

## PENENTUAN KOEFISIEN DISPERSI ATMOSFERIK UNTUK ANALISIS KECELAKAAN REAKTOR PWR DI INDONESIA

Pande Made Udiyani, Surip Widodo  
Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir-BATAN  
Email: pmade-u@batan.go.id

Diterima editor 29 Maret 2012  
Disetujui untuk publikasi 22 Mei 2012

### ABSTRAK

**PENENTUAN KOEFISIEN DISPERSI ATMOSFERIK UNTUK ANALISIS KECELAKAAN REAKTOR PWR DI INDONESIA.** Atmosfer merupakan *pathway* penting pada perpindahan radionuklida yang lepas dari Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) ke lingkungan dan manusia. Penerimaan dosis pada lingkungan dan manusia dipengaruhi oleh *sourceterm* dan kondisi tapak PLTN. Untuk mengetahui penerimaan dosis lingkungan untuk PLTN di Indonesia, maka diperlukan nilai koefisien dispersi untuk tapak potensial yang dipilih. Model perhitungan dalam penelitian ini menggunakan model yang diterapkan pada paket program pada modul ATMOS dan CONCERN dari PC-Cosyma yaitu model perhitungan *segmented plume model*. Perhitungan dilakukan untuk PLTN tipe PWR kapasitas 1000 MWe berbahan bakar  $UO_2$ , postulasi kejadian untuk kecelakaan DBA, kondisi tapak kasar, untuk 6 tapak contoh tapak Semenanjung Muria, Pesisir Banten, dan tapak yang didominasi oleh stabilitas cuaca C,D,E, dan F. Koefisien dispersi dihitung untuk 8 kelompok nuklida produk fisi yang lepas dari PLTN yaitu: kelompok gas mulia, lantanida, logam mulia, halogen, logam alkali, tellurium, cerium, dan kelompok stronsium & barium. Perhitungan input menggunakan paket program ORIGEN-2 dan Arc View untuk penyiapan input perhitungan. Hasil pemetaan untuk parameter dispersi maksimum rerata diperoleh pada jarak radius 800 m dari sumber lepasan untuk nuklida dari kelompok logam mulia, logam alkali dan kelompok nuklida cerium. Parameter dispersi untuk Tapak Muria maksimum  $1,53E-04 \text{ s/m}^3$ , Tapak Serang adalah  $1,40E-03 \text{ s/m}^3$ , tapak dengan stabilitas C:  $1,72E-04 \text{ s/m}^3$ , stabilitas D:  $1,40E-04 \text{ s/m}^3$ , Stabilitas E:  $1,07E-04 \text{ s/m}^3$ , dan tapak dengan stabilitas F :  $2,14E-05 \text{ s/m}^3$ .

Kata kunci: koefisien dispersi, atmosferik, PWR, kecelakaan, Indonesia

### ABSTRACT

**THE DETERMINATION OF ATMOSPHERIC DISPERSION COEFFICIENT FOR PWR REACTOR ACCIDENT ANALYSIS IN INDONESIA SITE.** The atmosphere is an important pathway in the migration of radionuclides transport from the Nuclear Power Plant (NPP) to the environment and humans. The dose accepted in the environment and humans is influenced by the *sourceterm* and NPP siting condition. Distribution of radionuclides in the atmosphere is determined by the dispersion coefficient. To find the environment dose acceptance for nuclear power plants in Indonesia, it is necessary to map the dispersion coefficient for Indonesia potential siting Model calculations in this study using *Segmented plume model*, which a model that is applied to the ATMOS and CONCERN module of PC-Cosyma software. The calculation has done for PWR 1000 MWe with  $UO_2$  fuel, DBA accident postulations, roughnes site conditions, for 8 example site such as Muria Peninsula, Coastal Banten, and the C, D, E, and F stability. Dispersion coefficient was calculated for the 8 fission product groups are: the noble gases, lanthanides, noble metals, halogens, alkali metals, tellurium, cerium, and strontium & barium groups. Input calculation using the program package Origen-2 and Arc View for the preparation of input calculations. The results of the dispersion parameter calculated are: the average maximum is obtained at a distance of 800 m radius from the source, for noble metals, alkali metal and cerium group nuclides. Dispersion parameters for maximum at Muria site is  $1.53 E-04 \text{ s/m}^3$ , Serang site is  $1.40 E-03 \text{ s/m}^3$ , site with stability C is  $1.72E-04 \text{ s/m}^3$ , stability D is  $1.40 E-04 \text{ s/m}^3$ , stability E is  $1.07 E-04 \text{ s/m}^3$ , and site with the stability F is  $2.14 E-05 \text{ s/m}^3$ .

Keywords: dispersion coefficient, atmospheric, PWR, accident, Indonesia

## PENDAHULUAN

Kondisi energi fosil di Indonesia yang sudah mulai menipis membuat Pemerintah Indonesia untuk mulai memikirkan energi nuklir untuk menjaga sediaan energi di Indonesia. Untuk memantau dan meminimalisasi dampak yang ditimbulkan, maka diperlukan semua kajian yang berhubungan dengan keselamatan nuklir. Lepas produk fisi ke lingkungan dari Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) diantisipasi dengan kajian dan perhitungan terhadap konsekuensinya di lingkungan dan manusia. Lepas radionuklida ke lingkungan dapat ditimbulkan dari pengoperasian normal dan abnormal.

Atmosfer merupakan *pathway* penting pada perpindahan radionuklida yang lepas dari PLTN ke lingkungan dan manusia. Penerimaan radiasi di lingkungan dan dosis pada manusia dipengaruhi oleh kondisi radionuklida yang lepas dan kondisi lingkungan tapak PLTN. Sebaran radionuklida di atmosfer ditentukan oleh parameter koefisien dispersi. Parameter dispersi digunakan untuk menentukan konsekuensi penerimaan dosis dari lepasan produk fisi ke lingkungan, terutama yang berkaitan dengan *cloudshine* (awan radioaktif) yang mempengaruhi dosis interna (inhalasi dan imersi) serta eksternal (paparan langsung dari *cloudshine*)[1]. Parameter dispersi dicantumkan pada SAR PLTN pada Bab 15 tentang analisis kecelakaan. Selain untuk mengisi dokumen SAR juga untuk mengetahui penerimaan dosis lingkungan untuk PLTN di Indonesia, maka diperlukan peta koefisien dispersi untuk tapak potensial di Indonesia. Pemetaan akan bermanfaat terhadap kajian tapak untuk pembangunan dan pengoperasian PLTN.

