



KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
REPUBLIK INDONESIA

LAMPIRAN II
PERATURAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
NOMOR 7 TAHUN 2013
TENTANG
NILAI BATAS RADIOAKTIVITAS LINGKUNGAN

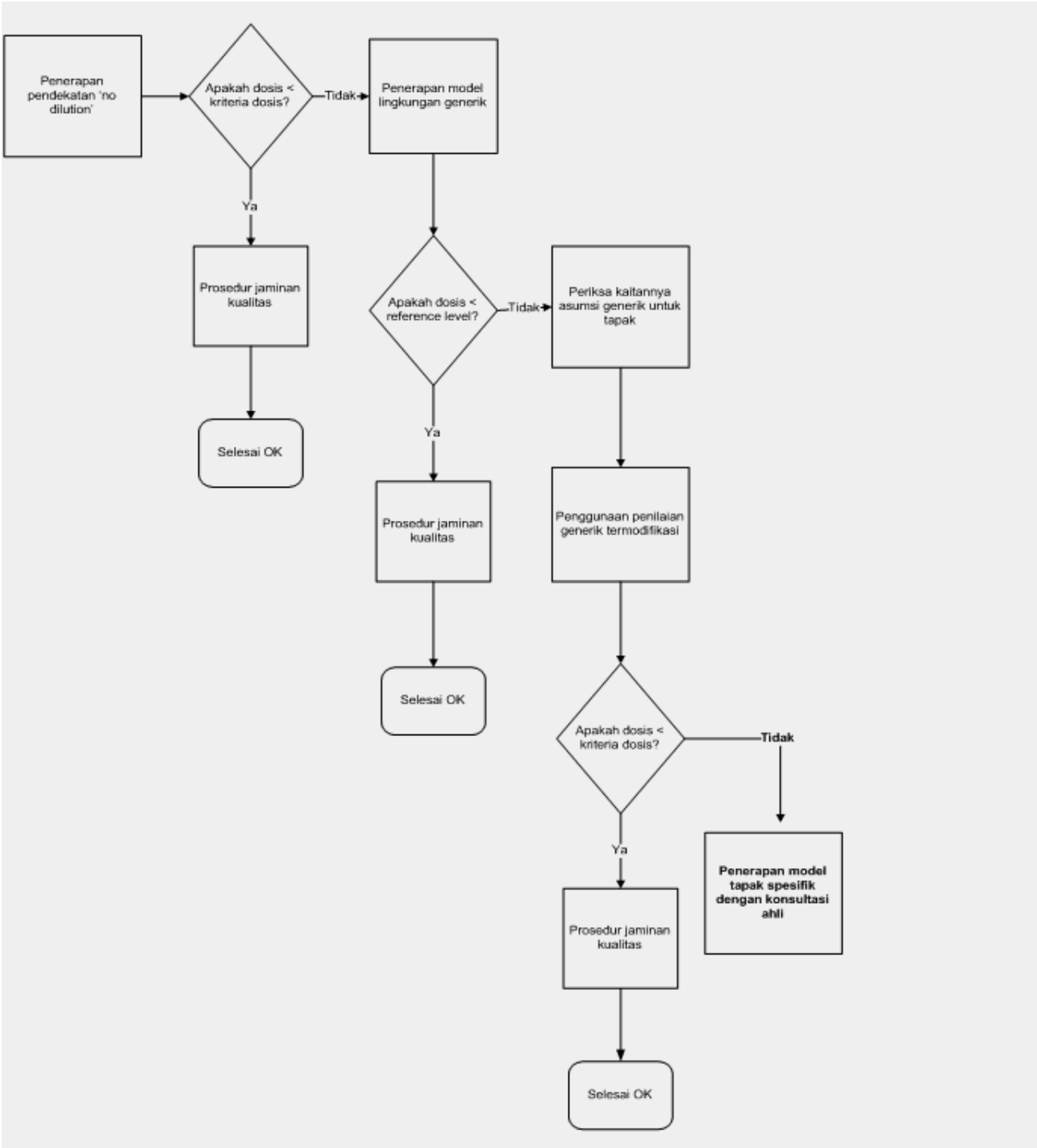
CONTOH TAHAPAN PERHITUNGAN NILAI BATAS LEPASAN RADIOAKTIVITAS
KE LINGKUNGAN SPESIFIK TAPAK

Dalam melakukan perhitungan Nilai Batas Lepas Radioaktivitas ke Lingkungan spesifik tapak dapat digunakan model pendekatan yang bisa ditentukan berdasar asumsi tertentu.

Gambar 1 menunjukkan pendekatan yang digunakan untuk pemodelan penilaian dosis yang meliputi: model *no dilution*, model generik, dan model untuk spesifik tapak.

