



LABORATORIUM KIMIA FISIKA
Departemen Kimia - FMIPA
Universitas Gadjah Mada (UGM)

RADIOKIMIA

Kinetika dan waktu paro peluruhan

Drs. Iqmal Tahir, M.Si.

Laboratorium Kimia Fisika, Departemen Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 55281

Tel : 087 838 565 047; Fax : 0274-545188

Email :

iqmal@ugm.ac.id

atau

iqmal.tahir@yahoo.com

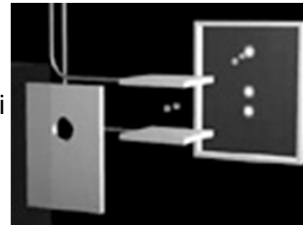
Website :

<http://iqmal.staff.ugm.ac.id>
<http://iqmaltahir.wordpress.com>

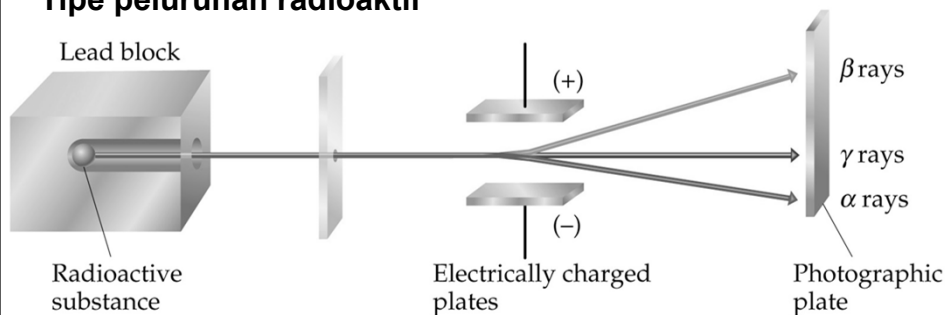
Unsur radioaktif

Unsur radioaktif (isotop) :

Unsur yang secara alamiah menjalani transformasi secara spontan dari satu atom ke atom yang lain dengan melepaskan radiasi radioaktif dan melibatkan perubahan partikel sub atomik



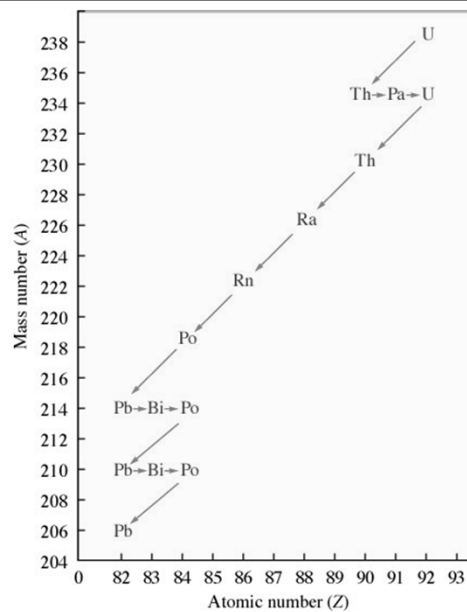
Tipe peluruhan radioaktif



LABORATORIUM KIMIA FISIKA
Departemen Kimia - FMIPA, UGM

Contoh peluruhan

Peluruhan uranium



LABORATORIUM KIMIA FISIKA
Departemen Kimia – FMIPA, UGM

Kinetika reaksi inti dan waktu paruh

- Kebolehjadian suatu nuklida untuk meluruh tidak tergantung lingkungan (suhu, tekanan, keasaman, dll).
- Tetapi, bergantung pada jenis dan jumlah nuklida.
- Kecepatan peluruhan berbanding lurus dengan jumlah radionuklida, yang dinyatakan dengan:

$$-dN/dt \approx N;$$
 dengan
 N=jumlah radionuklida,
 t=waktu

Contoh isotop

Isotop alam dan isotop sintetik

TABLE 21.4 The Half-lives and Type of Decay for Several Radioisotopes

	Isotope	Half-life (yr)	Type of Decay
Natural radioisotopes	$^{238}_{92}\text{U}$	$4.5 \cdot 10^9$	Alpha
	$^{235}_{92}\text{U}$	$7.0 \cdot 10^8$	Alpha
	$^{232}_{90}\text{Th}$	$1.4 \cdot 10^{10}$	Alpha
	$^{40}_{19}\text{K}$	$1.3 \cdot 10^9$	Beta
	$^{14}_6\text{C}$	5715	Beta
Synthetic radioisotopes	$^{239}_{94}\text{Pu}$	24,000	Alpha
	$^{137}_{55}\text{Cs}$	30	Beta
	$^{90}_{38}\text{Sr}$	28.8	Beta
	$^{131}_{53}\text{I}$	0.022	Beta

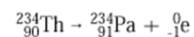
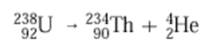


LABORATORIUM KIMIA FISIKA
Departemen Kimia – FMIPA, UGM

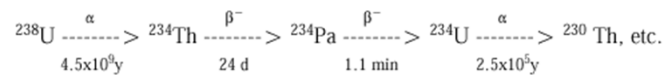
REAKSI PELURUHAN RADIOAKTIF

Kasus peluruhan uranium :

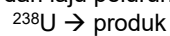
Reaksi peluruhan berantai



Penulisan diringkas :



Ditinjau dari laju peluruhan:



Kinetika reaksi order satu :

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N$$

Dengan λ = konstanta peluruhan



LABORATORIUM KIMIA FISIKA
Departemen Kimia – FMIPA, UGM

Penyelesaian persamaan kinetika

Jumlah nuklida radioaktif yang meluruh selalu berkurang dengan perubahan waktu, oleh karena itu dN selalu negatif :

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

Dengan N_0 adalah jumlah nuklida radioaktif pada $t = 0$.

