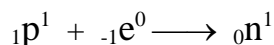


5. KIMIA INTI

A. Unsur Radioaktif

Unsur radioaktif secara seponan memancarkan radiasi, yang berupa partikel atau gelombang elektromagnetik (nonpartikel). Jenis-jenis radiasi yang dipancarkan unsur radioaktif adalah:

1. Partikel α (Sinar α), terdiri dari inti ${}^2\text{He}^4$ yang bermuatan positif (${}^2\text{He}^4$)²⁺.
2. Partikel β (Sinar β) atau ${}_{-1}\text{e}^0$, sama dengan elektron (e), bermuatan negatif.
3. Sinar γ , mirip dengan sinar-x, berupa foton dengan panjang gelombang sangat pendek ($1 - 10^{-3}$ Å).
4. Partikel β^+ (${}_{+1}\text{e}^0$), merupakan elektron bermuatan positif (positron). Umumnya dipancarkan oleh inti zat radioaktif buatan.
5. Elektron capture, sering bersamaan dengan pemancaran positron, sebuah elektron pada kulit dalam diserap inti.



Kekosongan elektron diisi elektron pada kulit luar dengan memancarkan sinar-x.

B. Peluruhan Inti

1. Penulisan Nuklida

Nuklida adalah suatu inti atom yang ditandai dengan jumlah proton (p) dan neutron (n) tertentu, dituliskan: ${}_Z\text{X}^A$

X = lambang unsur

Z = nomor atom = jumlah proton (p)

A = bilangan massa = jumlah proton dan neutron (p + n)

2. Isotop Stabil dan Isotop Tidak Stabil

Nuklida-nuklida dari unsur yang sama (dengan jumlah proton sama) tetapi jumlah neutron berbeda disebut isotop. Contoh isotop oksigen adalah: ${}_8\text{O}^{16}$, ${}_8\text{O}^{17}$, ${}_8\text{O}^{18}$

Isotop yang mempunyai inti stabil disebut isotop stabil. Isotop tidak stabil mempunyai inti tidak stabil yang merupakan nuklida radioaktif dan akan meluruh. Nuklida yang dikenal terdapat lebih dari 3 000 nuklida, sekitar 280 di antaranya adalah nuklida stabil dan lainnya adalah nuklida radioaktif. Beberapa contoh isotop stabil dan isotop tidak stabil adalah:

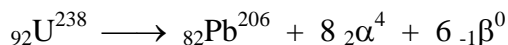
Unsur	Isotop stabil	Isotop tidak stabil
H	H^1, H^2	H^3
K	$\text{K}^{39}, \text{K}^{41}$	$\text{K}^{38}, \text{K}^{40}, \text{K}^{42}, \text{K}^{44}$
Co	Co^{59}	$\text{Co}^{57}, \text{Co}^{58}, \text{Co}^{60}, \text{Co}^{61}$
Pb	$\text{Pb}^{206}, \text{Pb}^{208}$	$\text{Pb}^{205}, \text{Pb}^{207}, \text{Pb}^{209}$

3. Peluruhan Radioaktif Alam dan Radioaktif Buatan

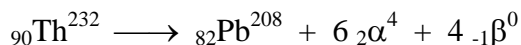
a. Radioaktif Alam

Unsur/nuklida radioaktif alam yaitu unsur/nuklida radioaktif yang dapat ditemukan di alam, umumnya ditemukan dalam kerak bumi. Semua unsur/nuklida radioaktif alam yang bernomor atom tinggi akan termasuk salah satu dari deret radioaktif berikut:

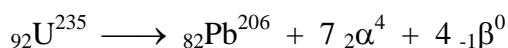
1) Deret uranium, dimulai dari ${}_{92}\text{U}^{238}$ berakhir pada ${}_{82}\text{Pb}^{206}$.



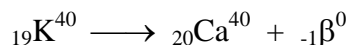
2) Deret thorium, dimulai dari ${}_{90}\text{Th}^{232}$ berakhir pada ${}_{82}\text{Pb}^{208}$.



3) Deret aktinium, dimulai dari ${}_{92}\text{U}^{235}$ berakhir pada ${}_{82}\text{Pb}^{207}$.