Perhitungan koefisien dispersi menggunakan paket program MACSS2 dan Monte Carlo, dan menggunakan model dispersi yang berbeda telah dilakukan oleh peneliti lainnya[2-4]. Perhitungan koefisien dispersi untuk kondisi dan simulasi tapak di Indonesia untuk postulasi kecelakaan DBA (*Design Basis Accident*) di dalam PWR-1000 belum pernah dilakukan sebelumnya.

Pemetaan dilakukan dengan melakukan perhitungan pada kondisi sebagai berikut: PLTN dengan tipe PWR kapasitas 1000 MWe dengan bahan bakar  $UO_2$ , postulasi kejadian untuk kecelakaan DBA[5], kondisi tapak kasar, untuk 8 tapak contoh seperti tapak Semenanjung Muria, Pesisir Banten, dan contoh tapak di Indonesia yang didominasi oleh stabilitas cuaca tertentu. Koefisien dispersi untuk 8 kelompok radionuklida produk fisi yang lepas dari PLTN antara lain: kelompok gas mulia, lantanida, logam mulia, halogen, logam alkali, tellurium, cerium, dan kelompok stronsium & barium. Perhitungan menggunakan paket program: modul ATMOS dan CONCERN dari PC-Cosyma, serta ORIGEN-2 dan Arc View untuk penyiapan input perhitungan [6].

## TEORI

Pemodelan dispersi atmosfer pada dasarnya adalah upaya untuk menggambarkan hubungan fungsional antara emisi polutan dan konsentrasi yang dihasilkan. Ada perbedaan mendasar antara pengukuran dan model konsep. Meskipun ada cara untuk mengukur konsentrasi radionuklida menggunakan instrumen, tapi hasil akhir merupakan sinergi pengukuran dan kajian perhitungan. Di sisi lain pemodelan dispersi atmosfer, berdasarkan satu set persamaan matematika, berfungsi sebagai alat yang mampu memprediksi konsekuensi dalam hal konsentrasi dan dosis radiologi untuk hampir semua macam skenario lepasan hipotetis[7].

Pendekatan terbaru dari pemodelan dispersi atmosfer saat ini sedang dipertimbangkan oleh peneliti berdasarkan gabungan model meteorologi rinci dengan model dispersi atmosfer. Model meteorologi menyediakan parameter input lebih tepat seperti fluks suhu dan medan angin digabungkan dengan topografi permukaan tapak. Parameter ini kemudian digunakan sebagai input untuk model dispersi khusus untuk menghitung transportasi polutan dan difusi di atmosfer dan memberikan hasil akhir dalam hal konsentrasi dan dosis yang bervariasi dalam ruang dan waktu [7,8].

Perhitungan efluen radioaktif di atmosfer ke lingkungan menggunakan model perhitungan dengan level kompleksitas yang berbeda antara lain:

### Model Gaussian- Gaussian Plume Model (GPM)

Model *Gaussian* terdiri dari satu persamaan. Hal ini diperoleh dengan integrasi dari persamaan waktu *Gaussian puff* untuk lepasan kontinu[7,9]. Persamaan Gaussian diperoleh dengan menyelesaikan persamaan difusi dengan asumsi turbulensi homogen dan kondisi angin seragam. Kondisi plum ditentukan oleh  $\sigma_y$  dan  $\sigma_z$ . Model ini yang paling banyak digunakan dalam perhitungan dispersi atmosfer, dan telah digunakan secara luas untuk kajian konsekuensi radiologis dan dampak lingkungan dari kecelakaan nuklir, di bawah rekomendasi IAEA Hasil dari model dianggap dapat diandalkan untuk jarak pendek dari titik pelepasan. Model ini sangat akurat digunakan untuk kondisi dispersi sampai radius 10 km dari sumber lepasan, bergantung pada kekasaran tapak dan kompleksitas kondisi meteorologi pada saat lepasan terjadi[10].

### Persamaan Umum Model Gaussian:

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

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 ( $\text{Ci}/\text{m}^3$ )

$Q$  = lepasan radioaktif rata-rata yang ke luar dari cerobong ( $\text{Ci}/\text{s}$ )

$v$  = kecepatan angin rata-rata ( $\text{m}/\text{s}$ )

$\sigma_y$  = koefisien dispersi horizontal (m);

$\sigma_z$  = koefisien dispersi vertikal (m)

$H$  = tinggi cerobong efektif (m)

$y$  = jarak tegak lurus arah angin (m);

$z$  = ketinggian dari atas tanah (m);

$\chi/Q$  = parameter faktor dispersi ( $\text{s}/\text{m}^3$ )

### Model Lagrangian

Model ini mampu menggabungkan variasi spasial dan temporal dalam kecepatan angin dan turbulensi, itu sebabnya mereka menawarkan hasil yang lebih baik daripada model Gaussian Plume (GPM) untuk jarak yang lebih pendek pada umumnya dan untuk jarak yang lebih besar (khususnya lebih dari 10 Km)[7,9]. Model ini mampu memodelkan kedua kondisi homogen dan homogen di medan datar atau kompleks [10,11]. Bidang angin dibangun dengan memasukkan data meteorologi yang diamati atau parameterisasi empiris khas berdasarkan data eksperimental atau dengan bantuan model prediksi cuaca numerik atau dengan menggunakan persamaan fluida dinamis.

