



**SIMULASI ENERGI IKAT DAN ENERGI DISINTEGRASI
PELURUHAN UNSUR RADIOAKTIF DERET AKTINIUM
BERDASARKAN MODEL INTI TETESAN CAIRAN
(TELAAH KLASIK)**

SKRIPSI

Oleh :

Maharani Karunia Putri

NIM 160210102028

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER
2021**



**SIMULASI ENERGI IKAT DAN ENERGI DISINTEGRASI
PELURUHAN UNSUR RADIOAKTIF DERET AKTINIUM
BERDASARKAN MODEL INTI TETESAN CAIRAN
(TELAAH KLASIK)**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Pendidikan Fisika (S1) dan mencapai gelar Sarjana Pendidikan

Oleh :

Maharani Karunia Putri

NIM 160210102028

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER
2021**

PERSEMBAHAN

Dengan membaca Basmalah dapat menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang serta tidak akan lupa sholawat saya sertakan kepada Rasulullah Nabi Muhammad SAW., skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Ayahanda Agus Supriono dan Ibunda Endang Murtiningsih yang telah memberi doa, samangat, kasih sayang yang tidak pernah putus sehingga saya dapat sampai pada tahap ini.
2. Bapak/Ibu guru mulai pendidikan non formal dan pendidikan formal hingga perguruan tinggi, yang telah mengajarkan ilmu serta mendidik saya.
3. Almamater Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

MOTTO

“Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kadar kesanggupannya”

(Q.S Al-Baqarah: 286)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Maharani Karunia Putri

NIM : 160210102028

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul :
“Simulasi Energi Ikat dan Energi Disintegrasi Peluruhan Unsur Radioaktif Deret Aktinium berdasarkan Model Inti Tetapan Cairan (Telaah Klasik)” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pertanyaan ini tidak benar.

Jember, 15 Maret 2021

Yang menyatakan,



Maharani Karunia Putri

NIM. 160210102028

SKRIPSI

**SIMULASI ENERGI IKAT DAN ENERGI DISINTEGRASI
PELURUHAN UNSUR RADIOAKTIF DERET AKTINIUM
BERDASARKAN MODEL INTI TETESAN CAIRAN
(TELAAH KLASIK)**

Oleh :
Maharani Karunia Putri
NIM 160210102028

Dosen Pembimbing Utama : Drs. Albertus Djoko Lesmono, M.Si

Dosen Pembimbing Anggota : Drs. Alex Harijanto, M.Si

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Simulasi Energi Ikat dan Energi Disintegrasi Peluruhan Unsur Radioaktif Deret Aktinium berdasarkan Model Inti Tetesan Cairan (Telaah Klasik)” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Senin, 26 Januari 2021

tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

Drs. Albertus Djoko Lesmono, M.Si
NIP. 19641230 199302 1 001

Drs. Alex Harijanto, M.Si
NIP. 19641117 199103 1 001

Anggota I,

Anggota II,

Dr. Drs. Sri Handono Budi Prastowo, M.Si.
NIP. 19580318 198503 1 004

Drs. Bambang Supriadi, M.Sc.
NIP. 19680710 199302 1 001

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Universitas Jember,

Prof. Dr. Bambang Soepeno, M.Pd
NIP : 19600612 198702 1 001

RINGKASAN

“Simulasi Energi Ikat dan Energi Disintegrasi Peluruhan Unsur Radioaktif Deret Aktinium berdasarkan Model Inti Tetesan Cairan (*Telaah Klasik*)”; Maharani Karunia Putri; 160210102028; 57 halaman; Program Studi Pendidikan Fisika Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Fisika merupakan salah satu mata pelajaran yang terdapat di sekolah. Pelajaran fisika umumnya dianggap sebagai pelajaran yang sulit dipahami oleh siswa. Beberapa alasannya adalah karena terdapat sangat banyak hal abstrak yang harus dipahami dan banyak rumus yang harus dihapal dalam fisika. Salah satu topik yang dibahas dalam pembelajaran fisika di sekolah adalah fisika inti. Salah satu materi yang terdapat dalam Fisika Inti yaitu adalah mempelajari tentang atom. Atom merupakan satuan unit terkecil dari suatu unsur yang tidak dapat dibagi lagi. Inti atom terbagi menjadi dua, yakni inti atom yang bersifat stabil dan bersifat radioaktif. Inti radioaktif akan memancarkan berupa radiasi α , radiasi β , atau radiasi γ dalam proses menuju kestabilan. Setiap atom yang memancarkan radiasi membutuhkan energi ikat dan akan menghasilkan energi disintegrasi. Dalam era ini, begitu banyak perkembangan teknologi informasi yang dapat memecahkan permasalahan dalam pembelajaran misalnya dengan menggunakan program sederhana seperti MATLAB. Perhitungan menggunakan matlab dianggap lebih akurat dibandingkan dengan perhitungan manual dengan hasil yang sama.

Tujuan dari penelitian ini adalah menghitung energi ikat dan disintegrasi dengan telaah klasik yang dihasilkan oleh peluruhan zat radioaktif pada deret aktinium berdasarkan model inti tetesan cairan. Penelitian ini dilakukan di laboratorium fisika lanjut Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Jember pada semester ganjil tahun ajaran 2020 – 2021. Jenis penelitian ini adalah penelitian deskripsi non-eksperimen. Langkah-langkah penelitian ini adalah (1) mempersiapkan bahan-bahan informasi untuk menambah pemahaman

mengenai simulasi peluruhan unsur radioaktif deret Aktinium, beserta energi ikat dan energi disintegrasi, (2) mengumpulkan kajian teori dilakukan dengan menggunakan studi literatur yang didapatkan mengenai simulasi peluruhan unsur radioaktif deret Aktinium, beserta energi ikat dan energi disintegrasi, (3) membuat simulasi berbantuan Matlab, (4) memvalidasi hasil dengan menggunakan data dan grafik yang telah diperoleh dari literatur dengan bahasan energi ikat dan energi disintegrasi unsur radioaktif dalam deret Aktinium dengan metode tetes cairan, (5) menganalisis dan membahas hasil peluruhan unsur radioaktif deret Aktinium, dan (6) menyimpulkan hasil untuk menjawab rumusan masalah penelitian.

Deret Aktinium menghasilkan radioaktif induk berupa ${}_{92}\text{U}^{235}$ dan memiliki waktu paruh $7,10 \times 10^8$ tahun. Dalam deret aktinium mengalami 16 proses peluruhan berupa 10 peluruhan alfa (α) dan 6 peluruhan beta (β). unsur ${}_{92}\text{U}^{235}$ merupakan unsur pada deret Aktinium yang memiliki energi ikat inti terbesar yaitu 1786,751 MeV dan energi ikat per nukleon terkecil yaitu 7,6032 MeV. Grafik nilai energi ikat menggunakan model tetesan cairan yang dihasilkan unsur radioaktif deret Aktinium mengalami penurunan secara linier. Semua unsur pada deret Aktinium memiliki hasil energi disintegrasi (Q_1) memenuhi syarat bahwa $Q_1 > 0$. Hasil akhir yang dihasilkan dari peluruhan deret Aktinium adalah unsur ${}_{82}\text{Pb}^{207}$ dengan energi ikat sebesar 1617,737 MeV dan energi ikat per nukleon sebesar 7,8152 MeV. Unsur ${}_{82}\text{Pb}^{207}$ merupakan unsur stabil. Unsur tersebut tergolong ke dalam nuklida sedang dan tidak menghasilkan energi dsintegrasi..

Kesimpulan dalam penelitian ini adalah grafik hasil perhitungan energi ikat menggunakan model tetesan cairan yang dihasilkan unsur radioaktif Deret Aktinium mengalami penurunan secara linear. Unsur ${}_{92}\text{U}^{235}$ adalah unsur yang memiliki energi ikat terbesar yakni bernilai 1786,751 MeV dan unsur ${}_{83}\text{Bi}^{211}$ adalah unsur yang memiliki energi ikat terkecil yakni bernilai 1616,311 MeV. Energi disintegrasi yang ditemukan pada unsur radioaktif Deret Aktinium memiliki nilai positif ($Q > 0$). Energi disintegrasi terbesar dihasilkan dari peluruhan alfa oleh unsur ${}_{91}\text{Pa}^{231}$ yaitu sebesar 4,9335 MeV dan energi ikat terkecil dihasilkan dari peluruhan beta oleh unsur ${}_{91}\text{Pa}^{231}$ yaitu sebesar 0,0018 MeV.

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **“Simulasi Energi Ikat dan Energi Disintegrasi Peluruhan Unsur Radioaktif Deret Aktinium berdasarkan Model Inti Tetesan Cairan (*Telaah Klasik*)”**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan program pendidikan strata atau (S1) Program Studi Pendidikan Fisika di Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Penulis skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Bambang Soepeno, M.Pd. selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
2. Dr. Dwi Wahyuni, M.Kes. selaku Ketua Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
3. Drs. Bambang Supriadi, M.Sc selaku Kepala Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
4. Prof. Dr. Indrawati, M.Pd. selaku Dosen Pembimbing Akademik (DPA) yang telah membimbing nasehat dan arahan;
5. Drs. Albertus Djoko Lesmono, M.Si, selaku Dosen Pembimbing Utama, Drs. Alex Harijanto, M.Si selaku Dosen Pembimbing Anggota, Dr. Drs. Sri Handono Budi Prastowo, M.Si., selaku Dosen Penguji Utama, Drs. Bambang Supriadi, M.Sc., selaku Dosen Penguji Anggota, yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatiannya demi terselesainya skripsi ini;
6. Kedua orang tua saya, Bapak Agus Supriono dan Ibu Endang Murtiningsih beserta keluarga, yang selalu mendoakan dan mendukung saya dengan segala kesabaran mereka hingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini;
7. Teman-teman baik dari Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Jember maupun di luar universitas, yang telah banyak menemani perjalanan perkuliahan saya dan mendukung hingga sampai titik ini;

8. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu yang telah memberikan dalam hal dukungan dan doa dalam penyusunan skripsi ini.

Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak. Penulis juga menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis berharap menerima kritik dan saran yang dapat membangun. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan dan perhatiannya semua pihak.

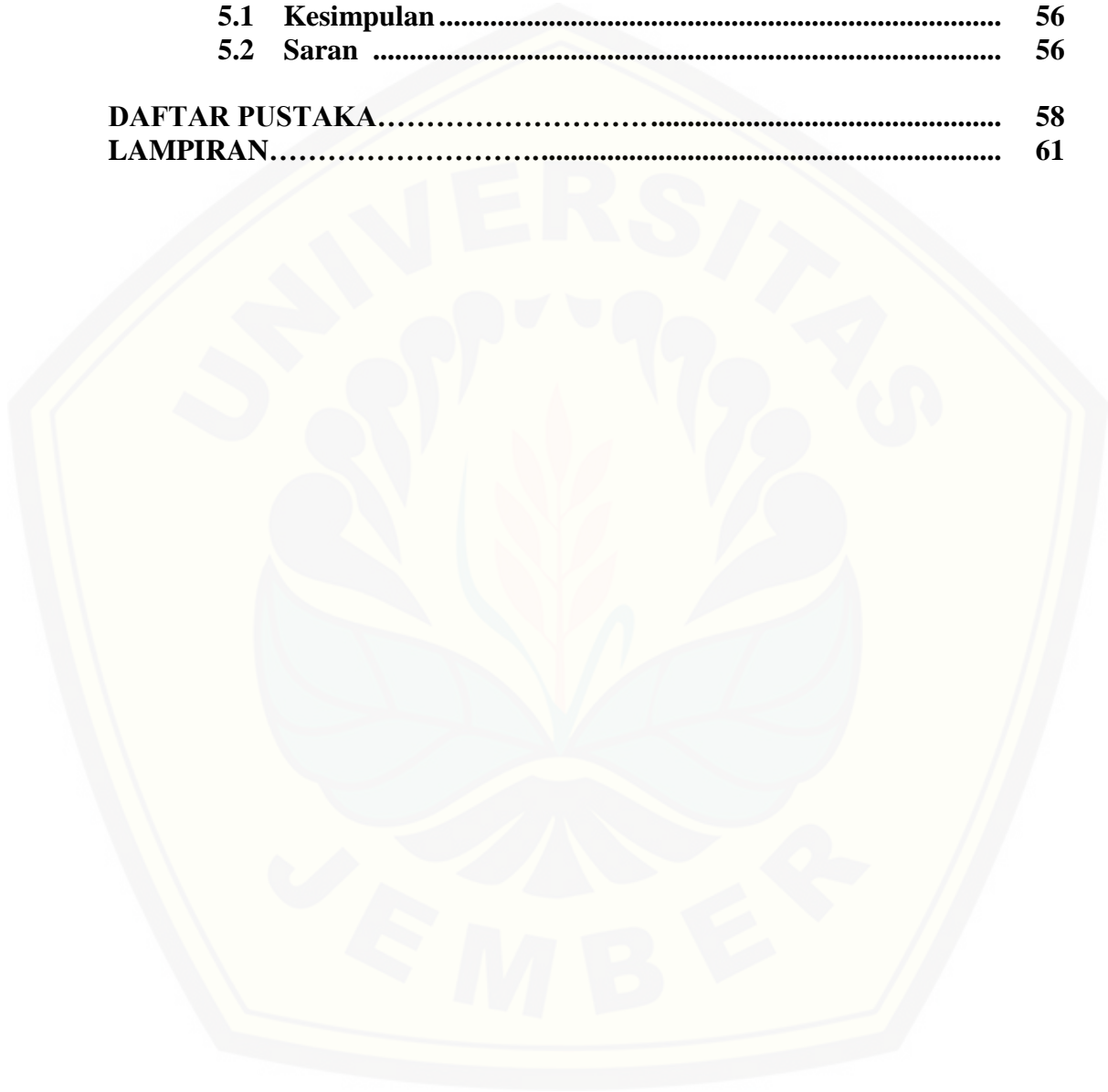
Jember, 15 Maret 2021

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN.....	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Permasalahan	4
1.3 Batasan Permasalahan	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Unsur	6
2.2 Kestabilan Inti Atom	8
2.3 Unsur Radioaktif.....	11
2.3.1 Unsur Radioaktif Alami	11
2.3.2 Unsur Radioaktif Buatan.....	12
2.4 Peluruhan Radioaktif	12
2.5 Deret Radioaktif.....	17
2.5.1 Deret Thorium.....	18
2.5.2 Deret Neptunium.....	19
2.5.3 Deret Uranium.....	20
2.5.1 Deret Aktinium.....	21
2.6 Energi Ikat	24
2.7 Energi Disintegrasi.....	27
2.8 Model Tetesan Cairan	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1 Jenis Penelitian	33
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	33
3.3 Definisi Operasional Variabel.....	33
3.4. Langkah Penelitian	34
3.5 Alat Penelitian	43
3.6 Teknik Penyajian Data	43

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1 Hasil..	46
4.2 Pembahasan	49
BAB V PENUTUP...	56
5.1 Kesimpulan	56
5.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA.....	58
LAMPIRAN.....	61



DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Deret Radioaktif	18
2.2 Unsur-unsur radioaktif yang terdapat dalam Deret Thorium	19
2.3 Unsur-unsur radioaktif yang terdapat dalam Deret Uranium	21
2.4 Unsur-unsur radioaktif yang terdapat dalam Deret Aktinium	23
2.5 Harga E_{total} dan E per nukleon Serta Sifat Peluruhan Beberapa Nuklida...	24
2.6 Nilai b_5 pada Persamaan Massa Semiempirik	30
2.7 Jumlah Nukleon Tidak Berpasangan pada Persamaan Massa Semiempirik	31
3.1 Unsur-unsur Radioaktif yang Terdapat dalam Deret Aktinium	40
3.2 Data Energi Ikat, Energi Ikat per Nukleon, dan Energi Disintegrasi dalam Deret Aktinium	41
3.3 Energi Ikat dan Disintegrasi Unsur Radioaktid Deret Aktinium	44
4.1 Hasil Perhitungan Energi Ikat dan Energi Disintegrasi Unsur Radioaktif Deret Aktinium dengan Model Tetesan Cairan	46

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Tabel Periodik	7
2.2 Gaya Interaksi Kuat Inti dan Gaya Coloumb.....	9
2.3 Pita Kestabilan Unsur Radioaktif	10
2.4 Peluruhan Alfa	14
2.5 Peluruhan Beta	16
2.6 Peluruhan Gamma.....	17
2.7 Skema Deret Thorium-232.....	19
2.8 Skema Deret Neptunium-237.....	20
2.9 Skema Deret Uranium-238	21
2.10 Skema Deret Uranium-235 (Aktinium)	23
2.11 Energi Ikat per Nukleon	25
2.12 Energi Ikat Model Tetesan Cairan yang terjadi pada Peluruhan Unsur Deret Uranium	25
2.13 Energi Ikat per Nukleon Model Tetesan Cairan yang terjadi pada Peluruhan Unsur Deret Uranium	26
3.1 Langkah Penelitian.....	34
3.2 <i>Flowchart</i> Simulasi Penelitian	38
3.3 Skema Deret Uranium-235 (Aktinium)	39
3.4 Grafik Energi Ikat Deret Aktinium unsur radioaktif.....	44
3.5 Grafik Energi Disintegrasi Deret Aktinium unsur radioaktif.....	44
4.1 Grafik Energi Ikat Deret Aktinium Unsur Radioaktif	47
4.2 Grafik Energi Disintegrasi Deret Aktinium Unsur Radioaktif	48
4.3 Proses Peluruhan Deret Aktinium	49

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fisika merupakan salah satu mata pelajaran yang terdapat di sekolah. Pelajaran fisika umumnya dianggap sebagai pelajaran yang sulit dipahami oleh siswa. Beberapa alasannya adalah karena terdapat sangat banyak hal abstrak yang harus dipahami dan banyak rumus yang harus dihapal dalam fisika. Salah satu topik yang dibahas dalam pembelajaran fisika di sekolah adalah fisika inti. Fisika inti merupakan salah satu topik pada pembelajaran fisika yang merupakan topik yang abstrak secara kasat mata, sehingga membutuhkan kreativitas tinggi bagi siswa untuk memahami topik fisika inti tersebut. Selain itu, guru diminta untuk menjelaskan dengan strategi tertentu untuk menjelaskan topik fisika inti kepada siswa. Untuk memberikan pengalaman langsung kepada siswa di dalam kelas juga hampir tidak mungkin. Salah satu cara untuk memberikan pengalaman langsung adalah melakukan kegiatan karyawisata ke laboratorium-laboratorium yang memiliki fasilitas tersebut. Misalnya saja, reaktor nuklir yang dimiliki oleh BATAN. Namun, hal ini tentu saja memakan biaya dan waktu. Selain itu, materi fisika inti terdapat pada kelas XII yang waktu belajarnya sangat sedikit karena harus menghadapi Ujian Nasional yang termasuk pelajaran fisika di dalamnya.

Dalam era ini, begitu banyak perkembangan teknologi informasi yang dapat memecahkan permasalahan dalam pembelajaran. Dengan menggunakan komputer, seorang guru dapat memvisualisasikan materi fisika inti yang abstrak secara kasat mata. Namun, dalam mendapatkan program-program komputer dari produsen khusus pasti akan mengeluarkan biaya yang besar. Sehingga, guru harus mampu menggunakan program sederhana seperti Adobe Flash, MATLAB, PhET, dan program-program lainnya untuk membantu pembelajaran. Jika seorang guru menguasai dan mampu mengembangkan program tersebut, maka pemakaian program tersebut dapat mengurangi kesulitan siswa. Selain itu, jika guru tidak pandai melakukan analisis terhadap program tersebut, dikhawatirkan menjadikan konsep tersebut salah dimengerti oleh siswa atau justru siswa semakin tidak

mengerti dan pada akhirnya fisika pun menjadi pelajaran yang ditakuti oleh siswa (Basyari, 2012).

Berdasarkan penelitian Jatmiko, B. *et al* (2013), dengan menerapkan simulasi PhET dan KIT sederhana pada siswa dapat mengajarkan keterampilan psikomotor siswa pada pokok bahasan alat optik. Simulasi PhET menekankan hubungan antara fenomena kehidupan nyata dengan ilmu yang mendasari, mendukung pendekatan interaktif dan konstruktivis, memberikan umpan balik, dan menyediakan tempat kerja kreatif. Pembelajaran dilengkapi dengan menggunakan KIT sederhana dapat memudahkan pemahaman konsep-konsep Fisika yang bersifat abstrak. Hasil penelitian penerapan simulasi PhET dan KIT menunjukkan bahwa keterlaksanaan pembelajaran berjalan dengan baik sesuai dengan RPP, hasil psikomotor kelas eksperimen 1 dengan menggunakan simulasi PhET dan kelas eksperimen 2 dengan menggunakan KIT sederhana dapat menuntaskan hasil belajar siswa, serta respon siswa terhadap pembelajaran positif.

Berdasarkan penelitian Hutagalung, S. N. (2018), pembelajaran fisika dasar dan elektronika dasar menggunakan program matlab dengan metode Simulink dapat membantu pemahaman kepada mahasiswa dalam memahami materi perkuliahan dalam bentuk simulasi. Model dan simulasi yang akan digambarkan untuk memberikan pemahaman pembelajaran listrik tentang arus, tegangan dan daya. Simulasi menggunakan software Matlab dapat memberikan output berupa gambar diagram dari perhitungan arus, tegangan dan daya listrik. Dalam hal ini, penggunaan program matlab dengan metode simulink dapat menyimulasikan teori ke dalam bentuk tampilan dalam pemahaman mengenai rangkaian listrik.

Berdasarkan penelitian Rajagukguk, J. dan Sarumaha, C. (2017), pembelajaran gerak parabola yang digambarkan dalam dua dimensi dapat dilakukan atau ditunjukkan dengan menggunakan aplikasi GUI matlab. Graphic user interface (GUI) adalah tool yang tersedia pada matlab. GUI matlab memiliki kemampuan untuk menampilkan grafis dengan baik sehingga dapat memudahkan siswa dalam menggambarkan grafik gerak parabola. Dalam matlab terlihat jelas perbedaan grafik yang terbentuk, dengan memberi variasi nilai kecepatan awal dan sudut benda. Selain itu, perhitungan menggunakan matlab dan perhitungan melalui

persamaan memiliki hasil yang sama, bahkan lebih akurat dibandingkan dengan perhitungan manual.

Salah satu materi yang terdapat dalam Fisika Inti yaitu adalah mempelajari tentang atom. Atom merupakan satuan unit terkecil dari suatu unsur yang tidak dapat dibagi lagi. Inti atom terbagi menjadi dua, yakni inti atom yang bersifat stabil dan bersifat radioaktif. Inti radioaktif akan memancarkan berupa radiasi α , radiasi β , atau radiasi γ dalam proses menuju kestabilan. Setiap atom yang memancarkan radiasi membutuhkan energi untuk memisahkan inti atom menjadi komponen-komponen nukleonya. Energi ini disebut dengan energi ikat inti (Krane, 2012).

Unsur radioaktif yang pada umumnya didapatkan di alam merupakan anggota dari empat deret radioaktif. Tiga deret dari keempat deret radioaktif merupakan deret radioaktif alami yaitu deret thorium, deret uranium dan deret aktinium. Keempat deret radioaktif tersebut didapatkan dari peluruhan α yang mereduksi nomor massa inti atom menjadi 4 macam. Nomor massa peluruhan yang memenuhi persamaan $4n$ merupakan deret Thorium, $4n + 1$ merupakan deret Neptunium, $4n + 2$ merupakan deret Uranium, dan $4n + 3$ merupakan deret Aktinium. Anggota dari masing-masing deret dapat meluruh menjadi yang lain dalam orde menurun dari nomor massa (Wiyatmo, 2012).

Dalam menentukan suatu deret peluruhan radioaktif ke dalam deret Aktinium dibutuhkan penyelesaian peluruhan berantai untuk mengetahui nomor massa inti yang terbentuk tiap peluruhan nukleon. Salah satu penyelesaian yang dapat menyelesaikan persamaan tersebut yaitu dengan menggunakan simulasi komputer, berupa MATLAB. Sudah banyak penggunaan simulasi komputer pada kurikulum pendidikan teknik modern ini. Banyak buku teks yang menyajikan contoh-contoh dan latihan-latihan yang menggunakan program-program simulasi seperti MATLAB dan PSPICE. Bahkan situs website *Mathwork* telah mendaftarkan ratusan teks keteknikan yang menggunakan simulasi MATLAB. Menurut Jurado dan Keminskyj, penggunaan simulasi komputer telah membantu mahasiswa dalam pembelajarannya dan meningkatkan minat mahasiswa terhadap matakuliah yang diasuhnya (Antho. B, 2011).

Selain itu, dalam mencari energi ikat dan energi disintegrasi yang dihasilkan oleh atom radioaktif menggunakan Model Tetes Cairan. Model Tetes Cairan yang dikembangkan oleh N. Bohr disebabkan karena adanya persamaan antara beberapa sifat inti dan tetes cairan. Salah satu persamaannya adalah kalor uap tetes cairan dengan energi ikat atau massa atom jumlah proton yang membentuk suatu tetesan cairan (Mahardika, 2008). Menurut penelitian Mardiana (2019), model inti tetesan cairan dapat menduga kestabilan inti suatu unsur dengan mempertimbangkan efek volume, efek permukaan, efek coulomb, efek asimetri dan efek pasangan di dalam suatu inti. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya yaitu penelitian Mardiana terletak pada unsur yang dikaji penentuan peluruhan deret unsur radioaktif, yaitu unsur radioaktif deret Aktinium.

Berdasarkan uraian di atas maka perlu diadakan penelitian tentang simulasi untuk menemukan energi ikat atom, energi disintegrasi inti atom, dan penentuan peluruhan radioaktif suatu deret Aktinium menggunakan Model Inti Tetesan Cairan. Untuk itu perlu dilakukan penelitian dengan judul “Simulasi Energi Ikut dan Energi Disintegrasi Peluruhan Unsur Radioaktif Deret Aktinium Berdasarkan Model Inti Tetesan Cairan (Telaah Klasik)”.

1.2 Rumusan Masalah

Berkaitan dengan uraian latar belakang di atas, maka permasalahan yang dapat dirumuskan dalam penelitian sebagai berikut:

- a. Bagaimanakah energi ikat yang dihasilkan oleh peluruhan zat radioaktif pada deret Aktinium berdasarkan Model Inti Tetesan Cairan?
- b. Bagaimanakah energi disintegrasi yang dihasilkan oleh peluruhan zat radioaktif pada deret Aktinium berdasarkan Model Inti Tetesan Cairan?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang dibahas dalam penelitian ini sebagai berikut:

- a. Deret radioaktif yang digunakan yaitu peluruhan alami deret Aktinium.
- b. Variabel yang dihitung adalah energi ikat dan energi disintegrasi.