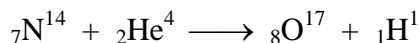


Unsur radioaktif bernomor atom rendah jarang ditemui. Contohnya: ${}_{19}\text{K}^{40}$

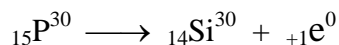
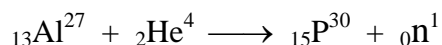


b. Radioaktif Buatan

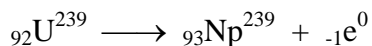
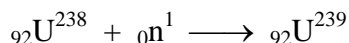
Unsur/nuklida radioaktif buatan adalah unsur/nuklida radioaktif yang tidak terdapat di alam, tetapi dapat dibuat dari unsur/nuklida alam. Isotop buatan pertama kali dibuat *Rutherford* (1919), adalah ${}_{8}\text{O}^{17}$ yang tidak radioaktif.



Isotop radioaktif buatan pertama adalah ${}_{15}\text{P}^{30}$ (1934)



Unsur buatan yang pertama adalah neptunium (Np)



Deret radioaktif buatan dimulai dari ${}_{93}\text{Np}^{235}$ berakhir pada ${}_{83}\text{Bi}^{209}$.

c. Laju Peluruhan Radioaktif

1. Persamaan Laju Peluruhan

Peluruhan radioaktif termasuk reaksi ordo pertama. Peluruhan unsur radioaktif sebanding dengan jumlah atomnya (N).

$$-\frac{dN}{dt} \sim N$$

$$-\frac{dN}{dt} = k \cdot N \quad k = \text{konstanta peluruhan ordo pertama (dt}^{-1}\text{)}$$

$$\int_{N_0}^{N_t} \frac{dN}{N} = -k \int_0^t dt$$

$$\ln \frac{N_t}{N_0} = -k \cdot t$$

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

2. Waktu Paruh

Laju peluruhan merupakan ukuran kesetabilan inti, biasanya dinyatakan dalam waktu paruh ($t_{1/2}$), yaitu waktu yang diperlukan untuk meluruh agar jumlah atom (N_0) menjadi tinggal separuhnya ($1/2 N_0$).

$$\ln \frac{1/2 N_0}{N_0} = -k \cdot t_{1/2}$$

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

Di laboratorium untuk memudahkan pengukuran jumlah atom (N) atau radioaktifitas (A) dinyatakan dalam count (banyaknya peluruhan yang tercatat pada detektor) permenit.

$$A = c \cdot \left(-\frac{dN}{dt} \right)$$

c = koefisien deteksi yang bergantung jenis detektor, orientasi detektor, jarak detektor dari sampel, dan lain-lain.

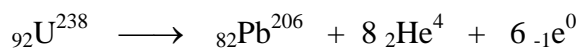
Jika c dianggap tetap, maka:

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

A_0 = radioaktifitas pada saat $t = 0$

3. Radioactive Dating

Istilah radioactive dating digunakan pada penggunaan radiasi dari unsur radioaktif untuk menentukan umur atau usia (dating) suatu bahan yang mengandung unsur radioaktif tersebut. Misalnya batuan yang semula mengandung U^{238} dapat ditentukan umurnya dengan menghitung kadar Pb^{206} pada batuan sekarang. U^{238} akan berhenti meluruh jika telah terbentuk Pb^{206} .



Jadi setiap 238 gram U^{238} setelah berhenti meluruh akan menghasilkan 206 gram Pb^{206} . Waktu paruh U^{238} adalah $4,5 \times 10^9$ tahun. Setelah $4,5 \times 10^9$ tahun, 1 gram U^{238} akan menghasilkan ($\frac{1}{2} \times 1 = 0,5$) gram U^{238} dan ($\frac{1}{2} \times \frac{206}{238} = 0,43$) gram Pb^{206} .