Tahapan proses penetapan Nilai Batas Lepas Radioaktivitas ke Lingkungan spesifik tapak meliputi:

- a. penetapan nilai pembatas dosis spesifik tapak;
- b. penetapan suku sumber dan asumsi jalur Lepas dari instalasi ke masyarakat; dan
- c. perhitungan nilai batas Lepas.



Gambar 1. Pendekatan untuk pemodelan penilaian dosis

A. PENETAPAN NILAI PEMBATA Dosis SPESIFIK TAPAK

Pembatas dosis termasuk pembatas dosis untuk masyarakat merupakan salah satu penerapan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi dalam pemanfaatan tenaga nuklir. Nilai pembatas dosis spesifik tapak ditetapkan sebelum dilakukan penentuan suku sumber. Nilai pembatas dosis spesifik

tapak...

tapak diambil lebih rendah dari nilai pembatas dosis masyarakat yang diatur dalam Peraturan Kepala BAPETEN tersendiri.

B. PENETAPAN SUKU SUMBER DAN ASUMSI JALUR LEPASAN DARI INSTALASI KE MASYARAKAT

Dalam hal nilai pembatas dosis telah ditentukan, langkah penetapan suku sumber dan asumsi jalur Lepas dari instalasi ke masyarakat dapat diuraikan secara rinci yang meliputi:

1. penentuan suku sumber; dan
2. penentuan seluruh jalur Lepas yang menimbulkan paparan terhadap masyarakat sesuai dengan lingkungan tapak.

1. Penentuan Suku Sumber

Penentuan suku sumber meliputi penentuan karakteristik radionuklida yang akan dilepas termasuk penentuan parameter titik Lepas. Karakteristik radionuklida meliputi:

- a. jenis radionuklida;
- b. Radioaktivitas, yang terdiri dari:
 - 1) laju Lepas, seperti variasi, rata-rata, median, nilai maksimum dan minimum; dan
 - 2) total aktivitas tiap radionuklida.
- c. sifat kimia radionuklida yang dilepaskan; dan
- d. sifat fisik radionuklida yang dilepaskan.

Penentuan karakteristik dan aktivitas radionuklida campuran yang akan dilepas ditentukan dengan menggunakan persamaan penjumlahan rasio Lepas tahunan radionuklida terhadap nilai batas lepasannya sebagai berikut:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(\text{laju konsentrasi aktivitas})_i} \leq 1$$

Keterangan:

C_i adalah laju konsentrasi aktivitas (Bq/jam) dari radionuklida i dalam campuran radionuklida;

$(\text{laju konsentrasi aktivitas})_i$ adalah nilai konsentrasi aktivitas untuk radionuklida i per satuan waktu sebagaimana tercantum dalam Lampiran I; dan

n adalah jumlah radionuklida buatan yang terdapat dalam campuran radionuklida.

Contoh jenis radionuklida yang dihasilkan oleh reaktor daya antara lain kripton-85 (Kr-85), xenon-133 (Xe-133), argon-41 (Ar-41), uranium-235 (U-235), tritium (H-3), karbon-14 (C-14), stronsium-90 (Sr-90), cesium-137 (Cs-137) dan/atau yodium-131 (I-131).

Disamping penentuan suku sumber perlu dilakukan penentuan parameter titik Lepas yang meliputi antara lain:

- a. diameter cerobong;
- b. tinggi cerobong;
- c. debit aliran;
- d. temperatur ambien; dan
- e. temperatur titik Lepas.

Penentuan titik Lepas perlu dilakukan karena akan memengaruhi perhitungan nilai Lepas Radioaktivitas ke lingkungan. Titik Lepas dapat berupa cerobong Lepas (*stack*) untuk Lepas ke udara atau saluran pembuangan akhir untuk Lepas ke badan air.

2. Penentuan Seluruh Jalur Lepas yang Menimbulkan Paparan terhadap Masyarakat Sesuai dengan Lingkungan Tapak

Jalur Lepas ditetapkan untuk memperoleh pola sebaran ke lingkungan tapak.

