dipicu dengan adanya kondisi LOCA diasumsikan pada pecah kecil *small break LOCA* yang terbentuk di perpipaan primer, yang seharusnya diikuti dengan bekerjanya sistem keselamatan secara otomatis dan akan memastikan reaktor padam, sehingga pendinginan teras dan integritas pengungkung terjaga. Asumsi produk fisi yang lepas dari teras sampai ke sungkup diambil antara lain: *Emergency core cooling system (ECCS) injection* menggunakan tipe *cold and hot legs*, fraksi kegagalan bahan bakar diambil 3 %, dan pengungkung menggunakan sistem semprot yang mampu mengurangi Iod sebesar 0,46.

Postulasi kategori DBA 4 diasumsikan pada *large break LOCA (LBLOCA: Large Break Loss of Coolant Accident)* [4,5]. dimulai dari patahan ganda pada *guillotine* yang terbentuk di perpipaan primer, yang seharusnya diikuti dengan bekerjanya sistem keselamatan secara otomatis dan akan memastikan reaktor padam, sehingga pendinginan teras dan integritas pengungkung terjaga. Asumsi produk fisi yang lepas dari teras sampai ke sungkup diambil antara lain: *Emergency core cooling system (ECCS) injection* menggunakan *cold legs*, fraksi kegagalan bahan bakar diambil 33 %, lepasan melalui gap inventori, fraksi radionuklida gas mulia Kr dan Xe dari inventori ke dalam gap 7,5 %, dan untuk I sebesar 0,72 %. Lepas dari inventori ke atmosfer pengungkung untuk gas mulia 2,48%, kelompok yodida 0,22 % dan Cs-137 (0,5 %). Asumsi pengungkung tidak menggunakan sistem semprot (*spray*) [4,6].

Perhitungan *source term* dilakukan pada reaktor PWR generik [7] dengan kapasitas 1000 MWe, dengan tapak contoh di Ujung Watu [8,9] dan perhitungan dispersi menggunakan data meteorologi daerah tapak. Perhitungan dispersi dan deposisi radionuklida menggunakan paket program PC-COSYMA dan perhitungan dengan persamaan Gaussian. [10]. Perhitungan konsentrasi radioaktif di udara dan di permukaan tanah dilakukan pada lepasan setelah 24 jam, dan setelah 4 hari lepas di lingkungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi lepasan di udara dan deposisi di permukaan tanah untuk kecelakaan basis desain DBA kategori 3 setelah 24 jam kejadian terdapat pada Tabel 3, dan Tabel 4 adalah hasil perhitungan dampak untuk kriteria daerah eksklusi $800\text{ m} \geq \text{radius} \leq 3000\text{ m}$ dari tapak. Dampak kerugian ekonomi untuk kategori 3 setelah 4 hari kejadian untuk daerah inklusi dan di luar inklusi pada radius $> 3000\text{ m}$, tercantum pada Tabel 5. Kriteria dampak untuk kecelakaan dasar desain DBA kategori 4, untuk konsentrasi dan deposisi radionuklida ada pada Tabel 6, perhitungan dampak untuk daerah eksklusi pada Tabel 7, dan perhitungan dampak ekonomi pada Tabel 8.

Tabel 3. Konsentrasi lepasan di udara dan di permukaan tanah untuk kecelakaan basis desain DBA kategori 3, pada $800\text{ m} \geq \text{radius} \leq 3000\text{ m}$ dari tapak

Isotop	Konsentrasi untuk lepasan pada level permukaan TBq	Konsentrasi untuk lepasan pada level ketinggian 100m di udara, TBq
Xe_{133}	0,00	$0,61 \times 10^{-5}$
I_{131}	$3,16 \times 10^{-13}$	$3,93 \times 10^{-9}$
Cs_{137}	$2,65 \times 10^{-13}$	$2,65 \times 10^{-8}$

Berdasarkan persamaan 3 dan Tabel 1, dilakukan perhitungan konsentrasi untuk tiga radionuklida yaitu Xe_{133} , I_{131} , dan Cs_{137} yang mewakili nuklida yang lainnya, karena ke-tiga nuklida ini secara signifikan memberikan sumbangan dosis radiasi terhadap manusia dan lingkungan. Data konsentrasi hasil perhitungan dispersi dan deposisi dari radionuklida yang lepas dari PLTN ke lingkungan dari inventori, jika terjadi kecelakaan basis desain kategori 3 untuk skenario dipicu dengan kondisi LOCA yang diasumsikan terjadinya pecah kecil *small break LOCA* yang terbentuk di perpipaan primer, tercantum pada Tabel 3.