Dalam model Lagrangian partikel dapat diberikan sifat fisik dan kimia yang berbeda sehingga memungkinkan untuk mempelajari interaksi fisik dan kimia dan kimia yang dihasilkan dan perubahan fisik pada batas tertentu. Model ini menghitung fluktuasi *eddy* menggunakan Monte Carlo dan proses menghitung posisi partikel dan dengan demikian koefisien dispersi yang membuat mereka independen dari kurva sigma, bertentangan dengan GPM. Model ini membutuhkan sumber daya komputasi yang luas karena mereka mensimulasikan dispersi atmosfer dengan menghitung lintasan partikel. Untuk mensimulasikan skenario dispersi yang berlangsung selama beberapa jam diperlukan untuk mengikuti lintasan ratusan ribu partikel sehingga bidang kelancaran distribusi partikel dapat diperoleh yang kemudian akan menghasilkan hasil yang halus untuk konsentrasi dan dosis radiologi (dalam kasus lepasan radionuklida).

Model ini dapat digunakan untuk berbagai variasi kecepatan dan arah angin dan bisa digunakan untuk banyak titik sumber dan merupakan perhitungan yang lebih realistik. Perhitungan dilakukan dengan persamaan mum Lagrangian puff ,

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

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 ( $\text{Ci/m}^3$ )

$Q$  = lepasan radioaktif yang ke luar dari cerobong dalam rentang waktu ( $\text{Ci/s}$ )

$\sigma_x$  = koefisien dispersi horizontal ke arah  $x$  (m);

$\sigma_y$  = koefisien dispersi horizontal ke arah  $y$  (m);

$\sigma_z$  = koefisien dispersi vertikal (m)

$y$  = jarak tegak lurus arah angin (m);

$z$  = ketinggian efektif cerobong (m);

$\chi/Q$  = parameter transport fisik ( $\text{s/m}^3$ )

Selain dua model dispersi ini, ada beberapa model yang digunakan untuk perhitungan parameter dispersi seperti model: *Three-dimensional Eulerian grid model*, *Lagrangian particle model* atau *Monte-Carlo particle model*, dan *segmented plume model*[12]. Parameter dispersi juga dipengaruhi oleh solubilitas, deplesi dan ukuran partikel nuklida yang bersangkutan[13,14]. Selain kondisi meteorologi dan sifat nuklida dispersi, parameter dispersi juga dipengaruhi oleh kondisi kontur dan kompleksitas tapak [15].

Perhitungan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan model perhitungan yang terdapat pada paket program PC-Cosyma, khususnya modul ATMOS dan CONCERN. Perhitungan dispersi pada PC-Cosyma menggunakan *Segmented plume model*, yaitu modifikasi dari model *Gaussian* dan *Larangian puff*. Model tersegmentasi (*Segmented plume model*) yang digunakan untuk perhitungan Gaussian, adalah modifikasi dari *linier Gaussian plume model*, yang mengasumsikan bahwa kondisi meteorologi (arah angin, kecepatan angin, kategori dispersi dan intensitas hujan) yang konstan dalam interval waktu 1 jam, dan menggunakan kondisi ini sebagai kondisi awal untuk jam berikutnya. Model *Gaussian* digunakan untuk radius  $\leq 10$  km dan sekuensi pelepasan *sourceterm* yang sekaligus bersamaan. Untuk jarak radius  $> 10$  km dan kondisi sekuensi pelepasan *sourceterm* yang bertahap, akan menggunakan *Larangian* model.

## METODOLOGI

Metodologi penelitian meliputi rangkaian perhitungan dan simulasi berdasarkan data postulasi, asumsi, dan data primer-sekunder yaitu:

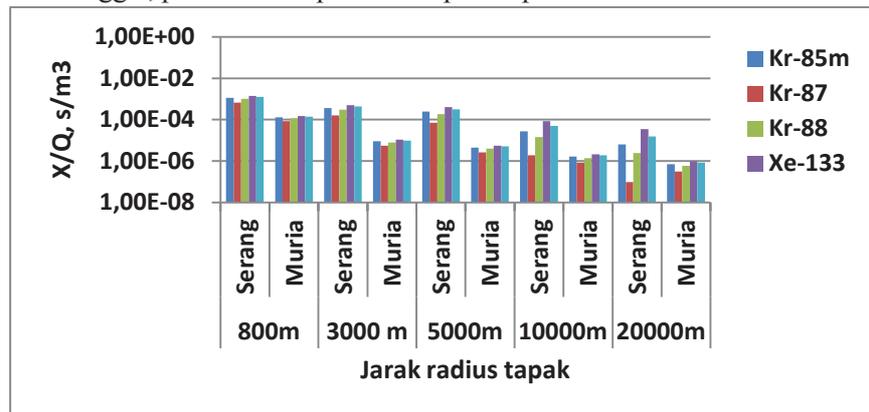
- Perhitungan *sourceterm* dilakukan untuk reaktor daya tipe PWR kapasitas 1000 MWe, dengan kondisi postulasi kecelakaan DBA yaitu LOCA. Perhitungan menggunakan paket program ORIGEN-2
- Perhitungan parameter dispersi menggunakan modul ATMOS dan CONCERN dari PC-Cosyma.
- Input tapak meliputi kondisi meteorologi dan topografi yaitu : kecepatan angin, stabilitas cuaca, dan solar energi untuk 16 arah angin dan 5 jarak radius (800 m (daerah eksklusif), 3 km dan 5 km (LPZ-Low Population Zone) dan radius 10-20 km (daerah berpenduduk padat). Kondisi topografi dipilih yang tingkat kekasarannya tinggi. Untuk Tapak Muria dan Tapak Serang, dengan data yang diambil dari data dalam kurun waktu 1 tahun yang diambil tiap jam. Untuk

tapak lainnya diambil kondisi yang dominan terjadi untuk 1 tahun. Kondisi tapak dengan stabilitas dominan untuk kondisi tapak di Indonesia dipilih untuk kondisi cuaca dengan stabilitas C, D, E, dan stabilitas F. Data cuaca diambil untuk ketinggian 60 m, dan ketinggian cerobong reaktor 100 m.

