

Cara Cepat

Pahami Konsep Fisika Inti

Sanksi Pelanggaran Pasal 113
Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014
tentang Hak Cipta

- (1) Setiap orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp.100.000.000 (seratus juta rupiah).
- (2) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp.500.000.000 (lima ratus juta rupiah).
- (3) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp.1.000.000.000 (satu miliar rupiah).
- (4) Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp.4.000.000.000 (empat miliar rupiah).

Cara Cepat Pahami Konsep Fisika Inti

Dr. Laili Komariyah, M.Si



Penerbit CV Kaaffah Learning Center
Sulawesi Selatan

Cara Cepat Pahami Konsep Fisika Inti

Penulis: Dr. Laili Komariyah, M.Si.

ISBN: 978-602-0719-69-6

Editor: Awal Syaddad

Penata Letak: Muhammad Aminuddin

Desain Sampul: @shapry_design

Copyright ©Kaaffah Learning Center, 2018

viii + 88 hlm 14 x 20,5 cm

Cetakan I, Januari 2019

Diterbitkan oleh

CV. KAAFFAH LEARNING CENTER

Kompleks Griya Bumi Harapan Permai B44

Jl. Syamsu Alam Bulu, Parepare, Sulawesi Selatan

Telp/Fax. 0421-2914373

E-mail. kaaffahlearningcenter@gmail.com

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa ijin tertulis dari penerbit.

Dicetak Oleh Percetakan CV. Kaaffah Learning Center, Parepare

Isi di luar tanggung jawab percetakan

Kata Pengantar

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
السَّلَامُ عَلَيْكُمْ وَرَحْمَةُ اللَّهِ وَبَرَكَاتُهُ

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan limpahan kesehatan dan kewarasan, sehingga penyusunan buku ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini merupakan panduan belajar bagi mahasiswa yang sedang menempuh mata kuliah Pendahuluan Fisika Inti. Buku ini diawali dari ilmuwan yang menemukan teori atom, dilanjutkan dengan inti atom, teori peluruhan, biografi singkat ilmuwan atom, sifat fisik unsur dan konversi satuan.

Dukungan yang luar biasa dari teman-teman untuk mewujudkan buku ini, oleh karena itu pada kesempatan ini saya menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Awaluddin Syaddad, S.Pd., M.Pd., yang telah dengan tulus ikhlas memberikan ilmu menulis buku.
2. Suami Drs. Wahyudi, M.P, yang telah memberikan keleluasaan waktu untuk menulis buku ini.
3. Anak-anak saya Brilliantika Fusi Nur Rahmasari, Dandi Panca Nur Ardhi, Rini Flora Agripina Celesta yang memberikan motivasi.
4. Dosen Universitas Widyagama Samarinda yang telah memberikan fasilitas pelaksanaan workshop Menulis Buku II.
5. Teman-teman seperjuangan yang tergabung dalam "Menulis Buku II"
6. Dan semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu.

Saya menyadari bahwa buku ini masih jauh dari sempurna, untuk itu kritik, saran dan masukan demi penyempurnaan buku ini sangat diharapkan. Semoga buku ini dapat member maanfaat bagi mahasiswa Program Studi Pendidikan Fisika FKIP UNMUL khususnya dan bagi semua pihak yang membutuhkan.

وَكُنْتُ لَكُمْ رَحْمَةً مِنْ رَبِّكُمْ

Samarinda, 26 Desember 2018
Penulis,

Dr. Laili Komariyah, M.Si.

Daftar Isi

Kata Pengantar	v
Daftar Isi	xii
Inti Atom	1
A. Pendahuluan	2
B. Struktur inti atom	11
C. Kestabilan inti	12
D. Sifat-sifat inti atom	14
E. Bentuk dan ukuran atom	23
F. Energi ikat inti atom	25
G. Reaksi inti atom	27
H. Reaktor Nuklir	33
I. Akselerator dan detektor	47
Radioaktivitas	53
A. Pendahuluan	54
B. Sifat Unsur Radioaktif	55
C. Peluruhan Inti Atom	58
D. Waktu Paroh	65
E. Deret Unsur Radioaktif	67
F. Aplikasi Radioaktivitas dalam Bidang Sains dan Teknologi	72
G. Soal dan Pembahasan	75
Konversi Satuan	81
Awalan Pada Satuan, Abjad Yunani	85
Tetapan Fisis	86
Daftar Pustaka	87
Profil Penulis	87

