

## PERHITUNGAN PARAMETER DEPOSISI LEPASAN PRODUK FISI DI PERMUKAAN TANAH TAPAK PLTN

Pande Made Udiyani

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir-BATAN  
Puspipstek Gd-80, Email: pmade-u@batan.go.id

Masuk:

Direvisi:

Diterima:

### ABSTRAK

**PERHITUNGAN PARAMETER DEPOSISI LEPASAN PRODUK FISI DI PERMUKAAN TANAH TAPAK PLTN.** *Deposisi adalah satu parameter penting yang digunakan untuk kajian konsekuensi radiasi, terutama untuk menentukan aktivitas deposisi produk fisi di permukaan tanah. Aktivitas deposisi diperlukan untuk menentukan penerimaan dosis radiasi dari paparan permukaan dari groundshine dan ingestion. Tujuan penelitian adalah mengetahui parameter deposisi produk fisi dari kecelakaan AP-1000 di permukaan tanah tapak PLTN. Tapak yang disimulasikan adalah Tapak Ujung Watu, Bojonegara, dan Bangka. Selain itu untuk mendapatkan faktor-faktor yang mempengaruhi parameter deposisi. Metode perhitungan menggunakan Modul deposition Concern dari PC Cosyma, dengan input data: source term dengan skenario kecelakaan AP-1000, data meteorologi dan kontur tapak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter deposisi untuk tapak Bangka lebih besar dibandingkan tapak lainnya. Parameter deposisi dipengaruhi oleh kondisi meteorologi seperti stabilitas cuaca, kecepatan angin, dan curah hujan. Selain itu dipengaruhi juga oleh kekasaran permukaan kontur tapak, ketinggian lepasan produk fisi di atmosfer dan jarak dari reaktor. Parameter deposisi tidak dipengaruhi oleh besarnya source term, tetapi dipengaruhi oleh jenis dan sifat radionuklida produk fisi*

**Kata kunci:** *Deposisi, produk fisi, tanah, tapak, PLTN.*

### ABSTRACT

**THE CALCULATION OF DEPOSITION PARAMETER FOR FISSION PRODUCT IN SURFACE SOIL OF NPP SITE.** *Deposition parameter is one of the important parameters for the consequences of radiation. Primarily to determine the activity of fission product deposition on the ground surface. Deposition activity is needed to determine the radiation dose acceptance of surface exposure and ingestion of groundshine. The purpose of this study was to determine the parameters of the fission product deposition of AP-1000 accident in the NPP ground surface. The simulation has done at site of Ujung Watu, Bojonegara, and Bangka. This study is also to obtain the factors that affect the deposition parameters. Calculation method is to use a module deposition Concern of Pc Cosyma with input data: the source term of AP-1000 accident scenario, meteorological data and the roughnes contour of site. The results showed that the deposition parameters for the Bangka is bigger than the other site. Deposition parameters are influenced by meteorological conditions such as: the weather stability, wind speed and precipitation, also by the surface roughness of site contour, height fission product releases in the atmosphere and the distance from the reactor. Deposition parameters are not affected by the magnitude of the source term, but influenced by the type and nature of fission product radionuclides.*

**Keywords:** *Deposition, fission product, soil, site, NPP.*

## 1. PENDAHULUAN

Pengoperasian Pusat Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di Indonesia, selain dapat mengatasi kelangkaan energi, harus diperhatikan juga dampak yang mungkin timbul. Terutama jika pengoperasian PLTN mengalami gangguan sehingga terjadi kondisi abnormal. Dampak yang timbul dari kondisi abnormal adalah terjadinya lepasan produk fisi ke atmosfer dan lingkungan, yang mengakibatkan penerimaan radiasi pada masyarakat sekitar tapak. Lepasannya produk fisi di atmosfer akan menimbulkan kontaminasi di udara dan permukaan tanah. Aktivitas radiasi di udara akan mengakibatkan paparan radiasi sampai ke manusia dan lingkungan melalui paparan dari *cloudshine* dengan cara *inhalasi*, *imersi*, dan paparan langsung. Sedangkan aktivitas radiasi di permukaan tanah (deposisi atmosferik) akan mengakibatkan paparan radiasi melalui *groundshine* dan *foodstuff* yaitu lewat paparan langsung dan *ingestion* (rantai makanan). Kajian terhadap kondisi dispersi produk fisi di atmosfer selain untuk kajian dosis dan risiko radiologi, juga penting untuk tanggap darurat (*emergency response*). Penelitian tentang parameter dispersi untuk tapak di luar Indonesia maupun di Indonesia sudah dilakukan<sup>[1,2,3]</sup>. Sedangkan untuk aktivitas deposisi dan perhitungan parameter deposisi produk fisi kondisi kecelakaan AP 1000 akan dilakukan dalam penelitian ini untuk tapak di Indonesia. Dalam penelitian ini dihitung salah satu parameter dispersi yaitu parameter deposisi untuk tapak yang telah dikaji yaitu Ujung Watu di Semenanjung Muria Jepara, Bojonegara di Pesisir Serang, Bangka Barat dan Selatan di Pulau Bangka.

