

PERHITUNGAN PARAMETER TRANSPORT FISIK UNTUK LEPASAN RADIONUKLIDA AKTINIDA KE ATMOSFER

Pande Made Udiyani

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir - BATAN
Kawasan PUSPIPTEK Gedung No. 80, Setu, Tangerang Selatan 15310
e-mail: pmade-u@batan.go.id

ABSTRAK

PERHITUNGAN PARAMETER TRANSPORT FISIK UNTUK LEPASAN RADIONUKLIDA AKTINIDA KE ATMOSFER. Konsekuensi dari pengoperasian PLTN untuk mengatasi keterbatasan energy fosil adalah lepasnya radionuklida ke lingkungan. Aktivitas lepasan radionuklida ke atmosfer dipengaruhi oleh parameter transport fisik pada tapak. Radionuklida aktinida merupakan salah satu kelompok produk fisi lepasan yang menimbulkan konsekuensi radiologi yang berarti. Aktinida dihasilkan dari iradiasi bahan bakar uranium dari campuran oksida dengan aktivitas lebih tinggi untuk bahan bakar yang mengalami pengkayaan lebih tinggi. Tujuan penelitian adalah mendapatkan data parameter transport fisik untuk nuklida aktinida untuk tapak PLTN di Indonesia. Perhitungan transport fisik untuk reaktor PWR dengan kapasitas 1000 MWe dengan bahan bakar uranium campuran oksida *Mix Oksida MOX*, kondisi kecelakaan LB-LOCA, sudah dilakukan pada Tapak Bojanegara dan Ujung Watu. Hasil perhitungan untuk parameter transport fisik dispersi radionuklida aktinida ke atmosfer, pada Tapak Bojanegara adalah: 1,38E-03 hingga 1,40E-03 detik/m³ untuk daerah eksklusif dan untuk zona penduduk jarang (*Low Population Zone*): 4,37E-04 hingga 4,48E-04 detik/m³. Sedangkan untuk Tapak Ujung Watu : 1,50E-04 hingga 1,52E-04 detik/m³ untuk daerah eksklusif dan untuk daerah LPZ dengan nilai 9,19E-06 hingga 9,33E-06 detik/m³.

Kata kunci: transport fisik, aktinida, atmosfer

ABSTRACT

THE ESTIMATION OF PHYSICAL TRANSPORT FOR ACTINIDE RADIONUCLIDES RELEASE TO ATMOSPHERE. Consequence of the nuclear power plants operation to overcome the limitations of fossil energy is the radionuclides release into the environment. Detachment activity of radionuclides into the atmosphere is influenced by physical transport parameters for the site. Actinide radionuclides is one of the group of fission products release that significant radiological consequences. Actinides produced from the irradiation of uranium fuel from mixed oxides with higher activity for fuel has a higher enrichment. The research objective is to get the physical transport parameter data for actinide nuclides for nuclear power plants siting in Indonesia. Physical transport calculations performed on the reactor with a capacity of 1000 MWe PWR with uranium mixed oxide fuel-MOX and LBLOCA accident conditions, have been done at Bojanegara and Ujung Watu site. The calculations results for the physical transport parameters actinide dispersion of radionuclides into the atmosphere at Bojanegara site are: 1.38E-03 to 1.40E-03 s/m³ for the exclusion zone and 4.37E-04 to 4.48E-04 s/m³ for Low Population Zone (LPZ). For Ujung Watu site calculations results are 1.50E-04 to 1.52E-04 s/m³ for the exclusion zone and to the LPZ with value 9.19E-06 to 9.33E-06 s/m³.

Keywords: physical transport, actinide, atmosphere

PENDAHULUAN

Konsekuensi dari pengoperasian PLTN untuk mengatasi keterbatasan energi fosil adalah lepasannya radionuklida ke lingkungan. Aktivitas lepasan radionuklida ke atmosfer antara lain dipengaruhi oleh parameter transport fisik pada tapak. Radionuklida aktinida merupakan salah satu kelompok produk fisi lepasan yang menimbulkan konsekuensi radiologi yang berarti. Aktinida dihasilkan dari iradiasi bahan bakar uranium dari campuran oksida dengan aktivitas lebih tinggi untuk bahan bakar yang mengalami pengkayaan lebih tinggi.