BAB 1

INTI ATOM

A. PENDAHULUAN

Sejarah Perkembangan Teori Atom

Semua benda yang terdapat di alam semesta tersusun atas partike-partikel yang sangat kecil yang kemudian para ahli kimia menyebutnya dengan nama **Atom**. Istilah atom berasal dari Bahasa Yunani, artinya tidak dapat dipotong atau tidak dapat dibagi lagi. Konsep atom yang tidak dapat dibagi lagi ini pertama kali disampaikan oleh filosof Yunani dan India.

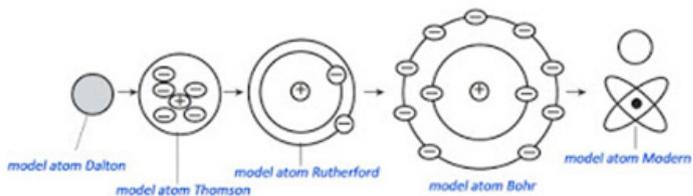
Referensi paling awal tentang konsep atom dapat dilihat pada zaman India Kuno (800 SM), yang dijelaskan dalam naskah Jainisme sebagai *Anu* dan *Paramanu*. Satu abad (100 tahun) kemudian muncul referensi tentang atom dari dunia Barat oleh Leucippus yang selanjutnya oleh muridnya Democritus pandangan tersebut disistematiskan. Kira-kira pada tahun 450 SM, Democritus menciptakan istilah atomos. Filosofi serupa juga terjadi di India, namun demikian ilmu pengetahuan modern memutuskan untuk menggunakan istilah atom yang dicetuskan Democritus.

Pada awal abad 17 dan ke 18 sejak manusia mulai berpikir tentang zat penyusun benda/ materi, kemudian dirumuskan teori atom. Sampai saat ini keberadaan atom sudah diterima oleh semua orang. Namun bentuk atom dan penyusunnya masih mengalami perkembangan.

Para ahli kimia hanya bisa mereka-reka berdasarkan hasil pengamatan di laboratorium terhadap gejala yang ditimbulkan jika suatu materi diberi perlakuan tertentu.

Dari pengamatan gejala-gejala tersebut, para ilmuwan membuat teori tentang atom serta memperkirakan bentuk atom tersebut dengan nama Model Atom.

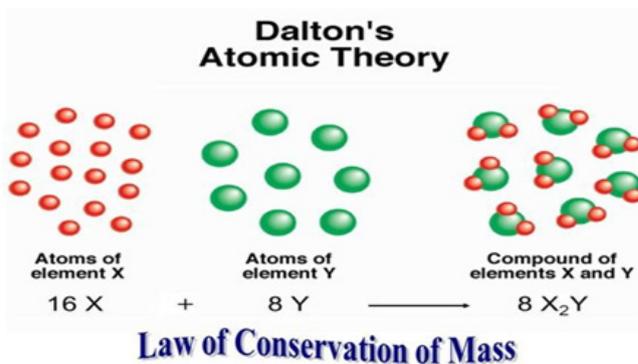
Model atom yang dibuat para ilmuwan mengalami perkembangan sampai sekarang dan mungkin akan terus berkembang seiring dengan perkembangan IPTEK. Berikut ini adalah gambar perkembangan model-model atom yang dikembangkan para ahli kimia.