Jika dimisalkan sedikit sampel batuan tersebut mengandung 1 gram U^{238} dan 0,76 gram Pb^{206} , maka:

$$\text{Massa } U^{238} \text{ semula } (N_0) = 1 + \left(\frac{238}{206} \times 0,76 \right) \text{ gram} = 1,88 \text{ gram}$$

Umur batuan (t) dapat dicari dengan persamaan:

$$\ln \frac{1}{1,88} = - \frac{0,693}{4,5 \times 10^9} \times t$$

$$\text{Jadi umur batuan tersebut } (t) = \left(\frac{4,5 \times 10^9}{0,693} \right) \times \ln \frac{1,88}{1} \text{ tahun} = 4,099 \times 10^9 \text{ tahun}$$

Umur sisa makhluk hidup (fosil) dapat ditentukan dengan mengukur radioaktifitas atau laju peluruhan C^{14} pada sisa makhluk hidup dan dibandingkan dengan laju peluruhan C^{14} pada makhluk hidup sekarang (\approx laju peluruhan C^{14} semula). Penggunaan radiasi C^{14} untuk menentukan umur sisa makhluk hidup ini disebut *Radiokarbon Dating*.

Misal radioaktifitas C^{14} pada fosil sisa tumbuhan = 10 peluruhan permenit pergram C^{14} (= A), Radioaktifitas C^{14} pada tumbuhan sekarang = 50 peluruhan permenit pergram C^{14} (= A_0). Waktu paruh C^{14} = 5 730 tahun. Maka umur fosil (t) dicari dengan persamaan:

$$\ln \frac{10}{50} = - \frac{0,693}{5\,730} \cdot t$$

$$\ln \frac{50}{10} = \frac{0,693}{5\,730} \cdot t$$

$$t = \frac{5\,730}{0,693} \times \ln \frac{50}{10} \text{ tahun} = 13\,307,47 \text{ tahun}$$

Contoh soal:

1. Waktu paruh U^{238} adalah $4,5 \times 10^9$ tahun. Setelah berapa lama U^{238} akan tersisa tinggal 30 % dari semula ?
2. Waktu paruh Ra^{226} adalah 1 600 tahun. Setelah berapa lama 2 gram Ra^{226} menjadi tinggal 0,125 gram ?
3. Aktivitas C^{14} dari contoh fosil tulang adalah $\frac{1}{10}$ aktivitas C^{14} pada makhluk hidup sekarang. Berapa umur fosil tersebut jika waktu paruh C^{14} adalah 5 730 tahun ?

D. Reaksi Inti.

Pada reaksi inti biasanya massa sebelum reaksi tidak sama dengan massa sesudah reaksi. Hal ini karena terjadi perubahan massa menjadi energi atau sebaliknya. Menurut *Einstein*:

$$E = m.c^2$$

$$c = 2,998 \times 10^{10} \text{ cm/dt}$$

$$1 \text{ sma} \approx 931,4 \text{ MeV}$$

$$1 \text{ eV} = 1,6021 \times 10^{-12} \text{ erg}$$

$$1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ joule}$$

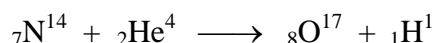
$$1 \text{ MeV} = 1,6021 \times 10^{-13} \text{ J}$$

Misal selisih massa 0,1587 gram setara dengan pelepasan energi sebesar $\pm 14 \text{ 300}$ juta Joule.

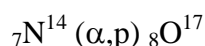
Dikenal ada tiga macam reaksi inti, yaitu reaksi penembakan dengan partikel, reaksi fisi, dan reaksi fusi.

1. Reaksi penembakan dengan partikel.

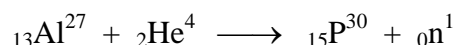
Sebagai partikel penembak (peluru) dapat berupa partikel ringan, misalnya: $2\alpha^4$, $1p^1$, $0n^1$, $1D^2$ atau partikel berat, misalnya: $6C^{12}$, $7N^{14}$, $8O^{16}$. *Rutherford* (1919) dengan penembak partikel α berhasil mengubah $7N^{14}$ menjadi $8O^{17}$



atau dapat dituliskan:

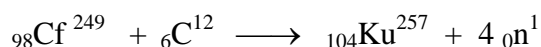
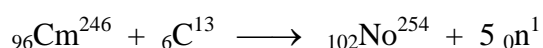
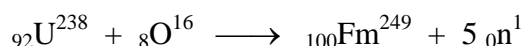
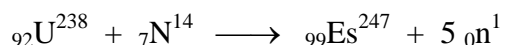
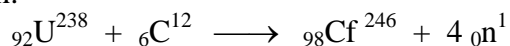


Irene Curie (1933) dengan penembak partikel α berhasil mengubah $13Al^{27}$ menjadi $15P^{30}$



Partikel kecil untuk penembak diperoleh dari proses peluruhan isotop atau dari reaktor nuklir. Penembakan dapat dengan pemercepat partikel (*particle accelerator*) misalnya siklotron. Dengan siklotron penembak dapat juga partikel besar. Dengan siklotron *Glenn Seaborg* dapat membuat unsur-unsur transuranium nomor atom 93 sampai dengan 105.

Contoh:



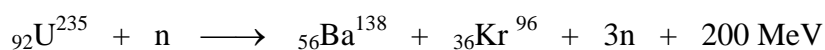
2. Reaksi fisi/pembelahan.

Reaksi fisi merupakan reaksi antara neutron dengan suatu nuklida dari atom berat, menghasilkan 2 macam nuklida lain yang lebih ringan. Pertama kali ditemukan oleh *Otto Hahn* (1939). *Fermi* (1914) menemukan transuranium dengan cara menembak Uranium menggunakan neutron. Neutron cepat adalah neutron yang memiliki energi tinggi (energi

kinetik) ± 14 MeV, dihasilkan dari generator neutron, kemudian dilewatkan pada akselerator. Reaksi yang terjadi dalam reaktor : $(n^*, 2n)$. Nuklida yang bereaksi dengan neutron cepat umumnya ${}_{92}\text{U}^{238}$.



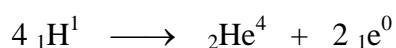
Reaksi fisi dengan neutron termal banyak dijumpai pada reaktor inti. Nuklida ${}_{92}\text{U}^{235}$ paling sering bereaksi fisi dengan neutron termal. Bila ${}_{92}\text{U}^{235}$ ditembak dengan neutron termal akan menghasilkan nuklida baru dengan 2 atau 3 neutron dengan energi sebesar ± 200 MeV.



Neutron baru yang dihasilkan mempunyai energi ± 2 MeV. Jika digunakan untuk reaksi fisi selanjutnya neutron ini masih mempunyai energi yang cukup tinggi, sehingga perlu diperlambat dengan moderator (misalnya: air, air berat, grafit, berilium) hingga $\pm 0,025$ eV. Bila reaktor inti dilengkapi moderator, maka reaksinya dapat dikendalikan dengan batang kendali untuk menyerap neutron, dan reaksi berlangsung secara berantai.

3. Reaksi fusi/penggabungan.

Reaksi fusi merupakan reaksi penggabungan inti-inti ringan menjadi inti baru yang lebih berat. Reaksi ini hanya berlangsung pada suhu tinggi (juta $^{\circ}\text{C}$), untuk memperoleh energi aktivasi agar inti-inti ringan dapat bergabung. Dalam proses penggabungan ini dihasilkan energi yang besar. Diperkirakan energi yang dipancarkan matahari adalah hasil fusi nuklir inti-inti hidrogen menjadi inti helium:



Reaksi fusi terjadi pada bom hidrogen, yang energi aktivasinya diperoleh dari reaksi fisi yang terjadi dalam bom:



Sebagai sumber energi, penggunaan reaksi fusi lebih menguntungkan karena energi yang dihasilkan lebih besar dan tidak menghasilkan isotop radioaktif. Isotop yang dihasilkan bersifat setabil, misalnya helium. Kesulitannya, reaksi fusi terkontrol perlu tempat yang dapat menahan suhu tinggi (± 50 juta $^{\circ}\text{C}$ sampai dengan 200 juta $^{\circ}\text{C}$).

E. Reaktor Inti.

Reaktor inti merupakan tempat berlangsungnya reaksi pembelahan inti (reaksi fisi) secara terkendali. Reaktor inti yang pertama dibuat oleh *Fermi* (1942). Berdasarkan tujuan penggunaannya, reaktor inti dibedakan menjadi reaktor penelitian dan reaktor daya.