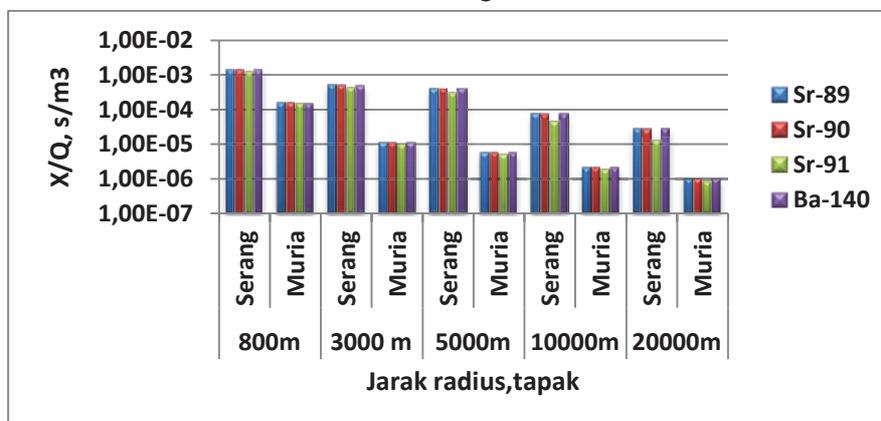
- Model perhitungan dispersi untuk modul ATMOS dan CONCERN dari PC-Cosyma menggunakan kombinasi model perhitungan Gaussian, *Segmented plume model*, dan Lagrangian.
- Perhitungan parameter dispersi untuk lepasan radionuklida produk fisi yang terbentuk dari bahan bakar UO<sub>2</sub> yang digolongkan menjadi 8 kelompok yaitu: kelompok gas mulia, stronsium & barium, tellurium, logam alkali (cesium), lantanida, logam mulia, halogen, dan kelompok cerium.
- Perhitungan parameter dispersi dilakukan terhadap lepasan produk fisi untuk sekuensi dalam rentang waktu 1-24 jam.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan parameter dispersi tapak Muria dan Serang untuk kelompok gas mulia (*noble gas*) pada Gambar 1, kelompok stronsium & barium pada Gambar 2, kelompok telurium pada Gambar 3, kelompok logam alkali pada Gambar 4, kelompok lantanida pada Gambar 5, logam mulia (*noble metals*) pada Gambar 6, halogen pada Gambar 7, dan kelompok cerium pada Gambar 8. Untuk tapak dengan stabilitas tunggal, parameter dispersi ditampilkan pada Tabel 1.



Gambar 1. Parameter dispersi untuk kelompok nuklida gas mulia pada Tapak Muria dan Tapak Serang

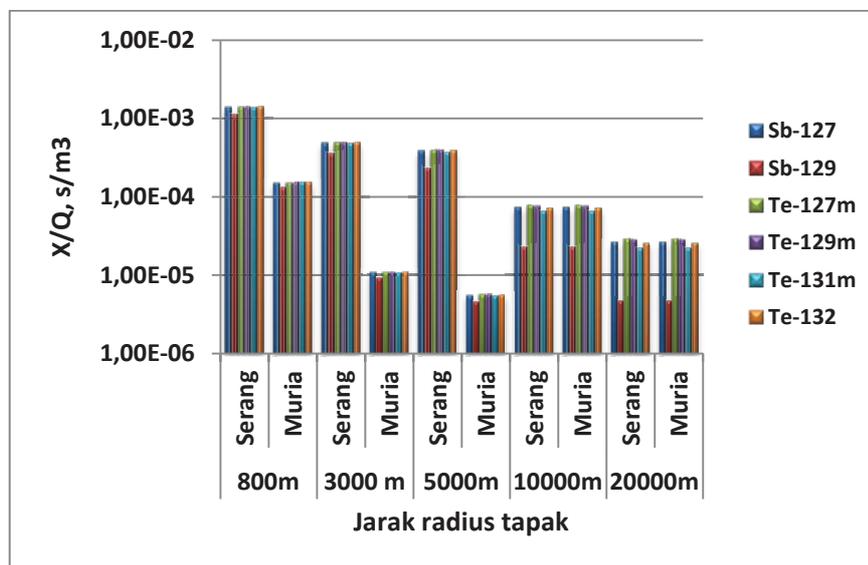


Gambar 2. Parameter dispersi untuk kelompok nuklida stronsium & barium pada Tapak Muria dan Tapak Serang

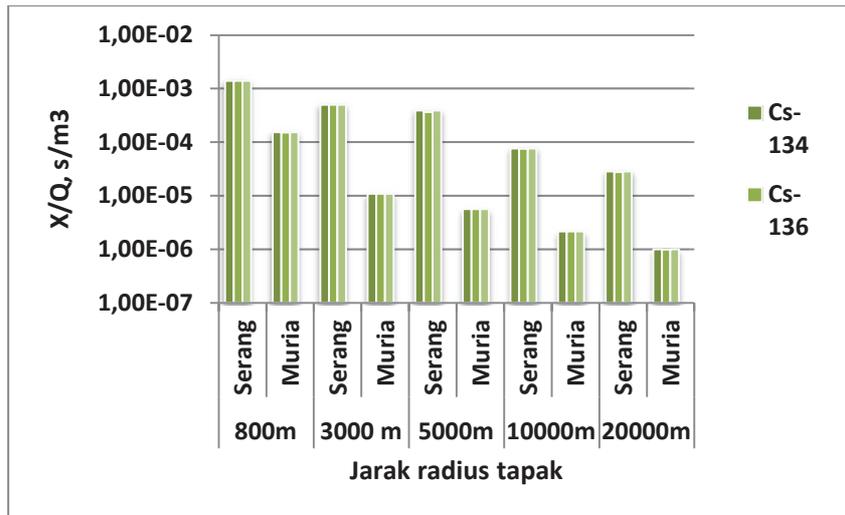
Parameter dispersi untuk nuklida produk fisi kelompok gas mulia yang terdiri dari nuklida Kr dan Xe untuk Tapak Muria dan Serang tercantum pada Gambar 1, menunjukkan variasi nilai parameter untuk nuklida, jarak radius, dan tapak yang berbeda. Nuklida gas mulia bersifat inert dan tidak berinteraksi dengan materi. Secara umum parameter dispersi untuk Tapak Serang lebih tinggi daripada Tapak Muria, nilai parameter menurun dengan meningkatnya jarak radius, dan nilai yang berbeda untuk setiap nuklida.

