



**LABORATORIUM KIMIA FISIK**  
Departemen Kimia – Fakultas MIPA  
Universitas Gadjah Mada (UGM)

## RADIOKIMIA

### Energetika pada Reaksi Inti

**Drs. Iqmal Tahir, M.Si.**

Laboratorium Kimia Fisik, Departemen Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara, Yogyakarta, 55281

Tel : 0857 868 77886; Fax : 0274-545188  
Email : iqmal@ugm.ac.id atau iqmal.tahir@yahoo.com

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

### ENERGI PENGIKAT INTI

**Energi Pengikat Inti:** Ukuran kestabilan yang diperoleh ketika proton dan neutron saling berikatan membentuk inti atom.

Persamaan yang menunjukkan hubungan antara massa dan energi adalah:

$$E = mc^2$$

Hubungan ini dapat digunakan untuk menentukan berapa banyak energi yang dihasilkan oleh adanya pengurangan massa atom.

Dengan :

E = energi pengikat inti

m = perbedaan massa inti atom dengan nukleon yang terpisah

c = kecepatan cahaya =  $3 \cdot 10^8$  meter/detik

Berdasarkan persamaan tersebut maka diperoleh hubungan untuk

$$1 \text{ sma} = 931 \text{ MeV},$$

maka

$$\text{Energi Pengikat Inti} = m(\text{sma}) \cdot 931 \text{ MeV/sma}.$$



Laboratorium Kimia Fisik  
Departemen Kimia – FMIPA, UGM

## PERHITUNGAN ENERGI PENGIKAT INTI

**Energi Pengikat Inti:** dihitung dengan penentuan selisih massa dari massa inti dan massa seluruh nukleon asalnya.

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - (\text{atomic mass} - Zm_e)$$

$$\Delta m = (Zm_p + Zm_e) + Nm_n - \text{atomic mass}$$

Z = nomor atom

N = nomor massa – nomor atom

Diketahui massa nukleon adalah :

Massa n = 1,0086649 sma

Massa p = 1,0078250 sma

Massa e = 0,0005486 sma



Laboratorium Kimia Fisik  
Departemen Kimia – FMIPA, UGM

3

## PERHITUNGAN ENERGI PENGIKAT INTI

Tentukan energi pengikat inti untuk  $^{16}\text{O}$ .

Diketahui :

Massa  $^{16}\text{O}$  = 15,9949146 sma

Massa n = 1,0086649 sma

Massa p = 1,0078250 sma.

Jawab (catatan untuk elektron tidak diperhitungkan) :

Pertama hitung jumlah nukleon !

Jumlah proton (p) = nomor atom = 8

Jumlah netron (n) = nomor massa – jumlah proton = 16 – 8 = 8

Hitung massa nukleon dalam  $^{16}\text{O}$  yang terdiri dari 8 proton dan 8 neutron.

Massa neutron = 8 n = 8 x 1,0086649 = 8,0693192

Massa proton = 8 p = 8 x 1,0078250 = 8,0620000

Total = 16,1319192

Kemudian hitung energi pengikat inti berdasarkan perbedaan massa:

$$\Delta m = (16,1319192 - 15,9949146) \text{ sma} = 0,1370046 \text{ sma}$$

Energi Pengikat Inti = 0,1370046 sma x 931 MeV/sma

$$= 127,6 \text{ MeV}$$



Laboratorium Kimia Fisik  
Departemen Kimia – FMIPA, UGM

4

**ENERGI PENGIKAT INTI**

Hitung kestabilan inti untuk nuklida-nuklida berikut

Z	Name	Symbol	Mass of Atom (u)	Z	Name	Symbol	Mass of Atom (u)	Z	Name	Symbol	Mass of Atom (u)
1	Hydrogen	$^1\text{H}$	1.007825	15	Phosphorus	$^{31}\text{P}$	30.973762	77	Iridium	$^{191}\text{Ir}$	190.960591
	Deuterium	$^2\text{H}$	2.014102							$^{193}\text{Ir}$	192.962924
	Tritium	$^3\text{H}$	3.016049	16	Sulphur	$^{32}\text{S}$	31.972071	78	Platinum	$^{190}\text{Pt}$	189.959930
2	Helium	$^3\text{He}$	3.016029			$^{33}\text{S}$	32.971458			$^{192}\text{Pt}$	191.961035
		$^4\text{He}$	4.002603			$^{34}\text{S}$	33.967867			$^{194}\text{Pt}$	193.962664
3	Lithium	$^6\text{Li}$	6.015122			$^{36}\text{S}$	35.967081			$^{195}\text{Pt}$	194.964774
		$^7\text{Li}$	7.016004	17	Chlorine	$^{35}\text{Cl}$	34.968853			$^{196}\text{Pt}$	195.964935
4	Beryllium	$^9\text{Be}$	9.012182			$^{37}\text{Cl}$	36.965903			$^{198}\text{Pt}$	197.967876
5	Boron	$^{10}\text{B}$	10.012937	18	Argon	$^{36}\text{Ar}$	35.967546	79	Gold	$^{197}\text{Au}$	196.966552
		$^{11}\text{B}$	11.009305			$^{38}\text{Ar}$	37.962732	90	Thorium	$^{232}\text{Th}$	232.038050
6	Carbon	$^{12}\text{C}$	12.000000			$^{40}\text{Ar}$	39.962383	91	Protactinium	$^{231}\text{Pa}$	231.035879
		$^{13}\text{C}$	13.003355	19	Potassium	$^{39}\text{K}$	38.963707	92	Uranium	$^{234}\text{U}$	234.040946
		$^{14}\text{C}$	14.003242			$^{41}\text{K}$	40.961826			$^{235}\text{U}$	235.043923
				25	Manganese	$^{55}\text{Mn}$	54.938050			$^{238}\text{U}$	238.050783
				26	Iron	$^{54}\text{Fe}$	53.939615				
						$^{56}\text{Fe}$	55.934942				