Gambar 1. Perkembangan Model Atom

Berikut dijelaskan perkembangan Teori dan Model Atom:

Teori Atom Dalton



2.1

Gambar 2. Teori Atom Dalton ©slideplayer.com

Tahun 1808, seorang ilmuwan Inggris, John Dalton, mengemukakan teorinya tentang materi atom yang dipublikasikan dalam *A New System of Chemical Philosophy*. Berdasarkan dari penelitiannya, John Dalton memberikan beberapa kesimpulan tentang atom sebagai berikut:

- Materi terdiri atas atom yang tidak dapat dibagi lagi.
- Semua atom dari unsur kimia tertentu memiliki massa dan sifat yang sama.
- Unsur kimia yang berbeda akan memiliki jenis atom yang berbeda.
- Selama reaksi kimia, atom-atom hanya dapat bergabung atau dipecah menjadi atom-atom yang terpisah, tetapi atom tidak dapat dihancurkan dan tidak dapat diubah selama reaksi kimia tersebut.
- Suatu senyawa terbentuk dari unsur gabungan atom tidak sejenis dengan perbandingan yang sederhana.

Kelebihan Teori Atom Dalton

- Dapat menerangkan Hukum Kekekalan Masa (Hukum Lavoisier)
- Dapat menerangkan Hukum Perbandingan Tetap (Hukum Proust)

Kelemahan Teori Atom Dalton

- Tidak dapat menerangkan sifat listrik atom
- Pada kenyataannya atom dapat dibagi lagi menjadi partikel yang lebih kecil yang disebut partikel sub-atomik.

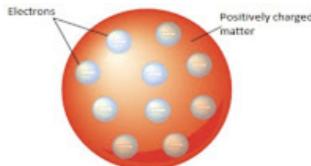
Teori Atom Thomson

Joseph John Thomson selanjutnya lebih dikenal dengan J.J. Thomson seorang fisikawan yang berasal dari

Inggris, menemukan suatu partikel bermuatan negatif dan dikenal dengan istilah elektron pada tahun 1897. Massa elektron lebih ringan daripada massa atom, yang merupakan partikel sub-atomik.

Berdasarkan anggapan ini Thomson berhipotesis: "karena elektron bermuatan negatif, sedangkan atom bermuatan listrik netral maka haruslah ada muatan listrik positif yang mengimbangi muatan elektron dalam atom". Maka dia pun mengusulkan suatu model atom yang dikenal dengan model atom roti kismis yaitu sebagai berikut:

- Atom berbentuk seperti bola pejal yang memiliki muatan positif yang homogen (diibaratkan sebagai roti)
- Elektron bermuatan negatif tersebar di dalamnya (seperti kismis yang tersebar dalam roti).



Gambar 3. Model Atom Thomson

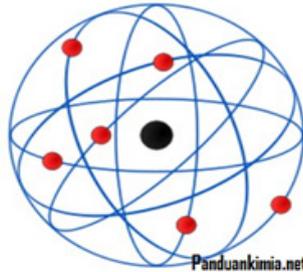
Kelebihan Model Atom Thomson

- Dapat menerangkan adanya partikel yang lebih kecil dari atom yang disebut dengan sub-atomik
- Dapat menerangkan sifat listrik atom

Kelemahan Model Atom Thomson

- Tidak dapat menerangkan fenomena penghamburan partikel alfa oleh selaput tipis emas yang dikemukakan oleh Rutherford.
- Tidak mampu menjelaskan tentang adanya inti atom.

Teori Atom Rutherford



Gambar 4. Model Atom Rutherford

Pada tahun 1911, Rutherford menyangkal kebenaran teori atom Thomson yang mengatakan bahwa atom merupakan bermuatan positif, dan dikelilinginya terdapat elektron bermuatan negatif layaknya roti kismis. Teori atom Rutherford mengatakan bahwa atom mempunyai inti yang merupakan pusat massa yang kemudian dinamakan nukleus, dengan dikelilingi awan elektron bermuatan negatif.

Teori atom Rutherford didasarkan pada eksperimen penembakan inti atom lempengan emas dengan partikel alfa yang dikenal dengan percobaan Geiger-Marsden. Pada saat itu, Rutherford menyusun desain rancangan percobaan penembakan atom emas oleh partikel alfa yang dipancarkan oleh unsur radioaktif. Ternyata, sinar radioaktif tersebut ada yang dipantulkan, dibelokkan, dan diteruskan.

