

KAJIAN KESTABILAN INTI UNSUR-UNSUR PADA PROSES PELURUHAN ZAT RADIOAKTIF DENGAN PENDEKATAN ENERGI IKAT INTI MODEL TETES CAIRAN

¹Iko Mardiana, ²Trapsilo Prihandono, ²Yushardi

¹Mahasiswa Program Studi Pendidikan Fisika

²Identitas Dosen Pembimbing Skripsi I dan II

Program Studi pendidikan Fisika FKIP Universitas Jember

Email: mardianaiko13@gmail.com

Abstract

The purpose of this research is to calculate the binding energy and disintegration energy with the binding energy liquid drop model approach. This research is modeling research. The steps: 1) prepare supporting materials for research on stability and elements in the radioactive process; 2) reviewing materials that have been obtained previously; 3) do calculation simulation; 4) analyze and discuss the results of calculations; 5) conclude the results of the study. The calculation results show that the element $^{238}_{92}\text{U}$ has the largest binding energy of 1805,1 MeV and has the smallest binding energy per nucleon that is equal to 7,584 MeV, while the resulting child nuclide $^{206}_{82}\text{Pb}$ has the smallest binding energy of 1612,2747 MeV and has the largest binding energy per nucleon of 7,8266 MeV, so that the binding energy has a decreased graph while the binding energy per nucleon has a rising graph. The biggest disintegration energy in the uranium series decay process occurs at decay of alpha $^{234}_{92}\text{U}$ to be $^{230}_{90}\text{Th}$ which is equal to 5,1037 MeV while the smallest disintegration energy occurs at beta decay $^{210}_{82}\text{Pb}$ becomes $^{210}_{83}\text{Bi}$ which is equal to -0,2639 MeV.

Key word: Binding energy, disintegration energy, liquid drop model.

PENDAHULUAN

Semua materi di alam tersusun oleh atom. Atom terdiri atas inti dan elektron yang mengitarinya dengan lintasan tertentu. Inti atom tersusun atas proton dan neutron. Tidak semua inti atom stabil, terdapat beberapa inti yang tidak stabil. Tritium adalah salah satu unsur radioaktif yang masih relatif aman diaplikasikan pada baterai betavoltaics, unsur ini memiliki dua neutron dan satu elektron yang mengelilingi intinya (Supriadi *et al.*, 2018). Kestabilan inti atom dipengaruhi oleh komposisi jumlah proton dan neutron (Alatas *et al.*, 2009). Inti yang tidak stabil akan meluruh secara spontan dengan memancarkan partikel dan gelombang elektromagnetik secara spontan yang biasa disebut dengan radioaktivitas. Unsur yang mempunyai

nomor atom $Z > 83$ merupakan unsur radioaktif. Disintegrasi inti radioaktif adalah awal dari deret peluruhan radioaktif yang pada akhirnya akan menghasilkan isotop yang stabil (Chang, 2003). Sebagian besar unsur-unsur radioaktif yang terdapat di alam merupakan anggota dari empat deret radioaktif (deret thorium, deret neptunium, deret uranium, dan deret aktinium), masing-masing deret terdiri dari nuklida anak yang diturunkan dari nuklida induk (Beiser, 2003).

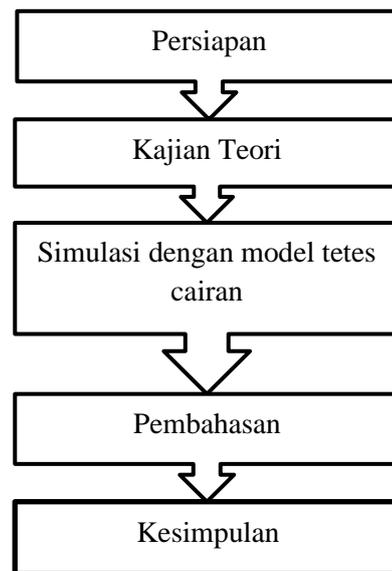
Pada beberapa jurnal maupun buku cetak tentang fisika inti khususnya yang berkaitan dengan kestabilan inti pada proses peluruhan zat radioaktif, jarang sekali disinggung tentang energi pada proses peluruhannya, namun lebih sering membahas mengenai waktu paruh dan laju peluruhan, misalnya penelitian yang

