

KIMIA INTI DAN RADIOKIMIA

Kimia inti adalah kajian mengenai perubahan-perubahan dalam inti atom. Perubahan ini disebut reaksi inti. Peluruhan radioaktif dan transmudasi inti merupakan reaksi inti.

Radiokimia mempelajari penggunaan teknik-teknik kimia dalam mengkaji zat radioaktif dan pengaruh kimiawi dari radiasi zat radioaktif tersebut.

Radioaktivitas adalah fenomena pemancaran partikel dan atau radiasi elektromagnetik oleh inti yang tidak stabil secara spontan .

Semua unsur yang memiliki nomor atom lebih besar dari 83 adalah radioaktif.

Peluruhan radioaktif terjadi melalui pemancaran partikel dasar secara spontan.

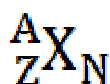
Contoh: polonium-210 meluruh spontan menjadi timbal-206 dengan memancarkan sebuah partikel α

Transmudasi inti dihasilkan dari pemboman inti oleh neutron, proton, atau inti lain.

Contoh: konversi nitrogen-14 atmosfer menjadi karbon-14 dan hidrogen

Nukleon : partikel-partikel penyusun inti, yaitu proton dan neutron

Nuklida : suatu spesies nuklir tertentu, dengan lambang:



Z = nomor atom

A = nomor massa = jumlah proton + neutron

N = neutron, biasanya tidak ditulis karena $N = A - Z$

Isotop : kelompok nuklida dengan nomor atom sama

Isobar : kelompok nuklida dengan nomor massa sama

Isoton : kelompok nuklida dengan neutron sama

Partikel Dasar yang umumnya terlibat dalam reaksi inti:

Nama	Lambang	Nomor atom	Nomor massa	Massa (sma)
Proton	P atau H	1	1	1,00728
Neutron	N	0	1	1,00867
Elektron	e	-1	0	0,000549
Negatron	B	-1	0	0,000549
Positron	B	+1	0	0,000549
Partikel alpha	He atau α	2	4	4,00150

Gelombang elektromagnet yang biasa terlibat dalam reaksi inti adalah γ (gamma) dengan massa 0 dan muatan 0.

Perbandingan antara reaksi kimia dan reaksi inti

No	Reaksi kimia	Reaksi Inti
1	Atom diubah susunannya melalui pemutusan dan pembentukan ikatan	Unsur (atau isotop dari unsur yang sama) dikonversi dari unsur yang satu ke lainnya
2	Hanya elektron dalam orbital atom atau molekul yang terlibat dalam pemutusan dan pembentukan ikatan	Proton, neutron, elektron dan partikel dasar lain dapat saja terlibat

3	Reaksi diiringi dengan penyerapan atau pelepasan energi yang relatif kecil	Reaksi diiringi dengan penyerapan atau pelepasan energi yang sangat besar
4	Laju reaksi dipengaruhi oleh suhu, tekanan, katalis dan konsentrasi	Laju reaksi biasanya tidak dipengaruhi oleh suhu, tekanan dan katalis

Aturan dalam penyetaraan reaksi inti;

Jumlah total proton ditambah neutron dalam produk dan reaktan harus sama (kekekalan nomor massa)
 Jumlah total muatan inti dalam produk dan reaktan harus sama (kekekalan nomor atom)

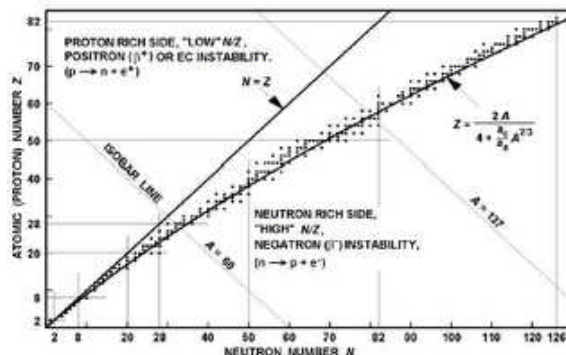
KESTABILAN INTI

Kestabilan inti tidak dapat diramalkan dengan suatu aturan. Namun, ada beberapa petunjuk empiris yang dapat digunakan untuk mengenal inti yang stabil dan yang bersifat radioaktif/tidak stabil, yaitu:

1. Semua inti yang mempunyai proton 84 atau lebih tidak stabil
2. Aturan ganjil genap, yaitu inti yang mempunyai jumlah proton genap dan jumlah neutron genap lebih stabil daripada inti yang mempunyai jumlah proton dan neutron ganjil
3. Bilangan sakti (*magic numbers*)
 Nuklida yang memiliki neutron dan proton sebanyak bilangan sakti umumnya lebih stabil terhadap reaksi inti dan peluruhan radioaktif.
 Bilangan tersebut adalah:
 Untuk neutron : 2, 8, 20, 28, 50, 82 dan 126
 Untuk proton : 2, 8, 20, 28, 50 dan 82.
 Pengaruh bilangan ini untuk stabilitas inti sama dengan banyaknya elektron untuk gas mulia yang sangat stabil.
4. Kestabilan inti dapat dikaitkan dengan perbandingan neutron-proton.

PITA KESTABILAN

Grafik antara banyaknya neutron versus banyaknya proton dalam berbagai isotop yang disebut pita kestabilan menunjukkan inti-inti yang stabil. Inti-inti yang tidak stabil cenderung untuk menyesuaikan perbandingan neutron terhadap proton, agar sama dengan perbandingan pada pita kestabilan. Kebanyakan unsur radioaktif terletak di luar pita ini.



Di atas pita kestabilan, Z < 83, N/Z besar atau daerah kelebihan neutron.

Untuk mencapai kestabilan :
 inti memancarkan (emisi) neutron atau memancarkan partikel beta

Di atas pita kestabilan dengan Z > 83, terjadi kelebihan neutron dan proton

Untuk mencapai kestabilan :
 Inti memancarkan partikel alfa

Di bawah pita kestabilan, Z < 83 dan N/Z kecil atau kelebihan proton.

Untuk mencapai kestabilan :
 Inti memancarkan positron atau menangkap elektron

ENERGI PENGIKAT INTI

Satu ukuran kuantitatif dari stabilitas inti adalah energi ikatan inti (*nuclear binding energy*, yaitu energi yang diperlukan untuk memecah inti menjadi komponen-komponennya, proton dan neutron. Kuantitas ini menyatakan konversi massa menjadi energi yang terjadi selama berlangsungnya reaksi inti eksotermik yang menghasilkan pembentukan inti .

Konsep energi ikatan berkembang dari kajian sifat-sifat inti yang menunjukkan bahwa massa inti selalu lebih rendah dibandingkan jumlah massa nukleon.

Contoh : isotop fluorine (F), intinya memiliki 9 proton, 9 elektron dan 10 neutron dengan massa atom yang terukur sebesar 18,9984 sma.

Analisis perhitungan teoritis massa atom F:

$$\begin{aligned}\text{Massa atom} &= (9 \times \text{massa proton}) + (9 \times \text{massa elektron}) + (10 \times \text{massa neutron}) \\ &= (9 \times 1,00728 \text{ sma}) + (9 \times 0,000549 \text{ sma}) + (10 \times 1,00867) \\ &= \mathbf{19,15708 \text{ sma}}\end{aligned}$$

Harga massa atom F berdasarkan perhitungan ternyata lebih besar dibandingkan dengan massa atom terukur, dengan kelebihan massa sebesar 0,1578 sma.

Selisih antara massa atom dan jumlah massa dari proton, elektron dan neutron disebut **cacat massa (*mass defect*)**.