- c. Simulasi dalam peluruhan yang digunakan menggunakan teori Model Inti Tetesan Cairan.
- d. Proses yang terjadi pada Unsur Radioaktif Deret Aktinium adalah peluruhan alfa dan beta.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan dengan rumusan masalah di atas, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian sebagai berikut:

- a. Menghitung energi ikat yang dihasilkan oleh peluruhan zat radioaktif pada deret Aktinium berdasarkan Model Inti Tetesan Cairan.
- b. Menghitung Energi Disintegrasi yang dihasilkan oleh peluruhan zat radioaktif pada deret Aktinium berdasarkan Model Inti Tetesan Cairan dengan telaah klasik.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan memberikan manfaat, yakni:

- a. Bagi peneliti, sebagai referensi dan studi literatur dalam melakukan penelitian lebih lanjut tentang Simulasi peluruhan berantai unsur radioaktif pada deret Aktinium menggunakan Model Tetesan Cairan.
- b. Bagi prodi Pendidikan Fisika Universitas Jember, sebagai referensi untuk meningkatkan pustaka permasalahan peluruhan berantai pada deret Aktinium.
- c. Bagi guru, sebagai metode pembelajaran dalam pembelajaran Fisika Inti terutama penyelesaian solusi berantai pada deret Aktinium.
- d. Bagi siswa, sebagai pengetahuan tentang penyelesaian peluruhan berantai pada deret Aktinium dalam pembelajaran Fisika Inti.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Unsur

Atom merupakan satuan unit terkecil dari suatu unsur yang tidak dapat dibagi lagi. Jari-jari atom yang sangat kecil, yaitu hingga mencapai 0,1 nm ($0,1 \times 10^{-9}$ m), sehingga jari-jari atom tidak dapat diamati oleh mata telanjang. Namun, atom dapat diamati dengan menggunakan cahaya tampak dengan panjang gelombang mencapai 500 nm. Atom mengandung elektron yang bermuatan negatif, proton yang bermuatan positif, dan neutron yang bermuatan netral. Jumlah elektron dan proton yang dimiliki atom adalah sama, maka dari itu atom bersifat netral. Kumpulan dari atom yang memiliki sifat fisis dan kimia yang sama disebut dengan unsur.

Ada lebih dari separuh unsur yang ada di bumi ini telah ditemukan pada tahun 1800 sama tahun 1900. Selama ini, ahli kimia menemukan dan mengamati bahwa ada beberapa unsur yang memiliki kemiripan sifat. Kemiripan sifat yang dimiliki meliputi sifat fisis maupun kimia, yang dikelompokkan ke dalam sebuah tabel yang disebut dengan tabel periodik. Tabel periodik mengalami beberapa perubahan menyesuaikan dengan perkembangan penemuan terhadap unsur-unsur baru. Tabel modern yang digunakan saat itu merupakan tabel periodik modern, yakni unsur-unsur pada tabel terstruktur berdasarkan nomor atom dalam deret horizontal (periode) dan berdasarkan kemiripan sifatnya dalam kolom-kolom vertikal (golongan).

Periode unsur kimia ditentukan berdasarkan jumlah kulit yang dimiliki suatu unsur. Priode Golongan unsur kimia ditentukan berdasarkan tingkat oksidasi setiap unsur. Unsur kimia dikelompokkan menjadi dua golongan, yakni golongan A dan B. Golongan A merupakan unsur murni, dan golongan B merupakan unsur transisi atau peralihan. Terdapat delapan golongan A meliputi golongan IA (Alkali Tanah), IIA (Logam Alkali), IIIA (Boron), IVA (Karbon), VA (Nitrogen), VIA (Kalogen), VIIA (Halogen), VIIIA (Gas Mulia). Tabel periodic modern dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut.

	IA																	VIIIA
1	H																	He
2	Li	Be																
3	Na	Mg																
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uuu	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo

Padat
 Cair
 Gas
 Buatan

Gambar 2.1 Tabel Periodik (Wardhani dan Suprihatiningrum, 2015)

Unsur Alkali Tanah memiliki energi ionisasi terkecil karena berkonfigurasi elektron ns^1 , sehingga unsur logam alkali mudah melepaskan elektron dan merupakan reduktor yang paling kuat. Unsur logam alkali tanah (IIA) mempunyai sifat-sifat yang mirip dengan golongan IA. Perbedaannya adalah bahwa golongan IIA ini memiliki konfigurasi elektron ns^2 dan merupakan reduktor yang kuat. Unsur-unsur halogen golongan VIIA memiliki 7 elektron valensi yang terletak pada subkulit $ns^2 np^5$. Sedangkan, gas mulia yang merupakan golongan VIIIA adalah unsur yang sangat stabil, sehingga sangat sulit bereaksi (Mc. Murry dan Fay, 2003).

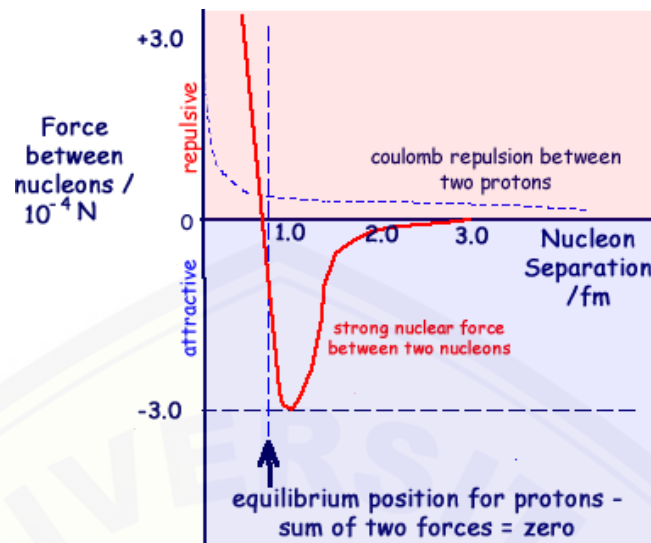
Pada unsur yang terdapat pada golongan B terdiri dari golongan IB hingga golongan VIIIB. Semua unsur disusun ke dalam sebuah tabel periodik. Sesuai dengan pengisian elektron pada subkulitnya, unsur ini termasuk unsur blok d, yaitu unsur-unsur dengan elektron valensi yang terletak pada subkulit d dalam konfigurasi elektronnya. Dibandingkan dengan golongan IA dan IIA, unsur logam transisi lebih keras, punya titik leleh, titik didih, dan kerapatan lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena unsur transisi berbagi elektron pada kulit d dan s, sehingga ikatannya semakin kuat.

2.2 Kestabilan Inti Atom

Atom terdiri dari inti atom dan elektron yang mengelilinginya. Inti atom tersusun atas proton dan neutron. Walaupun terdiri atas penyusun yang sama, namun atom-atom memiliki sifat yang berbeda-beda. Perbedaan yang utama berdasarkan perbedaan jumlah proton dan neutron yang menyusun inti atom, serta elektron yang berada pada orbital yang mengelilingi inti. Atom-atom yang memiliki banyak persamaan dapat dikelompokkan sebagai atom-atom yang sejenis. Kelompok tersebut meliputi dua atom atau lebih yang memiliki jumlah proton yang sama namun jumlah neutron yang berbeda, atau yang disebut dengan isotop. Dilihat pada tabel periodik, isotop dari kelompok yang sama akan memiliki nomor atom yang sama, namun memiliki nomor massa yang berbeda. Nomor atom menunjukkan jumlah proton, sedangkan nomor massa menunjukkan jumlah proton dan neutron. Dalam fisika nuklir, inti atom disebut dengan nuklida, sedangkan proton dan neutron disebut dengan nukleon.

Proton yang memiliki muatan positif dan neutron yang tidak memiliki muatan akan membentuk suatu struktur yang solid karena adanya gaya. Gaya yang bekerja meliputi gaya Coulomb dan gaya interaksi kuat. Gaya inilah yang mempengaruhi proton dan neutron dalam inti atom. Gaya Coulomb antara elektron atom adalah gaya dominan dalam struktur atom dan molekul, karena elektron ini terlalu jauh dari inti untuk dipengaruhi oleh gaya kuat inti. Gaya Coulomb memberikan efek magnetik pada pengukuran resolusi tinggi atau ketika berada di bawah pengaruh medan magnet yang sangat kuat.

Gaya interaksi kuat menyebabkan neutron-neutron dan neutron-proton akan saling tarik menarik, sehingga neutron memiliki peran sebagai perekat yang mengikat proton agar tidak saling menolak dan berhamburan. Oleh karena itu, kita hanya menjumpai atom Hidrogen sebagai atom yang tidak memiliki neutron. Berikut merupakan gambar yang menunjukkan kekuatan Gaya Interaksi Kuat Inti dan Gaya Coulomb yang bekerja pada jarak tertentu.



Gambar 2.2 Gaya Interaksi Kuat Inti dan Gaya Coloumb (Cyberphysics.co.uk., 2006).

Perbandingan kasar antara gaya nuklir atau tarik interaksi kuat (antara dua nukleon) dan gaya Coulomb (antara elektron) ditunjukkan seperti gambar 2.2. Kurva merah menunjukkan gaya nuklir dan kurva putus-putus biru menunjukkan gaya Coulomb pada jarak r tertentu. Absis menunjukkan jarak antara partikel (r), dengan keterangan:

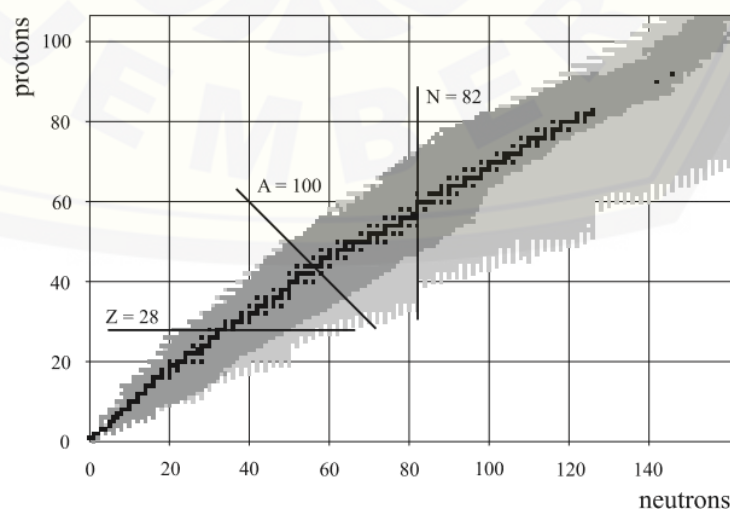
- 1) $r > r_0$, maka gaya tarik lebih besar
- 2) $r < r_0$, maka gaya coloumb lebih besar
- 3) $r = \infty$, maka gaya tarik dan coloumb bernilai nol (0)
- 4) $r = r_0$, gaya tarik sama dengan gaya coloumb sehingga r_0 disebut jarak keseimbangan (*equilibrium position*) (Takada K, 2006).

Jika di dalam inti atom terdapat lebih banyak proton, maka gaya tolak proton dapat melebihi gaya ikat neutron. Proton-proton tersebut akan berhamburan dan inti atom menjadi tidak terbentuk. Proton-proton akan saling menjauh karena energi yang dihasilkan dari gaya tolak menolak pada inti atom terlalu besar. Jika energi tolakan terlalu besar, maka perlu ditambahkan gaya penyeimbang untuk melepaskan sebagian energi tolakan tersebut. Jika terdapat lebih banyak neutron, maka akan ada kelebihan energi dari gaya tarik menarik (gaya ikat) pada inti atom. Jika energi ikat terlalu besar, maka sebagian energi tersebut harus dilepaskan. Berbagai keadaan inti atom yang sedemikian rupa akan tidak stabil atau yang disebut dengan radioaktif.

Adapun faktor-faktor yang memengaruhi terjadinya kestabilan inti atom, yakni:

1. Proton-proton dan neutron-neutron yang saling berpasangan memiliki kestabilan yang lebih baik daripada yang tidak berpasangan.
2. Komposisi jumlah neutron dan proton. Pada inti dengan jumlah proton lebih dari 20, inti yang stabil mempunyai neutron lebih banyak dari protonnya. Hal ini dikarenakan neutron menghasilkan gaya tarik antar massa nukleon yang mengatasi gaya tolak Coulomb dari proton.
3. Kapabilitas maksimal yang dimiliki oleh sebuah nukleon untuk berinteraksi dengan sejumlah nukleon lain di sekitarnya. Kapabilitas ini dinyatakan sebagai energi pengikat nukleon.

Perbandingan antara proton dan neutron harus sedemikian rupa untuk membentuk suatu inti atom yang stabil, sehingga gaya tolak akan seimbang dengan gaya ikatnya. Untuk unsur-unsur ringan yang memiliki kestabilan inti, perbandingan jumlah proton dan neutronnya harus bernilai 1. Sebagai contoh yakni atom karbon ${}^6\text{C}^{12}$ dan ${}^8\text{O}^{16}$. Atom ${}^6\text{C}^{12}$ memiliki masing-masing proton dan neutron berjumlah 6 dan atom ${}^8\text{O}^{16}$ memiliki masing-masing proton dan neutron berjumlah 8, sehingga perbandingan neutron-proton keduanya adalah 1. Sedangkan, untuk unsur-unsur yang lebih berat diperlukan jumlah neutron yang lebih banyak dibandingkan dengan jumlah protonnya untuk mengimbangi gaya tolak yang diberikan oleh proton.



Gambar 2.3 Pita Kestabilan Unsur Radioaktif (Thoennessen M., 2004)

Semakin besar massa inti atom stabil, semakin besar perbandingan neutron-proton. Pada gambar pita kestabilan inti terlihat bahwa semakin besar massa inti, pita kestabilan inti atom semakin bergeser ke sebelah kiri. Hal itu dimaksudkan bahwa jumlah neutron lebih banyak dibandingkan jumlah protonnya. Dengan demikian, perbandingan neutron-protonnya > 1 . Semakin besar massa inti atomnya, semakin besar pula nilai perbandingannya. Pada batas tertentu, gaya kolektif yang dihasilkan oleh proton lebih besar dibandingkan gaya ikat neutron.

Inti atom yang menjauh dari pita kestabilan inti cenderung tidak stabil. Jika gambar pita kestabilan dilihat dengan seksama, maka akan didapatkan inti atom yang tertera akan berhenti pada nomor atom 83. Hal ini memiliki arti bahwa atom-atom dengan jumlah proton lebih besar dari 83 merupakan suatu nuklida berat dan cenderung tidak stabil atau bersifat radioaktif. Menurut Beiser (2003) semua unsur nuklida dengan nilai $Z > 83$, $N > 126$, dan $A > 209$ atau yang disebut nuklida berat merupakan unsur yang tidak stabil (radioaktif).

Atom-atom yang bersifat radioaktif berusaha untuk menuju suatu kestabilan dengan menyeimbangkan gaya tolak dan gaya ikat inti. Nuklida berat dikatakan stabil jika jumlah neutron berbanding satu setengah kali jumlah proton atau N/P sebesar 1,5, sedangkan untuk nuklida ringan inti atom yang stabil terjadi jika jumlah proton dan neutron setara (Alatas, Z. *et al.*, 2009: 17).

2.3 Unsur Radioaktif

Atom merupakan satuan unit terkecil yang terdiri dari inti atom dan elektron. Inti atom atau yang sering disebut dengan nuklida, dianggap stabil saat memiliki proton dan neutron dengan jumlah yang sama. Jika jumlah proton dan neutron tidak sama, maka inti atom dianggap tidak stabil dan disebut dengan radionuklida. Jika suatu zat memiliki inti atom yang tidak stabil (radionuklida), maka zat tersebut disebut dengan zat radioaktif. Zat radioaktif akan mengalami perubahan hingga mencapai kestabilan suatu inti. Zat radioaktif terdiri dari zat radioaktif alami dan zat radioaktif buatan.

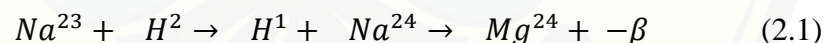
2.3.1 Unsur Radioaktif Alami

Unsur radioaktif alami adalah unsur radioaktif yang sudah tersedia di alam dan akan meluruh secara sendirinya untuk mencapai kestabilan. Unsur radioaktif alami dibagi menjadi dua berdasarkan awal terciptanya yakni Radioaktivitas primordial dan Radioaktivitas yang berasal dari radiasi kosmik. Radioaktif primordial adalah unsur radioaktif yang berada sejak terciptanya bumi, sebagai contoh yakni pada litosfer bumi. Radionuklida primordial terdapat di berbagai komponen pada bumi, seperti air, bebatuan, kayu, tumbuhan, dan lain-lain.

Sedangkan, radioaktif yang bersal dari radiasi kosmik adalah unsur radioaktif yang berasal dari aktivitas radiasi oleh obyek luar angkasa (kosmik). Ketika radiasi kosmik masuk ke dalam atmosfer bumi, obyek kosmik dan inti atom yang ada di udara saling beinteraksi dan menghasilkan berbagai macam radionuklida. Yang paling banyak dihasilkan adalah H^3 dan C^{14} .

2.3.2 Unsur Radioaktif Buatan

Unsur radioaktif buatan adalah unsur radioaktif ciptaan manusia melalui penembakan inti atom stabil dengan zarah nuklir. Salah stau contoh unsur radioaktivitas buatan yakni penembakan natrium-23 dengan deutron yang dipercepat dengan siklotron dan menghasilkan produk akhir berupa magnesium-24 radioaktif.



Contoh lainnya yakni penembakan Ag-107 stabil dengan neutron dan menghasilkan produk akhir berupa Ag-108 radioaktif.



2.4 Peluruhan Radioaktif

Nuklida-nuklida yang diikat oleh gaya nuklir, yakni gaya yang mengikat neutron dan proton dalam inti, begitu kuat. Namun, banyak pula nuklida-nuklida yang tidak stabil, sehingga secara spontan mengalami peluruhan menjadi nuklida lain hingga mencapai kestabilan. Jenis peluruhan yang dialami suatu inti atom

berbeda-beda. Begitu pula dengan laju peluruhannya, ada unsur yang mengalami peluruhan dengan sangat cepat dan ada yang sangat lambat. Waktu yang dibutuhkan inti atom untuk mengalami peluruhan untuk menyisahkan $\frac{1}{2}$ dari jumlah inti mula-mula dinamakan dengan waktu paruh ($T_{1/2}$). Kekuatan atau intensitas inti atom radioaktif disebut dengan radioaktivitas yang menyatakan jumlah inti yang meluruh tiap satu satuan waktu (disintegrasi per menit atau per sekon) (Sutarto, 2015).

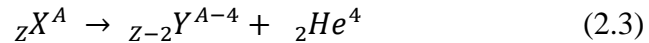
Setelah ditinjau dari segi fisika klasik, ditemukan beberapa aspek yang menjelaskan konsep radioaktivitas. Pertama, jika inti atom suatu unsur mengalami peluruhan alfa dan beta, maka bilangan atom Z berubah dan inti menjadi unsur yang berbeda. Kedua, energi yang dikeluarkan selama peluruhan radioaktif timbul dari inti individual tanpa eksitasi eksternal, tidak seperti radiasi atomik. Hal ini ini ditemukan sesudah Einstein mengemukakan kestaranaan massa-energi. Ketiga, peluruhan radioaktif merupakan proses statistik yang memenuhi teori kemungkinan. Dari ketiga konsep tersebut tidak dapat ditemukan hubungan sebab akibat yang terkait dalam peluruhan inti, yang terdapat hanyalah kemungkinan per satuan waktu. Hal ini kurang dapat dipahami dalam fisika klasik. Namun, kini hal tersebut sudah dapat dijelaskan dalam fisika kuantum (Wiyatmo, 2012).

Salah satu macam radioaktivitas yang dialami oleh satu unsur adalah peluruhan. Peluruhan merupakan suatu proses suatu unsur radionuklida dalam mencapai suatu kestabilan. Inti-inti yang tidak stabil bertransformasi ke dalam inti stabil melalui dua peluruhan berbeda yang mengubah Z dan N sebuah inti. Kedua proses ini disebut peluruhan alfa dan beta. Dalam berbagai keadaan eksitasi inti dapat memancarkan foton, sinar gamma, saat melakukan sejumlah transisi ke tingkat dasarnya, tetapi tidak mengubah Z dan N . Ketiga proses peluruhan tersebut (peluruhan alfa, beta, dan gamma) merupakan contoh bidang kajian peluruhan radioaktif. (Krane, 2012).

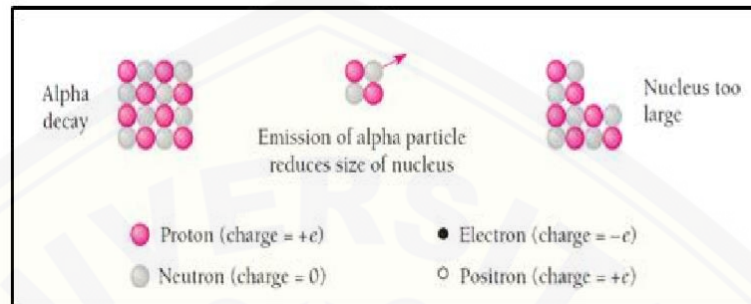
a) Peluruhan Alfa (α)

Peluruhan alfa merupakan peluruhan yang dialami oleh unsur-unsur dengan nomor atom lebih besar dari 83. Unsur-unsur tersebut mengemisikan jenis partikel lain yang dinamakan partikel alfa (α) untuk mendapatkan

kestabilan inti. Partikel alfa mengandung dua proton dan dua neutron. Proses peluruhan alfa memenuhi:



Peluruhan alfa dapat dilihat pada Gambar 2.3 sebagai berikut:



Gambar 2.4 Peluruhan Alfa (Beiser, 2003)

Partikel alfa memiliki massa terbesar, kira-kira empat kali massa proton atau neutron dan kira-kira 8.000 kali massa partikel beta. Karena massa partikel alfa yang besar, ia memiliki kekuatan pengion tertinggi dan kemampuan terbesar untuk merusak jaringan. Namun, partikel alfa berukuran besar yang membuat partikel alfa memiliki daya penetrasi paling kecil atau kurang mampu menembus materi. Partikel alfa bertabrakan dengan molekul dengan sangat cepat saat menabrak materi, menambahkan dua elektron, dan menjadi atom helium yang tidak berbahaya (Bewick, S. *et al.*, 2018). Partikel alfa (α) memiliki beberapa sifat, yakni:

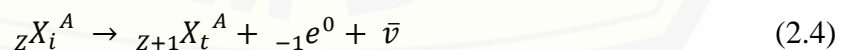
- 1) Memiliki daya tembus paling kecil dibandingkan partikel beta (β) dan gamma (γ).
 - 2) Memiliki daya ionisasi yang sangat besar yakni ± 100 kali daya ionisasi partikel beta (β) dan 10.000 kali daya ionisasi partikel gamma (γ).
 - 3) Memiliki kecepatan yang bervariasi antara 1/100 hingga 1/10 kecepatan cahaya.
 - 4) Mengalami pembelokkan saat melalui medan magnet atau medan listrik.
- b) Peluruhan Beta (β)

Apabila inti memiliki jumlah neutron yang lebih banyak, maka salah satu kemungkinan untuk menstabilkannya adalah dengan mengubah sebagian

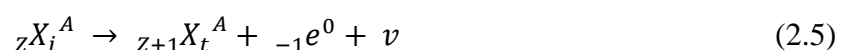
neutron sebagai proton, sehingga jumlah neutron dan proton akan seimbang. Akan tetapi, keseimbangan gaya yang dibutuhkan tidak mungkin ada karena muatan atom tidak dapat berubah atau berinteraksi dengan atom lainnya. Kemungkinan yang terjadi, neutron tersebut tidak hanya meluruh menjadi proton, namun juga dapat menghasilkan elektron. Partikel elektron ini tidak dapat menetap di inti, sehingga harus diemisikan. Peluruhan neutron ini dapat menghasilkan proton untuk menyeimbangkan gaya tolak dan gaya tarik di dalam inti. Selain itu peluruhan neutron mengemisikan kelebihan energi dalam bentuk pancaran partikel bermuatan negatif (elektron). Peristiwa emisi partikel negatif ini disebut dengan radiasi partikel beta (β) (Sutarto, 2015).

Partikel beta (β) mempunyai massa dan muatan yang sama dengan elektron (e), sehingga partikel ini disebut juga dengan elektron. Namun partikel beta (β) dapat mempunyai muatan negatif (negatron) dan positif (positron). Selain itu, hal yang membedakan partikel beta (β) dengan elektron adalah partikel beta (β) dihasilkan dari proses peluruhan inti atom. Setelah terjadi emisi inti atom, partikel beta (β) tidak dapat mengorbit inti atom seperti elektron lainnya.

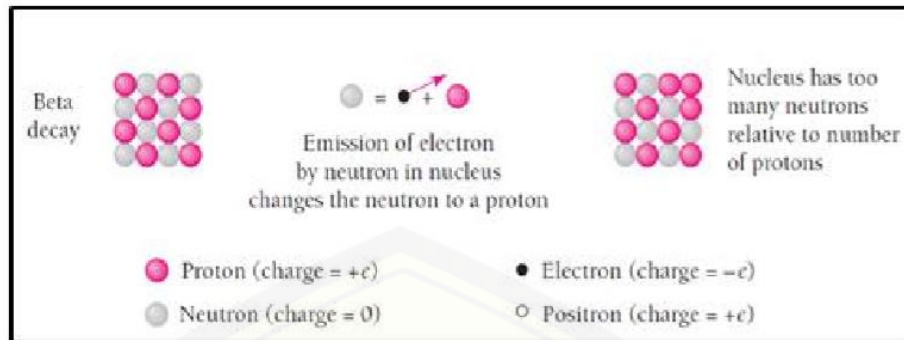
Partikel beta jauh lebih kecil daripada partikel alfa dan oleh karena itu, memiliki daya pengan yang jauh lebih sedikit (kemampuan yang lebih sedikit untuk merusak jaringan), tetapi ukurannya yang kecil memberi mereka daya penetrasi yang jauh lebih besar. Sebagian besar sumber daya mengatakan bahwa partikel beta dapat dihentikan oleh lembaran aluminium setebal seperempat inci (Bewick, S. *et al.*, 2018). Persamaan umum reaksi peluruhan β^- adalah:



Sedangkan, persamaan umum reaksi peluruhan β^+ adalah:



Peluruhan beta dapat dilihat pada Gambar 2.4 sebagai berikut:



Gambar 2.5 Peluruhan Beta (Beiser, 2003)

Partikel beta (β) memiliki beberapa sifat, yakni:

- 1) Memiliki daya tembus lebih besar dibandingkan partikel alfa (α).
- 2) Memiliki daya ionisasi yang lebih kecil $1/\pm 100$ kali daya ionisasi partikel alfa (α)
- 3) Memiliki kecepatan yang bervariasi antara $1/100$ hingga $99/100$ kecepatan cahaya.
- 4) Mengalami pembelokkan saat melalui medan magnet atau medan listrik.

