

Persamaan Peluruhan Radionuklida

Sulistyani, M.Si.
Email: sulistyani@uny.ac.id

Laju Peluruhan Radionuklida

Laju peluruhan radionuklida per satuan waktu berbanding lurus dengan jumlah radioaktif yang ada pada waktu itu.

$$-dN/dt \approx \lambda N$$

$$-dN/dt = \lambda N$$

$$dN/N = -\lambda dt \text{ (jika diintegrasikan)}$$

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$$\ln(N_t/N_0) = -\lambda t$$

Persamaan tersebut dapat pula dinyatakan dengan logaritma, sehingga diperoleh:

$$\log \frac{N_t}{N_0} = -0,4343 \lambda t$$

Cacah atom suatu radionuklida bukanlah besaran yang dapat langsung diukur. Besaran yang langsung dapat diukur adalah aktivitas

Keaktifan Zat Radioaktif

- Keaktifan suatu zat radioaktif adalah jumlah peluruhan (disintegrasi) per satuan waktu.
- Satuan keaktifan suatu zat radioaktif adalah Curie (Ci), semula didasarkan pada laju disintegrasi 1 gram radium, tetapi sekarang didefinisikan sebagai $3,7 \times 10^{10}$ disintegrasi s^{-1} .
- Satuan keaktifan dalam SI adalah becquerel (Bq) yang didefinisikan sebagai 1 disintegrasi s^{-1} .
 $1 \text{ Bq} = 1 \text{ disintegrasi/s}$
- Keaktifan jenis adalah keaktifan per gram cuplikan zat radioaktif.

Satuan Keradioaktifan

- ① 1 Ci = jumlah zat radioaktif yang dapat menghasilkan $3,7 \cdot 10^{10}$ dps
- ① 1 dps = 1 Bq

Aktivitas

Aktivitas pada saat t biasanya dinyatakan dengan A_t dan tidak lain merupakan laju peluruhan.

laju peluruhan = keaktifan (A)

$$A = -dN/dt \rightarrow A = \lambda N$$

$$\ln (A_t/A_0) = -\lambda t$$

$$\text{Log} (A_t/A_0) = -0,4343 \lambda t$$

Waktu Paruh dan Penentuannya

Waktu paruh suatu radionuklida : waktu yang diperlukan untuk mengurangi aktivitasnya menjadi separuh dari aktivitasnya semula.

Dapat pula berarti waktu yang diperlukan untuk mengurangi jumlah radionuklida menjadi separuh dari jumlah radionuklida semula.

Penentuan Waktu Paruh

$$\ln \frac{\frac{1}{2}A_0}{A_0} = -\lambda t_{1/2}$$



$$t_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda}$$

Beberapa radionuklida mempunyai waktu paruh puluhan tahun bahkan jutaan tahun. Oleh karena itu, pengukuran $t_{1/2}$ dilakukan dengan mengukur aktivitas radionuklida pada setiap selang waktu tertentu sebanyak n kali pengukuran.

1. Cara Aritmatika

Tetapan peluruhan radionuklida adalah rata-rata dari tetapan peluruhan setiap selang waktu pengukuran aktivitas.

$$\lambda = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots + \lambda_n}{n}$$

2. Cara Grafik

- ❑ Dengan mengalurkan $\ln A_t$ vs t , yang akan berupa garis lurus dengan kemiringan atau slope = $-\lambda$.
- ❑ Dengan mengalurkan $\log A_t$ vs t yang akan berupa garis lurus dengan kemiringan (slope) = $-0,4343 \lambda$.
- ❑ Bila suatu sampel terdiri dari campuran radionuklida yang meluruh secara sendiri-sendiri, dan peluruhan radionuklida yang satu tidak memengaruhi yang lain (contoh $^{32}\text{P}_{15}$ dan $^{24}\text{Na}_{11}$), maka aktivitas total:
$$A = A_1 + A_2 + A_3 + \dots = \lambda_1 N_1 + \lambda_2 N_2 + \lambda_3 N_3 + \dots$$
- ✓ Bila kedua radionuklida mempunyai perbedaan $t_{1/2}$ yang sangat besar, maka kurvanya berbentuk konkav yang mengarah ke atas.
- ❑ Kalau tetapan peluruhan λ merupakan kemungkinan meluruh per satuan waktu, maka $1/\lambda$ dapat diartikan sebagai umur rerata (average life) = τ .
- ✓ umur rerata lebih besar daripada waktu paruh dengan faktor $1/0,693$