Pengganti bahan bakar UO_2 dengan pengkayaan rendah uranium adalah bahan bakar MOX yang mempunyai pengkayaan yang lebih tinggi. Bahan bakar MOX mempunyai kandungan plutonium dan nuklida dari golongan aktinida yang lebih tinggi dibandingkan bahan bakar UO_2 ^[1]. Penggunaan MOX sebagai bahan bakar reaktor daya, selain keuntungan-keuntungan yang diperoleh seperti derajat bakar tinggi yang tinggi, siklus operasi lebih lama dan keuntungan ekonomi, diperkirakan juga akan meningkatkan probabilitas terjadinya kecelakaan. Selain itu plutonium menimbulkan dampak radiasi yang signifikan terhadap manusia dan lingkungan. Karena itu perlu dilakukan suatu analisis keselamatan terhadap produk fisi yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar MOX. Penelitian untuk *source term* PWR kondisi kecelakaan dari inventori teras hingga ke *containment* sudah dihitung^[2]. Konsekuensi radiasi dari lepasan aktinida ke atmosfer dipengaruhi oleh parameter transport fisik, besarnya sumber dan kondisi lingkungan tapak. Parameter transport fisik khususnya untuk nuklida produk fisi aktinida untuk PWR bahan bakar MOX memerlukan data analisis kondisi dispersi, khusus untuk di Indonesia belum ada datanya. Untuk mengetahui kondisi dispersi dari PWR yang menggunakan bahan bakar MOX, maka diperlukan perhitungan dan simulasi dengan tapak yang spesifik khususnya di Indonesia. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan parameter fisik lepasan aktinida ke lingkungan untuk tapak di Indonesia.

Pada penelitian ini dilakukan perhitungan transport fisik nuklida aktinida dari reaktor PWR dengan kapasitas 1000 MWe dengan bahan bakar uranium campuran oksida *Mixed Oxide MOX*, kondisi kecelakaan LOCA, dan untuk Tapak Bojanegara-Kabupaten Serang, Propinsi Banten dan Ujung Watu-Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan Modul CONCEN dan ATMOS yang merupakan bagian dari paket program PC-Cosyma dengan input data adalah: *source term*, kondisi meteorologi dan topografi tapak.

TEORI

Perhitungan parameter transport fisik ke lingkungan menggunakan model perhitungan dengan level kompleksitas yang berbeda antara lain^[3]:

- **Model Gaussian**

Model ini dapat digunakan untuk menghitung parameter transport fisik dan penerimaan dosis sampai radius 5-10 km dari sumber lepasan, bergantung pada kekasaran tapak dan kompleksitas kondisi meteorologi pada saat lepasan terjadi.

Persamaan Umum Model Gaussian:

$$\chi(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_zv} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \dots\dots\dots(1)$$

dengan,

- $\chi(x,y,z)$ = konsentrasi di udara (chi) pada sumbu x searah angin, y = tegak lurus arah angin, dan z = ketinggian di atas permukaan tanah, meter (Ci/m^3)
- Q = lepasan radioaktif rata-rata yang ke luar dari cerobong ($Ci/detik$) v = kecepatan angin rata-rata ($m/detik$)
- σ_y = koefisien dispersi horizontal (m); σ_z = koefisien dispersi vertikal (m)
- y = jarak tegak lurus arah angin (m); H = tinggi cerobong efektif (m)
- χ/Q = parameter transport fisik ($detik/m^3$) z = ketinggian dari atas tanah (m);

▪ **Model Lagrangian puff**

Model ini dapat digunakan untuk berbagai variasi kecepatan dan arah angin dan bisa digunakan untuk banyak titik sumber dan merupakan perhitungan yang lebih realistik.