Aktivitas (A) dari suatu sampel radioaktif didefinisikan sebagai jumlah disintegrasi yang terjadi per detik :

$$A \equiv -\frac{dN}{dt} \quad \text{sehingga} \quad A = \lambda \cdot N$$



LABORATORIUM KIMIA FISIKA
Departemen Kimia – FMIPA, UGM

Waktu paro ($t_{1/2}$)

Definisi :

Waktu yang diperlukan agar jumlah atom-atom radioaktif di dalam sampel menjadi setengahnya.

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

Secara praktis, waktu paro adalah ukuran radioaktivitas dari suatu sampel.

Hubungan antara N dan waktu paro :

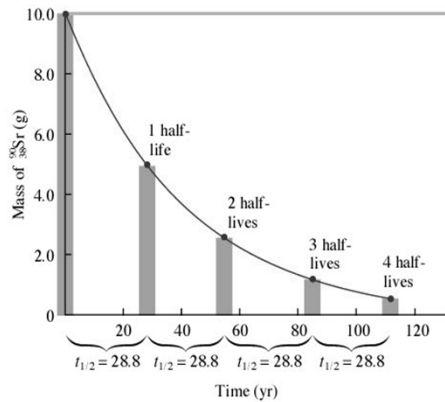
$$N = \frac{A}{\lambda} = \frac{A \cdot t_{1/2}}{\ln 2} = \frac{A \cdot t_{1/2}}{0,693}$$



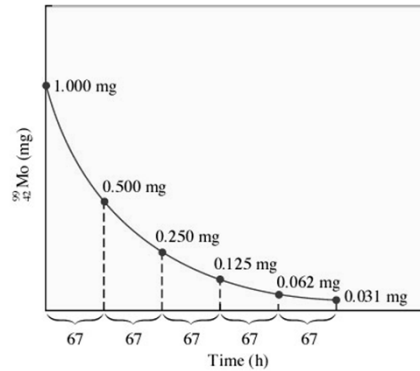
LABORATORIUM KIMIA FISIKA
Departemen Kimia – FMIPA, UGM

Waktu paro peluruhan

Peluruhan 10 g isotop Strontium-90



Peluruhan 1 mg isotop Molibdad-99



LABORATORIUM KIMIA FISIKA
Departemen Kimia – FMIPA, UGM

Satuan Radioaktif

Curie (Ci) :

Definisi asal :

Satuan radioaktif yang berdasarkan laju disintegrasi 1 gram radium.

Definisi baru :

Jumlah setiap nuklida radioaktif yang mengalami disintegrasi selama 1 detik ($\text{dis}\cdot\text{s}^{-1}$) sejumlah $3,700 \times 10^{10}$.

Becquerel (SI Unit) :

Definisi :

1 pelepasan radioaktif per detik.

$1 \text{ Bq} = 1 \text{ dis}\cdot\text{s}^{-1}$

- Satu rad adalah jumlah energi radiasi yang diserap 100 erg per gram bahan.
- Dalam SI satuan dosis adalah Gray (Gy) yang didefinisikan sebagai $1 \text{ J}\cdot\text{Kg}^{-1}$.
 $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$.



LABORATORIUM KIMIA FISIKA
Departemen Kimia – FMIPA, UGM

SATUAN RADIOAKTIF

Latihan :

Hitung berat W dalam gram untuk 1,00 mCi dari isotop ^{14}C dengan waktu paro 5730 tahun ?

Jawab :

$$\lambda = \frac{0,693}{5730 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60} = 3,83 \times 10^{-12} \text{ s}^{-1}$$

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N = \lambda \frac{W}{14} \times 6,022 \times 10^{23} = 1,65W \times 10^{11} \text{ s}^{-1}$$

dengan :

$$-\frac{dN}{dt} = 3,700 \times 10^7 \text{ dis.s}^{-1} (1\text{mCi})$$

Jadi

$$W = \frac{3,700 \times 10^7}{1,65 \times 10^{11}} = 0,224 \times 10^{-3} \text{ g}$$



LABORATORIUM KIMIA FISIKA
Departemen Kimia – FMIPA, UGM

Soal latihan :

Tritium (^3H) meluruh lewat pancaran beta menjadi ^3He dengan $t_{1/2} = 12,26$ tahun. Sampel senyawa bertritium memiliki aktivitas awal 0,833 Bq. Hitunglah jumlah inti tritium N dalam sampel awal, tetapan peluruhan dan aktivitas setelah 2,5 tahun.