Aktivitas deposisi terjadi karena adanya lepasan produk fisi melalui udara ataupun kontaminasi langsung ke permukaan tanah. Radionuklida di udara terdeposisi di permukaan tanah melalui proses deposisi kering (*dry deposition*) dan deposisi basah (*wet deposition*)<sup>[4]</sup>. Deposisi kering adalah proses deposisi yang disebabkan proses gravitasi dan pengendapan partikel udara. Sedangkan deposisi basah adalah proses deposisi karena hujan dan partikel radioaktif di udara terbawa melalui air hujan jatuh ke permukaan tanah. Radionuklida di udara yang terdeposisi adalah partikel produk fisi aerosol dan *airborne* kecuali dari kelompok gas mulia (Xe dan Kr). Kelompok radionuklida yang terdeposisi antara lain adalah radionuklida dari kelompok logam alkali, logam mulia, tellurium, cerium, dan lainnya.

Metode perhitungan adalah menyiapkan input data: *source term*, data meteorologi dan kontur untuk tapak Ujung Watu, Bojonegara, dan pesisir Bangka Belitung. *Source term* dihitung dengan skenario kecelakaan LOCA (*Lost of Coolant Accident*) yaitu LOCA kecil dan LOCA besar. Juga dihitung *source term* kecelakaan parah yang diakibatkan LOCA. Data meteorologi yang disiapkan adalah kecepatan angin, stabilitas cuaca, curah hujan, dan solar radiasi. Pengamatan data meteorologi untuk tapak Ujung Watu di Semenanjung Muria Jepara, Bojonegara Serang, Bangka Barat dan Selatan Pulau Bangka, yang dilakukan untuk pengamatan satu tahun dan diukur setiap jam (8760 data). Sedangkan untuk tapak spesifik dilakukan untuk data contoh dalam waktu satu bulan. Kontur tapak dibedakan menjadi dua dari tingkat kekasaran tapak yaitu *smooth* (daerah sekitar tapak dengan kontur landai), dan tapak *rough* yaitu tapak yang disekitarnya banyak pepohonan, bukit, gunung, perumahan atau bangunan tinggi. Perhitungan menggunakan Modul *deposition Concern* dari PC Cosyma, dengan model perhitungan menggunakan variasi: perbedaan *source term*, perbedaan tapak, perbedaan kondisi meteorologi tapak (stabilitas, kecepatan angin, dan curah hujan), perbedaan kontur, dan perbedaan ketinggian lepasan. Output data: aktivitas dispersi dan aktivitas deposisi.

## 2. METODOLOGI

Perhitungan parameter deposisi atmosferik menggunakan perangkat lunak PC *Cosyma*<sup>[5]</sup> terutama untuk modul *Concern* dan *Atmos*. Perhitungan ini memerlukan input data sebagai berikut:

- Source term*, sebagai titik awal perhitungan dispersi atmosferik. Dalam penelitian ini menggunakan 3 simulasi *source term* yang timbul akibat kecelakaan PLTN yang dipostulasikan menjadi: LOCA (*Lost of Coolant Accident*) yaitu LOCA kecil atau *Small Break* LOCA dan LOCA besar atau *Large Break* LOCA<sup>[6]</sup>. Juga dihitung *source term* kecelakaan parah yang diakibatkan LOCA<sup>[7]</sup>. Inventori menggunakan sumber reaktor AP-1000<sup>[8]</sup>. LOCA kecil dipostulasikan mengakibatkan 3 % teras reaktor meleleh, LOCA besar dengan skenario 30 % teras meleleh, dan kecelakaan parah diskenarioikan 50 % teras meleleh.
- Kondisi meteorologi untuk kecepatan angin, stabilitas, solar radiasi, dan curah hujan, dalam satu tahun yang didata untuk setiap jam untuk tapak Ujung Watu<sup>[9]</sup>, Bojonegara<sup>[10]</sup>, Babel Barat dan Babel Selatan<sup>[11]</sup>. Sedangkan untuk Tapak Kalimantan digunakan data meteorologi selama 1 bulan yaitu bulan April 2013. Khusus untuk Kalimantan karena data yang tersedia hanya untuk data 1 bulan.
- Kekasaran (*Roughness*) tapak dibedakan menjadi dua yaitu *smoth* untuk tapak yang landai, yang tidak dikelilingi oleh pemukiman, bangunan tinggi, dan tumbuhan. Sedangkan tapak *rough* adalah tapak sekitar berupa bangunan tinggi, hutan, pemukiman, dan perbukitan.
- Perhitungan dilakukan untuk perbedaan input data dalam hal: *source term*, stabilitas, kecepatan angin, curah hujan, ketinggian lepasan, dan *roughness* permukaan kontur.

Kecepatan deposisi radionuklida yang digunakan dalam perangkat lunak PC *Cosyma* seperti pada Tabel 1<sup>[5]</sup>.