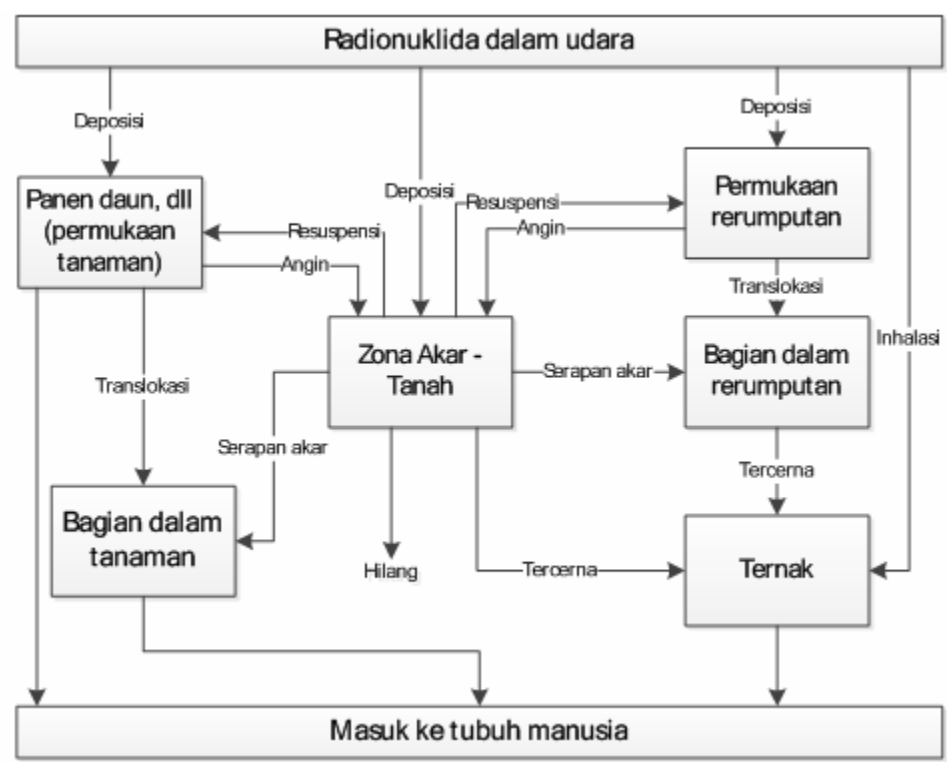
Jalur Lepas dapat mencapai manusia melalui beberapa cara, meliputi: jalur perpindahan radionuklida di udara dan jalur perpindahan radionuklida di badan air.

Untuk...

Untuk jalur perpindahan radionuklida di udara meliputi antara lain:

- a. inhalasi radionuklida dalam kepulan (*plume*);
- b. paparan eksternal radiasi gamma dari radionuklida di udara;
- c. paparan eksternal radiasi beta dari radionuklida di udara;
- d. paparan eksternal radiasi beta dari radionuklida terdeposisi;
- e. paparan eksternal radiasi gamma dari radionuklida terdeposisi;
- f. inhalasi radionuklida tersuspensi;
- g. konsumsi produk pertanian; dan
- h. konsumsi produk peternakan dan perikanan.

Jalur perpindahan radionuklida di udara diberikan pada Gambar 2.

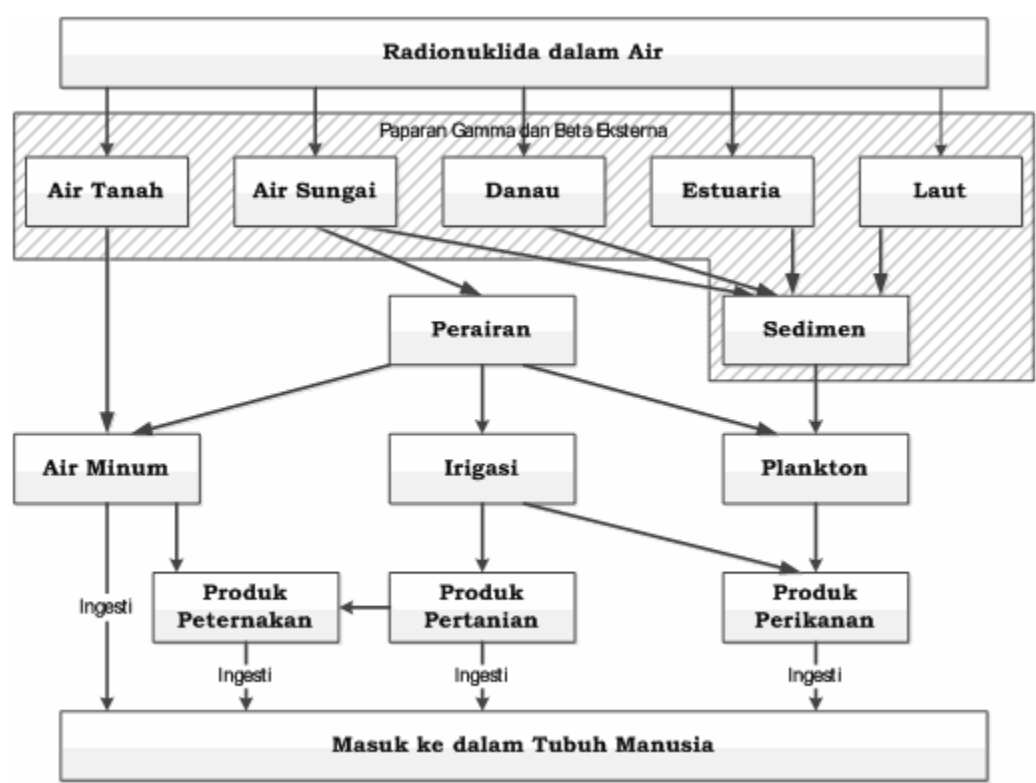


Gambar 2. Jalur perpindahan radionuklida di udara

Untuk jalur perpindahan radionuklida di badan air meliputi antara lain:

- a. konsumsi air minum;
- b. paparan eksternal radiasi gamma dari radionuklida badan air atau sedimen;
- c. paparan eksternal radiasi beta dari radionuklida badan air atau sedimen;
- d. konsumsi produk pertanian; dan
- e. konsumsi produk peternakan dan perikanan.

Jalur perpindahan radionuklida di badan air diberikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Jalur perpindahan radionuklida di badan air

Radionuklida yang lepas dari fasilitas dapat mengontaminasi sistem air tanah pada suatu wilayah secara langsung maupun tidak langsung, melalui tanah, atau air permukaan melalui cara berikut:

- a. Lepasn tidak langsung ke air tanah melalui rembesan dan infiltrasi dari air permukaan yang telah terkontaminasi Lepasn radionuklida yang dikeluarkan dari fasilitas; dan
- b. infiltrasi radionuklida cair dari tangki penampungan atau reservoir ke dalam air tanah.

Konsentrasi radionuklida dalam bahan makanan daratan (*terrestrial food*) dapat diestimasi berdasarkan laju deposisi dan pembentukan radionuklida di tanah. Bahan makanan daratan adalah bahan makanan yang merupakan hasil pertanian di darat bukan dari sungai atau laut. Penyerapan (*uptake*) dan retensi radionuklida oleh bahan makanan daratan dapat diestimasi dengan memperhitungkan deposisi langsung dari udara, irigasi penyerapan radionuklida dari tanah. Efek dari pemasukan (*intake*)

radionuklida...

radionuklida melalui ingesti tanah secara tidak sengaja oleh manusia atau hewan ternak dapat diperhitungkan secara implisit di dalam pemilihan nilai koefisien penyerapan radionuklida dari tanah ke tanaman.

Penyerapan dan retensi radionuklida oleh biota akuatik dapat diestimasi dengan menggunakan faktor bioakumulasi khusus unsur (*element specific bioaccumulation factor*) yang menggambarkan kesetimbangan antara konsentrasi radionuklida di dalam biota dan air.

Penggunaan air permukaan sebagai sumber irigasi dapat diperhitungkan dengan menggunakan konsentrasi radionuklida di air dan laju irigasi yang sesuai untuk mengestimasi laju deposisi ke permukaan tanaman ataupun lahan pertanian. Kontaminasi air permukaan dari atmosfer perlu dipertimbangkan.

Peluruhan radioaktif diperhitungkan dalam estimasi terhadap retensi zat radioaktif yang terdeposisi di permukaan tanaman dan tanah, serta dalam estimasi pengurangan zat radioaktif yang mungkin terjadi sejak panen sampai dengan dikonsumsi oleh manusia.

C. PERHITUNGAN NILAI BATAS LEPASAN

Perhitungan nilai batas Lepas dilakukan melalui:

1. Penentuan metode dan model Lepas yang digunakan;
2. Penetapan Kelompok Kritis spesifik tapak; dan
3. Pengkajian dosis Kelompok Kritis untuk menghitung Nilai Batas Lepas Radioaktivitas ke Lingkungan spesifik tapak.

1. Penentuan Metode dan Model Lepas yang Digunakan

Penentuan metode dan model Lepas menggunakan perumusan asumsi yang digunakan dalam analisis dosis yang diterima oleh anggota Kelompok Kritis akibat Lepas, yang meliputi antara lain: asumsi pendekatan perhitungan dosis, asumsi di titik Lepas dan di lingkungan

sama...

sama, laju pernapasan, pola konsumsi, dan geometri dan mekanika dari pelepasan sumber radioaktif tersebut.

Selanjutnya dilakukan proses justifikasi pertimbangan asumsi yang dapat berupa pemilihan asumsi yang realistis.

Penilaian dosis akibat Lepas ke lingkungan spesifik tapak dapat dilakukan dengan menggunakan program komputer (perangkat lunak) antara lain: PC CREAM, GENII, atau NRC Dose.

2. Penentuan Kelompok Kritis

Kelompok Kritis merupakan kelompok masyarakat yang berpotensi menerima dosis radiasi secara signifikan melebihi nilai dosis rata-rata kelompok masyarakat lain.