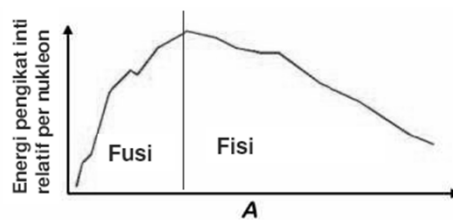


Laboratorium Kimia Fisik  
Departemen Kimia – FMIPA, UGM

5

**ENERGI PENGIKAT INTI**

Jika dihitung energi pengikat inti dari semua isotop stabil maka akan terbentuk grafik :



Dengan semakin bertambahnya nukleon, akan mencapai energi maksimum (pada A = 56, besi).

Massa nukleon yang lebih besar bersifat kurang stabil. Oleh karena itu kita bisa memperoleh energi baik dari peristiwa fisi maupun fusi.

Untuk massa nukleon yang lebih berat akan cenderung mengalami emisi partikel  $\alpha$ .

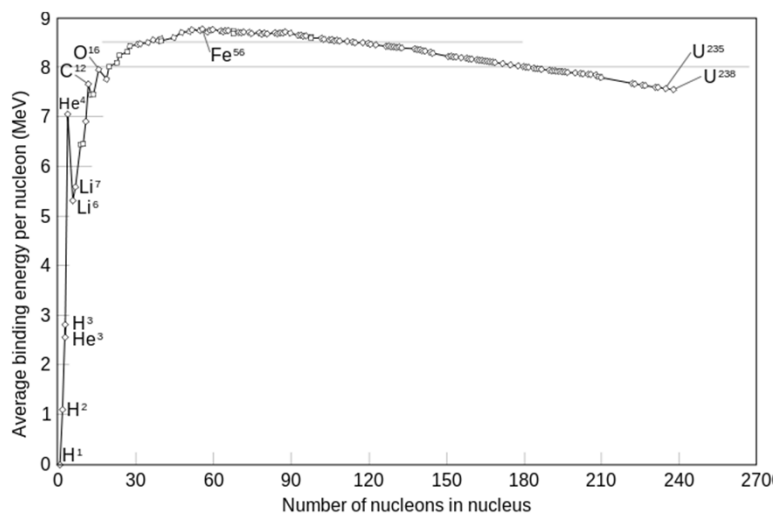


Laboratorium Kimia Fisik  
Departemen Kimia – FMIPA, UGM

6

## ENERGI PENGIKAT INTI

Grafik kestabilan inti



Laboratorium Kimia Fisik  
Departemen Kimia - FMIPA, UGM

7

## PERHITUNGAN ENERGI PADA REAKSI PELURUHAN

Energi reaksi inti dapat diperoleh dari perhitungan selisih energi ikat sebelum dan sesudah reaksi.

Cara lain dihitung selisih massa sebelum dan sesudah peluruhan dan dikonversikan ke energi.

$$Q = m_i c^2 - m_f c^2$$

Diketahui :

$m_i$  = massa nuklida sebelum peluruhan

$m_f$  = mssa nuklida setelah peluruhan

Energi dalam satuan sma = **931 MeV/sma**



Laboratorium Kimia Fisik  
Departemen Kimia - FMIPA, UGM

8

## PERHITUNGAN ENERGI PADA REAKSI PELURUHAN ALFA

### Problem:

Calculate the energy  $Q$  released during the alpha decay  $^{238}\text{U} \rightarrow ^{234}\text{Th} + ^4\text{He}$ .  
The atomic masses are:

$$^{238}\text{U} \quad 238.05079 \text{ u}$$

$$^{234}\text{Th} \quad 234.04363 \text{ u}$$

$$^4\text{He} \quad 4.00260 \text{ u}$$

### ■ Solution:

$$Q = m_i c^2 - m_f c^2$$

$m_i$  = initial mass,  $m_f$  = final mass

$$m_i - m_f = (238.05079 - (234.04363 + 4.00260)) \text{ u} = 0.00456 \text{ u}$$

(The electron masses which are included in the atomic masses cancel out.)

$$Q = (0.00456 \text{ u})c^2 \cdot (931.494 \text{ MeV}/c^2/\text{u}) = 4.25 \text{ MeV}$$

Show that  $^{238}\text{U}$  cannot spontaneously emit a proton.