**Tabel 1. Kecepatan Deposisi yang Digunakan pada Perangkat Lunak PC Cosyma**

No.	Grup isotop	<i>dry deposition velocity</i>	<i>Wet-deposition velocity</i>
		[m/s]	[s-1]
1	<i>Noble gases</i>	-	-
2	<i>Iodine elementary</i>	0.01	8.0E-5×Λ0.6
3	<i>Iodine organic</i>	0.0005	8.0E-7×Λ0.6
4	<i>Aerosols</i>	0.001	8.0E-5×Λ0.8

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan postulasi kecelakaan, perhitungan *source term* yang dihitung berdasarkan asumsi dan parameter yang digunakan<sup>[6,7]</sup>, hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 2.

**Tabel 2. Karakteristik Sumber (*source term*) untuk AP-1000**

No.	Nuklida	Inventori (Bq) <sup>[11]</sup>	LOCA kecil (Bq)	LOCA besar (Bq)	Kecelakaan parah (Bq)
1.	Sr-90	2.63E+17	2.41E+08	2.01E+10	1.32E+13
2.	Y-91	4.65E+18	4.27E+09	3.56E+11	2.32E+14
3.	Ru-106	5.32E+18	1.45E+09	1.20E+11	7.88E+13
4.	Te-132	5.00E+18	4.59E+09	3.82E+11	2.50E+14
5.	I-131	3.48E+18	6.78E+08	6.88E+11	4.00E+16
6.	Cs-137	3.49E+17	3.20E+08	2.67E+10	1.74E+13
7.	Ce-144	5.72E+18	3.93E+09	3.26E+11	2.13E+14

*Source term* pada Tabel 2 digunakan untuk perhitungan dispersi dan deposisi atmosferik untuk Tapak PLTN di Indonesia. Nuklida pada Tabel 2 mewakili dari 7 kelompok nuklida atau isotop produk fisi dari inventori AP 1000 kecuali untuk nuklida kelompok gas mulia. Karena gas mulia tidak berinteraksi dengan materi, sehingga kecepatan deposisi dari nuklida ini adalah nol seperti tercantum pada Tabel 1. Nuklida yang tercantum pada Tabel 2 merupakan nuklida yang dapat mengendap di permukaan, karena proses alamiah akan terdeposisi ke permukaan tanah. Aktivitas deposisi atmosferik pada permukaan tanah akan berakibat terhadap paparan radiasi ke manusia melalui paparan langsung *groundshine*, dan melalui rantai makanan yang terkontaminasi oleh proses deposisi. Nuklida yang terdeposisi umumnya merupakan nuklida dengan umur paruh panjang, sehingga aktivitas deposisi akan menimbulkan penerimaan radiasi dalam jangka panjang (*longterm dose*).

Menggunakan *source term* pada Tabel 2, perhitungan parameter deposisi dilakukan dengan input data meteorologi untuk tapak khusus (dengan data meteorologi satu tahun). Dengan kondisi permukaan kontur yang *rough*, dan ketinggian lepasan disesuaikan dengan kondisi cuaca di Indonesia dan spesifikasi AP 1000 yaitu ketinggian lepasan 100 m. Hasil perhitungan parameter deposisi atmosferik untuk area eksklusif (radius 800 m), tercantum pada Tabel 3.

Dari Tabel 3 terlihat bahwa untuk tapak yang berbeda dan nuklida yang sama, parameter deposisi untuk daerah Bangka Belitung lebih besar dibandingkan tapak di Pulau Jawa (Ujung Watu dan Bojonegara). Kondisi tapak yang berbeda akan menimbulkan perhitungan parameter deposisi yang berbeda. Untuk tapak dan *source term* yang sama, terjadi sedikit perbedaan antara grup Iodine dan bukan grup Iodine (Cs-137, Sr-90, Ce-144, Ru-106, dan Y-91). Hal ini berkaitan dengan sifat mobilitas dan interaksi nuklida dengan permukaan tanah. Selain itu waktu paruh panjang dari nuklida juga memberikan pengaruh yang signifikan terhadap aktivitas deposisi di permukaan tanah. Iodine selain terikat dalam bentuk organik (1% sampai 30 %) sebagian besar berbentuk elemental (70 hingga 99%)<sup>[5]</sup>, sehingga proses deposisi nuklida ini menjadi tinggi. Kecepatan deposisi Iodine organik jauh lebih kecil dibandingkan dengan Iodine elemen (Tabel 1). Untuk nuklida produk fisi lainnya yang sebagian besar (hampir 100 %) berbentuk partikel elemen dari kelompok krogam. Nuklida partikel elemental logam mempunyai kecepatan deposisi yang tinggi sehingga mudah mengendap dan terdeposisi di permukaan bahan. Selain itu juga sebagian besar nuklida tersebut mempunyai umur paruh yang akan memberikan pengaruh terhadap aktivitas deposisi dari akumulasi aktivitas.