Table 4. Kriteria dampak di lingkungan untuk kecelakaan basis desain DBA kategori 3, dengan kriteria tidak ada tindakan proteksi darurat di daerah $800 \text{ m} \geq \text{radius} \leq 3000 \text{ m}$ dari tapak

Isotop	Konsentrasi lepasan di permukaan TBq	Koefisien lepasan permukaan C_{ig}	$R_{ig} \cdot C_{ig}$	Konsentrasi lepasan ketinggian 100m di udara, TBq	Koefisien lepasan ketinggian 100m, C_{ie}	$R_{ie} \cdot C_{ie}$
Xe ₁₃₃	0,00	$1,5 \times 10^{-8}$	0,00	$0,61 \times 10^{-5}$	$3,0 \times 10^{-9}$	$1,83 \times 10^{-14}$
I ₁₃₁	$3,16 \times 10^{-13}$	$8,1 \times 10^{-5}$	$2,56 \times 10^{-18}$	$3,93 \times 10^{-9}$	$5,5 \times 10^{-6}$	$2,16 \times 10^{-14}$
Cs ₁₃₇	$2,65 \times 10^{-13}$	$1,5 \times 10^{-4}$	$3,98 \times 10^{-17}$	$2,65 \times 10^{-8}$	$8,1 \times 10^{-6}$	$2,15 \times 10^{-13}$
$\sum_{i=1}^3 R_{ig} \cdot C_{ig}$			$4,24 \times 10^{-17}$	$\sum_{i=1}^3 R_{ie} \cdot C_{ie}$		$2,55 \times 10^{-13}$
$\sum_{i=1}^3 R_{ig} \cdot C_{ig} + \sum_{i=1}^3 R_{ie} \cdot C_{ie} < 1.10^{-3}$ untuk DBA atau DBC kategori 3 (2)						

Data pada Tabel 4 merupakan hasil perhitungan parameter pada Tabel 2, Tabel 3, dan persamaan 2. Hasil perhitungan untuk persamaan 3 menghasilkan angka $2,55 \times 10^{-13}$, lebih kecil dari kriteria, sehingga dampak radiasi di daerah eksklusif untuk postulasi

kecelakaan basis desain DBA kategori 3, memenuhi kriteria yaitu: tidak ada tindakan proteksi darurat di daerah radius $800 \text{ m} \geq \text{radius} \leq 3000 \text{ m}$ dari tapak.

Tabel 5. Target lepasan untuk kecelakaan dasar desain DBA kategori 3, dengan kriteria hanya menimbulkan dampak ekonomi yang sangat kecil (terbatas)

Isotop	Aktivitas lepasan pada level permukaan tanah, TBq	Target untuk lepasan pada level permukaan TBq	Aktivitas lepasan pada level ketinggian 100 m di udara, TBq	Target untuk lepasan pada level ketinggian 100m di udara, TBq
I ₁₃₁	$0,31 \times 10^{-12}$	10	$2,96 \times 10^{-10}$	150
Cs ₁₃₇	$0,21 \times 10^{-13}$	1,5	$2,03 \times 10^{-9}$	20

Kriteria dampak radiasi yang berakibat pada dampak ekonomi untuk daerah inklusi dan di luar inklusi, dihitung berdasarkan besarnya konsentrasi dua nuklida yaitu nuklida I₁₃₁, dan Cs₁₃₇. Data pada Tabel 5 merupakan konsentrasi dispersi dan deposisi radionuklida di daerah pada radius $> 3000 \text{ m}$, dan diperoleh hasil bahwa dampak radiasi dan ekonomi pada daerah inklusi dan di luar inklusi untuk postulasi kecelakaan dasar desain DBA kategori 3 memenuhi kriteria pada Tabel 2, yaitu: hanya menimbulkan dampak radiasi dan ekonomi yang sangat kecil (terbatas)

Tabel 6. Konsentrasi lepasan di udara dan di permukaan tanah untuk kecelakaan basis desain DBA kategori 4, pada $800 \text{ m} \geq \text{radius} \leq 3000 \text{ m}$ dari tapak

Isotop	Konsentrasi untuk lepasan pada level permukaan TBq	Konsentrasi untuk lepasan pada level ketinggian 100m di udara, TBq
Xe ₁₃₃	0,00	$6,75 \times 10^{-5}$
I ₁₃₁	$3,48 \times 10^{-12}$	$4,32 \times 10^{-8}$
Cs ₁₃₇	$2,92 \times 10^{-12}$	$2,92 \times 10^{-7}$