dilakukan oleh Ridwan (2015) yang membahas massa sisa dan laju peluruhan pada deret radioaktif uranium. Energi pada proses peluruhan zat radioaktif jarang dan bahkan belum disinggung lebih dalam pada jurnal maupun buku cetak, sedangkan energi ikat maupun energi disintegrasi sangatlah penting mengingat bahwa kestabilan inti berhubungan dengan energi. Menurut Sukarna (1997) nuklida yang memiliki kelebihan energi di dalam intinya dibanding nuklida stabilnya mengakibatkan nuklida tersebut menjadi tidak stabil. Penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya seperti penelitian Sukarna (1997), menyimpulkan bahwa energi ikat inti dapat menjelaskan kestabilan inti dan memperkirakan energi disintegrasi. Suhendar (2016) menyimpulkan bahwa massa inti per nukleon dapat digunakan untuk menghitung energi ikat inti per nukleon. Dan penelitian lain dari Akbar (2013) menyatakan bahwa model tetes cairan dapat digunakan untuk menduga kestabilan inti. Penelitian-penelitian tersebut hanya sebatas mengkaji kestabilan inti dengan menggunakan energi ikat inti dan hanya melihat massa suatu inti saja, sehingga penelitian tersebut kurang spesifik dan perlu adanya model inti untuk menjelaskan energi-energi yang terdapat dalam inti secara spesifik dan model yang sesuai adalah model tetes cairan.

Model tetes cairan menganggap inti seperti suatu tetes cairan yang memiliki kerapatan konstan, dengan mempertimbangkan efek-efek yang terdapat dalam inti seperti efek volume, permukaan, coulomb, asimetri, dan pasangan. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya yaitu penelitian Akbar terletak pada unsur dan reaksi inti yang dikaji yaitu energi dari unsur-unsur pada proses peluruhan deret radioaktif uranium. Tujuan dari penelitian ini yaitu menghitung energi ikat dan energi ikat per nukleon, serta energi disintegrasi pada proses peluruhan deret uranium dengan pendekatan energi ikat inti model tetes cairan.

METODE

Penelitian pemodelan ini menggunakan variabel-variabel antara lain unsur radioaktif, deret uranium, energi ikat inti dan energi ikat per nukleon, energi disintegrasi, dan model tetes cairan. langkah-langkah penelitian dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Bagan langkah-langkah penelitian

Pada tahap persiapan menyiapkan bahan-bahan pendukung penelitian berupa jurnal dan buku yang relevan. Tahap kajian teori, mengkaji teori kestabilan inti, energi ikat inti, unsur radioaktif, deret uranium, dan model tetes cairan dari jurnal dan buku yang relevan. Tahap simulasi dengan model tetes cairan melakukan pengambilan data, dengan memasukkan persamaan energi ikat inti, energi ikat per nukleon dan energi disintegrasi ke dalam pemrograman matlab. Persamaan-persamaan yang digunakan antara lain:

1. Persamaan energi ikat model tetes cairan :

$$E_B = a_v A - a_s A^{\frac{2}{3}} - a_c \frac{Z^2}{A^{\frac{1}{3}}} - a_a \frac{(A-2Z)^2}{A} \pm \delta(Z, A)$$

Keterangan:

E_B : energi ikat inti

A : nomor massa

Z : nomor atom

Tetapan-tetapan :

$a_p=15,56$ MeV; $a_s= 17,23$ MeV; $a_c = 0,697$ MeV; $a_a= 23,285$ MeV; $a_p= 12$ MeV

$\delta(Z, A) = +a_p/A^{1/2}$ untuk Z genap-N genap

$\delta(Z, A) = 0$ untuk A ganjil (Z genap-N ganjil atau Z ganjil-N genap)

$\delta(Z, A) = -a_p/A^{1/2}$ untuk Z ganjil-N ganjil (WilliamS, 1991)