Rutherford melakukan penelitian tentang hamburan sinar α (alpha) pada lempeng emas. Hasil pengamatan tersebut dikembangkan dalam hipotesis model atom Rutherford:

- Sebagian besar dari atom merupakan permukaan kosong atau hampa.
- Atom memiliki inti atom bermuatan positif yang merupakan pusat massa atom.
- Elektron bergerak mengelilingi inti dengan kecepatan yang sangat tinggi.
- Sebagian besar partikel α lewat tanpa mengalami pembelokan/hambatan. Sebagian kecil dibelokkan, dan sedikit sekali yang dipantulkan.
- Awan elektron tidak mempengaruhi penyebaran partikel alpha.

Kelebihan Model Atom Rutherford

- Mudah dipahami untuk menjelaskan struktur atom yang rumit.
- Dapat menjelaskan bentuk lintasan elektron yang mengelilingi inti atom.
- Dapat menggambarkan gerak elektron di sekitar inti.

Kelemahan Model Atom Rutherford

- Menurut hukum fisika klasik, elektron yang bergerak mengelilingi inti memancarkan energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Akibatnya, lama-kelamaan elektron itu akan kehabisan energi dan akhirnya menempel pada inti.
- Model atom Rutherford ini belum mampu menjelaskan dimana letak elektron dan cara rotasinya terhadap inti atom.
- Elektron memancarkan energi ketika bergerak, sehingga energi atom menjadi tidak stabil.
- Tidak dapat menjelaskan spektrum garis pada atom hidrogen (H).

Teori Atom Bohr

Dilihat dari kandungan energi elektron, ternyata model atom Rutherford mempunyai kelemahan. Ketika elektron-elektron mengelilingi inti atom, mereka mengalami percepatan terus-menerus, sehingga elektron harus membebaskan energi. Lama kelamaan energi yang dimiliki oleh elektron makin berkurang dan elektron akan tertarik makin dekat ke arah inti, sehingga akhirnya jatuh ke dalam inti. Tetapi pada kenyataannya, seluruh elektron dalam atom tidak pernah jatuh ke inti. Jadi, model atom Rutherford harus disempurnakan.

Dua tahun berikutnya, yaitu pada tahun 1913, seorang ilmuwan dari Denmark yang bernama Niels Henrik David Bohr (1885-1962) menyempurnakan model atom Rutherford. Bohr mengemukakan teori tentang atom yang bertitik tolak dari model atom Rutherford dan teori kuantum Planck. Model atom yang diajukan Bohr dikenal sebagai model atom Rutherford-Bohr, yang dapat diterangkan sebagai berikut:

- Elektron-elektron dalam atom hanya dapat melintasi lintasan-lintasan tertentu yang disebut kulit-kulit atau tingkat-tingkat energi.
- Elektron yang beredar pada lintasannya tidak memancarkan energi, lintasan elektron ini disebut lintasan / keadaan stasioner.
- Elektron-elektron dalam atom hanya dapat melintasi lintasan-lintasan tertentu yang disebut kulit-kulit atau tingkat-tingkat energi.
- Elektron yang beredar pada lintasannya tidak memancarkan energi, lintasan elektron ini disebut lintasan / keadaan stasioner.

- Kedudukan elektron dalam kulit-kulit, tingkat-tingkat energi dapat disamakan dengan kedudukan seseorang yang berada pada anak-anak tangga. Seseorang hanya dapat berada pada anak tangga pertama, kedua, ketiga, dan seterusnya, tetapi ia tidak mungkin berada di antara anak tangga-anak tangga tersebut.
- Apabila elektron dengan tingkat energi rendah pindah ke lintasan dengan tingkat energi lebih tinggi maka elektron akan menyerap energi, peristiwa ini disebut eksitasi. Sebaliknya, apabila elektron pindah dari lintasan dengan tingkat energi lebih tinggi ke lintasan dengan tingkat energi lebih rendah maka elektron akan memancarkan energi, peristiwa ini disebut deeksitasi. Baik eksitasi maupun deeksitasi disebut peristiwa transisi elektron. Energi yang diserap atau dipancarkan pada peristiwa transisi elektron ini dinyatakan dengan persamaan:

$$\Delta E = h\nu$$

Keterangan:

ΔE = perbedaan tingkat energi (J)

h = tetapan Planck = $6,6 \times 10^{-34}$ J/s

ν = frekuensi radiasi (Hz)

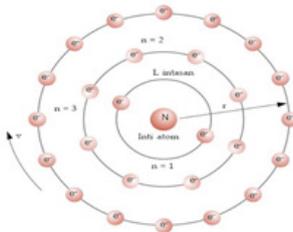
- Energi yang dipancarkan/ diserap ketika terjadi transisi elektron terekam sebagai spektrum atom.