Tabel 4 memperlihatkan adanya perbedaan angka parameter deposisi untuk tapak spesifik dan non spesifik. Tapak spesifik adalah tapak yang data lingkungan dan meteorologi sudah terpenuhi kecukupannya sebagai input data. Pengambilan data yang kontinyu dalam waktu setahun memberikan gambaran yang komprehensif terhadap kondisi lingkungan tapak. Sedangkan tapak non spesifik adalah tapak dengan data meteorologi yang terbatas, dengan mengambil data stabilitas, kecepatan angin, dan curah hujan tunggal, yang merupakan rata-rata maksimum data satu bulan. Perhitungan parameter dispersi dengan kondisi ini cukup layak digunakan untuk pengukuran langsung atau *real time*, yang tidak memerlukan data yang kompleks. Jika analisis resiko dan dosis dilakukan pada saat kecelakaan terjadi, perhitungan biasanya menggunakan cara ini yaitu data *real time* pada insitu. Untuk mendapatkan data yang akurat maka perhitungan untuk *real time* dibandingkan dengan perhitungan menggunakan data spesifik.

**Tabel 3. Parameter Deposisi Lepas Produk Fisi dari AP-1000  
untuk Daerah Eksklusi Tapak Spesifik**

Nuklida	Ujung Watu, m <sup>2</sup>			Bojonegara, m <sup>2</sup>		
	LOCA kecil	LOCA besar	Kecelakaan parah	LOCA kecil	LOCA besar	Kecelakaan parah
Sr-90	1.52E-06	1.52E-07	1.52E-07	1.40E-06	1.40E-06	1.40E-06
Y-91	1.52E-07	1.52E-07	1.52E-07	1.40E-06	1.40E-06	1.40E-06
Ru-106	1.52E-07	1.52E-07	1.52E-07	1.40E-06	1.40E-06	1.40E-06
Te-132	1.42E-07	1.42E-07	1.42E-07	1.30E-06	1.30E-06	1.30E-06
I-131	1.36E-06	1.33E-06	1.33E-06	1.24E-05	1.20E-05	1.21E-05
Cs-137	1.52E-07	1.52E-07	1.52E-07	1.40E-06	1.40E-06	1.40E-06
Ce-144	1.52E-07	1.52E-07	1.52E-07	1.40E-06	1.40E-06	1.39E-06

Nuklida	Babel Barat, m <sup>2</sup>			Babel Selatan, m <sup>2</sup>		
	LOCA kecil	LOCA besar	Kecelakaan parah	LOCA kecil	LOCA besar	Kecelakaan parah
Sr-90	4.24E-05	3.66E-05	4.24E-05	3.66E-05	4.24E-05	3.66E-05
Y-91	4.22E-05	3.65E-05	4.22E-05	3.65E-05	4.22E-05	3.65E-05
Ru-106	4.22E-05	3.65E-05	4.22E-05	3.66E-05	4.22E-05	3.65E-05
Te-132	3.93E-05	3.40E-05	3.93E-05	3.40E-05	3.93E-05	3.40E-05
I-131	3.93E-05	3.49E-05	3.83E-05	3.58E-05	3.83E-05	3.49E-05
Cs-137	4.24E-05	3.66E-05	4.24E-05	3.66E-05	4.24E-05	3.66E-05
Ce-144	4.22E-05	3.65E-05	4.22E-05	3.65E-05	4.22E-05	3.65E-05

Komparasi perhitungan parameter deposisi untuk tapak spesifik dan non spesifik ditampilkan pada Tabel 4. Perhitungan data dilakukan untuk tapak Bojonegara, memperlihatkan adanya perbedaan nilai parameter antara ke dua tipe tapak. Parameter deposisi untuk non spesifik lebih menunjukkan angka yang lebih besar, walaupun masih dalam 1 orde. Perbedaan yang besar diakibatkan pengambilan data meteorologi yang sesaat, yaitu *real time* untuk tapak non spesifik dan kondisi dalam waktu setahun untuk tapak spesifik. Untuk menghindari perbedaan nilai parameter deposisi ini perlu dilakukan pengambilan data yang kontinyu dan kemudian dibuat grafik dan data rata-rata daerah non spesifik.

**Tabel 4. Parameter Deposisi Lepas Produk Fisi dari AP-1000  
untuk Daerah Eksklusi Tapak Spesifik dan Non Spesifik Daerah Bojonegara**

No.	Nuklida	Tapak Spesifik, m <sup>2</sup>	Tapak non-Spesifik, m <sup>2</sup>
1.	Sr-90	1.40E-06	3.47E-06
2.	Y-91	1.40E-06	3.46E-06
3.	Ru-106	1.41E-06	3.47E-06
4.	Te-132	1.30E-06	3.23E-06
5.	I-131	1.20E-05	2.02E-05
6.	Cs-137	1.40E-06	3.47E-06
7.	Ce-144	1.41E-06	3.47E-06

Perhitungan parameter deposisi untuk contoh tapak non spesifik diambil tapak di Kalimantan. Hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 5. Data parameter deposisi pada Tabel 5 dihitung dengan input data meteorologi yang diambil pada bulan April-Mei 2013. Distribusi besaran parameter untuk nuklida produk fisi tapak non spesifik hampir sama dengan tapak spesifik pada Tabel 3. Nilai parameter deposisi di daerah Kalimantan lebih kecil dibandingkan dengan daerah Bangka Belitung, tetapi masih dalam orde yang sama. Seperti nilai parameter pada Tabel 4, dengan waktu pengambilan data pada bulan yang sama dengan data meteorologi di Kalimantan, yang menghasilkan data parameter lebih tinggi pada tapak non spesifik.