1. Reaktor Penelitian.

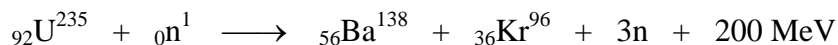
Reaktor Penelitian digunakan untuk tujuan penelitian. Reaktor ini didesain sebagai sumber neutron yang dapat digunakan untuk menghasilkan radioisotop, mengukur fluks, untuk analisa, dan sebagainya. Jenis reaktor penelitian misalnya:

- a. Reaktor jenis TRIGA (*Training Research and Isotope Production General Atomic*), menghasilkan fluks neutron sekitar 10^{11} - 10^{12} nV. Digunakan untuk menghasilkan radioisotop untuk keperluan penelitian fisika dan analisis berbagai bidang.

- b. Reaktor uji material menghasilkan fluks neutron dalam orde $10^{14} - 10^{16}$ nV. Digunakan untuk tujuan reaksi, untuk menguji material, bahan bakar, komponen reaktor yang nantinya akan digunakan untuk komponen reaktor daya.

2. Reaktor Daya/Reaktor Nuklir.

Reaktor daya ditujukan untuk memulai reaksi pembelahan (fisi) untuk menghasilkan reaksi berantai, dapat mengendalikan reaksi dan memanfaatkan energi yang dihasilkan. Neutron yang dihasilkan adalah neutron cepat dengan energi 2 MeV. Neutron yang menghasilkan reaksi fisi selanjutnya adalah neutron termal dengan energi 0,025 eV. Nuklida yang digunakan dalam reaktor inti umumnya ${}_{92}\text{U}^{235}$.



Setiap 1 mol ${}_{92}\text{U}^{235}$ menghasilkan energi ± 200 MeV, setara dengan energi yang dihasilkan pada pembakaran 500 ton batubara.

Komponen utama reaktor nuklir terdiri dari:

- Bahan bakar. Bahan bakar ditempatkan dalam teras reaktor. Umumnya berupa pelet UO_2 dibungkus dalam kelongsong agar produknya tetap terkungkung dalam kelongsong tersebut. Uranium yang digunakan adalah uranium alam yang diperkaya dengan ${}_{92}\text{U}^{235}$.
- Moderator. Moderator umumnya berupa grafit, air berat, atau air biasa. Berfungsi untuk menurunkan energi neutron melalui tumbukan. Diharapkan pada setiap tumbukan antara neutron dengan moderator, neutron akan kehilangan energi.
- Batang kendali. Batang kendali berfungsi untuk mengendalikan jumlah reaksi yang terjadi dalam reaktor, dengan cara menyerap neutron. Bahan batang kendali harus mempunyai kemampuan menyerap neutron yang tinggi, seperti kadmium, boron, dan hafnium.
- Pendingin. Umumnya reaktor menggunakan moderator juga sebagai pendingin, misalnya air yang disirkulasikan menggunakan pompa. Pendingin lain yang biasa digunakan adalah helium, CO_2 , dan logam cair.
- Penukar panas (*heat exchanger*). Pendingin primer merupakan rangkaian tertutup. Bahan pendingin itu dikembalikan ke dalam reaktor menggunakan pompa, sedangkan panasnya dipindah pada sistem penukar panas.
- Perisai radiasi. Perisai radiasi berfungsi menahan radiasi agar tidak keluar dari reaktor.

F. Dampak Radiasi.

1. Penggunaan Zat Radioaktif.

Zat radioaktif banyak digunakan dalam bidang pertanian, kedokteran, industri, dan analisis, misalnya :

- P^{32} digunakan untuk mempelajari penyerapan pospor dalam pupuk oleh tanaman, mempelajari fotosintesis pada tanaman.
- Na^{24} dalam NaCl digunakan untuk diagnosa sirkulasi darah.
- I^{131} untuk diagnosa fungsi kelenjar thiroid atau untuk terapi. Radiasi γ dapat merusak sebagian dari kegiatan thiroid dalam hipertiroidism.
- Radiasi γ dari Co^{60} untuk penyembuhan tumor dan kangker.
- Radiasi γ dari Ra untuk pemandulan hama jantan.
- O^{18} untuk mempelajari mekanisme reaksi esterifikasi.
- U^{235} digunakan dalam reaktor nuklir (PLTN).