Tabel 6 merupakan hasil perhitungan konsentrasi lepasan di udara dan di permukaan tanah untuk kecelakaan basis desain DBA kategori 4 yaitu terjadinya *Large Break LOCA*, pada $800 \text{ m} \geq \text{radius} \leq 3000 \text{ m}$ dari tapak, pada ketinggian 100 m, kondisi 24 jam setelah terjadi kecelakaan. Sedangkan angka pada Tabel 7 adalah merupakan hasil perhitungan untuk

persamaan 3 yaitu sebesar $2,63 \times 10^{-12}$ lebih kecil dari kriteria 5×10^{-3} , yang berarti bahwa tidak ada tindakan proteksi darurat di daerah $800 \text{ m} \geq \text{radius} \leq 3000 \text{ m}$ dari tapak, jika terjadi kecelakaan *Large Break LOCA*.

Tabel 7. Kriteria dampak di lingkungan untuk kecelakaan basis desain DBA kategori 4, dengan kriteria tidak ada tindakan proteksi darurat di daerah $800 \text{ m} \geq \text{radius} \leq 3000 \text{ m}$ dari tapak

Isotop	Konsentrasi lepasan di permukaan TBq	Koefisien lepasan permukaan C_{ig}	$R_{ig} \cdot C_{ig}$	Konsentrasi lepasan ketinggian 100m di udara, TBq	Koefisien lepasan ketinggian 100m, C_{ie}	$R_{ie} \cdot C_{ie}$
Xe ₁₃₃	0,00	$1,5 \times 10^{-8}$	0,00	$6,75 \times 10^{-5}$	$3,0 \times 10^{-9}$	$2,03 \times 10^{-14}$
I ₁₃₁	$3,48 \times 10^{-12}$	$8,1 \times 10^{-5}$	$2,82 \times 10^{-16}$	$4,32 \times 10^{-8}$	$5,5 \times 10^{-6}$	$2,38 \times 10^{-13}$
Cs ₁₃₇	$2,92 \times 10^{-12}$	$1,5 \times 10^{-4}$	$4,38 \times 10^{-16}$	$2,92 \times 10^{-7}$	$8,1 \times 10^{-6}$	$2,37 \times 10^{-12}$
$\sum_{i=1}^3 R_{ig} \cdot C_{ig}$			$7,20 \times 10^{-16}$	$\sum_{i=1}^3 R_{ie} \cdot C_{ie}$		$2,63 \times 10^{-12}$
$\sum_{i=1}^3 R_{ig} \cdot C_{ig} + \sum_{i=1}^3 R_{ie} \cdot C_{ie} < 5 \times 10^{-3}$ untuk DBA atau DBC kategori 4 (3)						

Perhitungan dampak ekonomi jika terjadi kecelakaan *Large Break LOCA* di reaktor PWR 1000 MWe, yang beroperasi di daerah Ujung Watu pada Tabel 8, menunjukkan bahwa aktivitas lepasan di permukaan tanah dan aktivitas lepasan pada level ketinggian 100 m di udara atmosfer

untuk nuklida I₁₃₁ dan Cs₁₃₇ lebih kecil dari target kriteria, yang berarti kecelakaan pada level ini hanya menimbulkan dampak radiasi dan ekonomi yang sangat kecil (terbatas) di daerah inklusi dan luar inklusi.

Tabel 8. Target lepasan untuk kecelakaan basis desain DBA kategori 4, dengan kriteria hanya menimbulkan dampak radiasi dan ekonomi yang sangat kecil (terbatas).

Isotop	Aktivitas lepasan pada level permukaan tanah, TBq	Target untuk lepasan pada level permukaan TBq	Aktivitas lepasan pada level ketinggian di udara TBq	Target untuk lepasan pada level ketinggian di udara TBq
I ₁₃₁	$3,74 \times 10^{-12}$	10	$3,26 \times 10^{-9}$	150
Cs ₁₃₇	$2,31 \times 10^{-13}$	1,5	$2,30 \times 10^{-8}$	20

KESIMPULAN

Dampak akibat kecelakaan PLTN PWR dengan daya 1000 MWe pada kondisi basis desain DBA level 3 dan level 4 untuk contoh daerah tapak Ujung Watu, memenuhi kriteria berdasarkan ICRP 63, yaitu kriteria dampak lepasan untuk kondisi DBA atau kondisi basis desain (*Design Basis Condition, DBC*) level 3 dan 4 yang meliputi