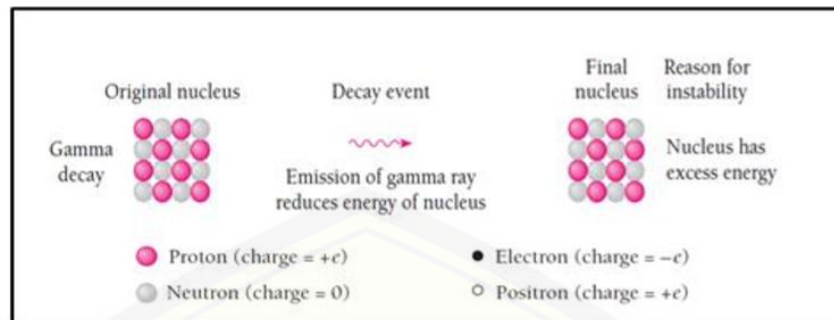
c) Peluruhan Gamma (γ)

Dalam mencapai kestabilan inti pada suatu peluruhan akan disertai pemancaran energi kinetik, sehingga inti atom baru yang dihasilkan melesat dengan kecepatan tertentu setelah terjadinya proses peluruhan. Namun, ada sebagian energi yang dilepaskan dalam bentuk radiasi elektromagnetik berenergi tinggi yang disebut dengan radiasi gamma (γ). Peluruhan radionuklida cenderung menghasilkan inti baru yang berada dalam keadaan tereksitasi. Inti nuklida baru ini dinamakan dengan isomer nuklir dan perubahan inti tereksitasi menjadi inti stabil dinamakan dengan transisi isomeris. Dalam mencapai kestabilan inti, isomer nuklir harus memancarkan kelebihan energinya. Proses ini dapat terjadi secara spontan atau bertahap (Sutarto, 2015).

Persamaan umum reaksi peluruhan neutron menjadi proton dan elektron adalah:



Peluruhan gamma dapat dilihat pada Gambar 2.5 sebagai berikut:



Gambar 2.6 Peluruhan Gamma (Beiser, 2003)

Partikel gamma (γ) memiliki beberapa sifat, yakni:

- 1) Memiliki daya tembus paling besar dibandingkan partikel alfa (α) dan beta (β).
- 2) Memiliki daya ionisasi yang paling kecil, yakni 1/1.000 kali daya ionisasi partikel alfa (α)
- 3) Inti atom yang mengalami keadaan eksitasi memancarkan partikel gamma (γ) dengan panjang antara 0,005 Å hingga 0,5 Å.
- 4) Tidak mengalami pembelokkan saat melalui medan magnet atau medan listrik karena partikel gamma (γ) tidak memiliki muatan.

2.5 Deret Radioaktif

Di alam ini terdapat beberapa unsur yang memiliki waktu paruh yang sangat lama hingga berjuta-juta tahun lamanya. Bahkan tidak menutup kemungkinan, bahwa sampai saat ini terdapat unsur-unsur yang masih aktif. Unsur radioaktif semacam itu disebut dengan unsur radioaktif alami. Sebagian besar unsur radioaktif merupakan bagian dari empat deret radioaktif. Masing-masing deret tersebut diturunkan dari satu unsur radioaktif tunggal. Zat radioaktif akan mengalami salah satu dari peluruhan alfa, beta, atau gamma. Dari ketiga peluruhan tersebut, hanya partikel alfa yang menyebabkan terciptanya unsur dengan nomor massa A baru. Perubahan massa unsur merupakan kelipatan bilangan bulat dari nomor massa partikel alfa, yaitu 4. Saat ini terdapat empat deret radioaktif utama, yaitu $4n$ (Thorium), $4n+1$ (Neptunium), $4n+2$ (Uranium)

dan $4n+3$ (Aktinium). Penjelasan deret radioaktif dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut.

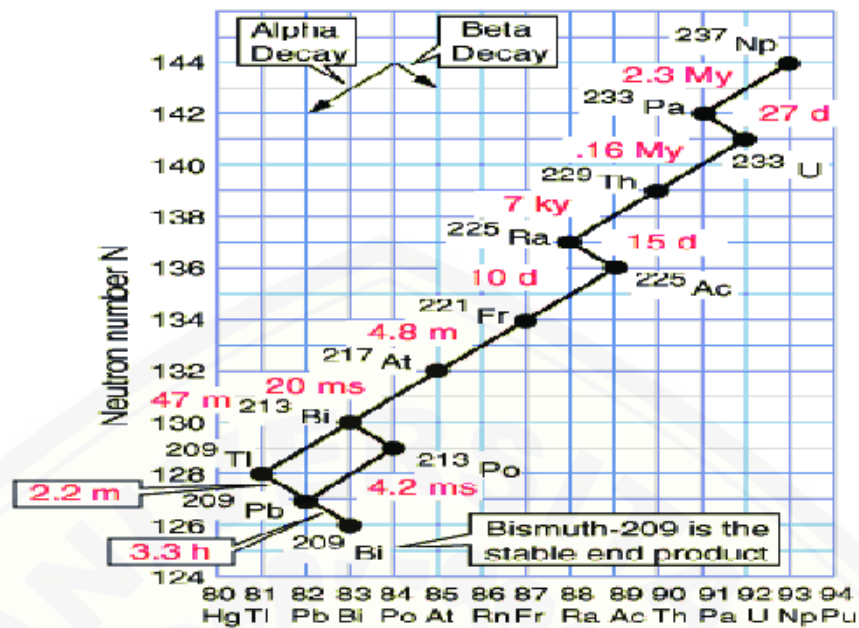
Tabel 2.1 Deret Radioaktif

Nama Deret	Nuklida Induk	Waktu Paruh (Tahun)	Produk Akhir
Uranium	U^{238}	$4,5 \times 10^9$	Pb^{206}
Aktinium	Th^{235}	$7,10 \times 10^8$	Pb^{207}
Thorium	Th^{232}	$1,39 \times 10^{10}$	Pb^{208}
Neptunium	Np^{237}	$2,14 \times 10^6$	Bi^{209}

(Hussain, R. dan Hussain, H., 2011)

2.5.1 Deret Thorium

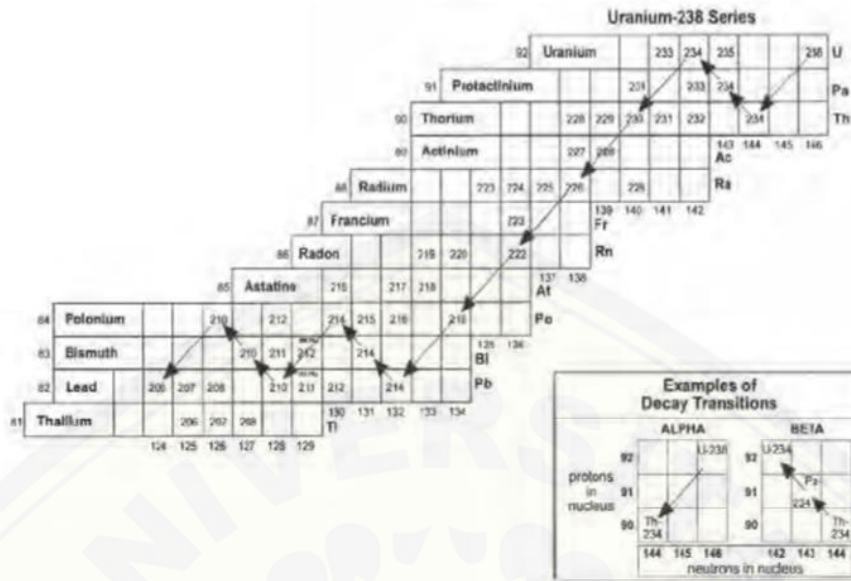
Unsur Thorium-232 termasuk unsur radioaktif alami dan unsur radioaktif yang meluruh menghasilkan produk akhir stabil berupa timbal-208. Deret Thorium menghasilkan radioaktif induk berupa ${}_{92}Th^{232}$ dan memiliki waktu paruh $1,39 \times 10^{10}$ tahun. Dalam deret thorium-232 mengalami 12 proses peluruhan berupa 7 peluruhan alfa (α) 5 dan peluruhan beta (β). Setiap nuklida pada deret thorium akan mengalami perubahan nomor massa A dengan jumlah yang habis dibagi 4 atau $4n$. Skema Peluruhan deret Thorium disajikan pada gambar berikut.



Gambar 2.8 Skema Deret Neptunium-237 (Shabaan, D., 2017)

2.5.3 Deret Uranium

Unsur Uranium-238 termasuk unsur radioaktif alami dan unsur radioaktif yang meluruh menghasilkan produk akhir stabil berupa timbal-206. Deret Uranium menghasilkan radioaktif induk berupa $^{238}\text{Th}_{92}$ dan memiliki waktu paruh $4,5 \times 10^9$ tahun. Dalam deret Uranium-238 mengalami 14 proses peluruhan berupa 8 peluruhan alfa (α) dan 6 peluruhan beta (β). Setiap nuklida pada deret uranium akan mengalami perubahan nomor massa A dengan jumlah yang habis dibagi 4 dan sisa 2 atau $4n+2$. Skema Peluruhan deret Uranium disajikan pada gambar berikut.



Gambar 2.9 Skema Deret Uranium-238 (Hussain, R. dan Hussain, H., 2011)

Adapun data peluruhan Deret Uranium sebagai berikut:

Tabel 2.3 Unsur-unsur radioaktif yang terdapat dalam Deret Uranium

Nama Radionuklida	Lambang	Radiasi yang Dipancarkan	Waktu Paroh ($T_{1/2}$)
Uranium I (UI)	${}_{92}\text{U}^{238}$	α	$4,5 \times 10^9$ tahun
Uranium X1 (UX1)	${}_{90}\text{Th}^{234}$	β	24, hari
Uranium X2 (UX2)	${}_{91}\text{Pa}^{234m}$	β	1,18 menit
Uranium Z	${}_{91}\text{Pa}^{234g}$	β	6,7 jam
Uranium II	${}_{92}\text{U}^{234}$	α	$2,5 \times 10^5$ tahun
Ionium (Io)	${}_{90}\text{Th}^{230}$	α	$8,0 \times 10^4$ tahun
Radium (Ra)	${}_{88}\text{Ra}^{226}$	α	1620 tahun
Ra Emanation (Rn)	${}_{86}\text{Em}^{222}$	α	3,82 hari
Radium A (RaA)	${}_{84}\text{Po}^{218}$	α dan β	3,20 menit
Radium B (RaB)	${}_{82}\text{Pb}^{214}$	β	26,8 menit
Astati 218	${}_{85}\text{At}^{218}$	α	1,5 detik
Radium C (RaC)	${}_{83}\text{Bi}^{214}$	α dan β	19,7 menit
Radium C' (RaC')	${}_{84}\text{Po}^{214}$	α	$1,64 \times 10^4$ detik
Radium C'' (RaC'')	${}_{81}\text{Tl}^{210}$	β	1,32 menit
Radium D (RaD)	${}_{82}\text{Pb}^{210}$	β	19,4 tahun
Radium E (RaE)	${}_{83}\text{Bi}^{214}$	β	5 hari
Radium F (RaF)	${}_{84}\text{Po}^{210}$	α	138,3 hari
Thalium 206	${}_{81}\text{Tl}^{206}$	β	4,2 menit
Radium G (RaG)	${}_{82}\text{Pb}^{206}$	stabil	-

(Sofyan, H. dan M. Akhadi, 2004)

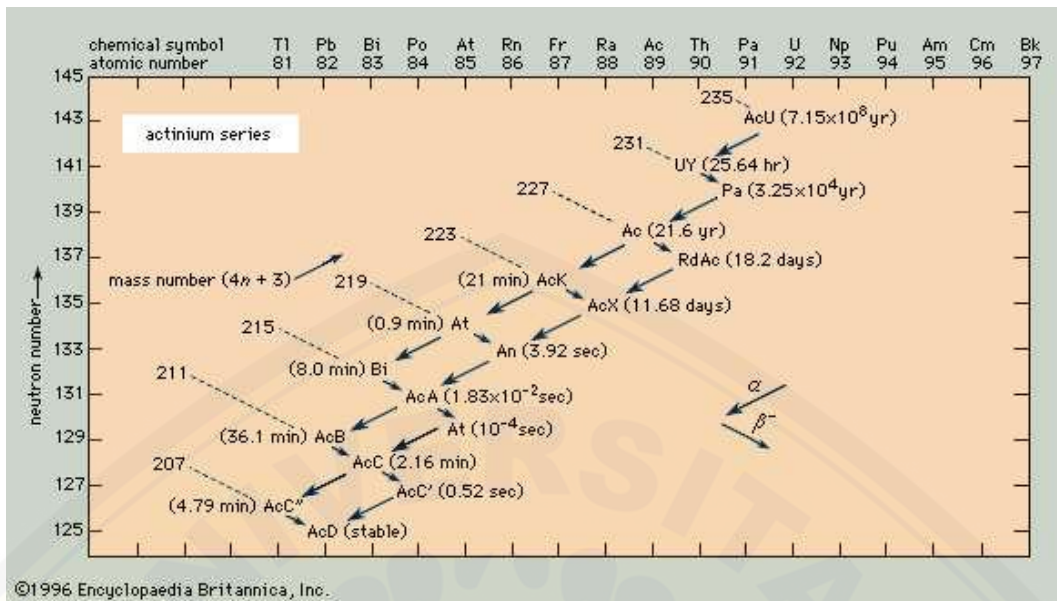
2.5.4 Deret Aktinium

Aktinium 150 kali lebih radioaktif daripada radium dan logam alkali tanah yang sangat radioaktif. Deret Aktinium merupakan unsur radioaktif yang ditemukan pada tahun 1899. Tidak seperti Ra^{226} yang memiliki waktu paruh yang relatif lama ($t_{1/2}$) yakni 1.600 tahun, satu-

satunya isotop Aktinium yang terbentuk secara alami adalah Ac^{227} ($t_{1/2}=21,8$ tahun). Ac^{227} berasal dari peluruhan U^{235} yang sudah langka, dan Ac^{228} ($t_{1/2} = 6.1$ jam), produk peluruhan dari Th^{232} . Sifat Aktinium yang sulit dipahami telah diteliti pada abad kedua puluh dan menghasilkan pengetahuan tentang tidak ada isotop baru yang muncul sampai 1947.

Saat ini terdapat 32 yang telah diidentifikasi dan 60 lainnya yang diperkirakan akan ada di masa mendatang. Namun, banyaknya isotop Aktinium buatan manusia yang baru disintesis sejak tahun 1950-an ini belum menghasilkan atom aktinium yang berumur panjang, mereka semua aktif meluruh dalam beberapa jam, dengan pengecualian Ac^{225} ($t_{1/2}= 10$ hari). Studi kimia massal pada Aktinium masih tergantung pada Ac^{227} asli. Meskipun demikian, kemajuan dalam akselerator partikel dan reaksi nuklir membuat Ac^{227} dan Ac^{225} lebih mudah diakses melalui neutron atau iradiasi proton dari target Ra^{226} atau Th^{232} . Salah satu unsur deret aktinium, yakni Aktinium-225 digunakan dalam pengobatan untuk menghasilkan Bi-213 dalam generator yang dapat digunakan kembali atau dapat digunakan sendiri sebagai agen untuk radio-imunoterapi (Deblonde G. dan Abergel, 2016).

Unsur Aktinium termasuk unsur radioaktif alami dari hasil peluruhan radioaktif uranium-235 yang belum stabil dan berakhir menghasilkan produk akhir stabil berupa timbal-207. Deret Aktinium menghasilkan radioaktif induk berupa ${}_{92}U^{235}$ dan memiliki waktu paruh $7,10 \times 10^8$ tahun. Dalam deret aktinium mengalami 16 proses peluruhan berupa 10 peluruhan alfa (α) dan 6 peluruhan beta (β). Setiap nuklida pada deret actinium akan mengalami perubahan nomor massa A dengan jumlah yang habis dibagi 4 dan sisa 3 atau $4n+3$. Skema Peluruhan deret Aktinium disajikan pada gambar berikut.



Gambar 2.10 Skema Deret Uranium-235 (Aktinium) (Gregersen E., 2020)

Adapun data peluruhan Deret Aktinium sebagai berikut:

Tabel 2.4 Unsur-unsur radioaktif yang terdapat dalam Deret Aktinium

Nama Radionuklida	Lambang	Radiasi yang Dipancarkan	Waktu Paroh ($T_{1/2}$)
Actinouranium (AcU)	${}_{89}^{235}\text{U}$	α	$7,10 \times 10^8$ tahun
Uranium Y (UY)	${}_{90}^{231}\text{Th}$	β	25,52 jam
Protactinium (Pa)	${}_{91}^{231}\text{Pa}$	α	$3,276 \times 10^4$ tahun
Actinium (Ac)	${}_{89}^{227}\text{Ac}$	α dan β	21,6 tahun
Radioactinium (RdAc)	${}_{90}^{227}\text{Th}$	α	18,17 hari
Actinium K (AcK)	${}_{87}^{223}\text{Fr}$	α dan β	22 menit
Actinium X (AcX)	${}_{88}^{223}\text{Ra}$	α	11,68 hari
Astatine 219	${}_{85}^{219}\text{At}$	α dan β	0,9 menit
Ac Emanation (An)	${}_{86}^{219}\text{Em}$	α	3,92 detik
Bismuth 215	${}_{83}^{215}\text{Bi}$	β	8 menit
Actinium A (AcA)	${}_{84}^{215}\text{Po}$	α dan β	$1,83 \times 10^{-3}$ detik
Actinium B (AcB)	${}_{82}^{211}\text{Pb}$	β	36,1 menit
Astatine 215	${}_{85}^{215}\text{At}$	α	10^{-4} detik
Actinium C (AcC)	${}_{83}^{211}\text{Bi}$	α dan β	2,15 menit
Actinium C' (AcC')	${}_{84}^{211}\text{Po}$	α	0,52 detik
Actinium C'' (AcC'')	${}_{81}^{207}\text{Tl}$	β	7,79 menit
Actinium D	${}_{82}^{207}\text{Pb}$	stabil	-

(Sofyan, H. dan M. Akhadi, 2004)

2.6 Energi Ikat

Energi ikat inti (E) adalah energi yang dibutuhkan untuk memisahkan neutron dan proton atau energi yang dilepaskan oleh nukleon untuk mencapai kestabilan inti (Beiser, 1999: 420). Energi ikat inti merupakan selisih dari energi diam nukleon pembentuk dengan energi diam inti yang terbentuk. Ditemukan bahwa massa diam (m_0) suatu nukelus stabil lebih kecil daripada jumlah massa diam nukleon-nukleon unsur pembentuknya. Hal ini dikarenakan energi negatif (-) diperlukan untuk mengikat nukleon-nukleon agar tetap menyatu pada nukleus. Harga negatif (-) dituliskan karena berkaitan dengan gaya tarik Coulomb, tetapi biasanya ditulis positif. Energi ikat (ΔE) diberikan oleh selisih antara energi diam nukleon-nukelon unsur dengan energi diam nukleus akhir:

$$\Delta E = (Zm_p)C^2 + (Nm_n)C^2 - MC^2 \quad (2.6)$$

Energi ikat inti dalam MeV diperoleh:

$$E = [Zm_p + Nm_n - M_{inti}](931,5 \text{ MeV}/u) \quad (2.7)$$

Diketahui E adalah energi ikat inti, Z adalah nomor atom, N adalah neutron, serta m_p , m_n , dan m_{inti} adalah masing-masing massa diam proton, neutron dan inti. Untuk menentukan massa inti didapatkan dari mengurangi elektron-elektron atom dari massa atomnya dari massa atomnya (Mahardika, 2008).

Energi ikat (E) beberapa nuklida dapat dilihat pada Tabel 2.2, diketahui bahwa umumnya harga E makin besar dengan masing besarnya nuklida, namun jika dilihat dari kestabilannya, ternyata makin besar harga E tidak mencerminkan makin stabilnya suatu nuklida. Kestabilan nuklida diantara nuklida seisisotop dicerminkan dengan harga E rata-rata per nukleon (E/A).

Tabel 2.5 Harga E_{total} dan E per nukleon, serta sifat peluruhan beberapa nuklida

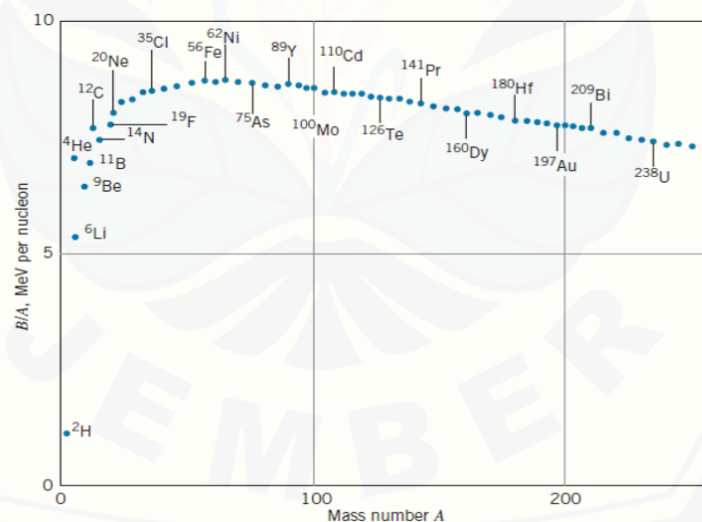
Nuklida	E	E per nukleon	Sifat peluruhan
${}^2\text{He}$	28,295	7,074	Stabil
${}^5\text{He}$	29,265	5,858	β^-
${}^{15}\text{O}$	111,945	7,464	β^+ , TE
${}^{16}\text{O}$	127,617	7,976	Stabil
${}^{17}\text{O}$	131,761	7,751	Stabil
${}^{18}\text{O}$	139,805	7,767	Stabil
${}^{19}\text{O}$	143,762	7,566	β^-
${}^{32}\text{P}$	270,847	8,464	β^-
${}^{32}\text{S}$	271,775	8,493	Stabil

Nuklida	E	E per nukleon	Sifat peluruhan
^{55}Mn	482,065	8,765	Stabil
^{55}Fe	481,052	8,7464	TE
^{65}Cu	569,199	8,757	Stabil
^{65}Zn	567,065	8,724	TE, β^-
^{94}Kr	791,842	8,424	β^-
^{144}Ce	1197,299	8,315	β^-
^{234}Th	1777,622	7,957	β^-
^{238}U	1801,647	7,570	α
^{239}P	1804,67	7,551	FS

Keterangan: TE = Tangkapan Elektron, FS = Fisi Spontan

(Sukarna, 2014)

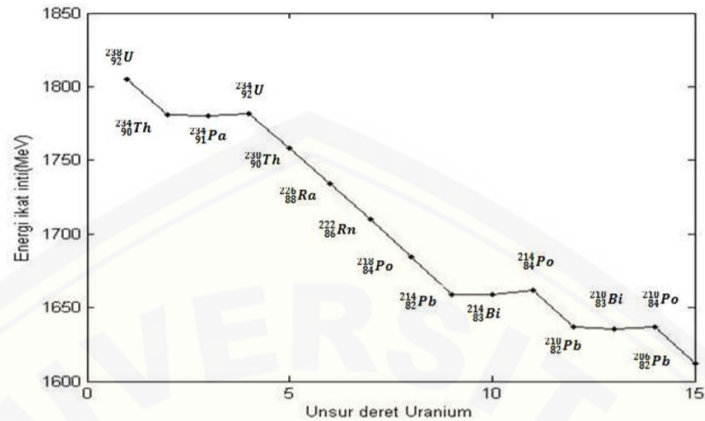
Pada Tabel 2.5, harga E rata-rata per nukleon inti stabil lebih besar daripada inti kurang stabil. Inti yang kurang stabil kemudian dapat meluruh secara spontan membentuk nuklida lain dengan beberapa jenis peluruhan (α , β^- , β^+ , γ , TE), nuklida lain yang terbentuk memiliki harga E rata-rata per nukleon lebih besar dari nuklida sebelum terjadi peluruhan. Gambar 2.10 menunjukkan kurva EB rata-rata per nukleon sebagai fungsi A beberapa nuklida stabil (Sukarna, 2014).



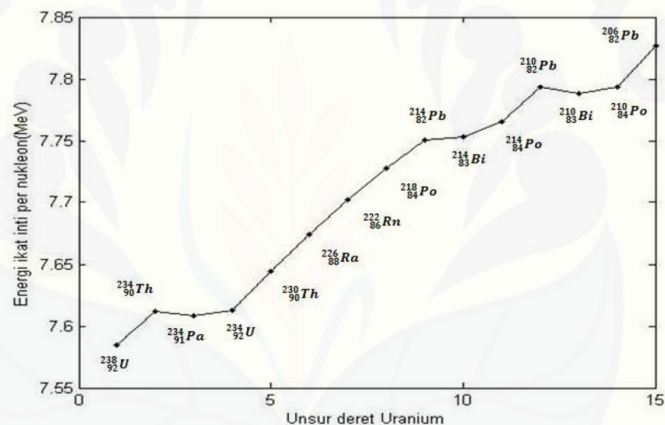
Gambar 2.11 Energi Ikat per Nukleon (Krane, 2012)

Energi ikat rata-rata per nukleon dimulai dengan nilai rendah (0 bagi proton dan neutron, dan 1,11 MeV bagi deuterium), menuju nilai maksimum 8,795 MeV untuk Ni^{62} dan kemudian turun ke nilai sekitar 7,5 MeV untuk inti-inti berat (Krane, 2012). Gambar 2.6 menunjukkan bahwa nuklida berat yang memiliki E kecil dapat melakukan reaksi fisi membentuk nuklida yang lebih kecil, dan

nuklida ringan akan melakukan reaksi fusi membentuk nuklida yang lebih besar (Sukarna, 2014).