Menurut teori relativitas, kehilangan massa muncul sebagai energi (kalor) yang dilepas ke lingkungan. Banyaknya energi yang dilepas dapat ditentukan berdasarkan hubungan kesetaraan massa-energi Einstein ($E = m c^2$).

$$\Delta E = \Delta m c^2$$

$$\begin{aligned}\text{Dengan faktor konversi :} \quad &1 \text{ kg} = 6,022 \times 10^{26} \text{ sma} \\ &1 \text{ J} = 1 \text{ kg m}^2/\text{s}^2\end{aligned}$$

Untuk atom F tersebut:

$$\begin{aligned}\Delta E &= (-0,1578 \text{ sma}) (3 \times 10^8 \text{ m/s})^2 \\ &= (-1,43 \times 10^{16} \text{ sma m}^2/\text{s}^2) \times (1 \text{ kg}/6,022 \times 10^{26} \text{ sma}) \times (1 \text{ J}/1 \text{ kg m}^2/\text{s}^2) \\ &= -2,37 \times 10^{-11} \text{ J}\end{aligned}$$

Ini merupakan banyaknya energi yang dilepas bila satu inti fluorin-19 dibentuk dari 9 proton dan 10 neutron. Energi yang diperlukan untuk menguraikan inti menjadi proton dan neutron yang terpisah adalah sebesar $-2,37 \times 10^{-11} \text{ J}$. Untuk pembentukan 1 mol inti fluorin, energi yang dilepaskan adalah:

$$\begin{aligned}\Delta E &= (-2,37 \times 10^{-11} \text{ J}) (6,022 \times 10^{23}/\text{mol}) \\ &= -1,43 \times 10^{13} \text{ J/mol}\end{aligned}$$

Dengan demikian, energi ikatan inti adalah $1,43 \times 10^{13} \text{ J/mol}$ untuk 1 mol inti fluorin-19, yang merupakan kuantitas yang sangat besar bila dibandingkan dengan entalpi reaksi kimia biasa yang hanya sekitar 200 kJ.

RADIOAKTIVITAS ALAMI

Disintegrasi inti radioaktif sering merupakan awal dari deret peluruhan radioaktif, yaitu rangkaian reaksi inti yang akhirnya menghasilkan pembentukan isotop stabil. Misalnya adalah deret peluruhan uranium-238 hingga menghasilkan timbal-206 yang stabil.

Jenis-jenis peluruhan radioaktif meliputi; peluruhan(pemancaran) alfa, peluruhan negatron, peluruhan positron, penangkapan elektron, peluruhan gamma, pemancaran neutron, pemancaran neutron terlambat dan pembelahan spontan.

Pembelahan spontan hanya terjadi pada nuklida-nuklida yang sangat besar dan membelah secara spontan menjadi dua nuklida yang massanya berbeda, misal Cf-254 membelah spontan menjadi Mo-108 dan Ba-142 dengan memancarkan 4 neutron.

Kinetika Peluruhan Radioaktif

Semua peluruhan radioaktif mengikuti kinetika orde pertama, sehingga laju peluruhan radioaktif pada setiap waktu t adalah:

$$\text{Laju peluruhan pada waktu } t = \lambda N$$

$$\lambda = \text{konstanta laju orde pertama}$$

$$N = \text{banyaknya inti radioaktif pada waktu } t$$

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

$$\text{dengan waktu paruh : } t_{1/2} = 0,693/\lambda$$

TRANSMUTASI INTI

Pada tahun 1919, Rutherford berhasil menembak gas nitrogen dengan partikel alfa dan menghasilkan hidrogen dan oksigen. Reaksi ini merupakan transmutasi buatan pertama, yaitu perubahan satu unsur menjadi unsur lain. Coba tuliskan reaksinya!

Pada tahun 1934, Irene Joliot-Curie, berhasil membuat atom fosfor yang bersifat radioaktif dengan menembakkan aluminium dengan sinar alfa yang berasal dari polonium.

Beberapa contoh reaksi inti:

Penembakan atom litium-7 dengan proton menghasilkan 2 atom helium-4

Penembakan nitrogen-14 dengan neutron menghasilkan karbon-14 dan hidrogen

Penembakan aluminium-27 dengan proton menghasilkan magnesium-24 dan helium-4

Coba Anda tulis persamaan reaksinya!

Keaktifan (A)

Keaktifan suatu cuplikan radioaktif dinyatakan sebagai jumlah disintegrasi (peluruhan) per satuan waktu. Keaktifan tidak lain adalah laju peluruhan dan berbanding lurus dengan jumlah atom yang ada.

$$A = \lambda N$$

Satuan keaktifan adalah Curie (Ci) yang didefinisikan sebagai keaktifan dari $3,7 \times 10^{10}$ disintegrasi per detik.