Berdasarkan persamaan dispersi Gaussian maupun Lagrangian yang digunakan dalam penelitian ini, parameter dispersi dipengaruhi oleh parameter  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ , dan kecepatan angin. Nilai parameter dispersi berbanding terbalik dengan parameter  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  dan kecepatan angin. Sedangkan parameter  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  meningkat dengan jarak radius dari sumber lepasan, sehingga parameter dispersi maksimum untuk penelitian ini adalah pada jarak radius 800 m. Sedangkan untuk Tapak Serang yang mempunyai kondisi cuaca dengan stabilitas yang didominasi kecepatan angin yang lebih rendah dibandingkan dengan Tapak Muria akan menghasilkan nilai parameter dispersi yang lebih tinggi. Parameter dispersi maksimum (jarak radius 800 m) untuk gas Kr adalah dari nuklida Kr-85m yaitu:  $1,13E-03 \text{ s/m}^3$  (Serang) dan  $1,30E-04 \text{ s/m}^3$  (Muria), sedangkan untuk gas Xe dari nuklida Xe-133 yaitu  $1,40E-03 \text{ s/m}^3$  untuk Tapak Serang dan  $1,52E-04 \text{ s/m}^3$ .

Parameter dispersi untuk nuklida kelompok stronsium dan barium pada Gambar 2 menunjukkan kecenderungan yang sama dengan Gambar 2, yaitu nilai parameter menurun dengan meningkatnya jarak radius dan parameter dispersi untuk Tapak Serang lebih tinggi dibandingkan Tapak Muria. Parameter dispersi maksimum pada jarak radius 800 m yaitu untuk nuklida Sr 89 dan Sr-90 yaitu:  $1,40E-03 \text{ s/m}^3$  untuk Tapak Serang dan  $1,53E-04 \text{ s/m}^3$  untuk Tapak Muria. Untuk nuklida Ba-140 parameter dispersi maksimum untuk Tapak Serang adalah  $1,40E-03 \text{ s/m}^3$  dan untuk Tapak Muria adalah  $1,52E-04 \text{ s/m}^3$ .



Gambar 3. Parameter dispersi untuk kelompok nuklida tellurium pada Tapak Muria dan Tapak Serang

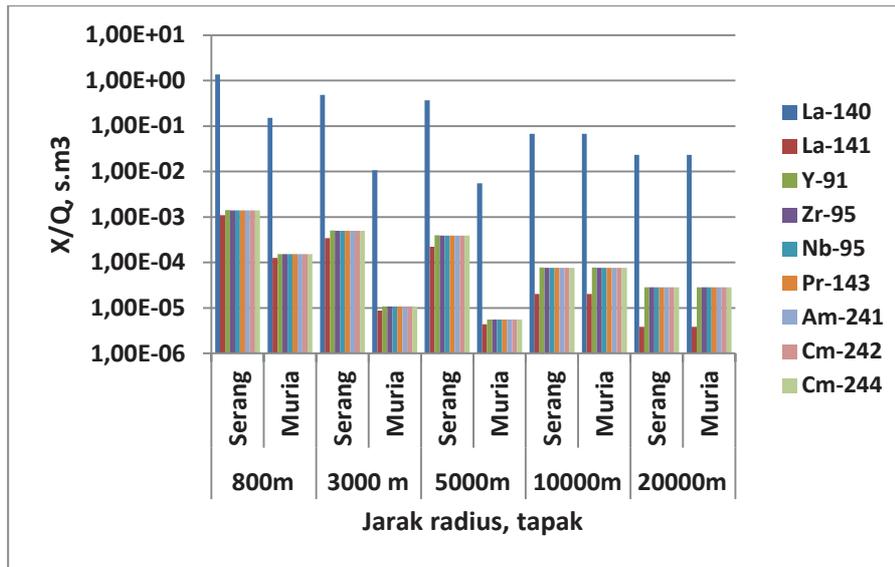


Gambar 4. Parameter dispersi untuk kelompok nuklida logam alkali pada Tapak Muria dan Tapak Serang

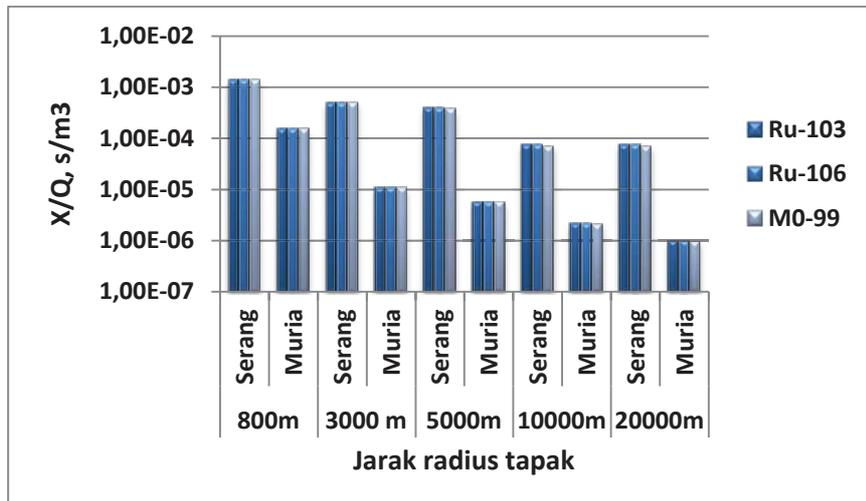
Hasil perhitungan parameter dispersi untuk nuklida produk fisi kelompok tellurium yang terdiri dari nuklida Sb dan Te pada Gambar 3, memperlihatkan nilai yang makin rendah dengan naiknya jarak radius, dan untuk Tapak Serang lebih tinggi nilainya dibandingkan Tapak Muria. Pada kelompok nuklida ini nilai parameter tertinggi untuk jarak radius 800 m, untuk Tapak Serang adalah nuklida Te-127m/Te-129m:  $1,40E-03 \text{ s/m}^3$  dan untuk Tapak Muria  $1,53E-04 \text{ s/m}^3$ .