Gambar 2.12 Energi Ikat Model Tetesan Cairan yang terjadi pada Peluruhan Unsur Deret Uranium (Mardiana I, 2019)



Gambar 2.13 Energi Ikat per Nukleon Model Tetesan Cairan yang terjadi pada Peluruhan Unsur Deret Uranium (Mardiana I, 2019)

Berdasarkan gambar 2.12 oleh penelitian Mardiana (2019) grafik energi ikat menggunakan model tetesan cairan yang terjadi pada peluruhan unsur-unsur deret Uranium mengalami penurunan secara linier. Hal ini menjelaskan bahwa semakin kecil nilai nomor massa nuklida berat (mendekati kestabilan), maka akan semakin kecil nilai energi ikatnya. Sedangkan pada gambar 2.13 menunjukkan grafik energi ikat per nukleon mengalami kenaikan secara linier, yang artinya semakin mendekati kestabilan suatu unsur nuklida maka akan semakin besar nilai energi ikatnya. Selain itu akan terjadi sedikit perbedaan antara peluruhan alfa dan peluruhan beta. Pada peluruhan alfa mengalami penurunan energi ikat cukup

besar, namun pada peluruhan beta energi ikat mengalami penurunan dan kenaikan cukup kecil.

2.7 Energi Disintegrasi

Fisika nuklir melibatkan berbagai studi reaksi nuklir, satu atom atau partikel lain berubah atau bertabrakan dan menciptakan partikel yang baru. Dalam reaksi peluruhan nuklir radioaktif, inti yang tidak stabil memancarkan radiasi dan diubah menjadi inti dari satu atau lebih unsur lain secara spontan. Inti anak yang dihasilkan memiliki massa yang lebih rendah dan energinya lebih rendah (lebih stabil) daripada inti induk. Reaksi yang terjadi dalam skala kecil namun dapat berdampak besar dengan menyerap atau menciptakan banyak energi, salah satunya adalah energi disintegrasi. Energi disintegrasi adalah energi yang dilepaskan selama peluruhan radioaktif.

Pada peluruhan alfa, energi yang terlepas berupa energi kinetik inti turunan K_y dan energi kinetik partikel alfa K_α , dapat ditentukan nilainya dari massa semua inti yang terlibat yaitu pada persamaan berikut:

$$Q = K_{(y)} - K_{(\alpha)} = [m_{(x)} - m_{(y)} - m_{(\alpha)}]c^2 \quad (2.8)$$

Pada persamaan (2.8) sama seperti persamaan pada energi ikat, dengan massa elektron yang saling menghapuskan. Sehingga digunakan massa atom. Dengan Q_1 , $K_{(y)}$, $K_{(\alpha)}$, $m_{(x)}$, $m_{(\alpha)}$ masing-masing adalah energi disintegrasi, energi kinetik inti anak, energi kinetik partikel alfa, massa atomik nuklida induk, massa atomik partikel alfa (Krane, 1999: 366).

Untuk peluruhan spontan atau langsung harus memenuhi $Q > 0$

$$\begin{aligned} Q_1 &= K_{(y)} - K_{(\alpha)} = [m_{(x)} - m_{(y)} - m_{(\alpha)}]c^2 \\ m_{(x)} - m_{(y)} - m_{(\alpha)} &> 0 \\ m_{(x)} &> m_{(y)} + m_{(\alpha)} \end{aligned} \quad (2.9)$$

Persamaan di atas merupakan syarat terjadinya peluruhan alfa untuk inti berat ($A > 200$). Energi disintegrasi partikel alfa berhubungan dengan energi ikat total inti persamaan berikut :

$$Q_\alpha = E_{B(y)} + E_{B(\alpha)} - E_{B(x)} \quad (2.10)$$

Dengan keterangan berikut :

Q_α = energi disintegrasi peluruhan alfa

$E_{B(Y)}$ = energi ikat inti nuklida turunan

$E_{B(\alpha)}$ = energi ikat partikel alfa

$E_{B(X)}$ = energi ikat nuklida induk (Mardiana I., 2019).

Pada peluruhan beta, dapat ditentukan nilainya dari massa semua inti yang terlibat yaitu pada persamaan berikut:

$$Q_\beta = [m_{(x)} - m_{(y)}]c^2 \quad (2.11)$$

Peluruhan akan terjadi jika memenuhi syarat yaitu $Q_1 > 0$, sehingga $m_{(x)} > m_{(y)}$ (peluruhan dapat terjadi dengan massa atomik nuklida induk lebih besar dari massa atomik nuklida turunan) atau dengan artian lain energi disintegrasi memiliki nilai positif yang lebih dari nol ($Q_1 > 0$) (Wiyatmo, 2012). Energi disintegrasi partikel beta berhubungan dengan energi ikat inti pada persamaan (2.12) yaitu :

$$Q_\beta = E_{B(Y)} - E_{B(X)} + m_n - m_H \quad (2.12)$$

Dengan keterangan berikut :

Q_β = energi disintegrasi peluruhan alfa

$E_{B(Y)}$ = energi ikat inti nuklida turunan

$E_{B(X)}$ = energi ikat nuklida induk

m_n = massa neutron (939,573 MeV)

m_H = massa atom hidrogen (938,791 MeV)

Selain itu terdapat perbedaan energi disintegrasi antara peluruhan alfa dan beta. Nilai energi disintegrasi pada peluruhan alfa lebih besar daripada energi disintegrasi pada peluruhan beta. Hal ini seperti yang dijelaskan oleh Baihaqi M. (2020) pada penelitiannya bahwa pada peluruhan deret thorium energi disintegrasi terbesar terdapat pada peluruhan alfa yaitu unsur ${}_{90}\text{Th}^{235}$ sebesar 4.792 MeV dan energi disintegrasi terkecil terdapat pada peluruhan beta yaitu ${}_{88}\text{Ra}^{228}$ sebesar 0.62698 MeV.

2.8 Model Tetesan Cairan

Model tetesana cairan merupakan model atom yang ditemukan oleh ahli fisika Denmark bernama Niels Hanrik David Bohr (1885-1962). Selain menemukan model atom titisan cairan, Bohr juga pencetus Teori Atom Bohr. Bohr memperbaiki teori milik Rutherford sebelumnya. Rutherford menjelaskan bahwa atom terdiri dari inti yang dikelilingi planet. Namun penjelasan Rutherford dianggap kurang jelas, karena tidak dapat menjelaskan berapa jauh jarak elektron dari inti. Lalu Bohr mengajukan model tetesan cairan karena terdapat persamaan beberapa sifat inti dan tetesan cairan. Pertama, karena kerapatannya yang konstan. Kedua, ukuran tetesan cairan sebanding dengan jumlah partikel yang ada dalam tetesan tersebut. Ketiga, kalor uap tetesan (energi ikat) atau massa atom atau jumlah yang seperti membentuk suatu tetesan (Mahardika, 2008).

C.V. Wieszacker mendapati bahwa sifat-sifat inti atom berhubungan dengan ukuran, massa, dan energi ikat pada tahun 1935. Dia menganggap bahwa sifat-sifat inti atom tersebut mirip seperti suatu tetesan cairan. C.V Weizsacker membandingkan sifat inti atom dengan tetesan sebuah cairan dengan mengaitkan faktor ukuran geometris, massa, dan energi ikatnya yang mirip. Perandaian-perandaian pokoknya berupa inti atom yang tak termampatkan, kerapatannya konstan, ukurannya berbanding lurus dengan jumlah atau partikel dalam tetesan, dan energi ikatnya berbanding lurus dengan massa atau jumlah partikel yang membentuk tetesan.

Model tetesan cairan berkaitan dengan rumus massa semiempirik dengan melibatkan A dan Z suatu nukleus, yakni:

$$M = Zm_p + (A - Z)m_n - a_v A + a_s A^{2/3} + a_c Z^2 A^{-1/3} + a_a (A - 2Z)2A^{-1} + a_p A^{-3/4} \quad (2.10)$$

Konstanta a_s pada persamaan di atas didapatkan dari eksperimen. Adapun nilai yang memenuhi konstanta-konstanta dalam satuan energi meliputi:

$$a_v = 15,56 \text{ MeV}$$

$$a_s = 17,23 \text{ MeV}$$

$$a_c = 0,697 \text{ MeV}$$

$$a_a = 23,285 \text{ MeV}$$

$$a_p = 12 \text{ MeV}$$

Konstanta a_p ditentukan berdasarkan nomor massa atom dan nomor atom. Adapun ketentuan konstanta a_p dapat dilihat pada Tabel 2.6 berikut.

Tabel 2.6 Nilai a_p pada Persamaan Massa Semiempirik

A	Z	a_p
Genap	Genap	-12 MeV
Ganjil		0
Genap	Ganjil	+12 MeV

(Gautreau, R. dan Savin, W., 2006)

Estimasi pertama untuk massa nukleus yang terdiri dari proton Z dan neutron ($N = A - Z$) dengan energi ikat yang diabaikan adalah $Zm_p + (A - Z)m_n$.

Untuk estimasi massa ini digunakan untuk menghitung energi ikat nukleon. Dikarenakan gaya inti adalah gaya tarik menarik, energi ikat pun menjadi positif, sehingga massa nukleus akan lebih kecil daripada massa nukleon yang terpisah. Menurut model tetesan cairan, penguapan panas (energi ikat) akan bernilai berbanding lurus dengan jumlah nukleon A , dan menghasilkan nilai sebesar $-a_v A$ ($a_v > 0$) dengan a_v adalah energi ikat per nukleon.

Terlihat pada koreksi pertama sebelumnya sama dengan asumsi bahwa seluruh nukleon juga dilingkupi oleh nukleon-nukleon lain. Hal ini tentu tidak berlaku bagi nukleon di permukaan inti karena dianggap terlalu lemah terikat, sehingga terlalu banyak yang dikurangi oleh koreksi pertama. Koreksi massa yang sebanding dengan luas permukaan inti tersebut harus ditambahkan $a_s A^{2/3}$.

Selanjutnya energi Coloumb positif (E_c) antara proton yang ekuivalensi dengan ΔE akan menaikkan massa inti sebesar $\frac{E_c}{c^2}$, untuk Z yang besar diperoleh:

$$E_c = \frac{3}{5} \frac{kz^2 e^2}{R} \quad (2.9)$$

dengan

$$e = B \cdot A^{1/3} \quad (2.10)$$

sehingga,

$$E_c \sim z^2 \cdot R^{-1} = z^2 (r_0 A^{1/3})^{-1} \sim z^2 A^{1/3} \quad (2.11)$$

dan koreksi ini dapat ditulis:

$$a_c Z^2 A^{-1/3} \tag{2.12}$$

Jika terdapat kelebihan neutron dibandingkan dengan proton atau kebalikannya, maka energi dan massa yang bersesuaian akan mengalami kenaikan menurut prinsip pengecualian Pauli. Betuk koreksi untuk efek ini bergantung pada kelebihan neutron atau proton mengacu pada:

$$a_a (A - 2Z) 2A^{-1} \tag{2.13}$$

Nukelon-nukleon di dalam inti atom saling berpasangan dan menempati spin-spin yang berbeda. Hal ini mengakibatkan pasangan energi hadir bervariasi sebesar $A^{-3/4}$ dan akan meningkat sesuai jumlah nukelon-nukleon yang tidak berpasangan. Jumlah inti ditentukan sebagai berikut:

Tabel 2.7 Jumlah Nukleon Tidak Berpasangan pada Persamaan Massa Semiempirik

A	Z	Jumlah nukleon tidak berpasangan
Genap	Genap	0
Ganjil		1
Genap	Ganjil	2 (1 neutron dan 1 proton)

(Gautreau, R. dan Savin, W., 2006)

Energi ikat akan lebih besar untuk Z genap-N genap dari pada Z ganjil-N ganjil, sehingga $\delta(Z, A) = +a_p/A^{1/2}$ untuk inti Z genap-N genap, dan $\delta(Z, A) = -a_p/A^{1/2}$ untuk inti Z ganjil-N ganjil, maka rumus energi ikat diperoleh:

$$E = a_v A - a_s A^{2/3} - a_c Z^2 A^{-1/3} - a_a (A - 2Z) 2A^{-1} \pm \delta(Z, A) \tag{2.14}$$

Sedangkan energi ikat rata-rata per nukleon diperoleh dari persamaan energi ikat pada persamaan (2.14), yakni:

$$E_{\text{per nukleon}} = \frac{a_v A - a_s A^{2/3} - a_c Z^2 A^{-1/3} - a_a (A - 2Z) 2A^{-1} \pm \delta(Z, A)}{A} \tag{2.15}$$

$$E_{\text{per nukleon}} = \frac{E}{A} \tag{2.16}$$

Persamaan massa semiempirik dan energi ikat rata-rata bukan merupakan nilai yang tepat, namun hanya nilai prediksi yang mendekati keakuratan untuk setiap nukleus tidak sama (Gautreau, R. dan Savin, W., 2006).



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian deskripsi eksperimen. Penelitian ini bertujuan untuk membuat suatu simulasi dalam menentukan deret Aktinium, energi ikat, dan energi disintegrasi suatu peluruhan unsur radioaktif.

3.2 Tempat dan Waktu

Penelitian ini akan dilaksanakan di laboratorium komputer Program Pendidikan Fisika FKIP Universitas Jember pada semester ganjil tahun ajaran 2020/2021.

3.3 Definisi Operasional Variabel

Suatu definisi operasional variabel perlu dituliskan untuk mencegah terjadinya salah pemahaman dalam penelitian. Adapun variabel yang perlu didefinisikan yakni: peluruhan radioaktif, deret Aktinium, energi ikat, dan energi disintegrasi.

3.2.1 Nomor Atom (Z)

Nomor atom merupakan jumlah dari suatu proton dan elektron suatu atom. Nomor atom disimbolkan dengan Z . Data nomor atom digunakan untuk mencari nilai energi ikat.

3.2.2 Nomor Massa (A)

Nomor massa merupakan jumlah total proton dan neutron (bersama-sama dikenal sebagai nukleon) dalam inti atom. Nomor massa disimbolkan dengan A . Data nomor massa digunakan untuk mencari deret peluruhan dan nilai energi ikat.

3.2.3 Deret Aktinium

Deret Aktinium dalam penelitian ini merupakan variabel terikat yang ditentukan oleh nomor atom dan nomor massa suatu unsur. Unsur Aktinium

termasuk unsur radioaktif alami dari hasil peluruhan radioaktif uranium-235 yang belum stabil dan berakhir menghasilkan produk akhir stabil berupa timbal-207. Deret Aktinium menghasilkan radioaktif induk berupa ${}_{92}\text{U}^{235}$ dan memiliki waktu paruh $7,10 \times 10^8$ tahun. Dalam deret aktinium mengalami 16 proses peluruhan berupa 10 peluruhan alfa (α) dan 6 peluruhan beta (β). Setiap nuklida pada deret aktinium akan mengalami perubahan nomor massa A dengan jumlah yang habis dibagi 4 dan sisa 3 atau $4n+3$.

3.2.4 Energi Ikat

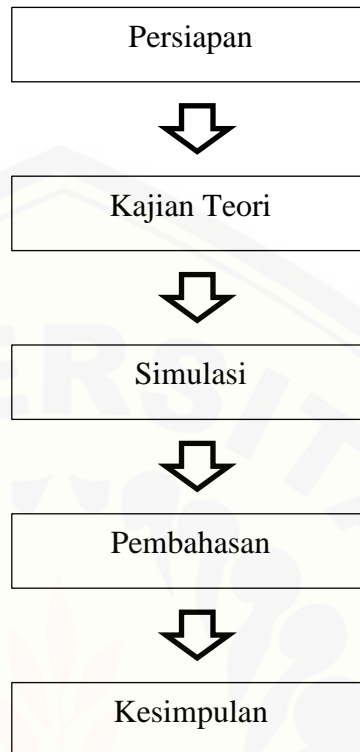
Energi ikat inti (E) adalah energi yang dibutuhkan untuk memisahkan neutron dan proton atau energi yang dilepaskan oleh nukleon untuk mencapai kestabilan inti (Beiser, 1999: 420). Energi ikat (E) diberikan oleh selisih anatar energi diam nukleon-nukelon unsur dengan energi diam nukleus akhir.

3.2.5 Energi Disintegrasi

Energi disintegrasi merupakan energi yang dilepaskan selama peluruhan radioaktif. Energi disintegrasi Q muncul sebagai energi kinetik atau sama dengan energi ikat negatif. Terdapat energi alfa dan beta yang masing-masing memiliki besar energi yang berbeda.

3.4 Langkah Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian simulasi dengan diagram alir sebagai berikut:



Gambar 3.1 Langkah Penelitian

Berdasarkan gambar langkah penelitian, dapat dipaparkan penjelasannya sebagai berikut:

a) Persiapan

Persiapan dilakukan dengan mencari bahan-bahan informasi dan studi literatur untuk menambah dan memperdalam pemahaman mengenai simulasi peluruhan unsur radioaktif deret Aktinium, beserta energi ikat dan energi disintegrasi yang dihasilkan.

b) Kajian Teori

Kajian teori dilakukan dengan menggunakan studi literatur yang didapatkan mengenai simulasi peluruhan unsur radioaktif deret Aktinium, beserta energi ikat dan energi disintegrasi yang dihasilkan dalam penelitian.

c) Simulasi

Selanjutnya menentukan deret Aktinium suatu unsur radioaktif dan melakukan perhitungan untuk menemukan nilai energi ikat dan energi disintegrasi unsur-unsur radioaktif. Adapun tahapan dalam melakukan simulasi, yakni:

1) Persamaan yang Digunakan

1. Persamaan Persamaan Alfa (α)

$${}_Z X^A \rightarrow {}_{Z-2} Y^{A-4} + {}_2 He^4 \quad (3.1)$$

2. Persamaan Peluruhan Beta (β)

$${}_Z X_i^A \rightarrow {}_{Z+1} X_t^A + {}_{-1} e^0 + \bar{\nu} \quad (3.2)$$

atau

$${}_Z X_i^A \rightarrow {}_{Z+1} X_t^A + {}_{-1} e^0 + \nu \quad (3.3)$$

3. Persamaan Peluruhan Gamma (γ)

$${}_Z X_i^A \rightarrow {}_Z X_t^A + \gamma \quad (3.4)$$

4. Persamaan Energi Ikut Model Tetapan Cairan

$$E = a_v A - a_s A^{2/3} - a_c Z^2 A^{-1/3} - a_a (A - 2Z) 2A^{-1} \pm \delta(Z, A) \quad (3.5)$$

5. Persamaan Energi Ikut per Nukleon

$$E_{\text{per nukleon}} = \frac{E}{A} \quad (3.6)$$

6. Persamaan Energi Disintegrasi

a. Peluruhan Alfa

$$Q_\alpha = E_{(Y)} + E_{(\alpha)} - E_{(X)} \quad (3.7)$$

b. Peluruhan Beta

$$Q_\beta = E_{(Y)} - E_{(X)} + m_n - m_H \quad (3.8)$$

Keterangan:

Q_α = energi yang dilepaskan pada peluruhan alfa

Q_β = energi yang dilepaskan pada peluruhan beta

$E_{(\alpha)}$ = energi ikat total inti partikel alfa

$E_{(Y)}$ = energi ikat total inti nuklida turunan

$E_{(X)}$ = energi ikat total inti nuklida induk

m_n = massa neutron (939,573 MeV)

m_H = massa atom hidrogen (938,791 MeV)

2) Coding MATLAB

1. Energi ikat model tetes cairan (persamaan (3.5))

```

av=15.56; %energi volume (MeV)
as=17.23; %energi permukaan (MeV)
ac=0.697; %energi coulomb (MeV)
aa=23.285; %energi asimetri (MeV)
ap=12; %energi pasangan (MeV)
A1=input('nomor massa, A=');
Z1=input('nomor atom, Z= ');
if A1~=235 && A1~=231 && A1~=227
    N1=A1-Z1;
    Ev=av.*A1;%energi volume
    Es=as.*(A1).^(2./3);%energi permukaan
    Z2=ac.*(Z1.^2);
    Ax=A1.^(1./3);
    Ec=Z2./Ax;%energi coulomb
    Ea=aa.*((A1-2.*Z1).^2)./A1;%energi asimetri
    if floor(A1/2)==(A1/2) &&
floor(Z1/2)==(Z1/2) ;
        ap=12;
    elseif floor(A1/2)<(A1/2) &&
floor(Z1/2)<(Z1/2);
        ap =-12;
    else
        ap =0;
    end
    Ep=ap.*A1.^(-1./2);%energi pasangan
    E1=Ev-Es-Ec-Ea+Ep; %energi ikat

```

2. Energi ikat per nukleon (persamaan (3.6))

```
e1=E1./A1; %energi ikat per nukleon
```

3. Energi disintegrasi

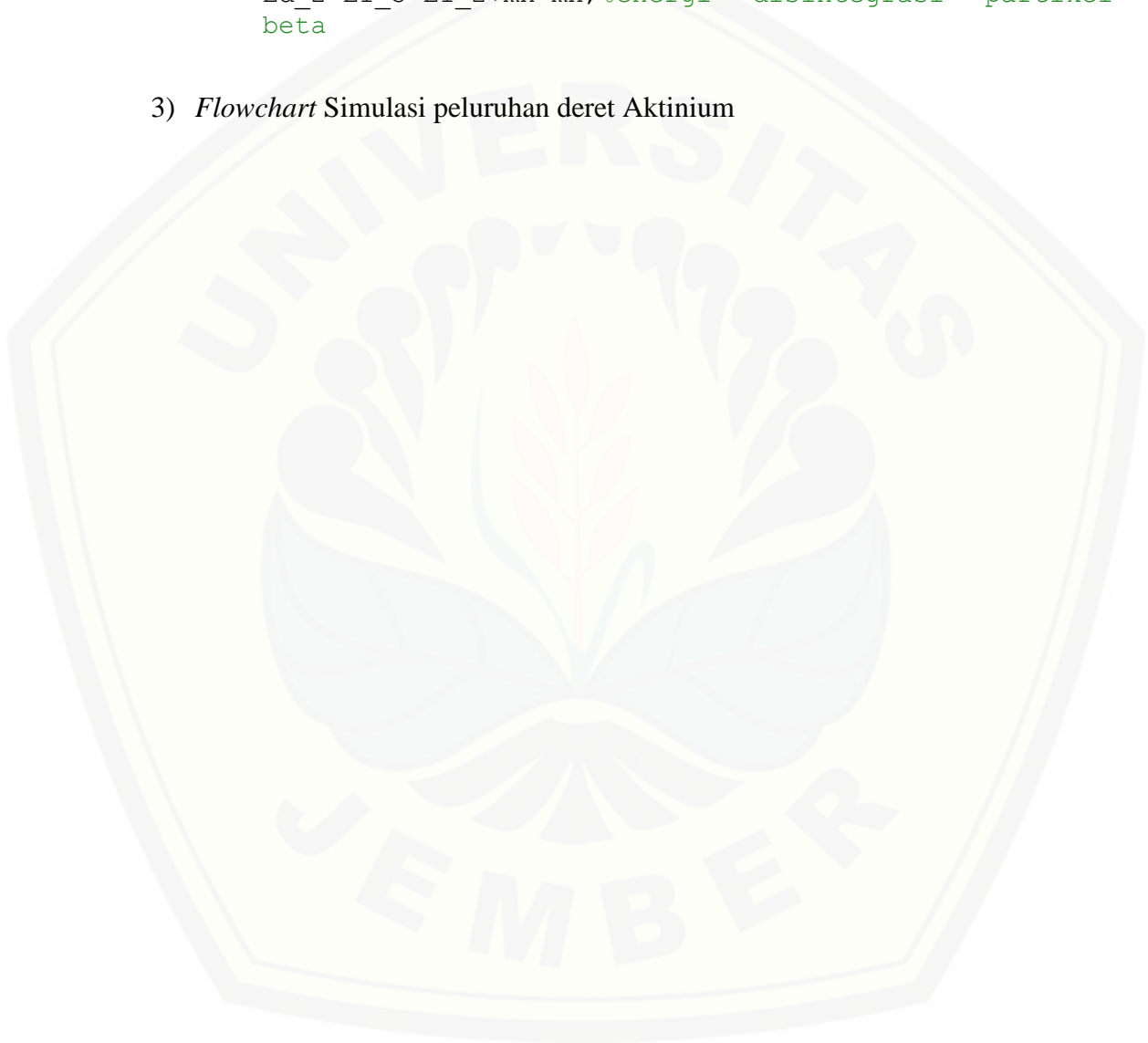
a) Peluruhan alfa (persamaan (3.7))