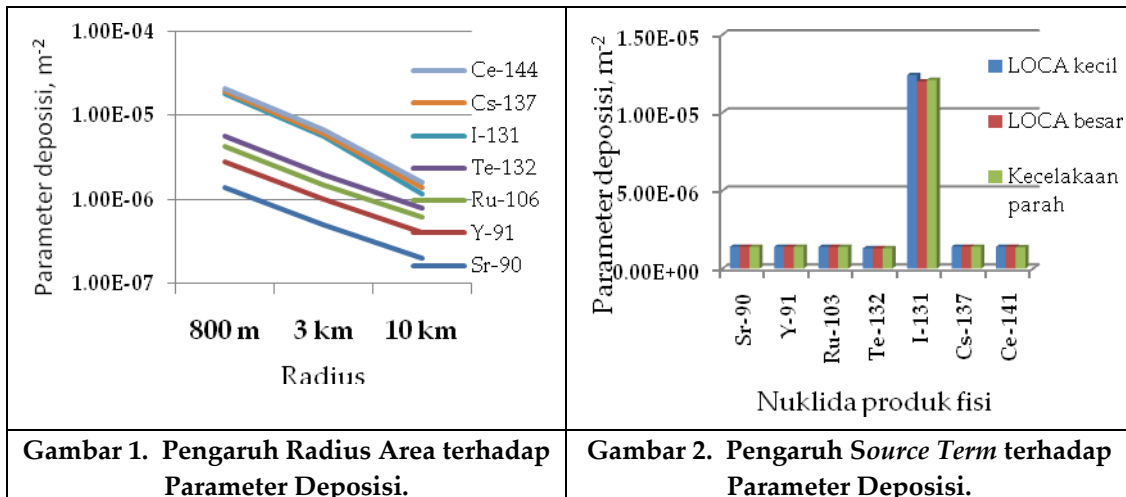
**Tabel 5. Parameter Deposisi Lepas Produk Fisi dari AP-1000 untuk Daerah Eksklusi Tapak Non Spesifik**

Nuklida	Kalimantan Barat, m <sup>-2</sup>			Kalimantan Tengah, m <sup>-2</sup>		
	LOCA kecil	LOCA besar	Kecelakaan parah	LOCA kecil	LOCA besar	Kecelakaan parah
Sr-90	1.53E-05	1.53E-05	1.53E-05	3.44E-05	3.44E-05	3.44E-05
Y-91	1.53E-05	1.53E-05	1.53E-05	3.43E-05	3.43E-05	3.43E-05
Ru-106	1.53E-05	1.53E-05	1.53E-05	3.43E-05	3.43E-05	3.43E-05
Te-132	1.43E-05	1.42E-05	1.42E-05	3.20E-05	3.20E-05	3.20E-05
I-131	1.01E-05	9.84E-06	9.86E-06	2.02E-05	1.97E-05	1.97E-05
Cs-137	1.53E-05	1.53E-05	1.53E-05	3.44E-05	3.44E-05	3.44E-05
Ce-144	1.53E-05	1.53E-05	1.53E-05	3.44E-05	3.44E-05	3.44E-05
Nuklida	Kalimantan Selatan, m <sup>-2</sup>			Kalimantan Timur, m <sup>-2</sup>		
	LOCA kecil	LOCA besar	Kecelakaan parah	LOCA kecil	LOCA besar	Kecelakaan parah
Sr-90	1.89E-05	1.89E-05	1.89E-05	2.27E-05	2.27E-05	2.27E-05
Y-91	1.88E-05	1.88E-05	1.88E-05	2.26E-05	2.26E-05	2.26E-05
Ru-106	1.88E-05	1.88E-05	1.88E-05	2.25E-05	2.25E-05	2.25E-05
Te-132	1.76E-05	1.76E-05	1.76E-05	2.11E-05	2.11E-05	2.11E-05
I-131	1.03E-05	1.01E-05	1.01E-05	1.37E-05	1.33E-05	1.33E-05
Cs-137	1.89E-05	1.89E-05	1.89E-05	2.27E-05	2.27E-05	2.27E-05
Ce-144	1.88E-05	1.88E-05	1.88E-05	2.26E-05	2.26E-05	2.26E-05