Gambar 4 yang menggambarkan nilai parameter dispersi nuklida dari kelompok nuklida logam alkali menunjukkan nilai yang makin rendah dengan naiknya jarak radius, dan untuk Tapak Serang lebih tinggi nilainya dibandingkan Tapak Muria. Nilai parameter maksimum untuk kelompok nuklida logam alkali yaitu nuklida Cs-134/Cs-136/Cs-137 adalah  $1,40E-03 \text{ s/m}^3$  untuk Tapak Serang, dan untuk Tapak Muria untuk nuklida yang sama adalah  $1,53E-04 \text{ s/m}^3$ .

Parameter dispersi untuk nuklida produk fisi kelompok lantanida yang terdiri dari nuklida-nuklida La, Y, Zr, Nb, Pr, Am, dan Cm ditampilkan pada Gambar 5. Untuk kelompok lantanida parameter dispersi maksimum untuk jarak radius 800 m adalah nuklida La-140 yaitu  $1,37E+00 \text{ s/m}^3$  untuk Serang dan  $1,50E-01 \text{ s/m}^3$  untuk Tapak Muria. Parameter dispersi untuk nuklida Y-91 adalah  $1,41E-03 \text{ s/m}^3$  (Serang) dan  $1,54E-04 \text{ s/m}^3$  untuk Muria. Untuk nuklida lainnya dari kelompok Lantanida mempunyai parameter dispersi yang sama yaitu  $1,40E-03 \text{ s/m}^3$ , dan untuk Tapak Muria  $1,53E-04 \text{ s/m}^3$ .



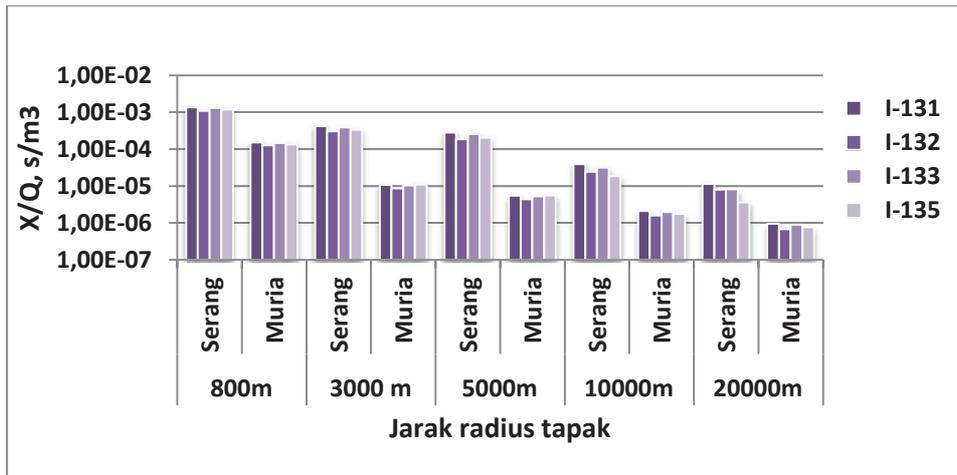
Gambar 5. Parameter dispersi untuk kelompok nuklida lantanida pada Tapak Muria dan Tapak Serang



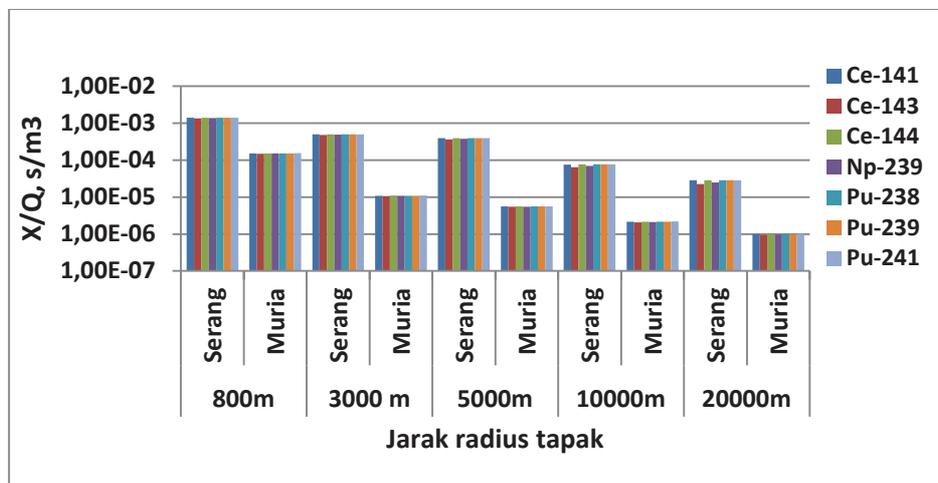
Gambar 6. Parameter dispersi untuk kelompok nuklida logam mulia pada Tapak Muria dan Tapak Serang

Parameter dispersi nuklida dari kelompok logam mulia yang terdiri dari dari nuklida Ru dan Mo pada Gambar 6, menghasilkan parameter dispersi maksimum untuk kelompok ini adalah pada nuklida Ru-103/Ru-105 yaitu  $1,40E-03 \text{ s/m}^3$  pada Tapak Serang, dan untuk Tapak Muria  $1,53E-04 \text{ s/m}^3$ .