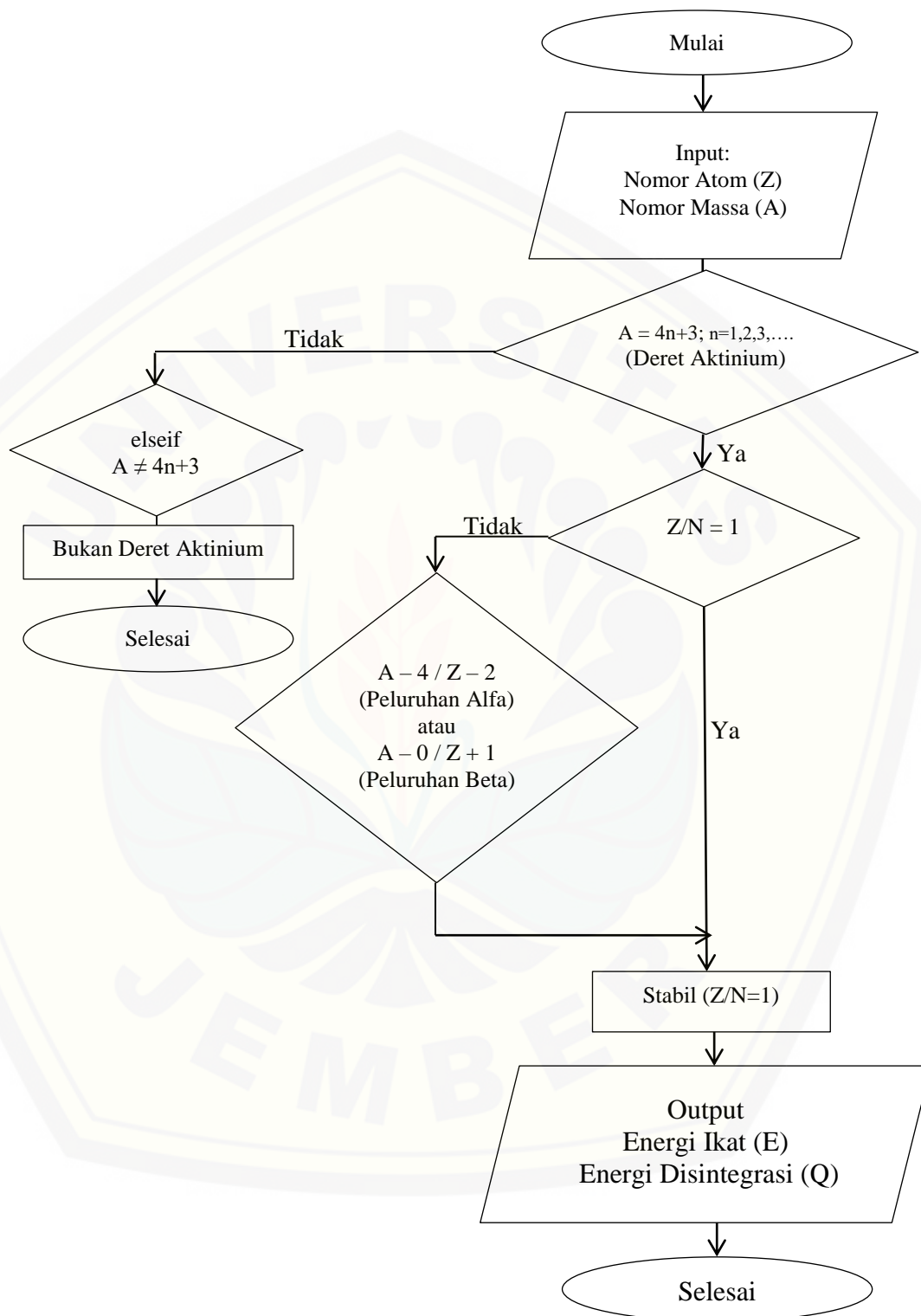
```
E1alfa=28.295; %MeV  
Ed_1=E1_2+E1alfa-E1_1;
```

b) Peluruhan beta (persamaan (3.8))

```
mn=939.573; %massa neutron (MeV)  
mH=938.791; %massa atom Hidrogen (MeV)  
Ed_2=E1_3-E1_2+mn-mH;%energi disintegrasi partikel  
beta
```

3) *Flowchart* Simulasi peluruhan deret Aktinium

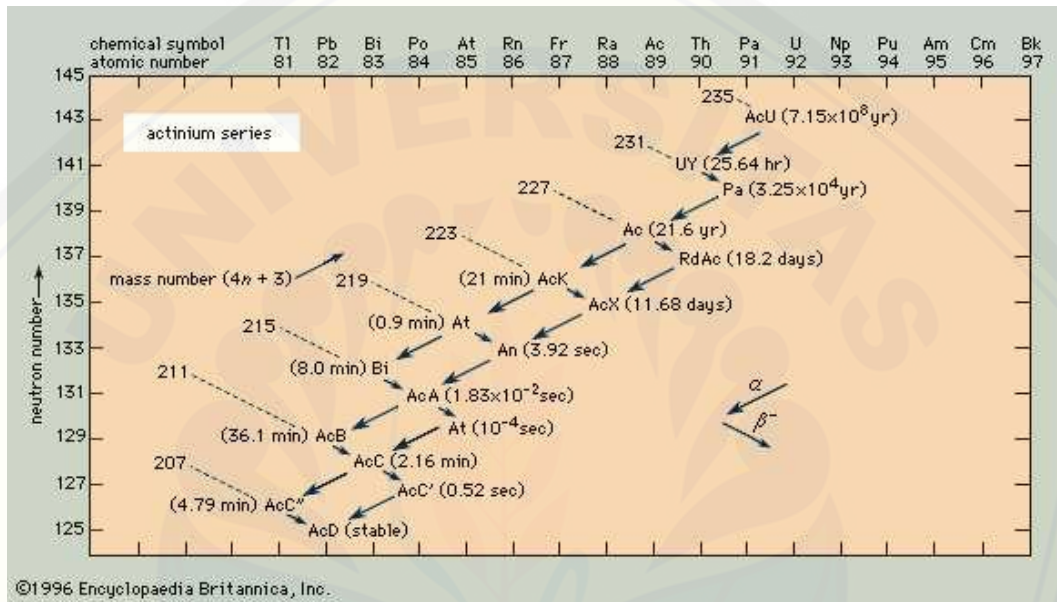




Gambar 3.2 Flowchart Simulasi Penelitian

d) Validasi

Validasi dilakukan dengan menggunakan data dan grafik yang telah diperoleh dari literatur dengan bahasan energi ikat dan energi disintegrasi unsur radioaktif dalam deret Aktinium dengan metode tetes cairan. Data dan grafik yang digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar 3.3 Skema Deret Uranium-235 (Aktinium) (Gregersen E., 2020)

Tabel 3.1 Unsur-unsur radioaktif yang terdapat dalam Deret Aktinium

Nama Radionuklida	Lambang	Radiasi yang Dipancarkan	Waktu Paroh ($T_{1/2}$)
Actinouranium (AcU)	${}_{92}U^{235}$	α	$7,10 \times 10^8$ tahun
Uranium Y (UY)	${}_{90}Th^{231}$	β	25,52 jam
Protactinium (Pa)	${}_{91}Pa^{231}$	α	$3,276 \times 10^4$ tahun
Actinium (Ac)	${}_{89}Ac^{227}$	α dan β	21,6 tahun
Radioactinium (RdAc)	${}_{90}Th^{227}$	α	18,17 hari
Actinium K (AcK)	${}_{87}Fr^{223}$	α dan β	22 menit
Actinium X (AcX)	${}_{88}Ra^{223}$	α	11,68 hari
Astatine 219	${}_{85}At^{219}$	α dan β	0,9 menit
Ac Emanation (An)	${}_{86}Em^{219}$	α	3,92 detik
Bismuth 215	${}_{83}Bi^{215}$	β	8 menit
Actinium A (AcA)	${}_{84}Po^{215}$	α dan β	$1,83 \times 10^{-3}$ detik
Actinium B (AcB)	${}_{82}Pb^{211}$	β	36,1 menit
Astatine 215	${}_{85}At^{215}$	α	10^{-4} detik
Actinium C (AcC)	${}_{83}Bi^{211}$	α dan β	2,15 menit
Actinium C' (AcC')	${}_{84}Po^{211}$	α	0,52 detik
Actinium C'' (AcC'')	${}_{81}Tl^{207}$	β	7,79 menit
Actinium D	${}_{82}Pb^{207}$	stabil	-

(Sofyan, H. dan M. Akhadi, 2004)

Tabel 3.2 Data Energi Ikat, Energi Ikat per Nukleon, dan Energi Disintegrasi dalam Deret Aktinium

Nuclide	Nuclide Mass In Atomic Mass Units	Mass Minus Mass Number In Atomic Mass Units	Total Binding Energy In Mev	Binding Energy Per Nucleon In Mev	Spin	Half Life	Units For Half Life	Decay Mode 1	Decay Product 1	Decay Energy 1 In Mev
${}_{92}\text{U}^{235}$	235.043923 1	0.0439231 0	1783.87023 9	7.59093718723 4	2.5	7,10 x 10^8	years	alfa	${}_{90}\text{Th}^{231}$	4.679
${}_{90}\text{Th}^{231}$	231.036297 1	0.0362971 0	1760.25329 6	7.62014413852 81	3.5	25.52	hours	beta_electro n	${}_{91}\text{Pa}^{231}$	0.389
${}_{91}\text{Pa}^{231}$	231.035878 9	0.0358789 0	1759.86047 4	7.61844361038 96	1.5	32760	years	alfa	${}_{89}\text{Ac}^{227}$	5.149
${}_{89}\text{Ac}^{227}$	227.027747 0	0.0277470 0	1736.71472 2	7.65072564757 71	1.5	1.773	years	beta_electro n	${}_{90}\text{Th}^{227}$	0.045
${}_{90}\text{Th}^{227}$	227.027698 9	0.0276989 0	1735.97717 3	7.64747653303 96	0.5	18.72	days	alfa	${}_{88}\text{Ra}^{223}$	6.146
${}_{87}\text{Fr}^{223}$	223.019730 7	0.0197307 0	1713.46118 2	7.68368243049 33	1.5	2	minute s	beta_electro n	${}_{88}\text{Ra}^{223}$	1.149
${}_{88}\text{Ra}^{223}$	223.018497 1	0.0184971 0	1713.82788 1	7.68532682062 78	1.5	11.435	days	alfa	${}_{86}\text{Em}^{219}$	5.979
${}_{85}\text{At}^{219}$	219.011296 5	0.0112965 0	1690.59704 6	7.71962121461 19		56	second s	alfa	${}_{83}\text{Bi}^{215}$	6.390
${}_{86}\text{Em}^{219}$	219.009474 8	0.0094748 0	1691.51159 7	7.72379724657 53	2.5	3.96	second s	alfa	${}_{84}\text{Po}^{215}$	6.946
${}_{83}\text{Bi}^{215}$	215.001832 3	0.0018323 0	1668.69226 1	7.76135935348 84		7.6	minute s	beta_electro n	${}_{84}\text{Po}^{215}$	2.250
${}_{84}\text{Po}^{215}$	214.999414 6	- 0.0005854 0	1670.16198 7	7.76819528837 21	4.5	0.00178 1	second s	alfa	${}_{82}\text{Pb}^{211}$	7.526
${}_{82}\text{Pb}^{211}$	210.988731 5	- 0.0112685 0	1649.39270 0	7.81702701421 8	4.5	36.1	minute s	beta_electro n	${}_{83}\text{Bi}^{211}$	1.373
${}_{85}\text{At}^{215}$	214.998641	-	1670.09997	7.76790686511	4.5	0.0001	second	alfa	${}_{83}\text{Bi}^{211}$	8.178

	2	0.0013588 0	6	63			s			
${}_{83}\text{Bi}^{211}$	210.987258 1	- 0.0127419 0	1649.98278 8	7.81982363981 04	4.5	2.14	minute s	alfa	${}_{81}\text{Tl}^{20}$	6.751
${}_{84}\text{Po}^{211}$	210.986636 9	- 0.0133631 0	1649.77905 3	7.81885807109	4.5	0.516	second s	alfa	${}_{82}\text{Pb}^{207}$	7.595
${}_{81}\text{Tl}^{207}$	206.977407 9	- 0.0225921 0	1628.43762 2	7.86684841545 89	0.5	4.77	minute s	beta_electro n	${}_{82}\text{Pb}^{207}$	1.423
${}_{82}\text{Pb}^{207}$	206.975880 6	- 0.0241194 0	1629.07788 1	7.86994145410 63	0.5	stable				

(HyperPhysics, 2016)

e) Pembahasan

Pembahasan dilakukan secara runtun mengenai hasil analisa peluruhan unsur radioaktif deret Aktinium, beserta energi ikat dan Energi Disintegrasi yang dihasilkan

f) Kesimpulan

Kesimpulan berisikan hasil analisa dan pembahasan untuk menjawab rumusan masalah penelitian.

3.5 Alat Penelitian

Alat penelitian yang digunakan selama melakukan penelitian. Adapun alat yang digunakan berupa:

3.5.1 Komputer dengan spesifikasi *Personal Computer (PC)*

3.5.2 Aplikasi Pemograman MATLAB versi 8.6. Bahasa pemograman (*coding*) yang digunakan berdasarkan penelitian Mardiana I, I (2019) dengan beberapa perbaikan, berupa:

1. Operasi Logika berupa *if-elseif-else-end* untuk menentukan Deret Aktinium suatu Unsur Radioaktif.
2. Fungsi persamaan energi ikat untuk menentukan nilai energi ikat peluruhan suatu Unsur Radioaktif.
3. Fungsi persamaan energi disintegrasi untuk menentukan nilai energi disintegrasi peluruhan suatu Unsur Radioaktif.

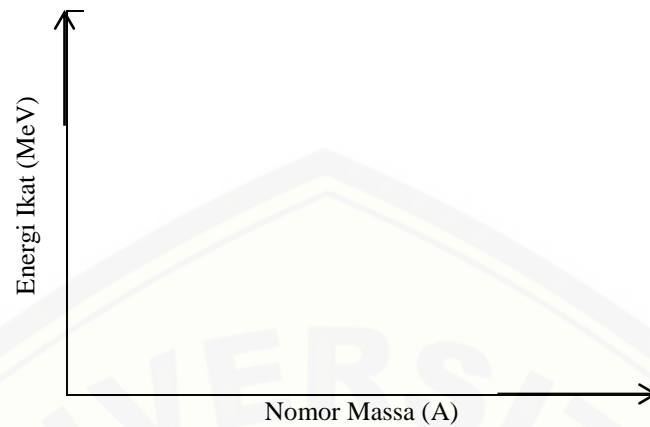
3.6 Teknik Penyajian Data

Teknik penyajian meliputi data hasil perhitungan energi ikat dan energi disintegrasi, serta grafik energi ikat dan energi disintegrasi dari peluruhan deret Aktinium sebuah unsur radioaktif. Data hasil simulasi perhitungan energi ikat dan energi disintegrasi dari peluruhan deret Aktinium sebuah unsur radioaktif berupa Tabel 3.3 berikut.

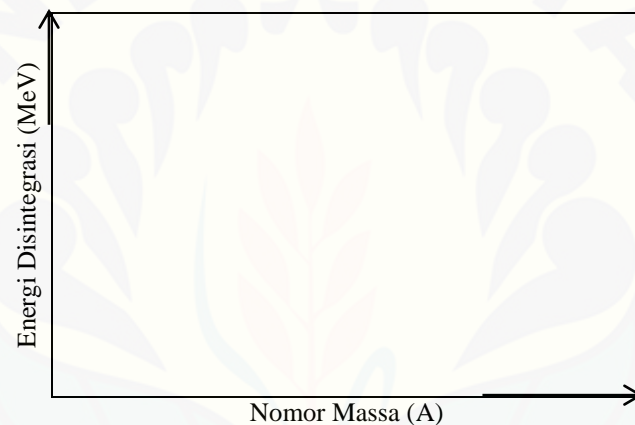
Tabel 3.3 Energi Ikat dan Disintegrasi Unsur Radioaktif Deret Aktinium

Nama Unsur	Lambang	E_v (MeV)	E_s (MeV)	E_c (MeV)	a_a (MeV)	E_p (MeV)	N/ P	E (MeV)	E/A (MeV)	Q (MeV)
Actinouranium (AcU)	${}_{92}\text{U}^{235}$									
Uranium Y (UY)	${}_{90}\text{Th}^{231}$									
Protactinium (Pa)	${}_{91}\text{Pa}^{231}$									
Actinium (Ac)	${}_{89}\text{Ac}^{227}$									
Radioactinium (RdAc)	${}_{90}\text{Th}^{227}$									
Actinium K (AcK)	${}_{87}\text{Fr}^{223}$									
Actinium X (AcX)	${}_{88}\text{Ra}^{223}$									
Astatine 219	${}_{85}\text{At}^{219}$									
Ac Emanation (An)	${}_{86}\text{Em}^{219}$									
Bismuth 215	${}_{83}\text{Bi}^{215}$									
Actinium A (AcA)	${}_{84}\text{Po}^{215}$									
Actinium B (AcB)	${}_{82}\text{Pb}^{211}$									
Astatine 215	${}_{85}\text{At}^{215}$									
Actinium C (AcC)	${}_{83}\text{Bi}^{211}$									
Actinium C' (AcC')	${}_{84}\text{Po}^{211}$									
Actinium C'' (AcC'')	${}_{81}\text{Tl}^{207}$									
Actinium D	${}_{82}\text{Pb}^{207}$									

Lalu hasil simulasi perhitungan energi ikat dan energi disintegrasi dari peluruhan deret Aktinium sebuah unsur radioaktif dapat dilihat pada Grafik 3.4 dan Grafik 3.5 berikut.



Gambar 3.4 Grafik Energi Ikat Deret Aktinium unsur radioaktif.



Gambar 3.5 Grafik Energi Disintegrasi Deret Aktinium unsur radioaktif.

Pada grafik 3.4 akan menggambarkan data hubungan antara Massa atom (A) dan Energi Ikat yang dihasilkan oleh peluruhan unsur radioaktif deret Aktinium. Sedangkan pada grafik 3.5 menggambarkan data hubungan antara Massa atom (A) dengan Energi Disintegrasi yang dilepaskan selama peluruhan unsur Radioaktif deret Aktinium.

BAB 4. HASIL

4.1 Hasil Penelitian

Hasil penelitian peluruhan Deret Aktinium dengan menggunakan Model Tetesan Cairan dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Energi Ikatan dan Energi Disintegrasi Unsur Radioaktif Deret Aktinium dengan Model Tetesan Cairan

No	Nama Unsur	Lam bang	E_p (MeV)	E_s (MeV)	E_c (MeV)	E_a (MeV)	E_p (MeV)	N/P	E (MeV)	E/A (MeV)	Q (MeV)
1	Actinouranium (AcU)	${}_{92}U^{235}$	3656.6	656.141	955.988	257.720	0	1.554	1786.751	7.603	4.511
2	Uranium Y (UY)	${}_{90}Th^{231}$	3594.3	648.674	920.125	262.183	0	1.567	1762.967	7.631	0.001
3	Protactinium (Pa)	${}_{91}Pa^{231}$	3594.3	648.674	940.686	242.022	-	1.538	1762.187	7.628	4.933
4	Actinium (Ac)	${}_{89}Ac^{227}$	3532.1	641.164	905.046	246.287	-	1.551	1738.826	7.66	0.820
5	Radioactinium (RdAc)	${}_{90}Th^{227}$	3532.1	641.164	925.498	226.592	0	1.522	1738.864	7.660	4.224
6	Actinium K (AcK)	${}_{87}Fr^{223}$	3469.8	633.609	869.967	250.705	-	1.563	1714.794	7.689	1.519
7	Actinium X (AcX)	${}_{88}Ra^{223}$	3469.8	633.609	890.081	230.657	0	1.534	1715.531	7.693	4.295
8	Astatine 219	${}_{85}At^{219}$	3407.6	626.010	835.454	255.284	-	1.576	1690.081	7.717	2.887
9	Ac Emanation (An)	${}_{86}Em^{219}$	3407.6	626.010	855.227	234.870	0	1.547	1691.532	7.723	3.618
10	Bismuth 215	${}_{83}Bi^{215}$	3345.4	618.364	801.511	260.033	-	1.59	1664.673	7.742	2.964
11	Actinium A (AcA)	${}_{84}Po^{215}$	3345.4	618.364	820.940	239.239	0	1.56	1666.855	7.752	2.927
12	Actinium B (AcB)	${}_{82}Pb^{211}$	3283.1	610.670	787.226	243.775	0	1.573	1641.488	7.779	0.943
13	Astatine 215	${}_{85}At^{215}$	3345.4	618.364	840.603	219.312	-	1.529	1666.302	7.750	3.642
14	Actinium C (AcC)	${}_{83}Bi^{211}$	3283.1	610.670	806.544	223.469	-	1.542	1641.65	7.780	2.956
15	Actinium C' (AcC')	${}_{84}Po^{211}$	3283.1	610.670	826.096	204.047	0	1.512	1642.346	7.783	3.685
16	Actinium C'' (AcC'')	${}_{81}Tl^{207}$	3220.9	602.928	773.059	227.788	-	1.556	1616.311	7.808	2.208
17	Actinium D	${}_{82}Pb^{207}$	3220.9	602.928	792.264	207.990	0	1.524	1617.737	7.815	Stabil

dengan:

E_v = Efek Volume (MeV)

E_s = Efek Permukaan (MeV)

E_c = Efek Coloumb (MeV)

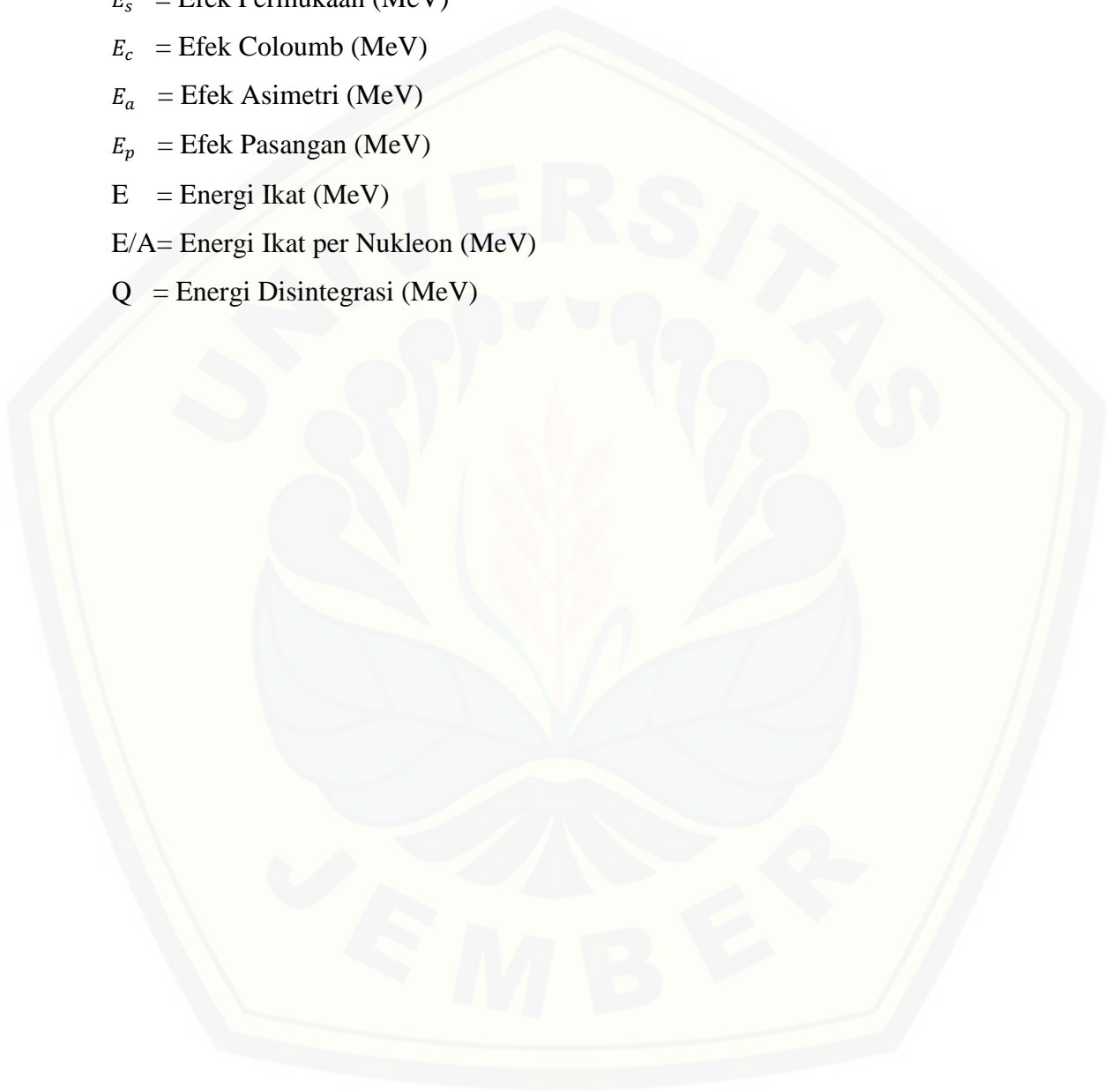
E_a = Efek Asimetri (MeV)

E_p = Efek Pasangan (MeV)

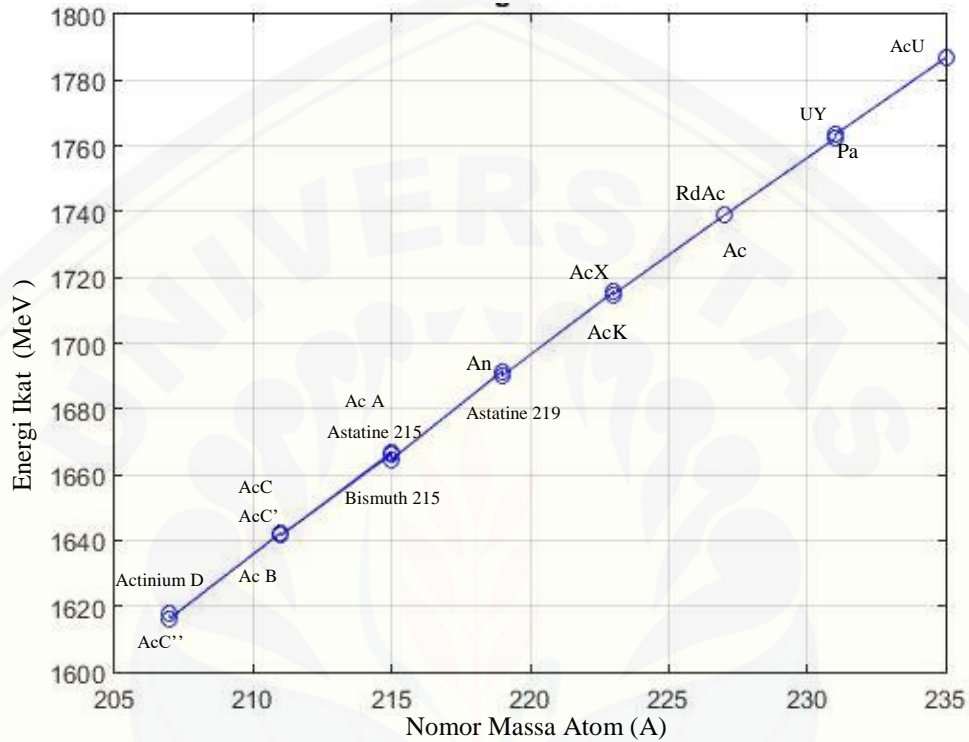
E = Energi Ikat (MeV)

E/A = Energi Ikat per Nukleon (MeV)

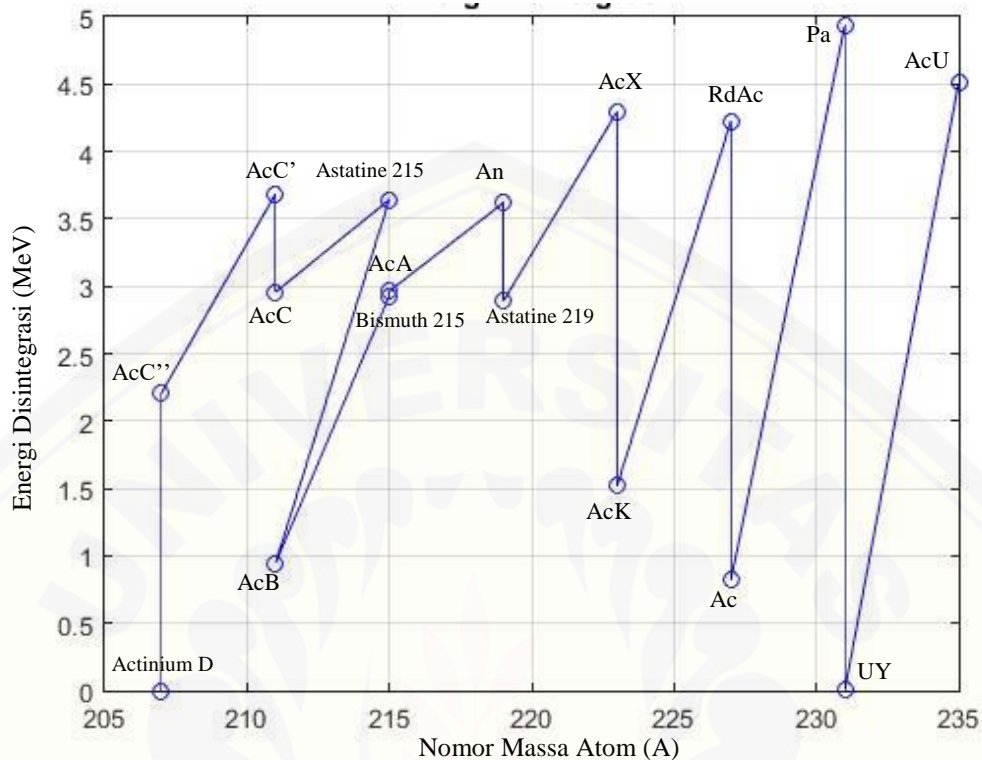
Q = Energi Disintegrasi (MeV)



Selain itu dapat dilihat grafik hubungan antara Massa atom (A) dengan Energi Ikat (E) dan Energi Disintegrasi (Q) yang dilepaskan selama peluruhan unsur Radioaktif deret Aktinium.