Kelebihan Teori Atom Bohr

- Menjawab kelemahan dalam model atom Rutherford dengan mengaplikasikan teori kuantum.
- Menerangkan dengan jelas garis spektrum pancaran (emisi) atau serapan (absorpsi) dari atom hidrogen.

Kelemahan Teori Atom Bohr

- Terjadi penyimpangan untuk atom yang lebih besar dari hidrogen.
- Tidak dapat menerangkan efek Zeeman, yaitu spektrum atom yang lebih rumit apabila atom ditempatkan pada medan magnet.



Gambar 5. Model Atom Bohr

Secara sederhana model atom Bohr dapat dianalogkan seperti sebuah tata surya mini. Pada tata surya, planet-planet beredar mengelilingi matahari. Pada atom, elektron-elektron beredar mengelilingi atom, hanya bedanya pada sistem tata surya, setiap lintasan (orbit) hanya ditempati 1 planet, sedangkan pada atom setiap lintasan (kulit) dapat ditempati lebih dari 1 elektron.

Dalam model atom Bohr ini dikenal istilah konfigurasi elektron, yaitu susunan elektron pada masing-masing kulit. Data yang digunakan untuk menuliskan konfigurasi elektron adalah nomor atom suatu unsur, dimana nomor atom unsur menyatakan jumlah elektron dalam atom unsur tersebut. Sedangkan elektron pada kulit terluar dikenal dengan sebutan elektron valensi. Susunan elektron valensi sangat menentukan sifat-sifat kimia suatu atom dan berperan penting dalam membentuk ikatan dengan atom lain.

Z = jumlah proton dalam inti atom
A = jumlah proton + jumlah neutron

Nuklida yang mempunyai jumlah proton sama, tetapi mempunyai jumlah neutron berbeda disebut *isotope*.

Contoh :

Nomor Massa	12	14
Proton	6	6
Neutron	$12 - 6 = 6$	$14 - 6 = 8$

Nuklida yang mempunyai jumlah (proton+neutron) sama, tetapi jumlah protonnya berbeda disebut *isobar*.

Contoh :

Nomor Massa	21	20
Proton	7	6
Neutron + proton	14	14

Nuklida yang mempunyai jumlah neutron yang sama disebut *isoton*.

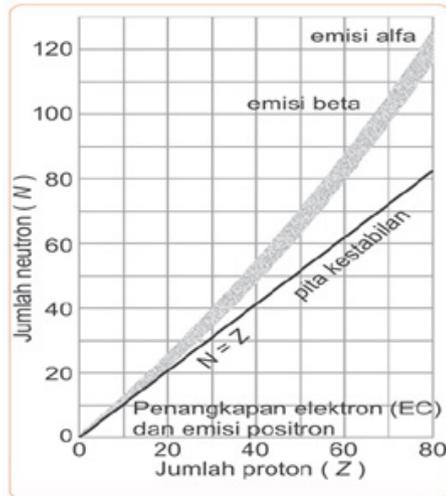
Contoh :

Nomor Massa	16	14
Proton	8	6
Neutron	$16 - 8 = 8$	$14 - 6 = 8$

C. Kestabilan Inti Atom

Suatu informasi yang menarik tentang struktur inti adalah hubungan antara perbandingan neutron dan proton (n/p) dengan kestabilan nuklidanya. Jika jumlah

neutron dan jumlah proton untuk nuklida-nuklida yang stabil dibuat grafik, maka akan diperoleh pita kestabilan seperti ditunjukkan pada berikut :



Gambar 6. Pita kestabilan inti

Nuklida di atas Pita Kestabilan

Nuklida di atas pita kestabilan mempunyai kelebihan neutron dan kekurangan proton. Agar stabil, ia akan berusaha mengurangi neutron dan menambah proton. Untuk itu, dapat dilakukan dengan cara berikut:

- Mengubah neutron menjadi proton dengan emisi β
- Emisi neutron (${}_0n^1$)
- Emisi alfa (α)

Unsur-unsur yang nomor atomnya lebih dari 83 dengan jumlah (proton+neutron) lebih dari 208 umumnya mengemisi alfa (α).