Secara umum, Kelompok Kritis dapat ditentukan berdasarkan laju konsumsi makanan atau kebiasaan hidup lainnya, serta lokasinya relatif dekat dengan titik Lepas atau sumber paparan/lepasan. Jumlah anggota kelompok cukup kecil biasanya berjumlah puluhan orang, walaupun dalam beberapa kasus, ukuran ini bisa lebih besar, sehingga dapat dianggap homogen dalam hal umur, pola makan, kondisi kehidupan dan lingkungan, serta aspek perilaku lainnya yang berpengaruh pada dosis yang diterima.

Dalam hal situasi tidak ditemukan Kelompok Kritis, misalnya pada lingkungan yang tidak dihuni, maka Kelompok Kritis dapat dipostulasikan. Sebagai contoh, untuk Lepas ke udara, bisa diasumsikan ada Kelompok Kritis yang berada di batas fasilitas, atau pada jarak dengan konsentrasi radionuklida di udara diperkirakan paling tinggi. Untuk Lepas di badan air, bisa diasumsikan bahwa penggunaan air dan paparan terjadi di titik Lepas. Meskipun demikian, jalur Lepas, laju konsumsi makanan, serta karakteristik lain yang diasumsikan disesuaikan dengan kondisi lingkungan yang dinilai.

Kemungkinan lain, Kelompok Kritis dapat ditetapkan berdasarkan kondisi realistis yang ada pada kondisi lingkungan yang dinilai. Sebagai contoh

perhitungan Kelompok Kritis berdasarkan pada keberadaan distribusi populasi pada saat perhitungan.

3. Pengkajian Dosis Kelompok Kritis untuk Menghitung Nilai Batas Lepas Radioaktivitas ke Lingkungan Spesifik Tapak

Setelah penetapan Kelompok Kritis, dilakukan kajian dosis Kelompok Kritis dan perhitungan Nilai Batas Lepas Radioaktivitas ke Lingkungan spesifik tapak yang meliputi:

- a. estimasi dispersi dan deposisi atmosferik untuk Lepas ke udara; dan
- b. estimasi dispersi dan dispersi akuatik untuk Lepas ke badan air.

a. Estimasi Dispersi dan Deposisi Atmosferik untuk Lepas ke Udara

Lepas ke udara menyebabkan paparan terhadap manusia setelah melewati sejumlah jalur Lepas.

Radionuklida yang lepas ke udara dapat memberikan paparan kepada manusia melalui dua jalur utama, yaitu eksternal dan internal (melalui inhalasi).

Pada saat gas radioaktif atau aerosol tercampur di udara maka gas atau aerosol akan tersebar sesuai dengan sifat fisiknya dan sifat fisik atmosfer terkait. Bahan polutan biasanya masuk atmosfer dengan kecepatan dan temperatur yang berbeda dengan atmosfer sekitarnya. Kondisi ini diperhitungkan dalam pemilihan model perhitungan transport yang digunakan. Radionuklida dalam kepulan (*plume*) akan mengalami penipisan secara berangsur-angsur akibat deposisi dan peluruhan.

Efluen, yang mengalami perpindahan dan difusi dapat mengalami proses sebagai berikut :

- a. proses peluruhan dan *buildup*;
- b. deposisi basah;
- c. deposisi kering;
- e. formasi aerosol; dan
- f. resuspensi material terdeposisi di permukaan.

Peluruhan radioaktif akan mengurangi jumlah aktivitas yang tinggal di kepulan (*plume*) dan menyebabkan radionuklida turunannya bertambah selama proses perpindahan.

Deposisi basah akan mengurangi radionuklida dalam kepulan (*plume*) karena adanya hujan. Sehingga jumlah total Lepasannya yang masih tinggal dalam kepulan (*plume*), Q , pada waktu t adalah:

$$Q = Q_0 e^{-\lambda t}$$

dengan:

Q_0 adalah jumlah awal Lepasannya, dan

λ adalah konstanta peluruhan.

Radionuklida juga dapat keluar dari kepulan (*plume*) melalui impaksi dengan permukaan tanah atau adanya penghalang seperti tumbuhan yang terjadi baik pada cuaca kering maupun basah. Laju deposisi dan konsekuensi penipisan dari kepulan (*plume*) dihitung menggunakan kecepatan deposisi, yang didefinisikan sebagai rasio laju deposisi per satuan luas terhadap konsentrasi udara per satuan volume pada permukaan. Radionuklida tersebut selanjutnya akan memberikan paparan kepada manusia.