Satuan SI untuk keaktifan adalah *becquerel* dengan lambang *Bq*

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

Keaktifan jenis adalah jumlah disintegrasi per satuan waktu per gram bahan radioaktif.

Dosis Radiasi

Untuk menyatakan jumlah atau dosis radiasi yang diserap oleh zat-zat ditetapkan satuan untuk dosis. Di Amerika, satuan dosis yang umum adalah *rad* dengan lambang *rd*.

Satu rad setara dengan penyerapan 10^{-5} J per gram jaringan.

Satuan SI untuk dosis adalah *gray* dengan lambang *Gy*. Satu gray setara dengan energi sebanyak 1 joule yang diserap oleh setiap kg zat.

Radiasi neutron lebih berbahaya dari radiasi beta dengan energi dan intensitas yang sama. Untuk membedakan pengaruh radiasi digunakan satuan *rem* (*radiation equivalen of man*).

Satu rad sinar alfa lebih merusak daripada satu rad sinar beta. Oleh karena itu rad biasanya dikalikan dengan faktor yang mengukur kerusakan biologi relatif yang disebabkan oleh radiasi. Faktor ini disebut RBE (*Relative Biological Effectiveness of Radiation*). Hasil kali rad dan RBE menghasilkan dosis efektif yang disebut *rem* (*Rontgen Equivalent for Man*).

Satu rem suatu macam radiasi akan menghasilkan pengaruh biologi yang sama.

Contoh:

Dosis 0 – 20 rem pengaruh kliniknya tidak terdeteksi, dosis 20-50 sedikit pengaruh pengurangan sementara butir darah putih, dosis 100-200 terdapat pengaruh banyak pengurangan butir darah putih dan pada dosis lebih dari 500 rem dapat menyebabkan kematian.

FISI INTI

Fisi inti (*nuclear fission*) /reaksi fisi adalah proses di mana suatu inti berat (nomor massa >200) membelah diri membentuk inti-inti yang lebih kecil dengan massa menengah dan satu atau lebih neutron. Karena inti berat kurang stabil dibandingkan produknya, proses ini melepaskan banyak energi.

Reaksi fisi uranium-235:

Sebagai contoh adalah energi yang dihasilkan pada pembelahan 235 gram uranium-235 adalah ekuivalen dengan energi yang dihasilkan pada pembakaran 500 ton batubara.

Selain besarnya jumlah energi yang besar, ciri penting dari fisi uranium-235 adalah adanya kenyataan bahwa lebih banyak neutron yang dihasilkan dibandingkan dengan yang semula ditangkap dalam prosesnya. Sifat ini memungkinkan berlangsungnya reaksi rantai inti, yaitu serangkaian reaksi fisi yang dapat berlangsung sendiri tanpa bantuan. Neutron yang dihasilkan selama tahap awal dari fisi dapat mengakibatkan terjadinya fisi dalam inti uranium-235 lain, yang selanjutnya menghasilkan neutron lebih banyak dan seterusnya. Dalam waktu kurang dari satu detik, reaksi dapat menjadi tak terkendali, membebaskan banyak sekali kalor ke lingkungan. Agar reaksi rantai terjadi, harus ada cukup uranium-235

dalam sampel untuk menangkap neutron, sehingga dikenal istilah **massa kritis**, yaitu massa minimum material terfisikan yang diperlukan untuk membangkitkan reaksi rantai inti yang dapat berlangsung sendiri.

APLIKASI FISI INTI

Bom Atom

Penerapan pertamakali fisi inti ialah dalam pengembangan bom atom. Faktor krusial dalam rancangan bom ini adalah penentuan massa kritis untuk bom itu. Satu bom atom yang kecil setara dengan 20.000 ton TNT. Massa kritis suatu bom atom biasanya dibentuk dengan menggunakan bahan peledak konvensional seperti TNT tersebut, untuk memaksa bagian-bagian terfisikan menjadi bersatu. Bahan yang pertama diledakkan adalah TNT, sehingga ledakan akan mendorong bagian-bagian yang terfisikan untuk bersama-sama membentuk jumlah yang lebih besar dibandingkan massa kritis.