### ■ Solution:

$$^{238}\text{U} \rightarrow ^{237}\text{Pa} + ^1\text{H} \quad m(^{237}\text{Pa}) = 237.05121 \text{ u}, m(^1\text{H}) = 1.00783 \text{ u}.$$

$$Q/c^2 = 238.05079 \text{ u} - 237.05121 \text{ u} - 1.00783 \text{ u} = -0.00825 \text{ u}.$$

The energy released is negative, we have to add energy to make this reaction possible.



## PERHITUNGAN ENERGI PADA REAKSI PELURUHAN BETA

Calculate the disintegration energy  $Q$  for the beta decay  $^{32}\text{P} \rightarrow ^{32}\text{S} + e^- + \nu$ .

Atomic masses:  $m(^{32}\text{P}) = 31.97391 \text{ u}$ ,  $m(^{32}\text{S}) = 31.97207 \text{ u}$

### ■ Solution:

$$Q = m_i c^2 - m_f c^2.$$

$$m_i = m_{\text{nuc}}(^{32}\text{P}) = m(^{32}\text{P}) - 15m(e^-),$$

$$m_f = m_{\text{nuc}}(^{32}\text{S}) + m(e^-) = m(^{32}\text{S}) - 16m(e^-) + m(e^-) = m(^{32}\text{S}) - 15m(e^-)$$

The mass of the neutrino is negligibly small.

$$Q = m_i c^2 - m_f c^2 = (m(^{32}\text{P}) - m(^{32}\text{S}))c^2 = 1.71 \text{ MeV}.$$

In  $\beta^-$  decay subtracting the atomic masses automatically takes into account the mass of the emitted electron. This is not true for  $\beta^+$  decay.

Calculate the disintegration energy  $Q$  for the beta decay  $^{64}\text{Cu} \rightarrow ^{64}\text{Ni} + e^+ + \nu$ .

Atomic masses:  $m(^{64}\text{Cu}) = 63.929766 \text{ u}$ ,  $m(^{64}\text{Ni}) = 63.927968 \text{ u}$

### ■ Solution:

$$Q = m_i c^2 - m_f c^2.$$

$$m_i = m_{\text{nuc}}(^{64}\text{Cu}) = m(^{64}\text{Cu}) - 29m(e^-),$$

$$m_f = m_{\text{nuc}}(^{64}\text{Ni}) + m(e^+) = m(^{64}\text{Ni}) - 28m(e^-) + m(e^+) = m(^{64}\text{Ni}) - 27m(e^-)$$

The mass of the neutrino is negligibly small and  $m(e^+) = m(e^-)$ .

$$Q = m_i c^2 - m_f c^2 = (m(^{64}\text{Cu}) - m(^{64}\text{Ni}))c^2 - 2m(e^-)c^2 = 1.6748 \text{ MeV} - 2 \cdot 0.511 \text{ MeV} = 0.653 \text{ MeV}.$$

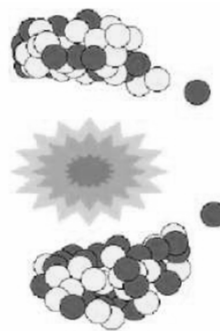
In  $\beta^+$  decay subtracting the atomic masses does not automatically take into account the mass of the emitted positron.



## REAKSI INTI SEBAGAI SUMBER ENERGI

Energi inti dapat diperoleh dengan dua cara:

- Fisi: pemecahan atom:  
Energi diperoleh jika inti atom besar  
Inti yang lebih kecil bersifat lebih stabil.  
Ini yang terjadi di dalam reaktor nuklir.
- Fusi: Penggabungan atom:  
Energi diperoleh jika inti atom kecil.  
Inti yang lebih besar bersifat lebih stabil.  
Ini yang terjadi pada matahari.



Reaksi Fisi

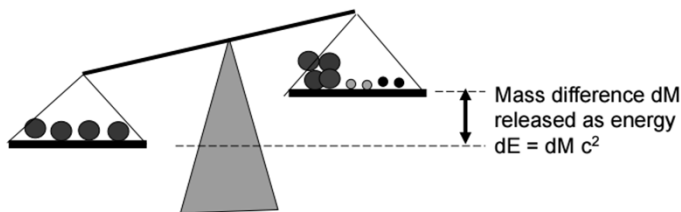


Laboratorium Kimia Fisik  
Departemen Kimia – FMIPA, UGM

11

## PERHITUNGAN ENERGI REAKSI FUSI

Energi dari matahari yang diperoleh dari fusi proton menjadi helium.



Energi yang dihasilkan dapat dihitung dari :

- Perubahan massa
- Perhitungan energi.



Laboratorium Kimia Fisik  
Departemen Kimia – FMIPA, UGM

12