- Persamaan energi ikat per nukleon:

$$E_{B\text{pernukleon}} = \frac{E_B}{A}$$

- Persamaan energi disintegrasi:

$$Q_\alpha = E_B(Y) + E_B(\alpha) - E_B(X)$$

$$Q_\beta = E_B(Y) - E_B(X) + m_n - m_H$$

Keterangan:

Q_α : energi disintegrasi alfa

Q_β : energi disintegrasi beta

$E_B(Y)$: energi ikat inti unsur turunan

$E_B(\alpha)$: energi ikat inti partikel alfa

$E_B(X)$: energi ikat inti unsur induk

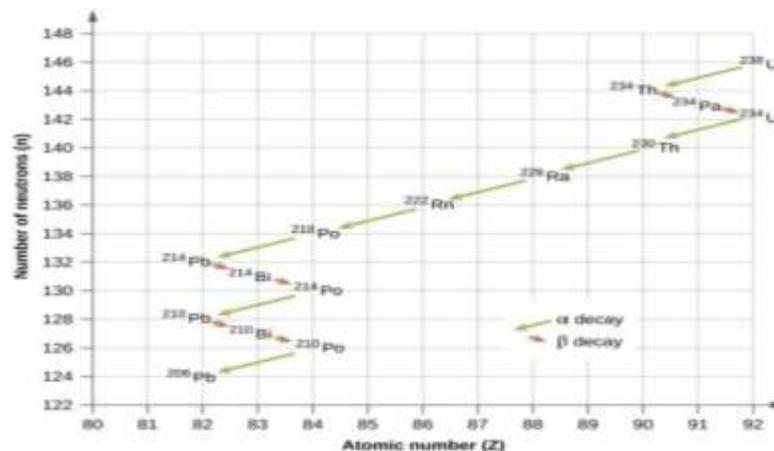
m_n : massa neutron (939,573 MeV)

m_H : massa atom hidrogen (938,791 MeV).

Tahap pembahasan, menganalisis data hasil perhitungan. Tahap kesimpulan, menyimpulkan hasil analisis yang telah dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, proses peluruhan deret uranium dengan unsur induk ${}^{238}_{92}\text{U}$ yang memiliki inti tidak stabil meluruh secara spontan dengan memancarkan ${}^4_2\alpha$ menjadi unsur ${}^{234}_{90}\text{Th}$, kemudian ${}^{234}_{90}\text{Th}$ meluruh dengan memancarkan ${}^0_{-1}\beta$ menjadi ${}^{234}_{91}\text{Pa}$. Unsur ${}^{234}_{91}\text{Pa}$ meluruh dengan memancarkan ${}^0_{-1}\beta$ menjadi ${}^{234}_{92}\text{U}$. Unsur ${}^{234}_{92}\text{U}$ meluruh dengan memancarkan ${}^4_2\alpha$ menjadi ${}^{230}_{90}\text{Th}$. Unsur ${}^{230}_{90}\text{Th}$ meluruh dengan memancarkan ${}^4_2\alpha$ menjadi ${}^{226}_{88}\text{Ra}$. Unsur ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ meluruh dengan memancarkan ${}^4_2\alpha$ menjadi ${}^{222}_{86}\text{Rn}$. Unsur ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ meluruh dengan memancarkan ${}^4_2\alpha$ menjadi ${}^{218}_{84}\text{Po}$. Unsur ${}^{218}_{84}\text{Po}$ meluruh dengan memancarkan ${}^4_2\alpha$ menjadi ${}^{214}_{82}\text{Pb}$. Unsur ${}^{214}_{82}\text{Pb}$ meluruh dengan memancarkan ${}^0_{-1}\beta$ menjadi ${}^{214}_{83}\text{Bi}$. Unsur ${}^{214}_{83}\text{Bi}$ meluruh dengan memancarkan ${}^0_{-1}\beta$ menjadi ${}^{214}_{84}\text{Po}$. Unsur ${}^{214}_{84}\text{Po}$ meluruh dengan memancarkan ${}^4_2\alpha$ menjadi ${}^{210}_{82}\text{Pb}$. Unsur ${}^{210}_{82}\text{Pb}$ meluruh dengan memancarkan ${}^0_{-1}\beta$ menjadi ${}^{210}_{83}\text{Bi}$. Unsur ${}^{210}_{83}\text{Bi}$ meluruh dengan memancarkan ${}^0_{-1}\beta$ menjadi ${}^{210}_{84}\text{Po}$. Unsur ${}^{210}_{84}\text{Po}$ meluruh dengan memancarkan ${}^4_2\alpha$ menjadi inti stabil pada ${}^{206}_{82}\text{Pb}$. Proses peluruhan deret uranium dapat dilihat pada gambar 2. Hasil penelitian peluruhan berantai deret uranium dapat dilihat pada tabel 1.