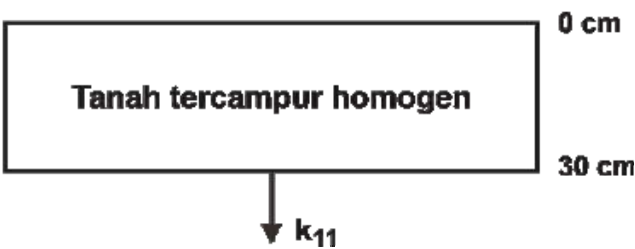
Salah satu konsekuensi Lepasannya radionuklida melalui atmosfer adalah waktu tinggal radionuklida dalam tanah (akibat deposisi ke tanah) dalam waktu yang lama dan berpotensi memberikan paparan kepada manusia. Besar paparan tergantung pada spektrum emisi gamma dari radionuklida, migrasi radionuklida ke dalam tanah dan laju peluruhannya.

Laju migrasi radionuklida ke dalam tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor. Terdapat dua model perhitungan yang dapat digunakan, yaitu:

- a. campuran tanah homogen (*well mix soil*); dan
- b. lapisan tanah tak tercampur (*undisturbed soil*).

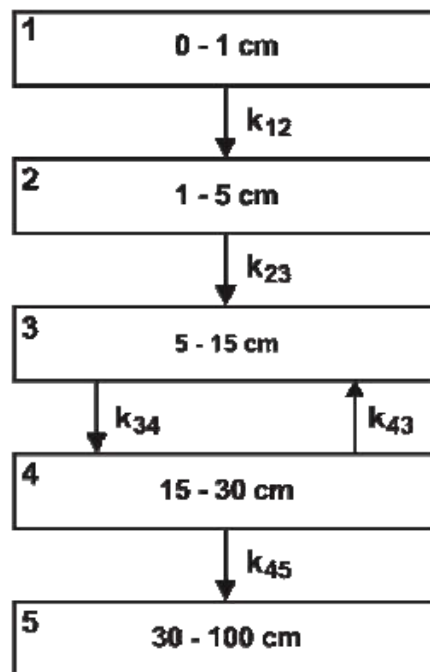
Model campuran tanah homogen (*well mix soil*) yang ditunjukkan pada Gambar 4, menggambarkan tanah yang selalu diolah (untuk pertanian) minimal satu kali dalam satu tahun.

Radionuklida dianggap terdistribusi seragam pada lapisan atas sampai kedalaman 30 cm. Selama dalam pengolahan tanah, dianggap tidak ada migrasi radionuklida. Hilangnya radionuklida pada kedalaman 30 cm terjadi oleh karena terjadinya penetrasi, yaitu proses difusi dan perpindahan. Laju hilangnya radionuklida pada lapisan di atas 30 cm, diasumsikan mempunyai waktu paruh 100 tahun untuk seluruh radionuklida.



Gambar 4. Model campuran tanah homogen (*Well mixed soil*)

Model lapisan tanah tak tercampur (*undisturbed soil*) pada Gambar 5, menggambarkan terjadinya migrasi dalam 5 lapisan tanah, dengan kedalaman masing-masing 0-1 cm, 1-5 cm, 5-15 cm, 15-30 cm dan di bawah 30 cm. Untuk setiap lapisan dianggap tercampur sempurna/seragam. Koefisien perpindahan radionuklida untuk lapisan terdalam diasumsikan mempunyai waktu paruh 50 tahun.



Gambar 5. Model lapisan tanah tak tercampur (*undisturbed soil*)

Komposisi tanah generik adalah tanah basah dan tanah kering. Fraksi tanah selalu mengandung komponen organik (karbon) dan anorganik/mineral.

Dosis efektif dievaluasi menggunakan perhitungan paparan di udara pada jarak 1 (satu) meter di atas permukaan tanah.

Radionuklida yang terdeposisi dapat kembali lagi ke udara melalui proses resuspensi yang disebabkan oleh angin atau manusia, yang selanjutnya dapat masuk ke manusia melalui inhalasi. Peluruhan radioaktif dari radionuklida terdeposisi akan menyebabkan paparan eksternal.

Deposisi ke tanaman dan permukaan tanah juga dapat menyebabkan perpindahan radionuklida ke bahan makanan, yang selanjutnya dikonsumsi sehingga dapat menyebabkan paparan internal.

Jarak tempuh radionuklida yang melintas di udara tergantung pada beberapa faktor, antara lain: umur paruh, bentuk fisik-kimia, kondisi cuaca dan proses deposisi.

Untuk mengevaluasi dispersi dan deposisi dari aktivitas yang dilepaskan ke atmosfer secara kontinyu pada laju konstan dari suatu sumber Lepasannya setiap radionuklida sebagai fungsi jarak dan arah dari lokasi Lepasannya, diperlukan informasi berikut:

- a. konsentrasi aktivitas dalam udara (Bq/m^3);
- b. laju deposisi ($\text{Bq}/\text{m}^2 \cdot \text{detik}$); dan
- c. dosis efektif dari paparan eksternal radiasi gamma di udara (Sv/tahun).