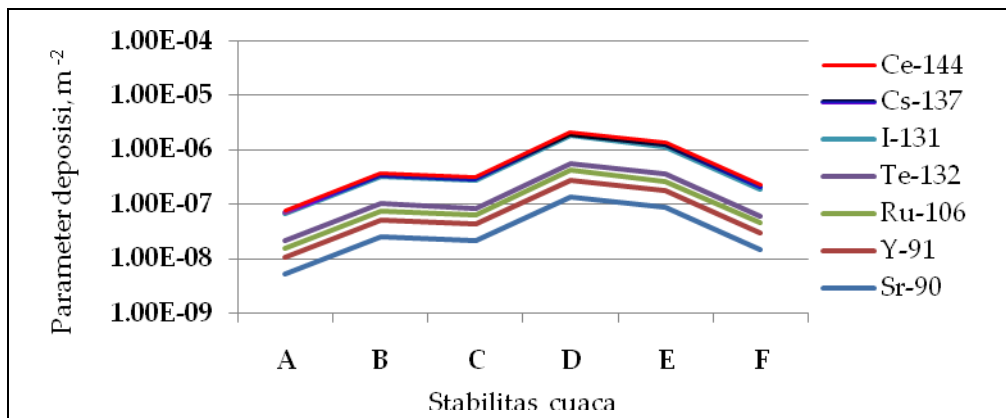
Dapat diprediksi jika menggunakan data spesifik kemungkinan bahwa data parameter dispersi di daerah Kalimantan lebih kecil dibandingkan daerah Bangka Belitung. Dengan kondisi meteorologi dalam waktu yang sama pada Tabel 5 maka parameter deposisi tertinggi di Kalimantan Tengah diikuti oleh Kalimantan Timur, Kalimantan Selatan, dan yang terendah Kalimantan Barat. Data pada Tabel 5 hanya memberikan gambaran kasar terhadap kondisi tapak di Kalimantan. Untuk mendapatkan data perhitungan yang lebih valid, maka dilakukan pengambilan data lengkap seperti pada tapak sebelumnya (Ujung Watu, Bojonegara, dan Bangka).

Untuk mengetahui pengaruh jarak radius terhadap parameter deposisi, dilakukan perhitungan dengan input data: meteorologi Tapak Bojonegara, kondisi kecelakaan LOCA besar, permukaan kontur tapak kasar (*rough*), dan ketinggian lepasan 100m. Hasil perhitungan ditunjukkan pada Gambar 1. Dari Gambar 1 terlihat untuk semua nuklida parameter deposisi menunjukkan kecenderungan menurun dengan bertambahnya jarak radius dari reaktor sebagai pusat lepasan. Aktivitas dispersi secara tidak langsung dipengaruhi oleh jarak. Jarak radius 800 m adalah zona eksklusi, radius 3 km adalah zona penduduk jarang, dan zona 20 km zona penduduk padat. Besarnya penurunan parameter deposisi bergantung nuklida yang mempunyai sifat fisika dan kimia yang berbeda.

Untuk mengetahui pengaruh *source term* terhadap parameter deposisi, dilakukan perhitungan menggunakan meteorologi Bojonegara, dengan postulasi kecelakaan LOCA kecil LOCA besar dan *source term* kecelakaan parah yang diakibatkan LOCA. Hasil perhitungan tergambar pada Gambar 2, yang menunjukkan bahwa besarnya *source term* tidak secara signifikan mempengaruhi nilai parameter deposisi. Parameter deposisi lebih dipengaruhi oleh sifat dan jenis nuklida produk fisi, yang mana untuk *source term* dan meteorologi yang sama parameter deposisi tertinggi untuk nuklida Iodine.



Pengaruh stabilitas cuaca terhadap parameter deposisi digambarkan pada Gambar 3. Data parameter deposisi pada Gambar 3 merupakan hasil perhitungan menggunakan stabilitas tunggal, dengan curah hujan yang sama. Hasil menunjukkan adanya perbedaan parameter deposisi nuklida yang sama untuk stabilitas yang berbeda. Perbedaan untuk masing masing nuklida mempunyai variasi bergantung pada jenis nuklida. Untuk nuklida yang sama parameter deposisi untuk stabilitas D mempunyai nilai tertinggi, diikuti oleh stabilitas E. Aktivitas deposisi dipengaruhi oleh aktivitas dispersi atmosferik seperti terlihat pada persamaan 2. Aktivitas dispersi dipengaruhi oleh  $\sigma_y$  koefisien dispersi horizontal dan  $\sigma_z$  koefisien dispersi vertikal.

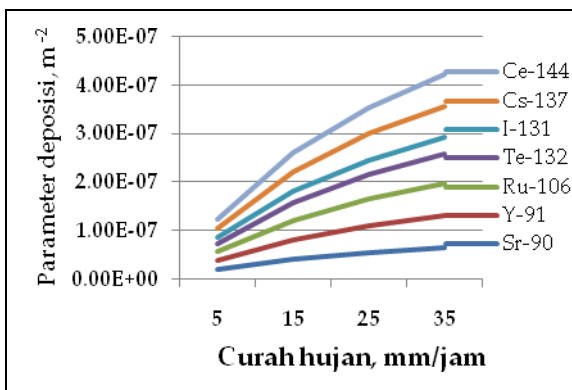


Gambar 3. Pengaruh Stabilitas Cuaca terhadap Parameter Deposisi.