Persamaan Umum *Lagrangian puff* :

$$\chi(x, y, z) = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2}\sigma_x\sigma_y\sigma_z} \cdot \exp\{-1/2[(\frac{x-x_0}{\sigma_x})^2 + (\frac{y-y_0}{\sigma_y})^2 + (\frac{z-z_0}{\sigma_z})^2]\} \dots\dots\dots(2)$$

dengan:

- $\chi(x,y,z)$ = konsentrasi di udara (chi) pada sumbu x searah angin, y = tegak lurus arah angin, dan z = ketinggian di atas permukaan tanah, meter (Ci/m^3)
- Q = lepasan radioaktif yang ke luar dari cerobong dalam rentang waktu ($Ci.detik$)
- σ_y = koefisien dispersi horizontal (m); σ_z = koefisien dispersi vertikal (m)
- y = jarak tegak lurus arah angin (m); z = ketinggian efektif cerobong (m)
- χ/Q = parameter transport fisik ($detik/m^3$)

TATA KERJA

Perhitungan parameter transport fisik menggunakan Modul CONCEN dan ATMOS [4] dengan input data:

- *sourceterm* PWR-1000 dengan bahan bakar MOX [2,5]
- model dispersi menggunakan model Gaussian dan *Lagrangian puff*
- postulasi kecelakaan : LB-LOCA[6]
- Meteorologi dan lingkungan Tapak BojanegaraKabupaten Serang Banten^[7,8] dan Ujung Watu, Kabupaten Jepara-Jawa Tengah^[9,10].
- Kondisi teresterial *roughness*

Output data : konsentrasi $\chi(x,y,z)$ di udara (chi) pada sumbu x searah angin, y = tegak lurus arah angin, dan z = ketinggian di atas permukaan tanah, meter (Ci/m^3)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter transport fisik ke atmosfer yang dihitung adalah untuk lepasan nuklida produk fisi dari kelompok aktinida yaitu : Np-239, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241, Cm-242, dan Cm-244. *Source term* yang digunakan sebagai input data adalah dari PWR-1000 dengan kondisi postulasi LOCA, berbahan bakar MOX^[2], untuk Tapak Bojanegara-Serang dan Tapak Ujung Watu-Jepara. Hasil perhitungan dispersi atmosferik untuk Tapak Bojanegara ditampilkan pada Tabel 1, dan Tapak Ujung Watu pada Tabel 2. Parameter transport fisik ke atmosfer dihitung menggunakan model campuran Gaussian dan Lagrangian puff, yang merupakan dasar perhitungan dari Modul CONCEN dan ATMOS.

Tabel 1. Hasil perhitungan dispersi di atmosfer Tapak Bojanegara-Serang

Nuklida	Aktivitas ke atmosfer (Bq)	Aktivitas dispersi di atmosfer, χ (Bq detik/m ³)				
		Jarak radius				
		800 m	3 km	5 km	10 km	20 km
Np-239	5,27E+13	7,25E+10	2,30E+10	1,27E+10	4,21E+09	1,48E+09
Pu-238	9,17E+09	1,28E+07	4,11E+06	2,30E+06	7,98E+05	2,98E+05
Pu-239	2,75E+09	3,85E+06	1,23E+06	6,89E+05	2,39E+05	8,95E+04
Pu-240	4,78E+09	6,69E+06	2,14E+06	1,20E+06	4,16E+05	1,55E+05
Pu-241	1,18E+12	1,65E+09	5,29E+08	2,96E+08	1,03E+08	3,84E+07
Cm-242	6,65E+11	9,31E+08	2,98E+08	1,67E+08	5,78E+07	2,16E+07
Cm-244	1,68E+10	2,35E+07	7,53E+06	4,21E+06	1,46E+06	5,46E+05

Aktivitas dispersi pada Tabel 1, menunjukkan bahwa aktivitas nuklida aktinida yang terdispersi di area Tapak Bojanegara makin kecil dengan bertambahnya jarak radius dari pusat lepasan. Untuk satuan waktu dalam sekuensi dan tapak yang sama, makin jauh radius akan mengakibatkan volume atmosfer makin besar.