Konsentrasi aktivitas rerata tahunan di udara, C_a , pada suatu titik dengan koordinat polar tertentu adalah sebagai berikut:

$$C_a(x, \theta) = N \sum_c C(c, x) f_{ic}$$

$C(c, x)$ adalah konsentrasi aktivitas di udara pada kategori stabilitas c pada jarak x dan arah θ ,

f_{ic} adalah fraksi waktu angin bertiup ke arah sektor i kategori c .

Secara umum untuk menghitung nilai batas Lepasannya Radioaktivitas ke udara, diperlukan data masukan spesifik tapak, antara lain:

- a. Data Meteorologi

Data meteorologi merupakan data statistik jangka panjang yang mencakup frekuensi arah angin untuk setiap kategori stabilitas atmosfer.

- b. Data Lepasannya

Untuk perhitungan dosis individu, dapat dibuat titik Lepasannya untuk setiap daerah yang diamati sesuai cakrawala angin. Setiap titik Lepasannya memiliki data Lepasannya masing-masing, antara lain:

- (1) radionuklida; dan
- (2) laju Lepasannya dalam Bq/tahun untuk setiap radionuklida;

Nilai ini dihitung untuk setiap radionuklida yang terlepas dan anak luru pertamanya yang relevan. Model yang dapat digunakan adalah

model kepulan Gaussian semi empiris (*semi-empirical Gaussian plume model*).

Model ini dapat diperluas untuk menghitung konsentrasi aktivitas rerata tahunan di udara untuk setiap sektor dalam sistem cakra angin *uniform*.

Untuk perhitungan dosis kolektif, semua Lepas diasumsikan berasal dari satu titik Lepas dalam tapak. Oleh karena itu diperlukan data Lepas yang terpisah yang mengkombinasikan Lepas untuk satu tapak, termasuk radionuklida yang penting untuk perhitungan dosis kolektif.

c. Data Populasi dan Produk Pertanian (*Grid Polar*)

Perhitungan dosis kolektif menggunakan daftar jalur perpindahan radionuklida tetap (*fixed*). Data untuk perhitungan dosis kolektif adalah sebagai berikut:

- (1) distribusi populasi;
- (2) produk pertanian; dan
- (3) produk peternakan dan perikanan.

Dosis efektif dievaluasi untuk paparan radiasi gamma dari radionuklida di udara. Perhitungan dibuat dalam dua tahap, evaluasi dosis ekivalen di udara dan konversinya ke dosis efektif.

b. Estimasi Dispersi dan Deposisi Akuatik untuk Lepas ke Badan Air

1. Lepas ke Danau, Laut, dan Samudera

Radionuklida cair akan terlepas ke lingkungan laut baik secara langsung pada tapak di tepi laut maupun melalui sungai. Dispersi radionuklida yang terlepas ke lingkungan laut pada awalnya ditentukan oleh kondisi lokal lingkungan, seperti arus laut dan sedimentasi.

Selanjutnya...

Selanjutnya, dispersi akan dipengaruhi oleh gerakan air dan sedimentasi dalam skala yang lebih luas. Terdapat beberapa jalur perpindahan radionuklida ke manusia, antara lain ingesti bahan makanan dari laut, paparan eksterna dari radionuklida di pantai dan inhalasi radionuklida akibat uap air laut (*seaspray*).

Untuk menghitung besarnya dosis yang diterima oleh manusia yang berasal dari Lepas radionuklida cair diperlukan informasi antara lain:

- a) konfigurasi pantai dan dasar lautnya;
- b) kecepatan, temperatur, dan arah arus laut dekat pantai;
- c) lama stagnasi dan karakteristik arus balik;
- d) stratifikasi termal lapisan air;
- e) berat bahan yang ditopang, laju sedimentasi, dan koefisien distribusi sedimen;
- f) Radioaktivitas latar;
- g) siklus musiman plankton dan zooplankton;
- h) siklus musiman plankton dan zooplankton; dan
- i) konsentrasi aktivitas di udara akibat uap air laut (*seaspray*).

Untuk menentukan dosis efektif seluruh jalur perpindahan radionuklida dan radionuklida yang dipilih, maka data konsentrasi aktivitas perlu dikombinasikan dengan koefisien dosis dan laju dosis eksterna.

2. Lepas ke Sungai

Dispersi Lepas radionuklida cair ke badan sungai ditentukan oleh 2 (dua) faktor utama, yaitu perilaku hidrologi sungai dan interaksi antara radionuklida dengan sedimen akuatik.

Ada beberapa jalur perpindahan radionuklida yang menyebabkan paparan kepada manusia, yaitu: paparan radiasi eksterna dari aktivitas dalam material tepi sungai dan ingesti dari ikan/hasil sungai serta ingesti dari air sungai tersebut.

Untuk...