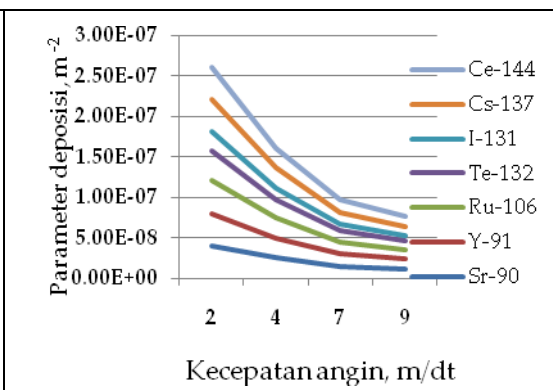
Pengaruh curah hujan terhadap parameter deposisi diperlihatkan pada Gambar 4. Curah hujan memberikan pengaruh besar terhadap aktivitas deposisi atmosferik di permukaan tanah, karena salah satu proses deposisi yaitu untuk deposisi basah adalah melalui peristiwa pencucian udara dengan air hujan yang menghanyutkan partikel radioaktif di udara dan endapan di permukaan bangunan, tanaman, dan media lain, yang kemudian terdeposisi ke permukaan tanah. Selain curah hujan, salju juga memberikan pengaruh besar terhadap proses aktivitas deposisi karena proses penghanyutan dan pengendapan. Makin tinggi curah hujan maka parameter deposisi makin besar. Data pada Gambar 4 diperoleh dari perhitungan pada Tapak Bojonegara, postulasi kecelakaan LOCA besar, dengan ketinggian lepasan 100m, kekasaran permukaan kontur *rough*, dan pada Stabilitas D. Pengambilan data curah hujan sesuai dengan kondisi di Indonesia dengan kategori: untuk curah hujan rendah adalah untuk rata-rata curah hujan 5 sampai 10 mm/jam, kategori sedang untuk curah hujan 15 sampai 25 mm/jam, sedangkan untuk kategori tinggi

adalah untuk curah hujan di atas 25 mm/jam. Peningkatan parameter deposisi untuk kenaikan curah hujan untuk masing-masing nuklida berbeda bergantung pada sifat dan bentuk partikel nuklida.

Pada Gambar 5 terlihat adanya pengaruh kecepatan angin terhadap parameter deposisi. Makin besar kecepatan angin, makin kecil parameter deposisi. Aktivitas deposisi dipengaruhi oleh kecepatan angin. Makin rendah kecepatan maka aktivitas dispersi atmosferik dan aktivitas deposisi makin tinggi. Data pada Gambar 5 diperoleh dari perhitungan parameter deposisi untuk Tapak Bojonegara, postulasi kecelakaan LOCA besar, dengan ketinggian lepasan 100m, kekasaran permukaan kontur *rough*, dan pada Stabilitas D. Penurunan nilai parameter deposisi bergantung pada jenis nuklida yang terdeposisi, penurunan paling tajam pada nuklida Ce-144 diikuti oleh nuklida Cs-137. Untuk mengetahui pengaruh ketinggian lepasan terhadap parameter deposisi dilakukan perhitungan dengan kondisi untuk Tapak Bojonegara, postulasi kecelakaan LOCA besar, dan permukaan kontur *rough*. Ketinggian lepasan dipilih 4 variasi yaitu untuk ketinggian 60m, 80 m, 100m dan 120 m.



Gambar 4. Pengaruh curah hujan terhadap parameter deposisi.



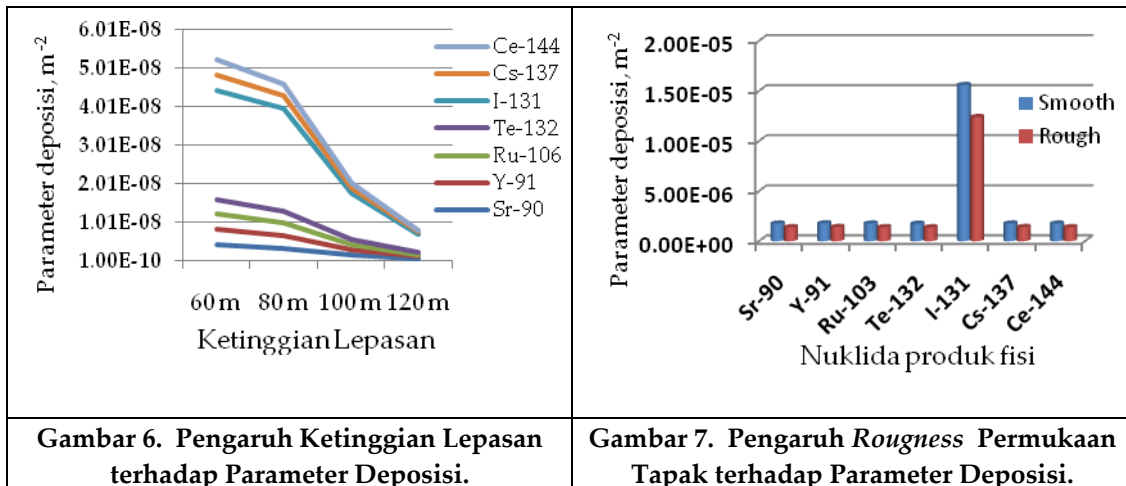
Gambar 5. Pengaruh Kecepatan Angin terhadap Parameter Deposisi.