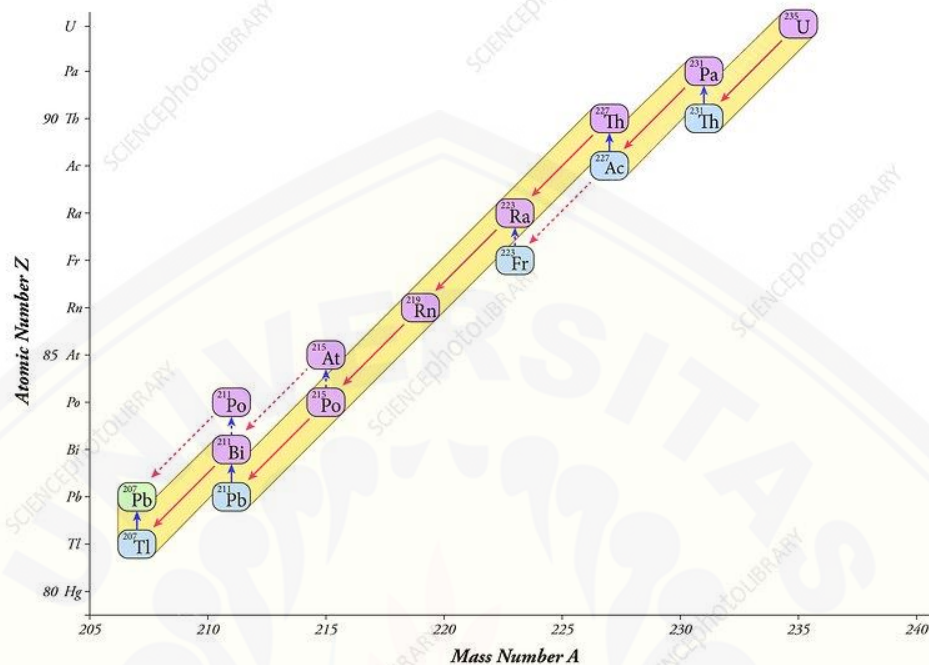
Gambar 4.1 Grafik Energi Ikat Deret Aktinium Unsur Radioaktif



Gambar 4.2 Grafik Energi Disintegrasi Deret Aktinium Unsur Radioaktif

4.2 Pembahasan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti di laboratorium komputer Program Pendidikan Fisika FKIP Universitas Jember, yaitu membuat simulasi peluruhan unsur radioaktif deret Aktinium. Adapun hasil simulasi yang ditemukan adalah besar energi ikat (E) dan energi disintegrasi (Q) dengan nilai rata-rata ketidakpastian relatif (KR) sebesar 0,02252% untuk energi ikat dan 0,22633% untuk energi disintegrasi. Nilai tersebut berada dibawah 0,5%. Unsur Aktinium termasuk unsur radioaktif alami dari hasil peluruhan radioaktif ${}_{92}\text{U}^{235}$ yang belum stabil dan berakhir menghasilkan produk akhir stabil berupa Timbal-207. Unsur-unsur radioaktif pada deret Aktinium mengalami peluruhan alfa dan beta untuk menjadi inti stabil. Adapun proses peluruhan deret aktinium dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3 Proses Peluruhan Deret Aktinium (Science Photo Library, 2018)

Peluruhan terjadi karena unsur ${}_{92}\text{U}^{235}$ yang tidak stabil karena memiliki rasio proton dan neutron N/P 1,55. Seperti yang dikatakan bahwa nuklida berat dikatakan stabil jika jumlah neutron berbanding satu setengah kali jumlah proton atau N/P sebesar 1,5, sedangkan untuk nuklida ringan inti atom yang stabil terjadi jika jumlah proton dan neutron setara (Alatas *et al.*, 2009). Jika diperhatikan perbandingan N/P unsur ${}_{92}\text{U}^{235}$ dengan nilai 1,587 merupakan unsur stabil. Namun semua unsur nuklida dengan nilai $Z > 83$, $N > 126$, dan $A > 209$ atau yang disebut nuklida berat merupakan unsur yang tidak stabil. Unsur nuklida tersebut kemudian meluruh secara spontan menjadi inti anak yang lebih ringan dengan memancarkan partikel alfa (${}_{2}\text{He}^4$). Partikel alfa yang dipancarkan mereduksi Z dan N inti induk. Namun jika rasio N/P inti anak yang dihasilkan masih terlalu besar, maka inti akan meluruh lagi dengan peluruhan beta (${}_{-}\beta^0$) yang mengurangi rasio proton dan elektron dalam neutron (Beiser, 2003: 416). Dalam proses peluruhan alfa maupun beta, unsur juga akan melepaskan energi disintegrasi, dengan nilai $Q > 0$.

Deret Aktinium menghasilkan radioaktif induk berupa ${}_{92}\text{U}^{235}$ dan memiliki waktu paruh $7,10 \times 10^8$ tahun. Dalam deret aktinium mengalami 16 proses peluruhan berupa 10 peluruhan alfa (α) dan 6 peluruhan beta (β). Perhitungan energi ikat dengan menggunakan model tetes cairan yang telah dilakukan pada penelitian, unsur ${}_{92}\text{U}^{235}$ merupakan unsur pada deret Aktinium yang memiliki energi ikat inti terbesar yaitu 1786,751 MeV dan energi ikat per nukleon terkecil yaitu 7,6032 MeV. Unsur ${}_{92}\text{U}^{235}$ memiliki perbandingan N/P sebesar 1,587, maka unsur tersebut termasuk ke dalam unsur berat yang tidak stabil. Unsur tersebut mengalami peluruhan alfa menjadi unsur ${}_{90}\text{Th}^{231}$ dengan energi disintegrasi (Q) sebesar 4,5116 MeV. Nilai positif pada energi disintegrasi sesuai dengan syarat terjadinya peluruhan yakni $Q > 0$. Selain unsur ${}_{92}\text{U}^{235}$, unsur deret Aktinium yang mengalami peluruhan alfa lainnya adalah unsur ${}_{91}\text{Pa}^{231}$, ${}_{90}\text{Th}^{227}$, ${}_{88}\text{Ra}^{223}$, ${}_{85}\text{At}^{219}$, ${}_{86}\text{Em}^{219}$, ${}_{84}\text{Po}^{215}$, ${}_{85}\text{At}^{215}$, ${}_{83}\text{Bi}^{211}$, dan ${}_{84}\text{Po}^{211}$.

Unsur ${}_{91}\text{Pa}^{231}$ adalah inti anak hasil dari peluruhan unsur ${}_{90}\text{Th}^{231}$ yang memiliki perbandingan N/P sebesar 1,538 dengan energi ikat sebesar 1762,187 MeV dan energi ikat per nukleon sebesar 7,6285 MeV. Unsur tersebut mengalami peluruhan menjadi unsur ${}_{89}\text{Ac}^{227}$ dengan energi disintegrasi (Q) sebesar 4,9335 MeV. Unsur ${}_{90}\text{Th}^{227}$ adalah hasil dari peluruhan unsur ${}_{89}\text{Ac}^{227}$ dengan energi disintegrasi (Q) sebesar 0,8209 MeV. Unsur ${}_{90}\text{Th}^{227}$ memiliki perbandingan N/P sebesar 1,522 dengan energi ikat bernilai 1738,864 MeV dan energi ikat per nukleon sebesar 7,6602 MeV mengalami peluruhan menghasilkan unsur ${}_{87}\text{Fr}^{223}$ dan melepaskan energi disintegrasi (Q) sebesar 4,2246 MeV. Unsur ${}_{88}\text{Ra}^{223}$ dengan perbandingan N/P sebesar 1,543 belum menjadi inti stabil, mengalami peluruhan alfa dengan energi ikat bernilai 1715,531 MeV dan energi ikat per nukleon bernilai 7,693 MeV. Inti anak hasil dari peluruhan unsur ${}_{88}\text{Ra}^{223}$ adalah unsur ${}_{85}\text{At}^{219}$ dengan energi disintegrasi (Q) sebesar 4,2959 MeV.

Selanjutnya unsur ${}_{85}\text{At}^{219}$ memiliki perbandingan N/P sebesar 1,576 dengan energi ikat bernilai 1690,081 MeV dan energi ikat per nukleon bernilai 7,173 MeV mengalami peluruhan alfa. Hasil dari peluruhan tersebut menghasilkan unsur ${}_{86}\text{Em}^{219}$ dengan energi disintegrasi (Q) sebesar 2,8872 MeV. Unsur ${}_{86}\text{Em}^{219}$ memiliki

perbandingan N/P sebesar 1,547 dengan energi ikat bernilai 1691,532 MeV dan energi ikat per nukleon bernilai 7,7239 MeV mengalami peluruhan alfa menghasilkan ${}_{83}\text{Bi}^{215}$ dan melepaskan energi disintegrasi (Q) sebesar 3,618 MeV. Unsur ${}_{84}\text{Po}^{215}$ dengan perbandingan N/P sebesar 1,56 belum menjadi inti stabil, mengalami peluruhan dengan energi ikat bernilai 1666,855 MeV dan energi ikat per nukleon bernilai 7,7502 MeV. Inti anak hasil dari peluruhan unsur ${}_{84}\text{Po}^{215}$ adalah unsur ${}_{82}\text{Pb}^{211}$ dengan energi disintegrasi (Q) sebesar 2,9277 MeV. Unsur ${}_{85}\text{At}^{215}$ memiliki perbandingan N/P sebesar 1,53 dengan energi ikat sebesar 1666,302 MeV dan energi ikat per nukleon bernilai 7,7502 MeV mengalami peluruhan alfa.

Peluruhan dari unsur ${}_{85}\text{At}^{215}$ menghasilkan inti anak berupa unsur ${}_{83}\text{Bi}^{211}$ dengan energi disintegrasi (Q) bernilai 3,6426 MeV. Unsur ${}_{83}\text{Bi}^{211}$ memiliki perbandingan N/P sebesar 1,542 dengan energi ikat bernilai 1641,65 MeV dan energi ikat per nukleon bernilai 7,7803 MeV mengalami peluruhan alfa. Inti anak yang terbentuk adalah unsur ${}_{84}\text{Po}^{211}$ dengan melepaskan energi disintegrasi (Q) sebesar 2,9562 MeV. Walaupun unsur ${}_{84}\text{Po}^{211}$ memiliki nilai perbandingan N/P adalah yang paling mendekati 1,5 yakni sebesar 1,512, namun unsur tersebut bukanlah inti stabil karena masih tergolong ke dalam nuklida berat ($Z > 83$). Sehingga unsur ${}_{84}\text{Po}^{211}$ dengan energi ikat sebesar 1642,346 MeV dan energi ikat per nukleon bernilai 7,7836 MeV mengalami peluruhan alfa. Peluruhan tersebut menghasilkan inti anak berupa unsur ${}_{81}\text{Tl}^{207}$ dengan melepaskan energi disintegrasi (Q) sebesar 3,6857 MeV.

Unsur deret Aktinium yang mengalami peluruhan beta adalah unsur ${}_{90}\text{Th}^{231}$, ${}_{89}\text{Ac}^{227}$, ${}_{87}\text{Fr}^{223}$, ${}_{83}\text{Bi}^{215}$, ${}_{82}\text{Pb}^{211}$, dan ${}_{81}\text{Tl}^{207}$. Unsur ${}_{90}\text{Th}^{231}$ memiliki perbandingan N/P sebesar 1,567 dengan energi ikat sebesar 1762,967 MeV dan energi ikat per nukleon sebesar 7,6319 MeV. Hal ini membuktikan bahwa unsur tersebut bukan unsur yang stabil, karena perbandingan N/P yang terlalu besar. Maka dari itu diperlukan pengurangan proporsi neutron sehingga mengalami peluruhan beta dengan energi disintegrasi (Q) sebesar 0,0018 MeV. Selanjutnya unsur yang mengalami peluruhan beta lainnya adalah Unsur ${}_{89}\text{Ac}^{227}$. Unsur tersebut memiliki perbandingan N/P sebesar 1,5 dengan energi ikat sebesar 1762,187 MeV dan energi ikat per nukleon sebesar

7,66 MeV mengalami peluruhan beta. Selanjutnya unsur ${}_{87}\text{Fr}^{223}$ yang merupakan hasil peluruhan dari unsur ${}_{90}\text{Th}^{227}$ memiliki perbandingan N/P sebesar 1,563. Unsur tersebut belum mencapai kestabilan sehingga mengalami peluruhan dengan energi ikat bernilai 1714,794 MeV dan energi ikat per nukleon bernilai 7,6897 MeV. Peluruhan tersebut menghasilkan inti anak berupa unsur ${}_{88}\text{Ra}^{223}$ dan melepaskan energi disintegrasi (Q) sebesar 1,5195 MeV. Selanjutnya unsur ${}_{83}\text{Bi}^{215}$ memiliki perbandingan N/P sebesar 1,59 dengan energi ikat bernilai 1664,673 MeV dan energi ikat per nukleon bernilai 7,7427 MeV mengalami peluruhan beta. Peluruhan tersebut menghasilkan inti anak berupa unsur ${}_{84}\text{Po}^{215}$ dan melepaskan energi disintegrasi (Q) sebesar 2,9646 MeV. Unsur ${}_{82}\text{Pb}^{211}$ memiliki perbandingan N/P sebesar 1,573 dengan energi ikat bernilai 1641,488 MeV dan energi ikat per nukleon bernilai 7,2796 MeV mengalami peluruhan. Hasil dari peluruhan tersebut menghasilkan unsur ${}_{85}\text{At}^{215}$ dengan energi disintegrasi (Q) sebesar 0,9436 MeV. Unsur ${}_{81}\text{Tl}^{207}$ dengan perbandingan N/P sebesar 1,556 belum menjadi inti stabil, mengalami peluruhan dengan energi ikat bernilai 1616,311 MeV dan energi ikat per nukleon bernilai 7,8083 MeV. Inti anak hasil dari peluruhan unsur ${}_{81}\text{Tl}^{207}$ adalah unsur ${}_{82}\text{Pb}^{207}$ dengan energi disintegrasi (Q) sebesar 2,2082 MeV. Unsur ${}_{82}\text{Pb}^{207}$ merupakan unsur stabil dengan perbandingan N/P sebesar 1,524. Unsur tersebut tergolong ke dalam nuklida sedang. Nuklida sedang dapat dikatakan stabil ketika memiliki nilai $Z > 83$, $N < 126$, dan $A < 209$ (Mardiana I, 2019).

Jika dilihat pada grafik 4.1, nilai energi ikat menggunakan model tetesan cairan yang dihasilkan unsur radioaktif deret Aktinium mengalami penurunan secara linier. Semakin kecil nomor massanya (A) maka akan semakin kecil pula energi ikat (E) yang diperlukan dalam melakukan peluruhan. Hal ini dikarenakan semakin kecil nilai massa nukleon dan nuklida berat akan mendekati kestabilan menuju nuklida sedang, maka semakin kecil energi ikatnya. Seperti yang dijelaskan dalam percobaan C.F von Weizsacker bahwa pada model tetesan cairan, kerapatan konstan dan energi ikat berbanding lurus dengan massa dan jumlah partikel yang membentuk tetesan.

Energi ikat terbesar dimiliki oleh unsur ${}_{92}\text{U}^{235}$ yaitu sebesar 1786,751 MeV dan energi ikat terkecil dimiliki oleh unsur ${}_{81}\text{Tl}^{207}$ sebesar 1616,311 MeV. Energi ikat terkecil tidak dimiliki oleh unsur ${}_{82}\text{Pb}^{207}$ yang merupakan unsur terakhir pada deret Aktinium. Hal ini dikarenakan jumlah proton unsur ${}_{82}\text{Pb}^{207}$ lebih besar dan bernilai genap sehingga memengaruhi energi asimetri dan energi coulomb yang bernilai lebih kecil dibanding unsur ${}_{81}\text{Tl}^{207}$. Nilai energi asimetri yang kecil dan energi coulomb nol (0), akan menghasilkan energi ikat yang lebih besar. Pada peluruhan alfa mengalami penurunan energi ikat cukup besar, namun pada peluruhan beta energi ikat mengalami penurunan dan kenaikan cukup kecil seperti yang digambarkan pada grafik 4.1. Hasil yang didapatkan sesuai dengan penelitian Mardiana, I (2019). Hal ini dikarenakan partikel alfa memiliki massa terbesar, kira-kira empat kali massa proton atau neutron dan kira-kira 8.000 kali massa partikel beta. Karena massa partikel alfa yang besar, ia memiliki kekuatan pengion tertinggi dan kemampuan terbesar untuk merusak jaringan.

Seluruh energi disintegrasi yang ditemukan pada tabel 4.1 memiliki nilai positif, sehingga hal ini sesuai dengan syarat terjadinya peluruhan yaitu $Q > 0$. Menurut Wiyatmo (2012), peluruhan akan terjadi jika memenuhi syarat syarat yaitu $Q > 0$, sehingga $m_{(x)} > m_{(y)}$ (peluruhan dapat terjadi dengan massa atomik nuklida induk lebih besar dari massa atomik nuklida turunan) atau dengan artian lain energi disintegrasi memiliki nilai positif yang lebih dari nol ($Q > 0$). Energi disintegrasi terbesar dihasilkan dari peluruhan alfa oleh unsur ${}_{91}\text{Pa}^{231}$ yaitu sebesar 4,9335 MeV dan energi ikat terkecil dihasilkan dari peluruhan beta oleh unsur ${}_{90}\text{Th}^{231}$ yaitu sebesar 0,0018 MeV. Unsur ${}_{82}\text{Pb}^{207}$ adalah unsur tidak menghasilkan energi disintegrasi karena merupakan unsur stabil yang tidak membutuhkan peluruhan. Penelitian yang dilakukan oleh Baihaqi M. (2020) yang berjudul “Simulasi Kestabilan Inti Peluruhan Zat Radioaktif Deret Thorium-232 dengan Pendekatan Energi Ikat Inti Model Tetes Cairan (*The Liquid Drop Model*)” mengkaji unsur radioaktif menggunakan model yang sama dengan penelitian ini. Adapun perbedaan

yang terletak pada deret unsur yang dikaji, yakni deret radioaktif thorium, sedangkan pada penelitian ini mengkaji unsur radioaktif pada deret aktinium.



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan dalam penelitian Simulasi Energi Ikat dan Energi Disintegrasi Peluruhan Unsur Radioaktif Deret Aktinium Berdasarkan Model Tetesan Cairan (Telaah Klasik), maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- a. Energi ikat yang dihasilkan unsur radioaktif Deret Aktinium dengan Model Tetesan Cairan sesuai dengan teori. Energi ikat berbanding lurus dengan massa dan jumlah partikel yang membentuk tetesan. Pada peluruhan alfa mengalami penurunan energi ikat cukup besar, namun pada peluruhan beta energi ikat mengalami penurunan dan kenaikan cukup kecil. Energi ikat terbesar menggunakan model tetesan cairan yang dimiliki oleh unsur ${}_{92}\text{U}^{235}$ yakni sebesar 1786,751 MeV. Sedangkan unsur energi ikat terkecil dimiliki oleh unsur ${}_{81}\text{Tl}^{207}$ dengan nilai sebesar 1616,311 MeV.
- b. Energi disintegrasi yang ditemukan pada unsur radioaktif Deret Aktinium memiliki nilai positif, sehingga hal ini sesuai dengan syarat terjadinya peluruhan yaitu $Q > 0$. Energi disintegrasi terbesar dihasilkan dari peluruhan alfa oleh unsur ${}_{91}\text{Pa}^{231}$ yaitu sebesar 4,9335 MeV dan energi ikat terkecil dihasilkan dari peluruhan beta oleh unsur ${}_{90}\text{Th}^{231}$ yaitu sebesar 0,0018 MeV. Unsur ${}_{82}\text{Pb}^{207}$ adalah unsur tidak menghasilkan energi disintegrasi karena merupakan unsur stabil yang tidak membutuhkan peluruhan.

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya dapat mengkaji dan membuat simulasi dengan model inti atau unsur radioaktif yang berbeda sehingga dapat memperluas studi literatur mengenai fisika inti yang dapat diajarkan di sekolah maupun perguruan tinggi. Selain itu energi disintegrasi yang dapat dikaji tidak hanya menggunakan telaah klasik, namun juga dapat ditelaah menggunakan telaah modern untuk membedakan

perbedaan hasil keduanya. Adapun jika peneliti selanjutnya tidak hanya dapat membuat simulasi Matlab, namun membuat sebuah program untuk mengkalkulasikan nilai energi ikat dan energi disintegrasi yang dihasilkan oleh unsur radioaktif dalam sebuah peluruhan.

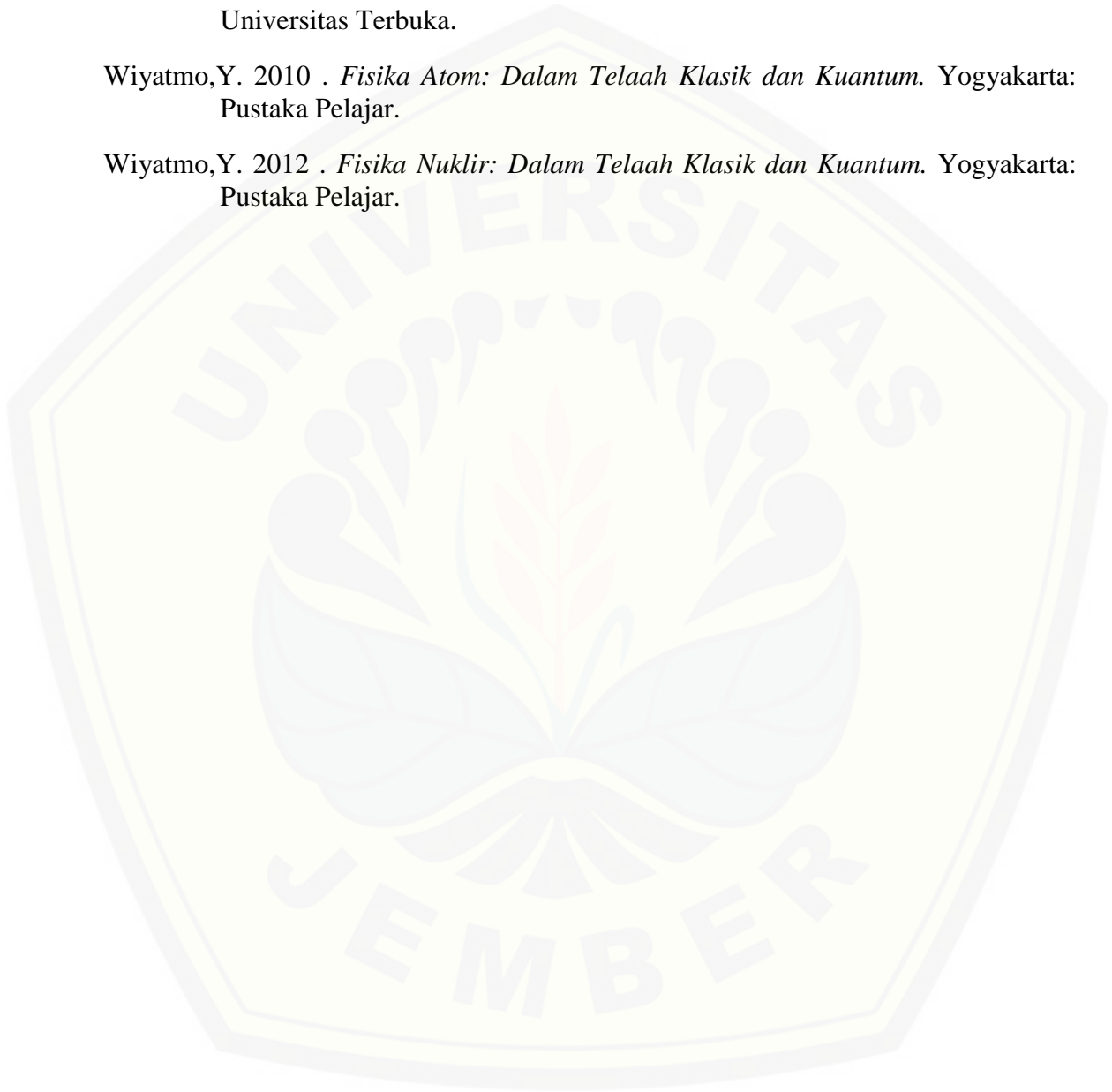


DAFTAR PUSTAKA

- Alatas, Z., Hidayat, S., dan Purwadi, D. 2009. *Buku Pintar Nuklir*. Jakarta: Batan.
- Antho, B. 2011. Pemodelan Dan Simulasi Berbasis Matlab/Simulink Terhadap Gerakan Rotor Motor Stepper 3-Fasa Jenis Variable Reluctance. *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*. 10(1): 44.
- Baihaqi, M. 2020. Simulasi Kestabilan Inti Peluruhan Zat Radioaktif Unsur Thorium-232 Dengan Pendekatan Energi Ikat Inti Model Tetes Cairan (The Liquid Drop Model). Dalam: *Skripsi*. Jember: Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.
- Basyari, A. P., Sunaryo, dan B. H. Iswanto. 2012. Pengembangan Media Pembelajaran Fisika Berbasis Adobe Flash untuk Menjelaskan Fisika Inti dan Radioaktivitas untuk SMA Kelas XII. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF 2012*. 1(1): 116 – 120.
- Beiser, A. 1987. *Konsep Fisika Modern Edisi Keempat*. Erlangga: Jakarta.
- Beiser, A. 2003. *Concept of Modern Physics Sixth Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Bewick, S., Parsons, R., Forsythe, T. 2018. *Types of Radioactivity - Alpha, Beta, and Gamma Decay*. <https://chem.libretexts.org>. [Diakses 10 Maret 2021].
- Cyberphysics. 2020. *Strong Nuclear Force*. <https://www.cyberphysics.co.uk/>. [Diakses 11 Agustus 2020].
- Deblonde, G. dan R. J. Abergel. 2016. Active Actinium. *Nature Chemistry*. 8: 1084.
- Gauterau, R. dan W. Savin. 2006. *Fisika Modern Edisi Kedua*. Jakarta: Erlangga.
- Gregersen, E. 2020. *Encyclopedia Britannica: Actinium series*. <https://www.britannica.com/science/actinium-series>. [Diakses 16 Januari 2021].
- Hussain, R. dan H. H. Hussain. 2011. Natural Occuring Radionuclide Materials. *Radioisotopes – Applications in Physical Sciences*. SN 978-953-307-510-5: 4-8.
- Hutagalung, S. H. 2018. Pembelajaran Fisika Dasar dan Elektronika Dasar Menggunakan Aplikasi Matlab Metode Simulink. *Journal of Science and Social Research*. 1(1): 31-32.