Untuk menghitung besarnya dosis yang diterima oleh manusia diperlukan informasi antara lain:

- a. geometri kanal, lebar rata-rata, penampang lintang rata-rata, dan kemiringan rata-rata sungai;
- b. laju alir sungai disajikan sebagai rata-rata bulanan dari kebalikan (inverse) aliran harian;
- c. nilai ekstrim laju alir;
- d. variasi terhadap waktu dari level air sampai rentang yang diperlukan;
- e. variasi pasang-surut permukaan air dan laju alir pasang surut air sungai;
- f. data untuk mendeskripsikan kemungkinan interaksi antara air sungai dengan air tanah dan penentuan rentang dari kanal;
- g. temperatur sungai yang diukur pada beberapa bagian sungai yang representatif;
- h. ketebalan lapisan atas (*top layer*) jika terdapat stratifikasi termal;
- i. konsentrasi material pada hilir tapak; dan
- j. data lainnya yang diperlukan untuk analisis penerimaan dosis melalui media air sungai seperti nilai Radioaktivitas latar air, sedimen dan makanan air, dan lain-lain.

3. Lepasn ke Estuaria

Untuk menghitung besarnya dosis yang diterima oleh manusia yang berasal dari Lepasn radionuklida cair diperlukan informasi antara lain:

- a. evaluasi perpindahan sedimen;
- b. karakteristik kanal;
- c. koefisien distribusi sedimen;
- d. radioaktivitas latar;
- e. siklus musiman plankton dan zooplankton; dan
- f. Lepasn dan siklus pemberian makan spesies ikan utama.

Pengukuran temperatur air, dan parameter lain di estuaria dilakukan pada berbagai kondisi dengan mempertimbangkan kedalaman, jarak, waktu, pasang-surut, dan konfigurasi perairan pada musim yang berbeda.

4. Lepasn ke Waduk Buatan Manusia

Untuk menghitung besarnya dosis yang diterima oleh manusia yang berasal dari Lepasn radionuklida cair diperlukan informasi antara lain:

- a. konfigurasi waduk serta geometri, yang mencakup panjang, lebar, dan kedalaman pada lokasi yang berbeda;
- b. kecepatan arus air masuk dan keluar;
- c. fluktuasi ketinggian air;
- d. kualitas air masuk;
- e. stratifikasi termal lapisan air dan variasi musiman dari perairan yang relevan;
- f. interaksi dengan air tanah;
- g. karakteristik endapan di dasar sedimen;
- h. distribusi sedimen;
- i. laju deposisi sedimen;
- j. Radioaktivitas latar;
- k. siklus musiman plankton dan zooplankton; dan
- l. Lepasn dan siklus pemberian makan spesies ikan utama.

5. Lepasn ke Air Permukaan

Terdapat beberapa model untuk menghitung dispersi pada air permukaan yang terbagi 3 (tiga) kelompok dasar, yaitu:

- a. model perhitungan lanjut: mentransformasi persamaan dasar penyebaran radionuklida ke bentuk perhitungan diferensial hingga atau elemen hingga dan kemudian memecahkannya;
- b. model *box*: keseluruhan perairan diasumsikan sebagai satu kompartemen yang serba sama (*homogeneous*) dan diwakili dengan parameter yang representatif. Sebagian besar model

tentang interaksi radionuklida dengan sedimen dikelompokkan dalam model ini; dan

- c. model dengan banyak penyederhanaan pada geometri perairan dan koefisien penyebaran. Model ini paling sering digunakan untuk analisis hidrologi permukaan.

Metoda Monte Carlo dapat juga digunakan untuk pemodelan geometri perairan dan simulasi partikel.

Pemilihan model didasarkan atas jenis Lepas, jenis perairan, dan pemanfaatan air yang terkait. Hal ini juga terkait dengan faktor nilai suku sumber, dan tingkat akurasi yang diperlukan. Selanjutnya hasil model perhitungan dibandingkan dengan data laboratorium atau data lapangan untuk suatu tapak spesifik.

6. Lepas ke Air Tanah

Untuk menghitung besarnya dosis yang diterima oleh manusia yang berasal dari Lepas radionuklida cair dari air tanah diperlukan informasi antara lain:

- a. perkiraan konsentrasi zat radioaktif dalam air tanah pada titik terdekat dalam wilayah dimana air tanah digunakan untuk konsumsi manusia;
- b. jalur perpindahan dan waktu perjalanan zat radioaktif untuk mencapai sumber konsumsi dari titik pelepasan zat radioaktif;
- c. kapasitas perpindahan dari aliran permukaan, aliran antara, dan pengisian ulang air tanah; dan
- d. kerentanan (*susceptibility*) terhadap kontaminasi dari akuifer (*aquifers*) pada tingkat yang berbeda.

KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR,
ttd.

AS NATIO LASMAN