Uranium-235 adalah bahan terfisikan dalam bom yang dijatuhkan di Hiroshima dan plutonium-239 digunakan dalam bom yang meledak di Nagasaki.

Reaktor Nuklir

Suatu penerapan damai tetapi kontroversial dari fisi inti adalah pembangkitan listrik menggunakan kalor yang dihasilkan dari reaksi rantai terbatas yang dilakukan dalam suatu reaktor nuklir. Ada 3 jenis reaktor nuklir yang dikenal, yaitu:

Reaktor air ringan. Menggunakan air ringan (H_2O) sebagai moderator (zat yang dapat mengurangi energi kinetik neutron).

Reaktor air berat. Menggunakan D_2O sebagai moderator.

Reaktor Pembiak (*Breeder Reactor*). Menggunakan bahan bakar uranium, tetapi tidak seperti reaktor nuklir konvensional, reaktor ini menghasilkan bahan terfisikan lebih banyak daripada yang digunakan.

FUSI INTI

Fusi inti (*nuclear fusion*) atau reaksi fusi adalah proses penggabungan inti kecil menjadi inti yang lebih besar. Reaksi ini relatif terbebas dari masalah pembuangan limbah.

Dasar bagi penelitian pemakaian fusi inti untuk produksi energi adalah perilaku yang diperlihatkan jika dua inti ringan bergabung atau berfusi membentuk inti yang lebih besar dan lebih stabil, banyak energi yang akan dilepas selama prosesnya.

Fusi inti yang terus-menerus terjadi di matahari yang terutama tersusun atas hidrogen dan helium.

Reaksi fusi hanya terjadi pada suhu yang sangat tinggi sehingga reaksi ini sering dinamakan *reaksi termonuklir*. Suhu di bagian dalam matahari mencapai 15 juta $^{\circ}C$!!!!!!

Aplikasi Fusi Inti yang telah dikembangkan adalah bom hidrogen.

PENGGUNAAN RADIOISOTOP

Radioisotop adalah isotop suatu unsur yang radioaktif yang memancarkan sinar radioaktif. Isotop suatu unsur baik yang stabil maupun radioaktif memiliki sifat kimia yang sama. Radioisotop dapat digunakan sebagai perunut (untuk mengikuti unsur dalam suatu proses yang menyangkut senyawa atau sekelompok senyawa) dan sebagai sumber radiasi /sumber sinar.

Berikut beberapa contoh penggunaan radioisotop dalam berbagai bidang:

1. **Bidang kimia.** Teknik perunut dapat dipakai untuk mempelajari mekanisme berbagai reaksi kimia seperti esterifikasi dan fotosintesis, penetapan struktur senyawa kimia seperti ion tiosulfat, analisis pengenceran isotop dan analisis pengaktifan neutron (dalam bidang perminyakan, pengendalian polusi, obat-obatan, geologi, elektronika, kriminologi, oseanografi dan arkeologi).
2. **Bidang kedokteran.** Isotop natrium-24 digunakan untuk mengikuti peredaran darah dalam tubuh manusia, mempelajari kelainan pada kelenjar tiroid dengan isotop I-131, menentukan tempat tumor otak dengan radioisotop fosfor, Fe-59 untuk mengukur laju pembentukan sel darah merah. Kobalt-60 digunakan untuk pengobatan kanker, teknetium-99 untuk alat diagnostik gambaran jantung, hati dan paru-paru pasien.
3. **Bidang pertanian.** Radiasi gamma dapat digunakan untuk memperoleh bibit unggul dan radioisotop fosfor untuk mempelajari pemakaian pupuk oleh tanaman.
4. **Bidang Industri.** Untuk mendeteksi kebocoran pipa yang ditanam dalam tanah atau beton, menentukan keausan atau keroposan yang terjadi pada bagian pengelasan antar logam,
5. **Penentuan umur batuan atau fosil**