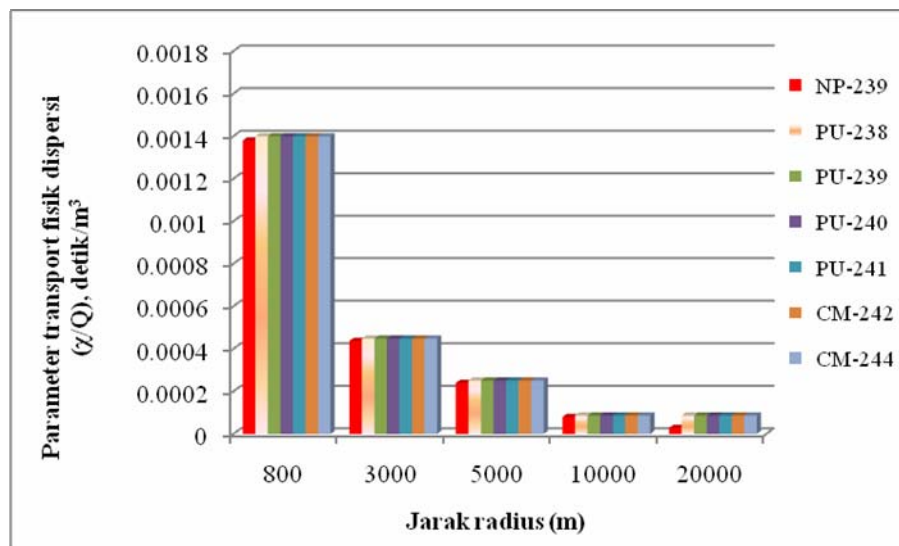
Hal sama berlaku untuk aktivitas dispersi di atmosfer untuk Tapak Ujung Watu, yaitu aktivitas dispersi untuk satuan waktu dalam sekuensi dan tapak yang sama dipengaruhi oleh jarak radius dengan sumber lepasan. Selain itu aktivitas dispersi dipengaruhi oleh *sourceterm* dan kondisi tapak (kecepatan angin, stabilitas cuaca, dan topografi). Jika kita komparasi data hasil perhitungan pada Tabel 1 dan Tabel 2, maka aktivitas dispersi dengan *sourceterm* yang sama tetapi tapak yang berbeda, akan menghasilkan aktivitas yang berbeda. Perbedaan disebabkan oleh karena adanya perbedaan kondisi lingkungan tapak khususnya kondisi meteorologi dan topografi tapak. Aktivitas dispersi untuk Tapak Bojanegara lebih tinggi dibandingkan dengan aktivitas dispersi untuk tapak Ujung Watu. Kondisi meteorologi di Bojanegara yaitu untuk kecepatan angin lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan angin di Tapak Ujung Watu. Stabilitas cuaca di daerah kedua tapak mempunyai kelas stabilitas yang berbeda.

Tabel 2. Hasil perhitungan dispersi di atmosfer Tapak Ujung Watu

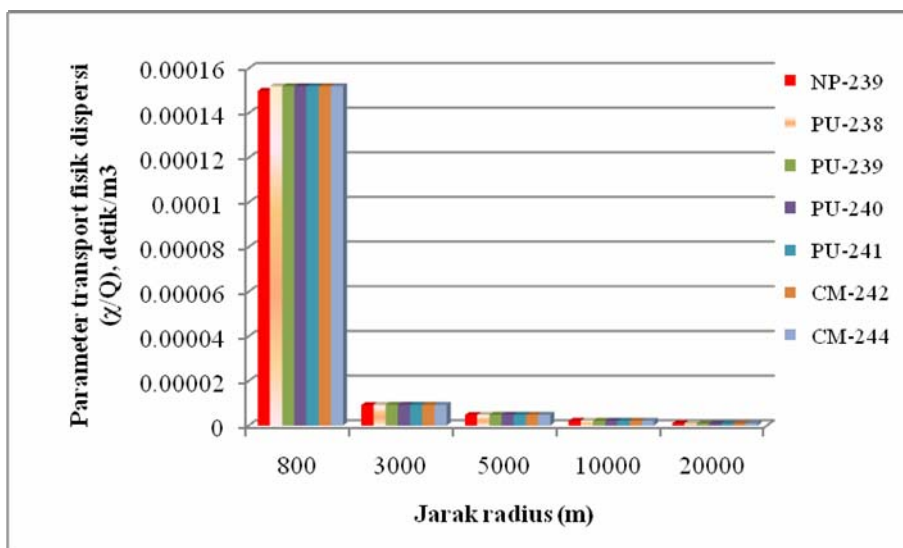
Nuklida	Aktivitas ke atmosfer (Bq)	Aktivitas dispersi di atmosfer, χ (Bq detik/m ³)				
		Jarak radius				
		800 m	3 km	5 km	10 km	20 km
Np-239	5,27E+13	7,93E+09	4,84E+08	2,50E+08	1,09E+08	5,00E+07
Pu-238	9,17E+09	1,40E+06	8,55E+04	4,43E+04	1,94E+04	8,93E+03
Pu-239	2,75E+09	4,19E+05	2,57E+04	1,33E+04	5,83E+03	2,68E+03
Pu-240	4,78E+09	7,28E+05	4,46E+04	2,31E+04	1,01E+04	4,66E+03
Pu-241	1,18E+12	1,80E+08	1,10E+07	5,70E+06	2,50E+06	1,15E+06
Cm-242	6,65E+11	1,01E+08	6,20E+06	3,21E+06	1,41E+06	6,48E+05
Cm-244	1,68E+10	2,56E+06	1,57E+05	8,11E+04	3,56E+04	1,64E+04