- HyperPhysics. 2016. *Actinium*. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu> [Diakses 18 Januari 2020].
- Jatmiko, B., Prastowo, T., Prihatiningtyas, S. 2013. Implementasi Simulasi Phet dan Kit Sederhana untuk Mengajarkan Keterampilan Psikomotor Siswa pada Pokok Bahasan Alat Optik. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*. 2(1): 19-20.
- Krane, K. 2012. *Fisika Modern*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Mahardika, I K. 2008. *Sifat-Sifat, Energi Ikat, dan Sistem Nukleon “Dalam Pendahuluan Fisika Inti*. Jember: Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.
- Mardiana I, I., T. Prihandono, dan Yushardi. 2019. Kajian Kestabilan Inti Unsur-Unsur Pada Proses Peluruhan Zat Radioaktif dengan Pendekatan Energi Ikat Inti Model Tetes Cairan. *Jurnal Pembelajaran Fisika*. 8(2):101-106.
- Mc. Murry J. dan R. Fay. 2003. *Chemistry (Fourth Edition)*. New York: Person Prentice Hall.
- Rajagukguk, J. dan Sarumaha, C.2017. Pemodelan dan Analisis Gerak Parabola Dua Dimensi dengan Menggunakan Aplikasi GUI Matlab. *Jurnal Sainatika*. 17(2): 63.
- Science Photo Library. 2020. *Nuclear Decay Chain: Actinium Series*. <https://www.sciencephoto.com/media/498324/view/nuclear-decay-chain-actinium-series>. [Diakses 20 Oktober 2020].
- Sofyan, H. dan M. Akhadi. 2004. Radionuklida Primordial untuk Penanggalan Geologi dan Arkeologi. *Jurnal IPTEK Ilmiah Populer*. 6(2): 85-88.
- Sukarna, I. M. 2014. *Radiokimia Edisi 1*. Tangerang Selatan: Universitas Terbuka.
- Sutarto. 2015. *Seri Konsep Fisika: Fisika Nuklir dan Partikel*. Jakarta: Erlangga.
- Takada, K. 2006. *The World of The Atomic Nucleus*. <http://ne.phys.kyushu-u.ac.jp/seminar>. [Diakses 27 Juni 2020].
- Thoennessen, M. 2004. Reaching the Limits of Nuclear Stability. *IOP Publishing*. 67(6): 1187-1232.
- Shabaan, D. 2017. Natural Radioactivity Studies, Uranium source Depth, Radon Diffusion. *LAMBERT Academic Publishing*. ISBN: 978-3-330-04890-4: 21

- Wardhani, N. S. dan J. Suprihatiningrum. 2015. Proses Pengembangan Tabel Periodik Unsur (TPU) Braille untuk Siswa Difabel Netra. *INKLUSI*. 2(1): 131.
- Wihono, B. S. 1986. *Materi Pokok Fisika Atom*. Jakarta: Karunika Jakarta Universitas Terbuka.
- Wiyatmo, Y. 2010. *Fisika Atom: Dalam Telaah Klasik dan Kuantum*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Wiyatmo, Y. 2012. *Fisika Nuklir: Dalam Telaah Klasik dan Kuantum*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.



LAMPIRAN A

MATRIKS PENELITIAN

Judul	Tujuan	Variabel	Data dan Teknik Pengambilan Data	Metode Penelitian
Simulasi Energi Ikat dan Energi Disintegrasi Peluruhan Unsur Radioaktif Deret Aktinium Berdasarkan Model Inti Tetesan Cairan(Telaah Klasik)	Penelitian ini bertujuan untuk membuat simulasi dalam menentukan energi ikat dan energi disintegrasi peluruhan unsur radioaktif Deret Aktinium berdasarkan Model Inti Tetesan Cairan.	<p>a. Variabel kontrol: model inti atom tetesan cairan.</p> <p>b. Variabel bebas: unsur radioaktif.</p> <p>c. Variabel terikat: deret Aktinium, energi ikat, energi ikat per nukleon dan energi disintegrasi.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Data: berupa energi ikat dan energi disintegrasi Teknik pengambilan data: Melakukan simulasi dalam penentuan unsur radioaktif deret Aktinium, energi ikat, dan Energi Disintegrasi menggunakan Operasi Logika dan Operasi Matematika pada aplikasi MATLAB. 	<ul style="list-style-type: none"> Jenis Penelitian: Penelitian simulasi Teknik Analisis Data: <ol style="list-style-type: none"> Operasi Logika <i>if-elseif-else-end</i> untuk menentukan peluruhan pada deret Aktinium menggunakan: <ul style="list-style-type: none"> Persamaan Persamaan Alfa (α) ${}^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2He$ Persamaan Peluruhan Beta (β) ${}^A_ZX_i \rightarrow {}^{A}_{Z+1}X_t + {}^0_{-1}e + \bar{\nu}$ atau ${}^A_ZX_i \rightarrow {}^{A}_{Z+1}X_t + {}^0_{-1}e + \nu$

				<ul style="list-style-type: none"> • Persamaan Peluruhan Gamma (γ) ${}^A_ZX_i \rightarrow {}^A_ZX_t + \gamma$ b. Operasi Matematika untuk mencari Energi Ikut dengan persamaan: $E = b_1A - b_2A^{2/3} - b_3Z^2A^{-1/3} - b_4(A - 2Z)2A^{-1} \pm \delta(Z, A)$ c. Operasi Matematika untuk mencari Energi Ikut per Nukleon dengan persamaan: $E_{\text{per nukleon}} = \frac{E}{A}$ d. Energi Disintegrasi dengan persamaan: <ol style="list-style-type: none"> 1. Peluruhan Alfa $Q_\alpha = E_{(Y)} + E_{(\alpha)} - E_{(X)}$ 2. Peluruhan Beta $Q_\beta = E_{(Y)} - E_{(X)} + m_n - m_H$
--	--	--	--	--

Lampiran B

Coding Matlab

```

clc
clear
close

disp('=====')
disp('=====')
disp('=====Kestabilan Inti Peluruhan Zat
Radioaktif=====')
disp('=====')
disp('=====')
av=15.56;
as=17.23;
ac=0.697;
aa=23.285;
ap=12;
A1=input('nomor massa, A=');
Z1=input('nomor atom, Z= ');
if A1~=235 && A1~=231 && A1~=227
    N1=A1-Z1;
    Ev=av.*A1;%energi volume
    Es=as.*(A1).^(2./3);%energi permukaan
    Z2=ac.*(Z1.^2);
    Ax=A1.^(1./3);
    Ec=Z2./Ax;%energi coulomb
    Ea=aa.*((A1-2.*Z1).^2)./A1;%energi asimetri
    if floor(A1/2)==(A1/2) && floor(Z1/2)==(Z1/2) ;
        ap=12;
    elseif floor(A1/2)<(A1/2) && floor(Z1/2)<(Z1/2);
        ap =-12;
    else
        ap =0;
    end
    Ep=ap.*A1.^(-1./2);%energi pasangan
    E1=Ev-Es-Ec-Ea+Ep; %energi ikat
    e1=E1./A1; %energi ikat per nukleon
    disp('Bukan inti deret Aktinium')
    disp(['Energi ikat inti atom = ',num2str(E1),' Mev']);
    disp(['Energi ikat per nekleon atom = ',num2str(e1),' Mev']);
else
    disp('Inti Atom Stabil')
    %untuk A1
    Ev_1=av.*A1;%energi volume

```

```

Es_1=as.*(A1).^(2./3);%energi permukaan
Z2_1=ac.*(Z1.^2);
Ax_1=A1.^(1./3);
Ec_1=Z2_1./Ax_1;%energi coulomb
Ea_1=aa.*((A1-2.*Z1).^2)./A1;%energi asimetri
    if floor(A1/2)==(A1/2) && floor(Z1/2)==(Z1/2) ;
        ap=12;
    elseif floor(A1/2)<(A1/2) && floor(Z1/2)<(Z1/2);
        ap =-12;
    else
        ap =0;
    end
Ep_1=ap.*A1.^(-1./2);%energi pasangan
E1_1=Ev_1-Es_1-Ec_1-Ea_1+Ep_1; %energi ikat
e1_1=E1_1./A1; %energi ikat per nukleon
%untuk A2
A2=A1-4;
Z2=Z1-2;
Ev_2=av.*A2;%energi volume
Es_2=as.*(A2).^(2./3);%energi permukaan
Z2_2=ac.*(Z2.^2);
Ax_2=A2.^(1./3);
Ec_2=Z2_2./Ax_2;%energi coulomb
Ea_2=aa.*((A2-2.*Z2).^2)./A2;%energi asimetri
    if floor(A2/2)==(A2/2) && floor(Z2/2)==(Z2/2) ;
        ap=12;
    elseif floor(A2/2)<(A2/2) && floor(Z2/2)<(Z2/2);
        ap =-12;
    else
        ap =0;
    end
Ep_2=ap.*A2.^(-1./2);%energi pasangan
E1_2=Ev_2-Es_2-Ec_2-Ea_2+Ep_2; %energi ikat
e1_2=E1_2./A2; %energi ikat per nukleon
%untuk A3
A3=A1-4;
Z3=Z2+1;
Ev_3=av.*A3;%energi volume
Es_3=as.*(A3).^(2./3);%energi permukaan
Z2_3=ac.*(Z3.^2);
Ax_3=A3.^(1./3);
Ec_3=Z2_3./Ax_3;%energi coulomb
Ea_3=aa.*((A3-2.*Z3).^2)./A3;%energi asimetri
    if floor(A3/2)==(A3/2) && floor(Z3/2)==(Z3/2) ;
        ap=12;
    elseif floor(A3/2)<(A3/2) && floor(Z3/2)<(Z3/2);
        ap =-12;
    else
        ap =0;
    end
Ep_3=ap.*A3.^(-1./2);%energi pasangan
E1_3=Ev_3-Es_3-Ec_3-Ea_3+Ep_3; %energi ikat

```

```

e1_3=E1_3./A3; %energi ikat per nukleon
%untuk A4
A4=A3-4;
Z4=Z3-2;
Ev_4=av.*A4;%energi volume
Es_4=as.*(A4).^(2./3);%energi permukaan
Z2_4=ac.*(Z4.^2);
Ax_4=A4.^(1./3);
Ec_4=Z2_4./Ax_4;%energi coulomb
Ea_4=aa.*((A4-2.*Z4).^2)./A4;%energi asimetri
    if floor(A4/2)==(A4/2) && floor(Z4/2)==(Z4/2) ;
        ap=12;
    elseif floor(A4/2)<(A4/2) && floor(Z4/2)<(Z4/2);
        ap =-12;
    else
        ap =0;
    end
Ep_4=ap.*A4.^(-1./2);%energi pasangan
E1_4=Ev_4-Es_4-Ec_4-Ea_4+Ep_4; %energi Ikat
e1_4=E1_4./A4; %energi ikat per nukleon
%untuk A5
A5=A3-4;
Z5=Z4+1;
Ev_5=av.*A5;%energi volume
Es_5=as.*(A5).^(2./3);%energi permukaan
Z2_5=ac.*(Z5.^2);
Ax_5=A5.^(1./3);
Ec_5=Z2_5./Ax_5;%energi coulomb
Ea_5=aa.*((A5-2.*Z5).^2)./A5;%energi asimetri
    if floor(A5/2)==(A5/2) && floor(Z5/2)==(Z5/2) ;
        ap=12;
    elseif floor(A5/2)<(A5/2) && floor(Z5/2)<(Z5/2);
        ap =-12;
    else
        ap =0;
    end
Ep_5=ap.*A5.^(-1./2);%energi pasangan
E1_5=Ev_5-Es_5-Ec_5-Ea_5+Ep_5; %energi Ikat
e1_5=E1_5./A5; %energi ikat per nukleon
%untuk A6
A6=A5-4;
Z6=Z5-3;
Ev_6=av.*A6;%energi volume
Es_6=as.*(A6).^(2./3);%energi permukaan
Z2_6=ac.*(Z6.^2);
Ax_6=A6.^(1./3);
Ec_6=Z2_6./Ax_6;%energi coulomb
Ea_6=aa.*((A6-2.*Z6).^2)./A6;%energi asimetri
    if floor(A6/2)==(A6/2) && floor(Z6/2)==(Z6/2) ;
        ap=12;
    elseif floor(A6/2)<(A6/2) && floor(Z6/2)<(Z6/2);
        ap =-12;

```



```

else
    ap =0;
end
Ep_6=ap.*A6.^(-1./2);%energi pasangan
E1_6=Ev_6-Es_6-Ec_6-Ea_6+Ep_6; %energi Ikat
e1_6=E1_6./A6; %energi ikat per nukleon
%untuk A7
A7=A5-4;
Z7=Z6+1;
Ev_7=av.*A7;%energi volume
Es_7=as.*(A7).^(2./3);%energi permukaan
Z2_7=ac.*(Z7.^2);
Ax_7=A7.^(1./3);
Ec_7=Z2_7./Ax_7;%energi coulomb
Ea_7=aa.*((A7-2.*Z7).^2)./A7;%energi asimetri
    if floor(A7/2)==(A7/2) && floor(Z7/2)==(Z7/2) ;
        ap=12;
    elseif floor(A7/2)<(A7/2) && floor(Z7/2)<(Z7/2);
        ap =-12;
    else
        ap =0;
    end
Ep_7=ap.*A7.^(-1./2);%energi pasangan
E1_7=Ev_7-Es_7-Ec_7-Ea_7+Ep_7; %energi Ikat
e1_7=E1_7./A7; %energi ikat per nukleon
%untuk A8
A8=A7-4;
Z8=Z7-3;
Ev_8=av.*A8;%energi volume
Es_8=as.*(A8).^(2./3);%energi permukaan
Z2_8=ac.*(Z8.^2);
Ax_8=A8.^(1./3);
Ec_8=Z2_8./Ax_8;%energi coulomb
Ea_8=aa.*((A8-2.*Z8).^2)./A8;%energi asimetri
    if floor(A8/2)==(A8/2) && floor(Z8/2)==(Z8/2) ;
        ap=12;
    elseif floor(A8/2)<(A8/2) && floor(Z8/2)<(Z8/2);
        ap =-12;
    else
        ap =0;
    end
Ep_8=ap.*A8.^(-1./2);%energi pasangan
E1_8=Ev_8-Es_8-Ec_8-Ea_8+Ep_8; %energi Ikat
e1_8=E1_8./A8; %energi ikat per nukleon
%untuk A9
A9=A8;
Z9=Z8+1;
Ev_9=av.*A9;%energi volume
Es_9=as.*(A9).^(2./3);%energi permukaan
Z2_9=ac.*(Z9.^2);
Ax_9=A9.^(1./3);
Ec_9=Z2_9./Ax_9;%energi coulomb

```

```

Ea_9=aa.*((A9-2.*Z9).^2)./A9;%energi asimetri
    if floor(A9/2)==(A9/2) && floor(Z9/2)==(Z9/2) ;
        ap=12;
    elseif floor(A9/2)<(A9/2) && floor(Z9/2)<(Z9/2);
        ap =-12;
    else
        ap =0;
    end
Ep_9=ap.*A9.^(-1./2);%energi pasangan
E1_9=Ev_9-Es_9-Ec_9-Ea_9+Ep_9; %energi ikat
e1_9=E1_9./A9; %energi ikat per nukleon
%untuk A10
A10=A9-4;
Z10=Z9-3;
Ev_10=av.*A10;%energi volume
Es_10=as.*(A10).^2./3;%energi permukaan
Z2_10=ac.*(Z10.^2);
Ax_10=A10.^(1./3);
Ec_10=Z2_10./Ax_10;%energi coulomb
Ea_10=aa.*((A10-2.*Z10).^2)./A10;%energi asimetri
    if floor(A10/2)==(A10/2) && floor(Z10/2)==(Z10/2) ;
        ap=12;
    elseif floor(A10/2)<(A10/2) && floor(Z10/2)<(Z10/2);
        ap =-12;
    else
        ap =0;
    end
Ep_10=ap.*A10.^(-1./2);%energi pasangan
E1_10=Ev_10-Es_10-Ec_10-Ea_10+Ep_10; %energi ikat
e1_10=E1_10./A10; %energi ikat per nukleon
%untuk A11
A11=A10;
Z11=Z10+1;
Ev_11=av.*A11;%energi volume
Es_11=as.*(A11).^2./3;%energi permukaan
Z2_11=ac.*(Z11.^2);
Ax_11=A11.^(1./3);
Ec_11=Z2_11./Ax_11;%energi coulomb
Ea_11=aa.*((A11-2.*Z11).^2)./A11;%energi asimetri
    if floor(A11/2)==(A11/2) && floor(Z11/2)==(Z11/2) ;
        ap=12;
    elseif floor(A11/2)<(A11/2) && floor(Z11/2)<(Z11/2);
        ap =-12;
    else
        ap =0;
    end
Ep_11=ap.*A11.^(-1./2);%energi pasangan
E1_11=Ev_11-Es_11-Ec_11-Ea_11+Ep_11; %energi ikat
e1_11=E1_11./A11; %energi ikat per nukleon
%untuk A12
A12=A11-4;
Z12=Z11-2;

```

```

Ev_12=av.*A12;%energi volume
Es_12=as.*(A12).^(2./3);%energi permukaan
Z2_12=ac.*(Z12.^2);
Ax_12=A12.^(1./3);
Ec_12=Z2_12./Ax_12;%energi coulomb
Ea_12=aa.*((A12-2.*Z12).^2)./A12;%energi asimetri
    if floor(A12/2)==(A12/2) && floor(Z12/2)==(Z12/2) ;
        ap=12;
    elseif floor(A12/2)<(A12/2) && floor(Z12/2)<(Z12/2);
        ap =-12;
    else
        ap =0;
    end
Ep_12=ap.*A12.^(-1./2);%energi pasangan
E1_12=Ev_12-Es_12-Ec_12-Ea_12+Ep_12; %energi ikat
e1_12=E1_12./A12; %energi ikat per nukleon
%untuk A13
A13=A10;
Z13=Z10+2;
Ev_13=av.*A13;%energi volume
Es_13=as.*(A13).^(2./3);%energi permukaan
Z2_13=ac.*(Z13.^2);
Ax_13=A13.^(1./3);
Ec_13=Z2_13./Ax_13;%energi coulomb
Ea_13=aa.*((A13-2.*Z13).^2)./A13;%energi asimetri
    if floor(A13/2)==(A13/2) && floor(Z13/2)==(Z13/2) ;
        ap=12;
    elseif floor(A13/2)<(A13/2) && floor(Z13/2)<(Z13/2);
        ap =-12;
    else
        ap =0;
    end
Ep_13=ap.*A13.^(-1./2);%energi pasangan
E1_13=Ev_13-Es_13-Ec_13-Ea_13+Ep_13; %energi ikat
e1_13=E1_13./A13; %energi ikat per nukleon
%untuk A14
A14=A11-4;
Z14=Z11-1;
Ev_14=av.*A14;%energi volume
Es_14=as.*(A14).^(2./3);%energi permukaan
Z2_14=ac.*(Z14.^2);
Ax_14=A14.^(1./3);
Ec_14=Z2_14./Ax_14;%energi coulomb
Ea_14=aa.*((A14-2.*Z14).^2)./A14;%energi asimetri
    if floor(A14/2)==(A14/2) && floor(Z14/2)==(Z14/2) ;
        ap=12;
    elseif floor(A14/2)<(A14/2) && floor(Z14/2)<(Z14/2);
        ap =-12;
    else
        ap =0;
    end
Ep_14=ap.*A14.^(-1./2);%energi pasangan

```

```

E1_14=Ev_14-Es_14-Ec_14-Ea_14+Ep_14; %energi Ikat
e1_14=E1_14./A14; %energi ikat per nukleon
%untuk A15
A15=A11-4;
Z15=Z11;
Ev_15=av.*A15;%energi volume
Es_15=as.*(A15).^(2./3);%energi permukaan
Z2_15=ac.*(Z15.^2);
Ax_15=A15.^(1./3);
Ec_15=Z2_15./Ax_15;%energi coulomb
Ea_15=aa.*((A15-2.*Z15).^2)./A15;%energi asimetri
    if floor(A15/2)==(A15/2) && floor(Z15/2)==(Z15/2) ;
        ap=12;
    elseif floor(A15/2)<(A15/2) && floor(Z15/2)<(Z15/2);
        ap =-12;
    else
        ap =0;
    end
Ep_15=ap.*A15.^(-1./2);%energi pasangan
E1_15=Ev_15-Es_15-Ec_15-Ea_15+Ep_15; %energi Ikat
e1_15=E1_15./A15; %energi ikat per nukleon
%untuk A16
A16=A15-4;
Z16=Z15-3;
Ev_16=av.*A16;%energi volume
Es_16=as.*(A16).^(2./3);%energi permukaan
Z2_16=ac.*(Z16.^2);
Ax_16=A16.^(1./3);
Ec_16=Z2_16./Ax_16;%energi coulomb
Ea_16=aa.*((A16-2.*Z16).^2)./A16;%energi asimetri
    if floor(A16/2)==(A16/2) && floor(Z16/2)==(Z16/2) ;
        ap=12;
    elseif floor(A16/2)<(A16/2) && floor(Z16/2)<(Z16/2);
        ap =-12;
    else
        ap =0;
    end
Ep_16=ap.*A16.^(-1./2);%energi pasangan
E1_16=Ev_16-Es_16-Ec_16-Ea_16+Ep_16; %energi Ikat
e1_16=E1_16./A16; %energi ikat per nukleon
%untuk A17
A17=A15-4;
Z17=Z16+1;
Ev_17=av.*A17;%energi volume
Es_17=as.*(A17).^(2./3);%energi permukaan
Z2_17=ac.*(Z17.^2);
Ax_17=A17.^(1./3);
Ec_17=Z2_17./Ax_17;%energi coulomb
Ea_17=aa.*((A17-2.*Z17).^2)./A17;%energi asimetri
    if floor(A17/2)==(A17/2) && floor(Z17/2)==(Z17/2) ;
        ap=12;
    elseif floor(A17/2)<(A17/2) && floor(Z17/2)<(Z17/2);