- Tidak ada tindakan antisipasi yang penting di dalam dan luar radius 800 m dari tapak (daerah eksklusif), yaitu memenuhi nilai :

$$\sum_{i=1}^3 R_{ig} \cdot C_{ig} + \sum_{i=1}^3 R_{ie} \cdot C_{ie} < 1 \times 10^{-3} \text{ untuk DBA atau DBC level 3, dan}$$

$$\sum_{i=1}^3 R_{ig} \cdot C_{ig} + \sum_{i=1}^3 R_{ie} \cdot C_{ie} < 5 \times 10^{-3} \text{ untuk DBA atau DBC level 4}$$

- Hanya menimbulkan dampak ekonomi yang sangat kecil (terbatas) di daerah inklusi dan luar inklusi

DAFTAR PUSTAKA

1. PANDE, M.U., Perhitungan Deterministik Aktivitas Radiasi Reaktor Daya Air Ringan Dengan Postulasi *Severe Accident*, Seminar Nasional ke-15 Teknologi dan Keselamatan PLTN-serta Fasilitas Nuklir, Solo, (2009)
2. EUR, Generic Nuclear Island Requirements-Safety Requirements, Vol.2, Chap. 1, Rev. C, European Utility Requirements For LWR Nuclear Power Plants (2001)
3. EUROPEAN COMMISSION, Determination of the In-Containment Source term for a Large-Break Loss of Coolant Accident", EUR 19841 EN, (2001)
4. STEPHENSON, W., DUTTON, L.M.C., HANDY, B.J., and SMEDLEY, C., Realistic Methods for Calculating the Releases and Consequences, EUR 4179EN, Commission of The European Communities, (1992)
5. TODREAS, N., Large and Small Break LOCA Analysis/Result, Lecture 15-Course 22.39, Westinghouse, (2006).
6. GOVAERTS, P., et.. all, Benchmark Exercise on Fission Product Source Term Including Containment Phenomena, Comparison Report, CEC Working Group 1, CEC Study Contract ETSN-0023B, (1988)
7. PERSHAGEN, B., *Light Water Reactor Safety*, Pergamon Press, New York, (1988) 50-84.
8. BMG-BATAN, Data Meteorologi-Ujung Watu, Jepara, (2007)
9. BPS-Jepara, Jepara dalam angka, (2006)
10. EUROPEAN COMMISSION, PC COSYMA, version 2.0. User Guide, National Radiological Protection Board, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, (1995)

TANYA JAWAB

Pertanyaan :

1. Apakah Ibu menghitung *source-term*? Menggunakan *code* komputer apa? Jika tidak, bagaimana (dari mana) diambil nilai *source-term* tsb?
2. Mohon penjelasan kriteria dampak ekonomi terbatas? (berdasarkan apa?)?
(Syarip, PTAPB-BATAN)
3. Apakah kriteria DBA level 3 atau 4 tidak mempunyai satuan.
(D.T.Sony Tj, PTRKN-BATAN)
4. Apakah konsentrasi lepasan pada suatu ketinggian untuk posisi yang sama?
5. Satuan konsentrasi apakah TBq atau TBq/daerah ?
6. Apakah sangat rendahnya dampak bisa meniadakan daerah inklusi dan eksklusif?
(Syahrir, PTLR -BATAN)

Jawaban :

1. *Source-term* di *inventory* dihitung dengan ORIGEN 2, dari *inventory* ke *containment* sampai ke lingkungan berdasarkan kerja fitur keselamatan (misalnya menggunakan ECCS *Cold and hot leg*, sistem RCS, sistem *Spray* di *containment*) dengan fraksi lepasan menggunakan data empiris Uni Eropa dan Amerika.
2. Dampak ekonomi terbatas adalah dihitung dari tindakan darurat yang dilakukan akibat kecelakaan, seperti: pembatasan makanan, dekontaminasi, di relokasi, dll, berdasarkan konsentrasi Cs 137 dan I 131 untuk jangka panjang dan pendek.

$$\sum_{i=3}^3 R_{ig} \cdot C_{ig} + \sum_{i=1}^3 R_{ie} \cdot C_{ie} \langle \text{Criteria} \rangle$$

Satuan: $R_{ig} = TBq$;
 $R_{ie} = TBq$
 $C_{ig} = 1/TBq$; $C_{ie} = 1/TBq$

Penjumlahan $\sum_{i=3}^3 R_{ig} \cdot C_{ig} + \sum_{i=1}^3 R_{ie} \cdot C_{ie}$
 = tanpa satuan

Jadi kriteria DBA tidak ada satuan.

4. Konsentrasi lepasan dihitung pada ketinggian yang sama untuk posisi yang sama.
5. Satuan konsentrasi TBq untuk udara adalah TBq per satuan volume dan pada permukaan tanah TBq per satuan luas.
6. Sudah sebagai syarat keselamatan.