Dari Gambar 7 yang menggambarkan hasil perhitungan parameter dispersi untuk nuklida produk fisi dari kelompok halogen dari nuklida Iodine, menunjukkan kecenderungan yang sama dengan kelompok nuklida lainnya yaitu naik dengan semakin dekatnya jarak radius dengan sumber lepasan. Parameter dispersi maksimum untuk nuklida I-131 di Tapak Serang adalah  $1,37E-03 \text{ s/m}^3$  lebih tinggi dibandingkan dengan Tapak Muria dengan parameter dispersi  $1,51E-04 \text{ s/m}^3$ . Hasil perhitungan parameter dispersi nuklida dari kelompok cerium yang terdiri dari nuklida Ce, Np, dan Pu disajikan pada Gambar 8. Parameter dispersi maksimum untuk nuklida Pu-241 adalah  $1,42E-03 \text{ s/m}^3$  (Serang) dan  $1,54E-04 \text{ s/m}^3$  (Muria). Sedangkan untuk nuklida Ce-141/Ce-144 di Tapak Serang adalah  $1,40E-03 \text{ s/m}^3$  dan untuk Tapak Muria dengan parameter dispersi  $1,53E-04 \text{ s/m}^3$ .



Gambar 7. Parameter dispersi untuk kelompok nuklida halogen pada Tapak Muria dan Tapak Serang



Gambar 8. Parameter dispersi untuk kelompok nuklida cerium pada Tapak Muria dan Tapak Serang

Parameter dispersi untuk tapak dengan stabilitas tunggal ditampilkan pada Tabel 1. Data pada Tabel 1 merupakan parameter dispersi maksimum untuk setiap kelompok nuklida hasil fisi yang terdispersi di atmosfer zona daerah eksklusi (radius 800 m), daerah LPZ (3000 m) dan berpenduduk padat pada radius 10.000 m. Jika dibandingkan dengan nilai di dalam dokumen AP-1000 Uni Eropa[1], nilai parameter untuk postulasi yang sama yaitu kecelakaan LOCA untuk daerah eksklusi – EAB (Exclusion Area Bondary-radius 800 m) untuk sekuensi waktu lepasan 0-2 jam adalah 5,1E-04 s/m<sup>3</sup> dan daerah LPZ untuk sekuensi 8-24 jam adalah 1,6E-04 s/m<sup>3</sup> untuk tapak di Uni Eropa.

Sedangkan untuk perhitungan pada penelitian ini dengan sekuensi yang sama sebagai contoh untuk tapak Muria daerah eksklusi antara 1,25E-04 s/m<sup>3</sup> (gas mulia) hingga 1,53E-04 s/m<sup>3</sup> (logam mulia, logam alkali, dan cerium); untuk Tapak Serang antara 1,09E-03 s/m<sup>3</sup> (gas mulia) dan 1,40E-03 s/m<sup>3</sup> (logam mulia, logam alkali dan cerium). Sedangkan untuk LPZ, parameter dispersi Tapak Muria adalah dari 8,70E-06 s/m<sup>3</sup> (gas mulia) hingga 1,09E-05 s/m<sup>3</sup> (logam alkali), dan Tapak Serang dari angka 3,56E-04 s/m<sup>3</sup> (gas mulia) hingga 5,00E-04 s/m<sup>3</sup> (logam alkali). Nilai parameter dispersi antara yang tercantum di acuan dengan hasil perhitungan masih dalam rentang yang tidak berbeda secara signifikan.

Tabel 1. Parameter dispersi X/Q (s/m<sup>3</sup>) lepasan produk fisi dari kecelakaan postulasi DBA PWR-1000 untuk tapak di Indonesia

No.	Nuklida	Parameter dispersi - X/Q (s/m <sup>3</sup> )											
		Stabilitas C			Stabilitas D			Stabilitas E			Stabilitas F		
		800 m	3 km	10 km	800 m	3 km	10 km	800 m	3 km	10 km	800 m	3 km	10 km
1	Kr-85m	1,47E-04	1,79E-05	3,30E-06	1,19E-04	3,72E-05	6,15E-06	8,75E-05	7,56E-05	1,90E-05	1,56E-05	1,22E-05	1,15E-06
2	Xe-133	1,71E-04	2,13E-05	4,12E-06	1,39E-04	4,41E-05	7,66E-06	1,07E-04	8,90E-05	2,57E-05	2,12E-05	1,48E-05	1,35E-06
3	Sr-90	1,72E-04	2,14E-05	4,14E-06	1,39E-04	4,43E-05	7,69E-06	1,07E-04	8,95E-05	2,56E-05	2,12E-05	1,49E-05	1,35E-06
4	Ba-140	1,72E-04	2,13E-05	4,13E-06	1,39E-04	4,42E-05	7,66E-06	1,07E-04	8,92E-05	2,55E-05	2,11E-05	1,49E-05	1,35E-06
5	Y-91	1,74E-04	2,15E-05	4,18E-06	1,41E-04	4,47E-05	7,75E-06	1,08E-04	9,02E-05	2,58E-05	2,14E-05	1,50E-05	1,37E-06
6	Ru-103 /Ru-106	1,72E-04	2,13E-05	4,14E-06	1,39E-04	4,43E-05	7,68E-06	1,07E-04	8,94E-05	2,55E-05	2,12E-05	1,49E-05	1,35E-06
7	Mo-99	1,70E-04	2,11E-05	4,08E-06	1,38E-04	4,38E-05	7,57E-06	1,06E-04	8,84E-05	2,50E-05	2,08E-05	1,47E-05	1,34E-06
8	Sb-127	1,71E-04	2,12E-05	4,10E-06	1,38E-04	4,39E-05	7,61E-06	1,06E-04	8,87E-05	2,52E-05	2,09E-05	1,48E-05	1,34E-06
9	Te-127m	1,72E-04	2,14E-05	4,15E-06	1,39E-04	4,43E-05	7,69E-06	1,07E-04	8,95E-05	2,56E-05	2,13E-05	1,49E-05	1,35E-06
10	I-131	1,71E-04	2,10E-05	4,01E-06	1,39E-04	4,35E-05	7,37E-06	1,04E-04	8,91E-05	2,25E-05	2,00E-05	1,48E-05	1,35E-06
11	Cs-137	1,72E-04	2,14E-05	4,14E-06	1,39E-04	4,43E-05	7,69E-06	1,07E-04	8,95E-05	2,56E-05	2,13E-05	1,49E-05	1,36E-06
12	Ce-141/ Ce-144	1,72E-04	2,14E-05	4,14E-06	1,39E-04	4,43E-05	7,69E-06	1,07E-04	8,95E-05	2,56E-05	2,12E-05	1,49E-05	1,35E-06
13	Np-239	1,70E-04	2,10E-05	4,07E-06	1,38E-04	4,37E-05	7,55E-06	1,06E-04	8,83E-05	2,49E-05	2,07E-05	1,47E-05	1,34E-06
14	Pu-241	1,74E-04	2,16E-05	4,19E-06	1,41E-04	4,48E-05	7,77E-06	1,08E-04	9,04E-05	2,58E-05	2,15E-05	1,51E-05	1,37E-06