Jawab:

Pengubahan waktu paruh dalam detik :

$$t_{1/2} = (12,26 \text{ tahun})(60 \times 60 \times 24 \times 365 \text{ detik/tahun}) = 3,866 \times 10^8 \text{ detik}$$

Jumlah inti yang semula ada ialah :

$$N = \frac{A \cdot t_{1/2}}{\ln 2} = \frac{(0,833 \text{ det}^{-1})(3,866 \times 10^8 \text{ det})}{0,693} = 4,65 \times 10^8 \text{ inti } ^3\text{H}$$

Tetapan peluruhan λ dihitung dari waktu paruh :

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{0,693}{3,866 \times 10^8 \text{ det}} = 1,793 \times 10^{-9} \text{ detik}^{-1}$$

Untuk mencari aktivitas sesudah 2,50 tahun, ubahlah waktu ini ke detik ($7,884 \times 10^7$ detik) sehingga

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t} = (0,833 \text{ Bq}) \cdot \text{eksp}[-(1,793 \times 10^{-9} \text{ detik}^{-1})(7,884 \times 10^7 \text{ detik})]$$

$$= 0,723 \text{ Bq}$$



LABORATORIUM KIMIA FISIKA
Departemen Kimia – FMIPA, UGM

Soal latihan :

1. Nuklida ^{19}O yang dibuat lewat radiasi neutron pada ^{19}O memiliki waktu paruh 29 detik.
 - a. berapa atom ^{19}O dalam sampel yang baru dibuat jika laju peluruhannya $2,5 \times 10^4 \text{ detik}^{-1}$?
 - b. Setelah 2,00 menit, berapa atom ^{19}O tersisa ?

2. Nuklida ^{35}S meluruh lewat pemancaran beta dengan waktu paruh 87,1 hari.
 - a. berapa gram ^{35}S ada dalam sampel yang memiliki laju peluruhan dari nuklida tersebut $3,70 \times 10^2 \text{ detik}^{-1}$?
 - b. Sesudah 365 hari, berapa gram ^{35}S tersisa ?



LABORATORIUM KIMIA FISIKA
Departemen Kimia – FMIPA, UGM

Aplikasi : radiodating

Radiodating berdasarkan siklus isotop karbon-14 yang pertama kali dirumuskan pada tahun 1948 oleh Willard F. Libby (University of Chicago)

Libby penerima the Nobel Prize bidang Kimia 1960:

“Untuk metoda penggunaan karbon-14 guna penentuan umur pada bidang arkeologi, geologi, geofisik, dan ilmu lainnya.”

Cek website :

<http://www.c14dating.com/>



- Karbon-14 digunakan karena waktu paronya yang konstan dengan melibatkan reaksi peluruhan emisi beta :

$$^{14}_6\text{C} \rightarrow ^{14}_7\text{N} + ^0_{-1}\text{e}$$
- Waktu paronya adalah 5730 tahun dan diasumsikan jika rasio ^{12}C terhadap ^{14}C adalah selalu konstan. Metoda ini cocok untuk usia obyek yang lebih dari 50,000 tahun.



LABORATORIUM KIMIA FISIKA
Departemen Kimia – FMIPA, UGM

Soal latihan :

Sebuah contoh perkakas kayu menunjukkan aktivitas spesifik ^{14}C sebesar $0,195 \text{ Bq.g}^{-1}$. Perkirakan umur perkakas tersebut !

Penyelesaian :

Tetapan peluruhan untuk ^{14}C adalah :

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{0,693}{5.730 \text{ tahun}} = 1,21 \times 10^{-4} \text{ tahun}^{-1}$$

Aktivitas spesifik awal ialah $0,255 \text{ Bq.g}^{-1}$ dan aktivitas terukur sekarang (setelah t tahun) $0,195 \text{ Bq.g}^{-1}$ jadi :

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$$0,195 \text{ Bq.g}^{-1} = (0,255 \text{ Bq.g}^{-1}) \cdot \text{eksp}[-(1,21 \times 10^{-4} \text{ tahun}^{-1}) t]$$

$$\ln \left(\frac{0,195}{0,255} \right) = -(1,21 \times 10^{-4} \text{ tahun}^{-1}) t$$

$$t = 2200 \text{ tahun}$$

Perkakas kayu berasal dari pohon yang ditebang pada sekitar 2.200 tahun lalu.



LABORATORIUM KIMIA FISIKA
Departemen Kimia – FMIPA, UGM

Soal latihan :

1. Aktivitas spesifik ^{14}C dalam biosfer ialah $0,255 \text{ Bq.g}^{-1}$. Berapa umur serpihan kertas dari makam mesir jika laju peluruhan beta adalah $0,153 \text{ Bq.g}^{-1}$? Waktu paruh ^{14}C ialah 5.730 tahun.
2. Aktivitas spesifik suatu benda yang ditemukan di Gua Lascaux di Perancis adalah $0,0375 \text{ Bq.g}^{-1}$. Hitunglah umur benda tersebut ?



LABORATORIUM KIMIA FISIKA
Departemen Kimia – FMIPA, UGM