Hasil perhitungan parameter transport fisik lepasan nuklida aktinida ke atmosfer (χ/Q) untuk Tapak Bojanegara ditampilkan pada Gambar 1, dan untuk tapak Ujung Watu pada Gambar 2. Dari Gambar 1, parameter transport fisik lepasan nuklida aktinida ke atmosfer (χ/Q) untuk Tapak Bojanegara, terlihat untuk sebagian besar nuklida kelompok aktinida menghasilkan angka yang sama. Khusus untuk nuklida Np-239 menghasilkan angka yang lebih kecil. Nilai parameter transport semakin rendah dengan bertambahnya jarak radius dari sumber lepasan. Nilai parameter transport fisik maksimum untuk dispersi di atmosfer Tapak Bojanegara adalah: 1,38E-03 detik/m³.

Parameter transport fisik untuk Tapak Ujung Watu (Gambar 2) untuk jarak radius 800 m yaitu untuk daerah eksklusi menunjukkan angka tertinggi yaitu 1,50E-04 detik/m³. Nilai parameter transport fisik untuk Tapak Ujung Watu menunjukkan kecenderungan yang sama yaitu nilai semakin rendah dengan bertambahnya jarak radius dari sumber lepasan.

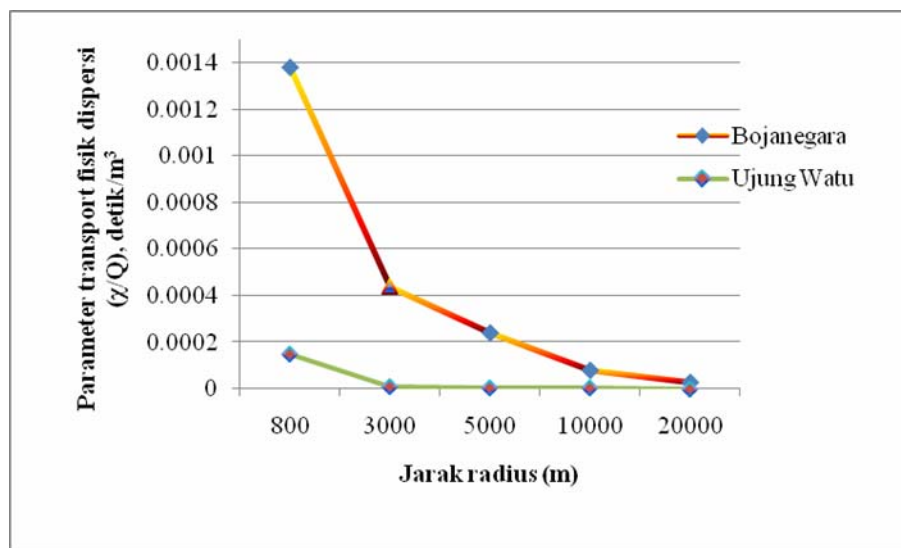


Gambar 1. Parameter transport fisik dispersi lepasan nuklida aktinida ke atmosfer Tapak Bojanegara



Gambar 2. Parameter transport fisik dispersi lepasan nuklida aktinida ke atmosfer Tapak Ujung Watu

Komparasi nilai parameter transport fisik nuklida Np-239 untuk Tapak Bojanegara dan Ujung Watu ditampilkan pada Gambar 3. Untuk setiap jarak radius dengan tapak yang berbeda, parameter transport fisik menunjukkan trend yang sama yaitu berkurang dengan bertambahnya jarak radius. Untuk *sourceterm* yang sama, parameter transport fisik untuk tapak Bojanegara lebih besar dibandingkan dengan Tapak Ujung Waktu.