Perbedaan perhitungan disebabkan oleh adanya perbedaan asumsi postulasi *source term*, walaupun pengaruhnya tidak sebesar perbedaan kondisi tapak. Seperti diketahui bahwa parameter dispersi di atmosfer tapak lebih dipengaruhi oleh kondisi tapak yaitu kondisi cuaca dan kontur tapak. Pada penelitian ini data parameter dispersi lebih rinci dengan menghitung setiap nuklida kelompok produk fisi yang lepas ke lingkungan. Untuk kondisi tapak di Indonesia, data parameter dispersi yang dihitung pada penelitian ini sudah dapat mewakili kondisi dispersi atmosfer. Untuk selanjutnya jika pembangunan PLTN akan dilaksanakan di Indonesia dengan kondisi tapak yang pasti, maka perhitungan parameter dispersi dapat dihitung dengan lebih rinci dan data tapak yang lebih detail.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Pemetaan parameter dispersi PLTN dengan tipe PWR kapasitas 1000 MWe berbahan bakar  $UO_2$ , postulasi kejadian untuk kecelakaan DBA, untuk 6 tapak contoh di Indonesia antara lain Semenanjung Muria, Pesisir Banten, dan yang didominasi oleh stabilitas cuaca C,D,E, dan stabilitas F sudah dilakukan. Parameter dispersi maksimum rerata diperoleh untuk jarak radius 800 m dari sumber lepasan cerobong untuk nuklida produk fisi dari kelompok logam mulia, logam alkali dan kelompok nuklida cerium. Parameter dispersi untuk Tapak Muria maksimum  $1,53E-04 \text{ s/m}^3$ , Tapak Serang adalah  $1,40E-03 \text{ s/m}^3$ , tapak dengan stabilitas C:  $1,72E-04 \text{ s/m}^3$ , stabilitas D:  $1,40E-04 \text{ s/m}^3$ , stabilitas E:  $1,07E-04 \text{ s/m}^3$ , dan stabilitas F :  $2,14E-05 \text{ s/m}^3$ .

Saran yang diberikan berdasarkan hasil perhitungan dalam penelitian adalah pemilihan Tapak Muria lebih baik dibandingkan dengan Tapak Serang, karena jika terjadi kondisi adanya lepasan radionuklida produk fisi ke lingkungan akibat adanya kecelakaan PLTN, akan menimbulkan konsekuensi radiasi yang lebih kecil.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Westinghouse. AP 1000-European Design control document. rev.0. Chap. 15. 2009.
2. Lagzi I. et. all. Simulation of the dispersion of nuclear contamination using an adaptive Eulerian grid model. *Journal of Environmental Radioactivity* 2004;75: 59–82,
3. Joong M.Y, Glaser R. Atmospheric dispersion analysis using MACCS2 February 3, 2004, International Congress on Advances in Nuclear Power Plants (ICAPP '04). Pittsburgh. PA; 2004; June 13- 17, United States; 2004
4. Raza S, Avila R, and Cervantes J. A. 3-D Lagrangian (Monte Carlo) method For the direct plume gamma dose rate calculations. *J. of Nuclear Science and Technology*. 2002; 38: 254 – 60
5. EC-European Commission. Determination of the in-containment source term for a large - break loss of coolant accident. EUR 19841 EN; 2001
6. European Commission. PC COSYMA version 2.0. User Guide, National Radiological Protection Board. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH; 1995
7. Jilani A. B. Atmospheric dispersion and consequence modeling of radiological emergencies. Pakistan Institute of Engineering & Applied Sciences, Nilore, Islamabad, Pakistan. October; 2009
8. Mahura A, Baklanov A, Rensen S. J.H,. Long-term atmospheric transport and deposition patterns from nuclear risk sites in euro-arctic region. Danish Meteorological Institute. Sci. Report, N; 2002; 2-15
9. Basit A. Dispersion of radionuclides released into a stable planetary boundary layer using a Monte Carlo model. *Journal of Radiological Protection*. 2008; **26**; 375- 87.

10. Raza S, Avila, RA. Comparison of direct gamma dose rates from a stationary Gaussian plume using different models. *Nuclear Technology*. 2002; **138**; 21 – 26
11. Baklanov A, Mahura A, Rensen S. J.H. Methodology for prediction and estimation of consequences of possible atmospheric releases of hazardous matter: Kursk Submarine Study. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2003;3: 1-42.
12. Yao R. Atmospheric dispersion of radioactive material in radiological risk assessment and emergency response. *Progress in Nuclear Science and Technology*. 2011; 1; 7-13
13. Sportisse B, Review A review of parameterizations for modelling dry deposition and scavenging of radionuclides, Research Center in Atmospheric Environment (CEREA). 77455 Champs sur Marne. France. *Journal Atmospheric Environment*. 2000; 41; 2683–98
14. Baxter M.S. Radioactivity in the environment. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2007; 10; 10-23
15. Hao H. Comparison of atmospheric dispersion factor in complex terrain. *Progress in Nuclear Science and Technology*. 2011; 1; 452-5