Gambar 2 Proses peluruhan deret Uranium
(Sumber: courses.lumenlearning.com)

Tabel 1. Hasil perhitungan energi ikat inti, energi ikat per nukleon, dan energi yang dilepaskan pada peluruhan deret uranium dengan model tetes cairan

Nuklida	Jenis peluruhan	E_B (MeV)	E_B/A (MeV)	Q (MeV)
$^{238}_{92}\text{U}$	$^4_2\alpha$	1805,1	7,5845	4,3977
$^{234}_{90}\text{Th}$	$^0_{-1}\beta$	1781,2027	7,612	-0,1637
$^{234}_{91}\text{Pa}$	$^0_{-1}\beta$	1780,257	7,6079	1,9518
$^{234}_{92}\text{U}$	$^4_2\alpha$	1781,4268	7,6129	5,1037
$^{230}_{90}\text{Th}$	$^4_2\alpha$	1758,2355	7,6445	4,435
$^{226}_{88}\text{Ra}$	$^4_2\alpha$	1734,3755	7,6742	3,7547
$^{222}_{86}\text{Rn}$	$^4_2\alpha$	1709,8352	7,702	3,0621
$^{218}_{84}\text{Po}$	$^4_2\alpha$	1684,6023	7,7275	2,3563
$^{214}_{82}\text{Pb}$	$^0_{-1}\beta$	1658,6636	7,7508	1,2408
$^{214}_{83}\text{Bi}$	$^0_{-1}\beta$	1659,1224	7,7529	3,4185
$^{214}_{84}\text{Po}$	$^4_2\alpha$	1661,7589	7,7652	3,1266
$^{210}_{82}\text{Pb}$	$^0_{-1}\beta$	1636,5905	7,7933	-0,2639
$^{210}_{83}\text{Bi}$	$^0_{-1}\beta$	1635,5446	7,7883	1,9268
$^{210}_{84}\text{Po}$	$^4_2\alpha$	1636,6894	7,7938	3,8803
$^{206}_{82}\text{Pb}$	Stabil	1612,2747	7,8266	Stabil

dengan :

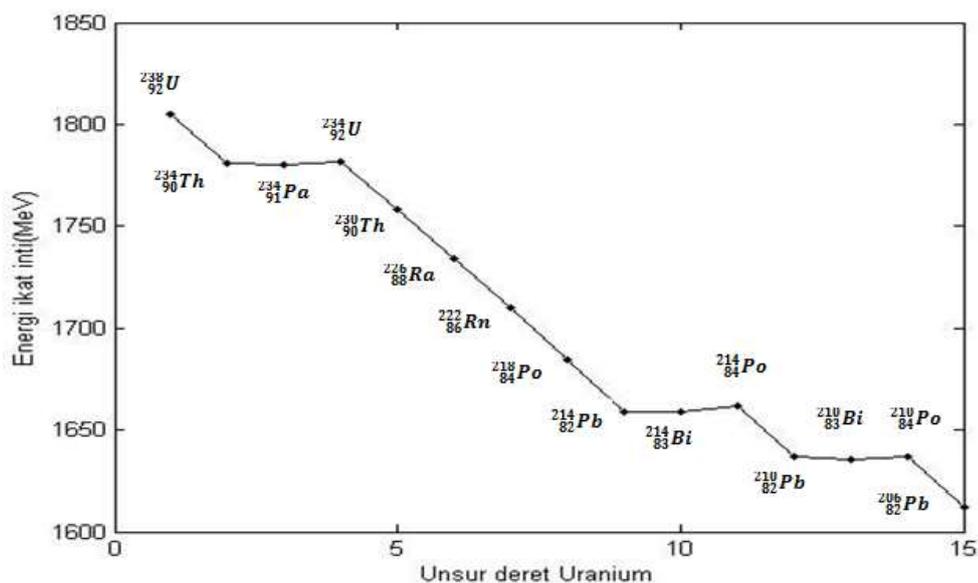
E_B = energi ikat inti (MeV)