Gambar 3. Komparasi parameter transport fisik dispersi lepasan nuklida aktinida ke atmosfer tapak Bojanegara dan tapak Ujung Watu

Parameter transport fisik dispersi radionuklida ke atmosfer lebih dipengaruhi oleh kondisi tapak terutama kondisi meteorologi dan topografi yaitu dalam hal kecepatan angin, dan stabilitas

cuaca. Pengaruh *source term* adalah pada sifat nuklida lepasan produk fisi terutama sifat solubilitas dan distribusi ukuran partikel nuklida.

KESIMPULAN

Parameter transport fisik dispersi radionuklida aktinida ke atmosfer untuk kondisi postulasi kecelakaan *Large Break LOCA* (LB-LOCA) PWR-1000 berbahan bakar MOX, pada Tapak Bojanegara adalah: $1,38E-03$ hingga $1,40E-03$ detik/m³ untuk daerah eksklusi dan $4,37E-04$ hingga $4,48E-04$ detik/m³ untuk zona penduduk jarang (*Low Population Zone*). Sedangkan untuk Tapak Ujung Watu: $1,50E-04$ hingga $1,52E-04$ detik/m³ untuk daerah eksklusi dan untuk daerah LPZ dengan nilai $9,19E-06$ hingga $9,33E-06$ detik/m³.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. LYMAN E. S., Public Health Risks of Substituting Mixed-Oxide for Uranium Fuel in Pressurized Water Reactors, *Science & Global Security*; 9 ; pp 33-79, (2001).
- [2]. PANDE, M. U. Estimasi Karakteristik Radionuklida di Setiap Subsistem Keselamatan pada Reaktor Daya dengan Bahan Bakar MOX, *Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir - Tri Dasa Mega*, Vol 13, Nomor 2, Juni (2011).
- [3]. IAEA, Techniques and Decision Making in The Assessment of Off - Site Consequences of an Accident in a Nuclear Facility, *Safety Series No. 86*, Vienna, (1987).
- [4]. EUROPEAN COMMISSION, PC COSYMA version 2.0. User Guide, National Radiological Protection Board, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, (1995).
- [5]. ORIGEN2, Ver 2.2, CCC-371- RSICC, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, (2002).
- [6]. EC-European Commission, Determination of the In-Containment Source term for a Large - Break Loss of Coolant Accident, EUR 19841 EN; 11-7, (2001).
- [7]. BMG, Data Meteorologi Kabupaten Serang 2008-2009, Serang (2010).
- [8]. BPS, Potensi Desa (PODES) Propinsi Banten 2008-2009, Biro Pusat Statistik, (2010).
- [9]. BMG, Data Meteorologi Muria 2006-2007, (2007).
- [10]. BPS, Potensi Desa (PODES) Kabupaten Jepara 2006-2007, BPS (2007).

DISKUSI/TANYA JAWAB:

1. PERTANYAAN: (Azizul Khakim, BAPETEN)

- Apakah penentuan parameter transport fisik untuk aktinida ini merupakan salah satu penentuan site PLTN?

JAWABAN: (Pande Made Udiyani, PTRKN-BATAN)

- Parameter transport fisik digunakan untuk perhitungan konsekuensi akibat lepasan nuklida radioaktif ke lingkungan yang sangat dipengaruhi oleh kondisi tapak/site. Bisa dikatakan

sebagai salah satu variabel penting untuk pemilihan site, terutama untuk emergency preparedness.

2. PERTANYAAN: (Bambang G. Susanto, PRPN-BATAN)

- Apakah parameter transport fisik ini untuk PWR – UO₂ sudah diperoleh?

JAWABAN: (Pande Made Udiyani, PTRKN-BATAN)

- Untuk kondisi tapak di Indonesia sedang dihitung dan sudah diperoleh parameter ini untuk PWR berbahan bakar UO₂.