Hubungan Aktivitas dengan Berat Radionuklida

- ❑ Aktivitas suatu radionuklida dapat diukur dengan alat pencacah radiasi inti.
- ❑ Pada pengukuran aktivitas radionuklida, harus diperhatikan efisiensi detektor (η) dan adanya cacah latar, sehingga cacah sebenarnya dari radionuklida dapat diketahui.
- ❑ Pada pemakaian nuklida dengan emban (nuklida stabil), konsentrasi radionuklida di dalam suatu unsur atau senyawa dinyatakan sebagai aktivitas spesifik (aktivitas jenis), yaitu aktivitas per satuan massa⁴.
- ❑ Antara aktivitas dengan berat radionuklida terdapat hubungan:

$$A = \lambda \times N$$

$$A = (0.693/t_{1/2}) \times (W/A) \times 6,023.10^{23}$$

Keterangan:

W = berat radionuklida dalam gram, yg aktivitasnya 1 Ci

$t_{1/2}$ = waktu paruh radionuklida (dalam sekon)

A = bilangan massa radionuklida

Jenis-Jenis Peluruhan

Peluruhan bercabang

Bila terjadi peluruhan dengan mengemisikan dua partikel yang berbeda.

Peluruhan berkelanjutan

Bila terjadi peluruhan yang menghasilkan nuklida anak yang juga radioaktif

Kesetimbangan sekuler

Bila $t_{1/2}$ radionuklida induk jauh lebih besar daripada $t_{1/2}$ radionuklida anak pada peluruhan berkelanjutan

Kesetimbangan fana (transient equilibrium)

Bila $t_{1/2}$ radionuklida induk lebih besar dari $t_{1/2}$ radionuklida anak dengan suatu faktor yang kecil, sekitar 10, atau λ_2 tidak begitu besar daripada λ_1 .

Tidak Tercapai Kesetimbangan

Bila $t_{1/2}$ radionuklida induk lebih pendek daripada anak, $\lambda_1 > \lambda_2$

Peluruhan Berkelanjutan



Laju pemb. radionuklida B netto = laju peluruhan induk – laju peluruhan anak

$$dN_2/dt = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2$$

$$N_1 = N_1^0 e^{-\lambda_1 t}$$

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_2^0 e^{-\lambda_2 t}$$

Pada saat $t=0$, maka $N_2=0$, persamaan menjadi:

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

Kesetimbangan Sekuler

Bila waktu paruh radionuklida induk jauh lebih besar daripada waktu paruh radionuklida anak atau $\lambda_2 \gg \lambda_1$

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} N_1^0 (e^{-\lambda_1 t}) \longrightarrow \frac{N_1}{N_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \longrightarrow \frac{N_1}{N_2} = \frac{t_{1/2(1)}}{t_{1/2(2)}}$$

Kesetimbangan sekuler tercapai ketika aktivitas anak = aktivitas induk

Atau

ratio jumlah atom induk terhadap anak = ratio waktu paruh induk terhadap waktu paruh anak

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{t_{1/2(1)} A_1}{t_{1/2(2)} A_2}$$

Kesetimbangan Fana

Bila waktu paruh radionuklida induk sedikit lebih besar daripada waktu paruh radionuklida anak atau $\lambda_2 > \lambda_1$ dengan faktor yang kecil sekitar 10.

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

Setelah t menjadi cukup besar, $e^{-\lambda_2 t}$ Diabaikan, akhirnya diperoleh:

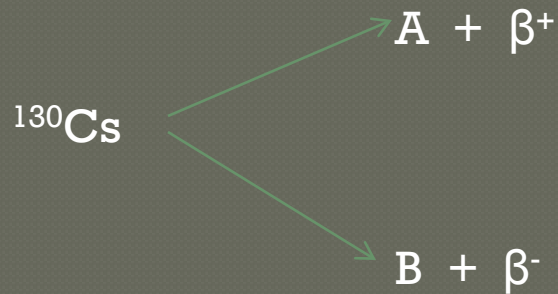
$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1}$$

Waktu paruh induk dalam kesetimbangan fana jauh lebih pendek daripada dalam kesetimbangan sekuler.

Saat nuklida anak meluruh dengan waktu paruh induk, tetapi aktivitas anak lebih besar daripada induk, maka kesetimbangan fana terjadi.

Peluruhan Bercabang

Terjadi pada radionuklida yang meluruh dengan lebih dari satu cara



$$\lambda_{\text{total}} = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n$$

Latihan

1. Waktu paruh peluruhan unsur radioaktif Bi-210 adalah 5,0 hari. Hitung:

a. tetapan peluruhan (dalam s^{-1}),

b. waktu yang diperlukan agar 0,016 mg Bi-210 meluruh menjadi 0,001 mg!

2. Hitung berapa persen cuplikan Co-60 yang tinggal setelah 3 tahun, jika diketahui waktu paruh Co-60 5,26 tahun!