E_B/A = energi ikat inti per nukleon (MeV)

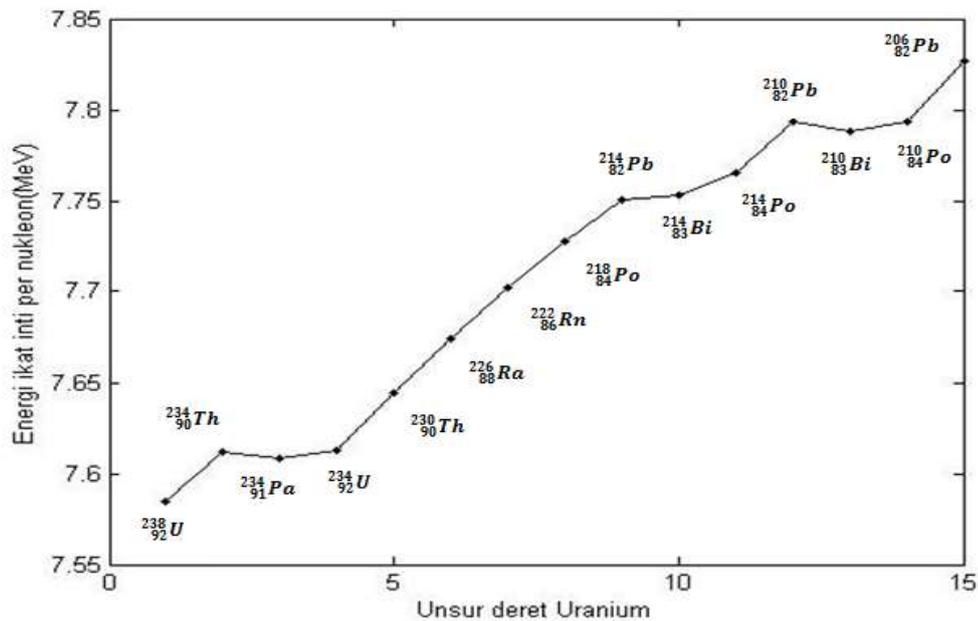
Q = energi disintegrasi (MeV)

Berdasarkan hasil perhitungan energi ikat inti yang telah dilakukan, dalam satu deret uranium diketahui bahwa unsur $^{238}_{92}\text{U}$

memiliki energi ikat inti paling besar yaitu 1805,1 MeV namun memiliki energi ikat inti per nukleon paling kecil yaitu 7,5845 MeV. Energi ikat inti dalam satu deret uranium mengalami grafik penurunan secara linier (gambar 3), namun pada energi ikat inti per nukleon mengalami grafik kenaikan secara linier (gambar 4).



Gambar 3. Grafik energi ikat inti unsur deret Uranium



Gambar 4 Grafik energi ikat inti per nukleon unsur deret Uranium

Pada gambar 3 grafik energi ikat inti unsur deret uranium terlihat mengalami grafik menurun. Dalam satu deret uranium, unsur $^{238}_{92}\text{U}$ memiliki energi ikat inti lebih besar daripada unsur lainnya yaitu 1805,1 MeV. Sedangkan unsur $^{206}_{82}\text{Pb}$ yang merupakan inti stabil memiliki energi ikat inti paling kecil yaitu 1612,2747 MeV. Hal ini terlihat bahwa dalam satu deret uranium, unsur dengan inti yang lebih stabil memiliki energi ikat inti lebih kecil daripada unsur dengan inti yang kurang stabil.