2. Bahaya/Efek Radiasi Bagi Tubuh Manusia

Radiasi dari zat radioaktif dapat mengionkan partikel atau molekul zat yang dilaluinya, termasuk sel-sel tumbuhan, hewan, dan manusia. Daya mengionkan ini sebanding dengan energi radiasinya. Daya tembus partikel/sinar radioaktif berbeda-beda, dan bergantung pada energinya. Dalam aluminium perbandingan daya tembus partikel $\alpha : \beta : \gamma = 1 : 100 : 10\,000$. Di udara partikel α dapat menembus sekitar 2,8 cm sampai 8,5 cm. Setiap cm udara yang dilintasinya, partikel α dapat menghasilkan 50 000 sampai 100 000 pasang ion (pasangan ion positif dan elektron), partikel β menghasilkan beberapa ratus pasang ion, dan sinar γ menghasilkan beberapa pasang ion. Dengan energi yang sama, jumlah pasangan elektron yang dihasilkan partikel α , β , dan γ juga hampir sama karena β melintas lebih jauh dari α dan γ lebih jauh lagi.

Penggunaan radiasi dapat secara eksternal, yaitu dengan memancarkan radiasi dari luar tubuh, maupun secara internal, yaitu dengan memasukkan radioaktif ke tubuh, sehingga tubuh menjadi radioaktif. Akibat radiasi dapat menimbulkan gangguan pada sel-sel tubuh, yang dapat terjadi dengan segera (dalam waktu pendek setelah radiasi), maupun setelah beberapa lama radiasi. Efek radiasi bagi tubuh dapat berupa efek somatik maupun genetik.

a. Efek somatik (*somatic effects*).

Efek somatik radiasi mempengaruhi sel somatik, sehingga pengaruhnya muncul pada diri yang bersangkutan dan tidak menurun ke generasi berikutnya.

- 1). Efek somatik nonstokostik. Efek somatik radiasi bersifat nonstokostik jika ada hubungan sebab akibat yang pasti antara dosis radiasi yang diterima dengan pengaruh yang ditimbulkan. Umumnya terjadi pada jaringan yang memiliki laju penggantian sel yang tinggi. Akibatnya fungsi jaringan akan hilang.
- 2). Efek somatik stokostik. Efek somatik radiasi bersifat stokostik jika tidak dapat dipastikan adanya hubungan antara dosis radiasi yang diterima tubuh dengan akibat yang ditimbulkan. Umumnya tidak segera muncul setelah radiasi. Bisa terjadi jika terkena radiasi dosis tinggi (dosis akut) atau dosis rendah waktu lama (dosis kronis).

b. Efek Genetik (*genetic effects*).

Efek genetik radiasi mempengaruhi sel-sel germinal dan muncul pada keturunan. Efek genetik bersifat stokostik dan muncul pada korban radiasi. Radiasi dosis rendah dapat menyebabkan perubahan pada DNA sehingga terjadi mutasi gen yang dapat muncul pada beberapa keturunan.

3. Penanggulangan Bahaya Radiasi.

Secara teknis, untuk mengurangi tingkat bahaya radiasi terhadap tubuh pengguna radiasi dapat dengan cara mengatur waktu radiasi, mengatur jarak radiasi, dan memasang perisai antara sumber radiasi dengan tubuh. Secara nonteknis, untuk menanggulangi bahaya radiasi dapat dengan mengontrol atau mengawasi pemaparan yang dapat menimbulkan bahaya radiasi, diantaranya dengan cara menghilangkan bahaya, mengawasi bahaya, mengawasi pekerja radiasi, dan dibuat peraturan. Undang Undang Republik Indonesia nomor 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran mengatur tentang pembangunan, pengangkutan, penyimpanan, penyediaan, penggunaan tenaga nuklir dan keselamatan kerja terhadap radiasi.