Nuklida di Bawah Pita Kestabilan

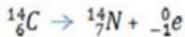
Nuklida di bawah pita kestabilan kelebihan proton dan kekurangan neutron. Agar stabil, ia akan berusaha mengurangi proton dan menambah neutron dengan cara berikut

- Emisi positron (${}_{+1}\beta^0$)
- Menangkap electron (electron capture) (${}_{-1}\beta^0$)

Berikut ini contoh reaksi untuk proses kestabilan inti :

a. Inti yang terletak di atas pita kestabilan $\frac{n}{p} > 1$, stabil dengan cara:

1) Pemancaran sinar beta (elektron).

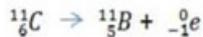


2) Pemancaran neutron (jarang terjadi).



b. Inti yang terletak di bawah pita kestabilan $\frac{n}{p} < 1$, stabil dengan cara:

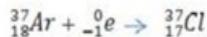
1) Pemancaran positron.



2) Pemancaran proton (jarang terjadi).



3) Penangkapan elektron di kulit K.



D. Sifat-sifat Inti Atom

Sifat sifat inti atom dibagi menjadi 2 yaitu:

1. Sifat inti yang tidak bergantung pada waktu terdiri dari:
 - Massa inti

- Jari jari Inti
 - Muatan Inti
 - Momentum sudut
 - Momen Magnetik
 - Momen Listrik
2. Sifat inti bergantung pada waktu terdiri dari:
- Peluruhan Radiokatif
 - Reaksi Inti

Berikut penjelasan sifat-sifat inti.

Sifat inti yang tidak bergantung pada waktu :

- Massa Inti
Salah satu hipotesis Dalton (1803) ialah bahwa atom-atom suatu unsur adalah identik. Joseph Louis Proust (1797) seorang ahli kimia dari Perancis, merupakan pencetus hukum perbandingan tetap, menyarankan bahwa semua unsur terbuat dari hidrogen, sehingga massanya suatu unsur merupakan kelipatan bilangan bulat dari massa hidrogen, dapat dituliskan sebagai:

$$M \sim C M_H$$

Keterangan

M = massa unsur

M_H = massa hidrogen

C = bilangan bulat

Dari penyelidikan yang teliti, ternyata C bukanlah bilangan bulat, sehingga hipotesis Proust dianggap tidak benar. Crookes (1886) menyarankan kembali ide Proust. Alasan bahwa C bukan bilangan bulat

adalah karena suatu unsur mungkin terdiri dari beberapa campuran (isotop).

Contoh: Cl mempunyai berat atom 35,46 karena terdiri dari 3 isotop, masing-masing 34, 35, dan 36. Karena kemudian inti diketahui terdiri dari proton dan neutron, maka dapat dituliskan:

$$M = Z(M_H) + N(M_N)$$

Z dan N = jumlah proton dan neutron di dalam inti

M_N = massa neutron

Kelimpahan massa di alam telah tersusun dalam tabel periodik unsur-unsur.