Data hasil perhitungan ditampilkan pada Gambar 6. Dari Gambar 6 terlihat makin tinggi pusat lepasan, maka makin rendah nilai parameter deposisi. Dengan ketinggian berbeda maka gangguan terhadap proses deposisi dari partikel produk fisi di atmosfer akan berbeda. Makin tinggi lepasan maka gangguan akan makin besar, sehingga proses pengendapan dan deposisi akan makin rendah. Selain itu aktivitas deposisi atmosfer dipengaruhi oleh jarak ketinggian dari permukaan tanah, seperti ditunjukkan pada persamaan 1.

Pengaruh kekasaran (*roughness*) permukaan kontur terhadap parameter deposisi ditunjukkan pada Gambar 7. Data pada Gambar 7 diperoleh dengan melakukan perhitungan dengan input data: kondisi meteorologi Bojonegara, kondisi kecelakaan LOCA besar, dan ketinggian lepasan 100m. Kontur tapak dibedakan menjadi dua dari tingkat *roughness* tapak yaitu *smooth* tapak landai, dan tapak *rough* yaitu tapak yang di sekitarnya banyak pepohonan, bukit, gunung, pemukiman perkotaan atau bangunan tinggi.

*Roughness* tapak mempengaruhi proses deposisi atmosfer ke permukaan tanah. Kontur *smooth* akan memperlancar proses pengendapan langsung pada permukaan tanah dan proses gravitasi membantu proses deposisi. Sedangkan kontur *rough* menghalangi proses pengendapan langsung ke permukaan tanah, karena sebagian partikel akan mengendap di permukaan bangunan dan pepohonan. Hal ini diperlihatkan pada Gambar 7 yaitu parameter deposisi dengan moda perhitungan dengan input *smooth* lebih tinggi dibandingkan kondisi permukaan kasar (*rough*).





#### 4. KESIMPULAN

Perhitungan parameter deposisi lepasan produk fisi dengan postulasi kondisi abnormal pada reaktor AP 1000 untuk tapak spesifik Ujung Watu, Bojonegara, dan Bangka Belitung sudah diperoleh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter deposisi untuk tapak Pesisir Bangka Belitung lebih besar dibandingkan tapak lainnya. Parameter deposisi dipengaruhi oleh kondisi meteorologi yaitu: stabilitas cuaca, kecepatan angin, dan curah hujan. Juga dipengaruhi oleh kekasaran (*roughness*) permukaan kontur tapak, ketinggian lepasan produk fisi di atmosfer dan jarak area dari pusat lepasan. Parameter deposisi tidak dipengaruhi oleh besarnya *source term*, tetapi dipengaruhi oleh jenis dan sifat radionuklida produk fisi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. YANG, J M., GLASER, R., "Atmospheric Dispersion Analysis using MACCS2", February 3, 2004, International Congress on Advances in Nuclear Power Plants (ICAPP '04), Pittsburgh, PA, United States June 13, 2004 through June 17, 2004.
- [2]. LAGZI, I., et al., ASZPRA C, "Simulation of the dispersion of nuclear contamination using an adaptive Eulerian grid mode I", Journal of Environmental Radioactivity 75 (2004) 59– 82, [www.elsevier.com/locate/jenvrad](http://www.elsevier.com/locate/jenvrad).
- [3]. PANDE, M U., WIDODO, S., "Penentuan koefisien disperse atmosferik untuk analisis kecelakaan reaktor PWR di Indonesia", Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir, Tri Dasa Mega Nomor: 402/AU2/P2M-LIPII/04/2012, Volume 14, No. 2, Juni 2012.
- [4]. CRAWFORD, J., "Modelling Terrestrial Exposure Pathways", IAEA RCA Project on Assessment of Radiological Risks RAS/9/031, p 9-10, 2005.
- [5]. EUROPEAN COMMISSION, PC COSYMA, version 2.0. "User Guide", National Radiological Protection Board, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, 1995.
- [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]. IRSN, "Research and Development with Regard to Severe Accidents in Pressurised Water Reactors": Summary and outlook-Rapport CEA-2007/351, p.19-25, 2007.
- [8]. WESTINGHOUSE, "AP-1000 Design Overview", Westinghouse Electric Company, June 2009.
- [9]. BMKG, "Data Meteorologi Kabupaten Jepara", BMKG-Jepara, 2005.
- [10]. BMKG, "Data Meteorologi Kabupaten Serang", BMKG-Serang, 2009.
- [11]. BMKG, "Data Meteorologi Bangka Belitung", BMKG-Babel, 2012.