```

```

        ap =-12;
    else
        ap =0;
    end
    Ep_17=ap.*A17.^(-1./2);%energi pasangan
    E1_17=Ev_17-Es_17-Ec_17-Ea_17+Ep_17; %energi ikat
    e1_17=E1_17./A17; %energi ikat per nukleon
    %energi disintegrasi
    E1alfa=28.295; %MeV
    mn=939.573; %massa neutron (MeV)
    mH=938.791; %massa atom Hidrogen (MeV)
    Ed_1=E1_2+E1alfa-E1_1; %energi disintegrasi partikel alfa
    Ed_2=E1_3-E1_2+mn-mH; %energi disintegrasi partikel beta
    Ed_3=E1_4+E1alfa-E1_3; %energi disintegrasi partikel alfa
    Ed_4=E1_5-E1_4+mn-mH; %energi disintegrasi partikel beta
    Ed_5=E1_6+E1alfa-E1_5; %energi disintegrasi partikel alfa
    Ed_6=E1_7-E1_6+mn-mH; %energi disintegrasi partikel beta
    Ed_7=E1_9+E1alfa-E1_7; %energi disintegrasi partikel alfa
    Ed_8=E1_10+E1alfa-E1_8; %energi disintegrasi partikel alfa
    Ed_9=E1_11+E1alfa-E1_9; %energi disintegrasi partikel alfa
    Ed_10=E1_11-E1_10+mn-mH; %energi disintegrasi partikel beta
    Ed_11=E1_12+E1alfa-E1_11; %energi disintegrasi partikel alfa
    Ed_12=E1_14-E1_12+mn-mH; %energi disintegrasi partikel beta
    Ed_13=E1_14+E1alfa-E1_13; %energi disintegrasi partikel alfa
    Ed_14=E1_16+E1alfa-E1_14; %energi disintegrasi partikel alfa
    Ed_15=E1_17+E1alfa-E1_15; %energi disintegrasi partikel alfa
    Ed_16=E1_17-E1_16+mn-mH; %energi disintegrasi partikel beta
    Ed_17='Stabil'; %atom stabil

    disp('Efek model tetes cairan')
    disp('efek volume          efek permukaan          efek coulomb
efek asimetri          efek pasangan ');
    disp([' ', num2str(Ev_1), ', ', ' ', num2str(Es_1), ', '
', num2str(Ec_1), ', ', ' ', num2str(Ea_1), ', '
', num2str(Ep_1)]);
    disp([' ', num2str(Ev_2), ', ', ' ', num2str(Es_2), ', '
', num2str(Ec_2), ', ', ' ', num2str(Ea_2), ', '
', num2str(Ep_2)]);
    disp([' ', num2str(Ev_3), ', ', ' ', num2str(Es_3), ', '
', num2str(Ec_3), ', ', ' ', num2str(Ea_3), ', '
', num2str(Ep_3)]);
    disp([' ', num2str(Ev_4), ', ', ' ', num2str(Es_4), ', '
', num2str(Ec_4), ', ', ' ', num2str(Ea_4), ', '
', num2str(Ep_4)]);
    disp([' ', num2str(Ev_5), ', ', ' ', num2str(Es_5), ', '
', num2str(Ec_5), ', ', ' ', num2str(Ea_5), ', '
', num2str(Ep_5)]);
    disp([' ', num2str(Ev_6), ', ', ' ', num2str(Es_6), ', '
', num2str(Ec_6), ', ', ' ', num2str(Ea_6), ', '
', num2str(Ep_6)]);

```

```

disp([' ', num2str(Ev_7), ' ', num2str(Es_7), ' ',
num2str(Ec_7), ' ', num2str(Ea_7), ' ',
num2str(Ep_7)]);
disp([' ', num2str(Ev_8), ' ', num2str(Es_8), ' ',
num2str(Ec_8), ' ', num2str(Ea_8), ' ',
num2str(Ep_8)]);
disp([' ', num2str(Ev_9), ' ', num2str(Es_9), ' ',
num2str(Ec_9), ' ', num2str(Ea_9), ' ',
num2str(Ep_9)]);
disp([' ', num2str(Ev_10), ' ', num2str(Es_10), ' ',
num2str(Ec_10), ' ', num2str(Ea_10), ' ',
num2str(Ep_10)]);
disp([' ', num2str(Ev_11), ' ', num2str(Es_11), ' ',
num2str(Ec_11), ' ', num2str(Ea_11), ' ',
num2str(Ep_11)]);
disp([' ', num2str(Ev_12), ' ', num2str(Es_12), ' ',
num2str(Ec_12), ' ', num2str(Ea_12), ' ',
num2str(Ep_12)]);
disp([' ', num2str(Ev_13), ' ', num2str(Es_13), ' ',
num2str(Ec_13), ' ', num2str(Ea_13), ' ',
num2str(Ep_13)]);
disp([' ', num2str(Ev_14), ' ', num2str(Es_14), ' ',
num2str(Ec_14), ' ', num2str(Ea_14), ' ',
num2str(Ep_14)]);
disp([' ', num2str(Ev_15), ' ', num2str(Es_15), ' ',
num2str(Ec_15), ' ', num2str(Ea_15), ' ',
num2str(Ep_15)]);
disp([' ', num2str(Ev_16), ' ', num2str(Es_16), ' ',
num2str(Ec_16), ' ', num2str(Ea_16), ' ',
num2str(Ep_16)]);
disp([' ', num2str(Ev_17), ' ', num2str(Es_17), ' ',
num2str(Ec_17), ' ', num2str(Ea_17), ' ',
num2str(Ep_17)]);

disp('deret Aktinium')
disp('nomer massa      nomer Atom      energi ikat inti
energi ikat per nukleon      energi disintegrasi');
disp([' ', num2str(A1), ' ', num2str(Z1), ' ',
num2str(E1_1), ' ', num2str(e1_1), ' ',
num2str(Ed_1)]);
disp([' ', num2str(A2), ' ', num2str(Z2), ' ',
num2str(E1_2), ' ', num2str(e1_2), ' ',
num2str(Ed_2)]);
disp([' ', num2str(A3), ' ', num2str(Z3), ' ',
num2str(E1_3), ' ', num2str(e1_3), ' ',
num2str(Ed_3)]);
disp([' ', num2str(A4), ' ', num2str(Z4), ' ',
num2str(E1_4), ' ', num2str(e1_4), ' ',
num2str(Ed_4)]);
disp([' ', num2str(A5), ' ', num2str(Z5), ' ',
num2str(E1_5), ' ', num2str(e1_5), ' ',
num2str(Ed_5)]);

```

```

        disp([' ', num2str(A6), ' ', num2str(Z6), ' ',
, num2str(E1_6), ' ', num2str(e1_6), ' ',
, num2str(Ed_6)]);
        disp([' ', num2str(A7), ' ', num2str(Z7), ' ',
, num2str(E1_7), ' ', num2str(e1_7), ' ',
, num2str(Ed_7)]);
        disp([' ', num2str(A8), ' ', num2str(Z8), ' ',
, num2str(E1_8), ' ', num2str(e1_8), ' ',
, num2str(Ed_8)]);
        disp([' ', num2str(A9), ' ', num2str(Z9), ' ',
, num2str(E1_9), ' ', num2str(e1_9), ' ',
, num2str(Ed_9)]);
        disp([' ', num2str(A10), ' ', num2str(Z10), ' ',
, num2str(E1_10), ' ', num2str(e1_10), ' ',
, num2str(Ed_10)]);
        disp([' ', num2str(A11), ' ', num2str(Z11), ' ',
, num2str(E1_11), ' ', num2str(e1_11), ' ',
, num2str(Ed_11)]);
        disp([' ', num2str(A12), ' ', num2str(Z12), ' ',
, num2str(E1_12), ' ', num2str(e1_12), ' ',
, num2str(Ed_12)]);
        disp([' ', num2str(A13), ' ', num2str(Z13), ' ',
, num2str(E1_13), ' ', num2str(e1_13), ' ',
, num2str(Ed_13)]);
        disp([' ', num2str(A14), ' ', num2str(Z14), ' ',
, num2str(E1_14), ' ', num2str(e1_14), ' ',
, num2str(Ed_14)]);
        disp([' ', num2str(A15), ' ', num2str(Z15), ' ',
, num2str(E1_15), ' ', num2str(e1_15), ' ',
, num2str(Ed_15)]);
        disp([' ', num2str(A16), ' ', num2str(Z16), ' ',
, num2str(E1_16), ' ', num2str(e1_16), ' ',
, num2str(Ed_16)]);
        disp([' ', num2str(A17), ' ', num2str(Z17), ' ',
, num2str(E1_17), ' ', num2str(e1_17), ' ',
, num2str(Ed_17)]);

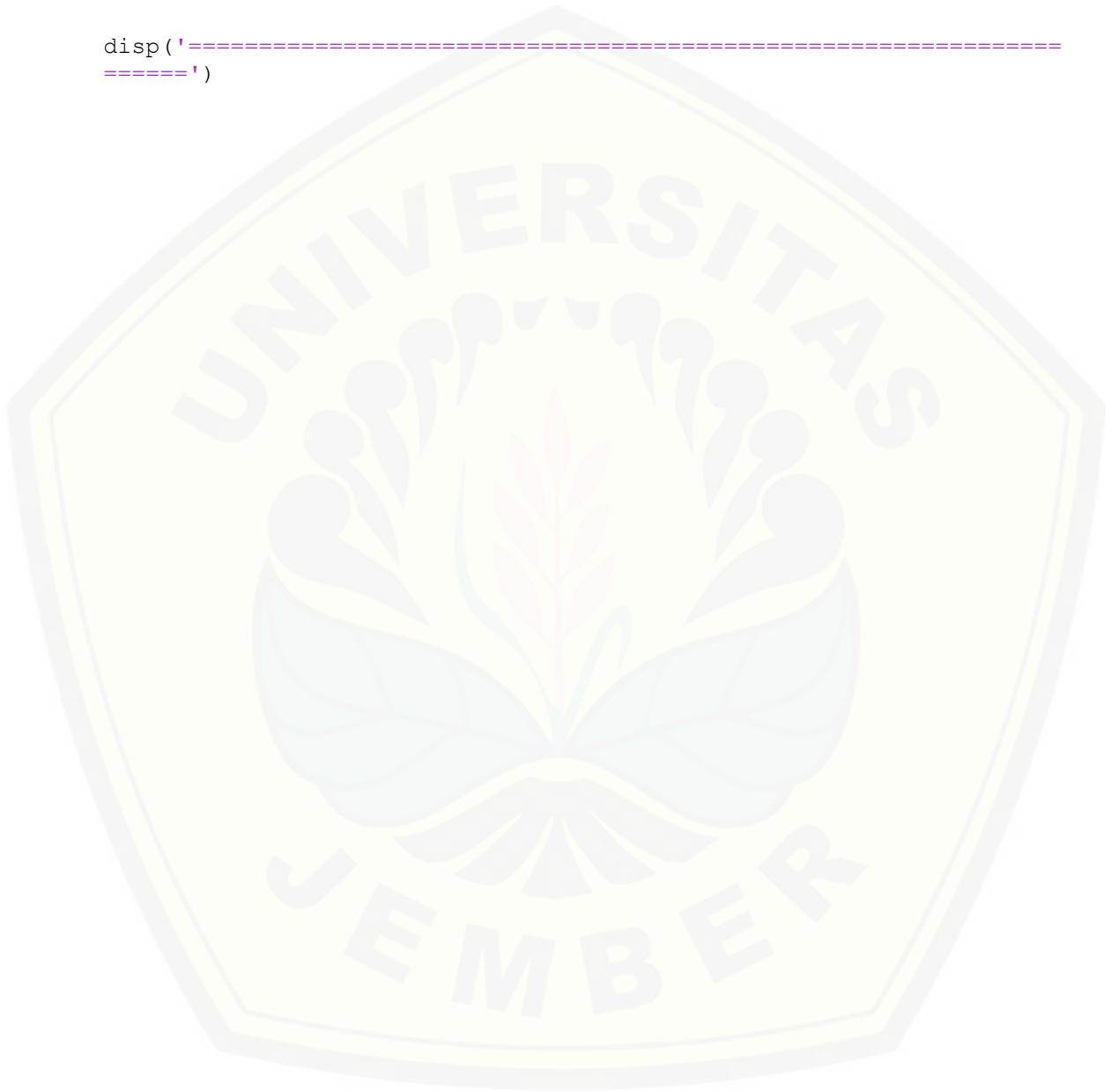
E = [E1_17 E1_16 E1_15 E1_14 E1_13 E1_12 E1_11 E1_10 E1_9 E1_8 E1_7
E1_6 E1_5 E1_4 E1_3 E1_2 E1_1];
e = [e1_17 e1_16 e1_15 e1_14 e1_13 e1_12 e1_11 e1_10 e1_9 e1_8 e1_7
e1_6 e1_5 e1_4 e1_3 e1_2 e1_1];
Ed= [0 Ed_16 Ed_15 Ed_14 Ed_13 Ed_12 Ed_11 Ed_10 Ed_9 Ed_8 Ed_7 Ed_6
Ed_5 Ed_4 Ed_3 Ed_2 Ed_1];
A = [A17 A16 A15 A14 A13 A12 A11 A10 A9 A8 A7 A6 A5 A4 A3 A2 A1];
figure (1); plot (A, E, '-bo');
title ('Energi Ikat Inti')
grid on
axis on
hold on
figure (2); plot (A, Ed, '-bo');
title ('Energi Disintegrasi')
grid on

```

```
hold on
```

```
end
```

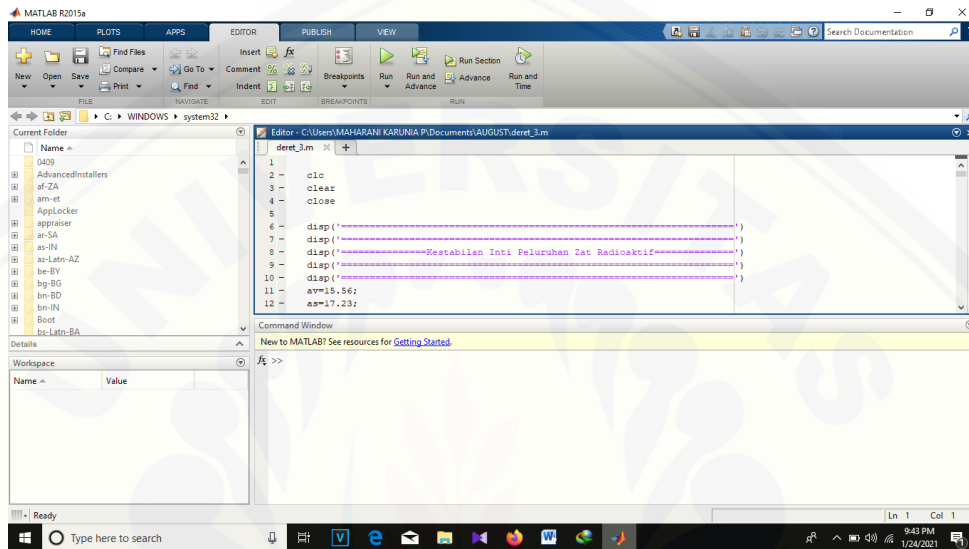
```
disp('=====')
```



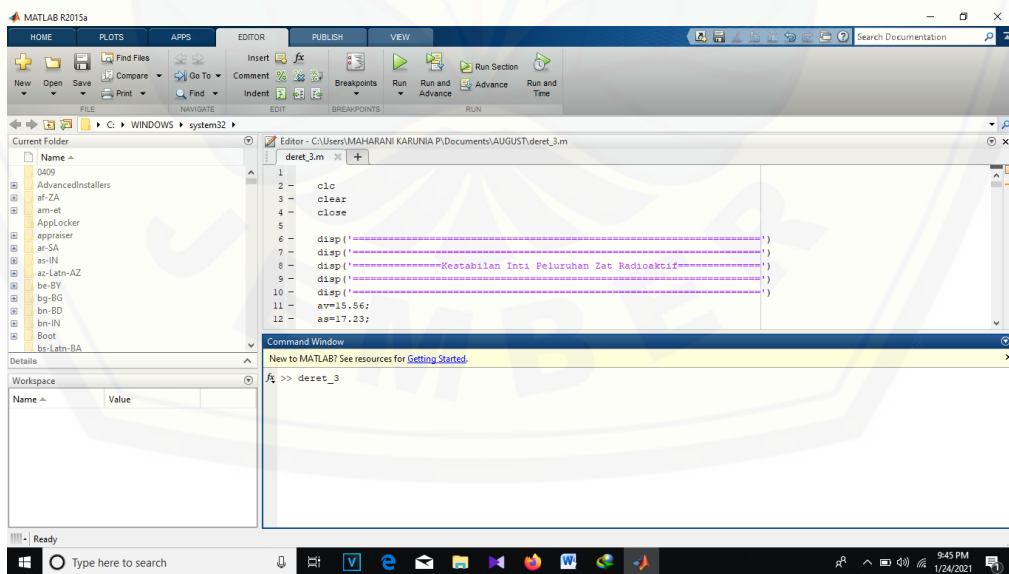
Lampiran C.

Hasil Penelitian

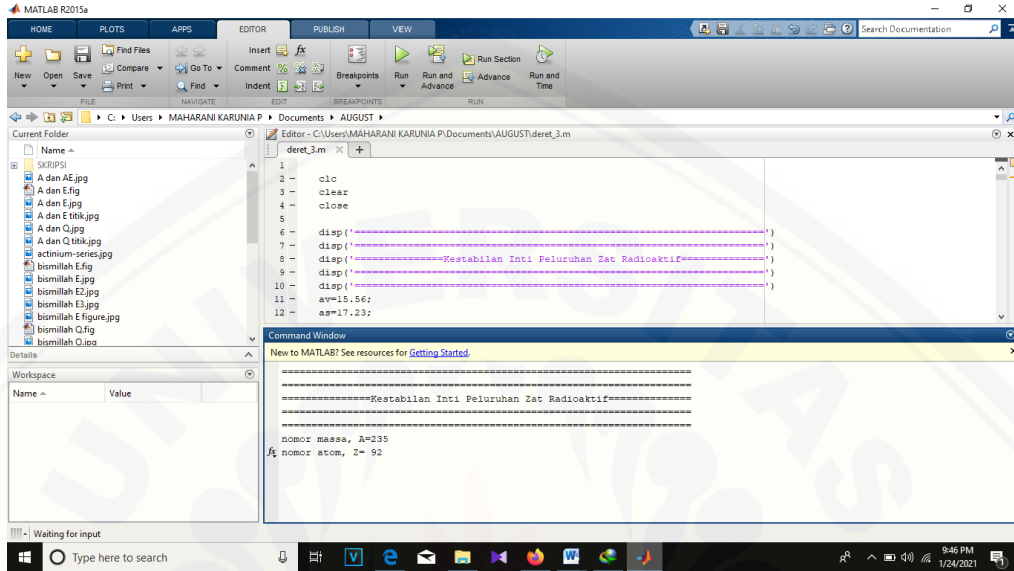
1. Membuka program Matlab R.2015



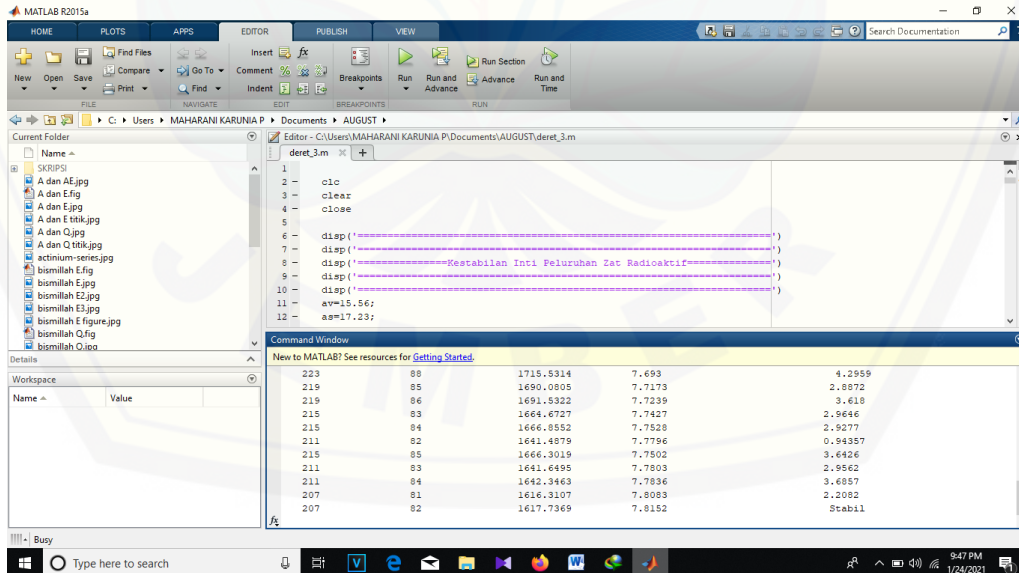
2. Memanggil m.file yang terdapat pada folder

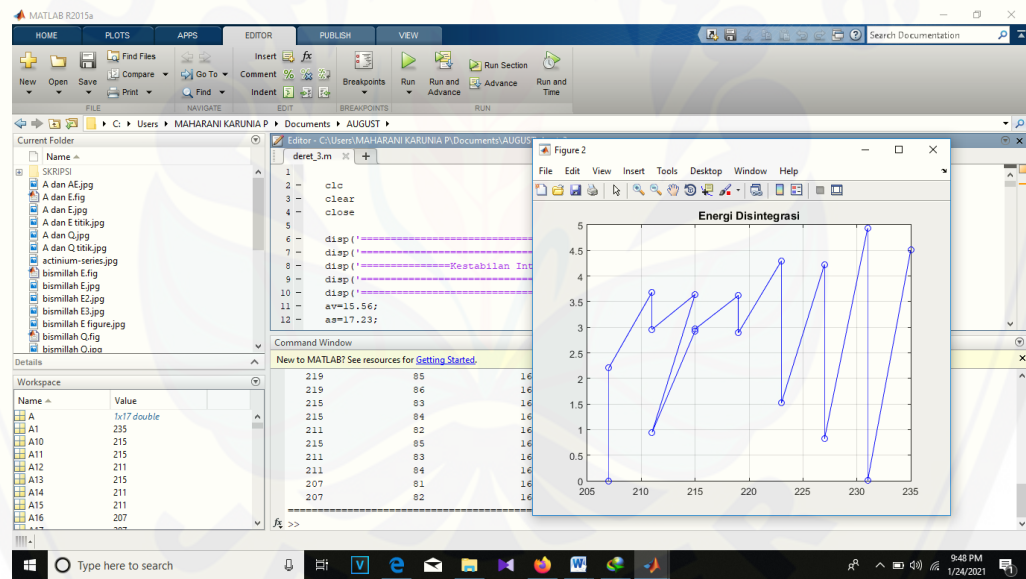
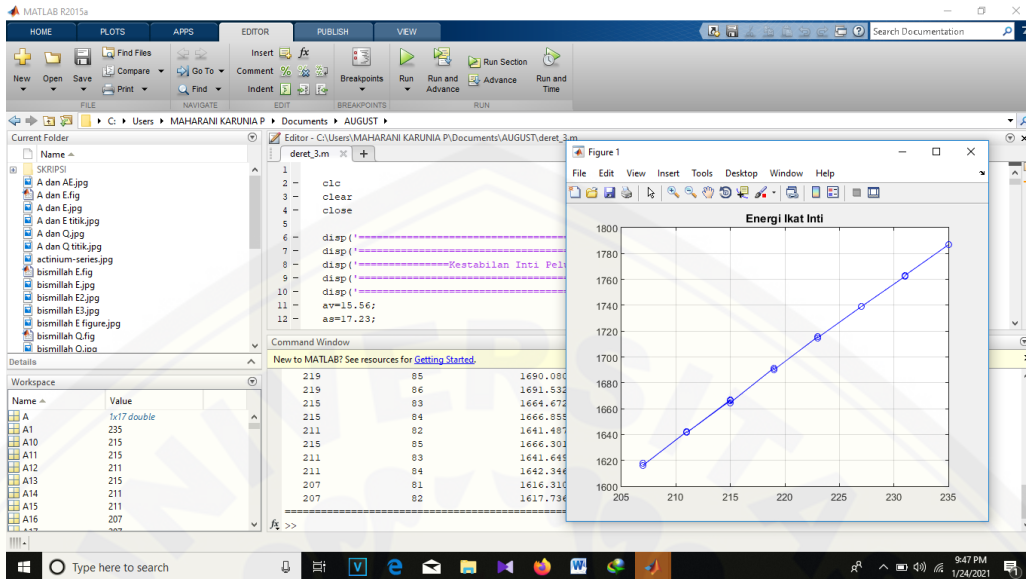


3. Tampilan simulasi lalu masukkan nomor massa (A) dan nomor atom (Z) pada deret aktinium, kemudian tekan *Enter* pada *Keyboard*



4. Hasil Simulasi deret aktinium secara *otomatis* dan grafik energi ikat inti dan energi disintegrasi





Lampiran D.

Validasi Penelitian

1. Ketidakpastian Relatif (KR)

No	A	Z	N	Hasil simulasi		Hasil manual		KR E	KR Q
				E (MeV)	Q (MeV)	E (MeV)	Q (MeV)		
1	235	92	143	1786.751	4.5116	1786.75	4.9216	0.00006%	0.08331%
2	231	90	141	1762.967	0.0018	1763.377	0.3294	0.02325%	0.99454%
3	231	91	140	1762.187	4.9335	1762.924	4.9744	0.04181%	0.00822%
4	227	89	138	1738.826	0.8209	1739.569	0.7697	0.04271%	0.06652%
5	227	90	137	1738.864	4.2246	1738.864	4.9744	0.00000%	0.15073%
6	223	87	136	1714.794	1.5195	1715.549	0.7696	0.04401%	0.97440%
7	223	88	135	1715.531	4.2959	1715.531	4.2959	0.00000%	0.00000%
8	219	85	134	1690.081	2.8872	1690.837	2.8932	0.04471%	0.00207%
9	219	86	133	1691.532	3.618	1691.532	3.618	0.00000%	0.00000%
10	215	83	132	1664.673	2.9646	1665.435	2.202	0.04575%	0.34632%
11	215	84	131	1666.855	2.9277	1666.855	2.9277	0.00000%	0.00000%

Digital Repository Universitas Jember

12	211	82	129	1641.488	0.9436	1641.487	1.7128	0.00006%	0.44909%
13	215	85	130	1666.302	3.6426	1667.064	3.6493	0.04571%	0.00184%
14	211	83	128	1641.65	2.9562	1642.418	2.9631	0.04676%	0.00233%
15	211	84	127	1642.346	3.6857	1642.346	3.6857	0.00000%	0.00000%
16	207	81	126	1616.311	2.2082	1617.086	1.4321	0.04793%	0.54193%
17	207	82	125	1617.737	Stabil	1617.736	Stabil	0.00006%	-
KR rata-rata								0.02252%	0.22633%

Keterangan

A = nomor massa

Z = nomor atom

$a_v = 15,56 \text{ MeV}$ (koefisien volume)

$a_s = 17,23 \text{ MeV}$ (koefisien permukaan)

$a_c = 0,697 \text{ MeV}$ (koefisien coulomb)

$a_a = 23,285 \text{ MeV}$ (koefisien asimetri)

$a_p = 12 \text{ MeV}$ (koefisien pasangan)

E_v = energi volume (MeV)

E_s = energi permukaan (MeV)

E_c = energi coulomb (MeV)

E_a = energi asimetri (MeV)

E_p = energi pasangan (MeV)

E_B = energi ikat inti (MeV)

E_b = energi ikat per nukleon (MeV)

E_α = energi ikat inti alfa (MeV)

Q_1 = energi disintegrasi

m_n = massa neutron (939,573 MeV)

m_H = massa atom hidrogen (938,791 MeV)

KR = ketidakpastian relatif / *error*