Pada gambar 4 grafik energi ikat inti per nukleon terlihat mengalami grafik naik. dalam satu deret uranium, unsur $^{238}_{92}\text{U}$ memiliki energi ikat inti per nukleon lebih kecil daripada unsur lainnya yaitu 7,5845 MeV. Sedangkan unsur $^{206}_{82}\text{Pb}$ yang merupakan inti stabil memiliki energi ikat inti per nukleon paling besar yaitu 7,8266 MeV. Hal ini terlihat bahwa dalam satu deret uranium, unsur dengan inti yang lebih stabil memiliki energi ikat inti per nukleon lebih besar daripada unsur dengan inti yang kurang stabil.

Pada tabel 1, terlihat bahwa energi disintegrasi pada proses peluruhan deret uranium memiliki harga terbesar pada peluruhan alfa unsur $^{234}_{92}\text{U}$ menjadi unsur

$^{230}_{90}\text{Th}$ yaitu sebesar 5,1037 MeV sedangkan energi disintegrasi terkecil terjadi pada peluruhan beta unsur $^{210}_{82}\text{Pb}$ menjadi unsur $^{210}_{83}\text{Bi}$ yaitu sebesar -0,2639 MeV.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa :

1. Energi ikat terbesar dimiliki oleh unsur $^{238}_{92}\text{U}$ yaitu 1805,1 MeV dan terkecil dimiliki oleh unsur $^{206}_{82}\text{Pb}$ yaitu sebesar 1612,2747 MeV sehingga diperoleh grafik menurun, sedangkan energi ikat per nukleon terbesar dimiliki oleh $^{206}_{82}\text{Pb}$ yaitu sebesar 7,8266 MeV dan terkecil dimiliki oleh $^{238}_{92}\text{U}$ yaitu sebesar 7,5845 MeV sehingga diperoleh grafik naik;
2. Energi disintegrasi terbesar terjadi pada peluruhan alfa unsur $^{234}_{92}\text{U}$ menjadi unsur $^{230}_{90}\text{Th}$ yaitu sebesar 5,1037 MeV sedangkan energi disintegrasi terkecil terjadi pada peluruhan beta unsur $^{210}_{82}\text{Pb}$ menjadi unsur $^{210}_{83}\text{Bi}$ yaitu sebesar -0,2639 MeV.

Diharapkan penelitian ini dapat dikembangkan dengan menggunakan satu model lainnya dan menggunakan variabel

yang berbeda. Sehingga dapat menambah referensi materi fisika inti khususnya kestabilan inti.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, A. M. (2013). Kajian Stabilitas Inti Super Berat Dengan Nomor Atom 110 Sampai Dengan 200 Menggunakan Model Inti Tetes Cairan. Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Alatas, Z., Hidayati, S., Akhadi, M., Purba, M., Purwadi, D., Ariyanto, S., Winarno, H., Rismiyanto, Sofyatiningrum, E., Hendriyanto, Widyastono, H., Parmanto, E. M., dan Syahril. (2009). *Buku Pintar Nuklir*. Jakarta: BATAN.
- Beiser, A. (2003). *Concepts of Modern Physics* (Sixth Edition). New York: McGraw-Hill.
- Chang, R. (2003). *General Chemistry: The Essential Concepts* (Third Edition). New York: McGraw-Hill.
- Ridwan, J. (2015). Simulasi Numerik Massa Peluruhan Inti Zat Radioaktif Unsur Uranium-238 dengan Metode Aljabar Matriks. Program Studi Pendidikan Fisika Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember, Jember.
- Suhendar, D. (2016). Menentukan Kestabilan Nuklida-Nuklida Berdasarkan Massa Inti Per Nukleon. *Chimica et Acta*, 4(2), 60-71.
- Sukarna, I. M. 1997. Kajian Kestabilan Inti Dengan Pendekatan Energi Pengikat Inti. *Cakrawala Pendidikan*, 16(3), 165-175.
- Supriadi, B., Prastowo, S. H. B., Bahri, S., Ridlo, Z. R., dan Prihandono, T. (2018). The Stark Effect on the Wave Function of Tritium in Relativistic Condition. *Journal of Physics: Conf. Series*, 997(1), 1-7. doi:10.1088/1742-6596/997/1/012045.
- Williams, W. S. C. (1991). *Nuclear and Particle Physics*. New York: Oxford Univ. Press.