Tabel 1. Sistem periodik Unsur

- Jari-jari inti atom
Sampai sekarang, belum ditemukan cara langsung untuk menentukan jari-jari inti. Jari-jari inti atom dihitung berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan

oleh ilmuwan berkebangsaan Perancis Enrico Fermi, dengan persamaan sbb:

$$R = R_0 A^{1/3}$$

Keterangan:

R = jari-jari inti atom (m)

R_0 = suatu konstanta = $1,2 \times 10^{-15}$ m

A = nomor massa atom

- Muatan inti atom

Model atom Rutherford dapat menerangkan muatan inti atom melalui spektrum sinar -X yang diukur oleh Moseley (1913). Dari data Moseley tersebut ternyata muatan inti adalah Ze . Dimana Z merupakan nomor atom, sedang e adalah muatan elektron = $1,602189 \times 10^{-19}\text{C}$

- Momentum sudut

Momentum sudut suatu inti atom dapat ditunjukkan dari *hyperfine-structure splitting* garis-garis spektrum suatu atom. Momentum sudut inti dapat diketahui dari struktur halus (*hyperfine structure*), dapat diamati dengan menggunakan spektrometer resolusi tinggi. *Nukleon* mempunyai *spin* $1/2$. Karena *nukleon* bergerak, maka proton dan neutron juga mempunyai momentum sudut orbital. Momentum sudut total (*spin* inti) I , merupakan jumlah vektor momentum sudut orbital L dan momentum sudut *spin* S tiap *nukleon*.

$$I = \sum_{k=1}^A L_k + \sum_{k=1}^A S_k$$

- Momen Magnetik

Medan magnet yang dihasilkan oleh suatu atom

(disebut momen magnetik) ditentukan oleh kombinasi berbagai macam momentum sudut ini. Namun, kontribusi yang terbesar tetap berasal dari spin. Oleh karena elektron mematuhi asas pengecualian Pauli, yakni tiada dua elektron yang dapat ditemukan pada keadaan kuantum yang sama, pasangan elektron yang terikat satu sama lainnya memiliki spin yang berlawanan, dengan satu berspin naik, dan yang satunya lagi berspin turun. Kedua spin yang berlawanan ini akan saling menetralkan, sehingga momen dipol magnetik totalnya menjadi nol pada beberapa atom berjumlah elektron genap. Pada atom berelektron ganjil seperti besi, adanya keberadaan elektron yang tak berpasangan menyebabkan atom tersebut bersifat feromagnetik. Orbital-orbital atom di sekeliling atom tersebut saling bertumpang tindih dan penurunan keadaan energi dicapai ketika spin elektron yang tak berpasangan tersusun saling berjajar. Proses ini disebut sebagai interaksi pertukaran.

Ketika momen magnetik atom feromagnetik tersusun berjajaran, bahan yang tersusun oleh atom ini dapat menghasilkan medan makroskopis yang dapat dideteksi. Bahan-bahan yang bersifat paramagnetik memiliki atom dengan momen magnetik yang tersusun acak, sehingga tiada medan magnet yang dihasilkan. Namun, momen magnetik tiap-tiap atom individu tersebut akan tersusun berjajar ketika diberikan medan magnet.

Inti atom juga dapat memiliki spin. Biasanya spin inti tersusun secara acak oleh karena kesetimbangan

termal. Namun, untuk unsur-unsur tertentu (seperti Xenon-129), adalah mungkin untuk memolarisasi keadaan spin nuklir secara signifikan sehingga spin-spin tersebut tersusun berjajar dengan arah yang sama. Kondisi ini disebut sebagai hiperpolarisasi. Fenomena ini memiliki aplikasi yang penting dalam pencitraan resonansi magnetik.

- Momen Listrik

Di dalam inti atom nukleon-nukleon mengalami gerak orbital, baik proton maupun neutron mempunyai momen magnetik. Untuk proton, momen magnetik proton, M_p , dan momentum sudut orbital, L_p .

$$M_{sp} = \left(\frac{e}{2 M_p} \right) L_p$$

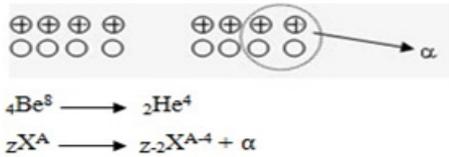
Sifat inti yang bergantung pada waktu

- Peluruhan Radioaktif

Radioaktifitas atau peluruhan radioaktif didefinisikan sebagai perubahan inti atom unsur yang spontan yang tidak bergantung keadaan fisis dan kimia unsur. Perubahan inti atom menghasilkan pembentukan inti atom baru dengan mekanisme pancaran partikel alfa, beta dan gamma. Inti atom yang tidak stabil dikatakan mengalami peluruhan, yang berarti bahwa mereka kehilangan sebagian dari massa atau energi untuk mencapai keadaan lebih stabil, dan energi yang lebih rendah. Proses ini paling sering terlihat pada unsur yang lebih berat, seperti uranium. Adapun peluruhan yang terjadi dapat berupa:

1) Peluruhan sinar alfa

Sinar alfa merupakan radiasi partikel bermuatan positif. Partikel ini merupakan inti atom helium yang terdiri atas 2 proton dan 2 neutron. Sifat-sifat sinar alfa ini antara lain memiliki daya tembus yang kecil (daya jangkau 2,8 – 8,5 cm dalam udara).



Gambar 7. Proses peluruhan sinar alfa

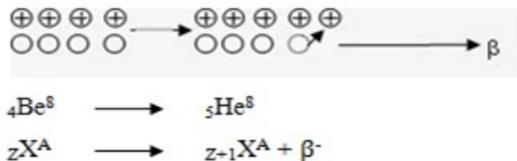
Adapun sifat-sifat sinar alfa adalah:

- Sinar alfa dihasilkan oleh pancaran–pancaran partikel–partikel α dari sebuah sumber radioaktif.
- Sinar alfa tidak lain adalah inti atom Helium bermuatan $+2e$ dan bermassa 4 sma. Jadi sinar alfa mengandung 4 nukleon yaitu 2 proton dan 2 neutron.
- Merupakan komponen sinar yang dibelokkan ke kanan yaitu bermuatan positif jika dilewatkan oleh medan magnetik.
- Sinar alfa akan dibelokkan menuju keping negatif jika dilewatkan melalui suatu medan listrik.
- Jika sinar alfa mengenai suatu materi, maka akan terjadi perpindahan energi dari sinar alfa ke materi tersebut melalui suatu tumbukan tidak elastis dengan elektron luar dari atom – atom dalam materi tersebut.

- Sinar alfa dapat menghitamkan film. Jejak partikel alfa dalam bahan radioaktif berupa garis lurus.
- Radiasi sinar alfa memiliki daya tembus terlemah dibandingkan dengan sinar beta dan sinar gamma.
- Radiasi sinar alfa memiliki jangkauan beberapa sentimeter di udara dan sekitar 10^{-2} mm dalam logam tipis.
- Radiasi sinar alfa mempunyai daya ionisasi paling kuat.
- Berdasarkan percobaan dalam medan magnetik dan medan listrik dapat ditentukan kecepatan dan muatan sinar alfa. Kecepatan sinar alfa berharga antara $0,054c$ sampai $0,07c$, dimana c adalah kecepatan cahaya dalam sinar vakum.
- Sinar alfa bergerak lebih lambat daripada sinar beta karena massanya lebih besar.

2) Peluruhan sinar beta

Sinar beta merupakan radiasi partikel bermuatan negatif yang identik dengan elektron. Sinar beta ini bermuatan negatif dan bermassa sangat kecil, yaitu $5,5 \times 10^{-4}$ sma dan diberi simbol β atau e^- . Peluruhan partikel beta digambarkan sebagai berikut:



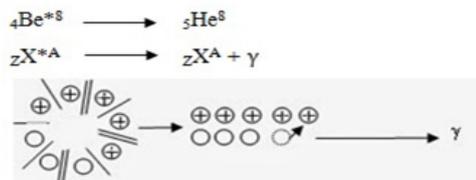
Gambar 8. Proses peluruhan sinar beta

Sifat-sifat sinar beta adalah:

- Sinar beta (β) dihasilkan oleh pancaran partikel – partikel beta.
- Sinar beta adalah partikel elektron yang bergerak dengan kecepatan tinggi.
- Sinar beta bermuatan $-1e$.
- Radiasi sinar beta memiliki daya tembus lebih besar daripada sinar alfa, tetapi lebih kecil daripada sinar gamma.
- Sinar beta dibelokkan dengan kuat oleh medan magnetik dan medan listrik, karena massanya sangat kecil.
- Kecepatan partikel sinar beta berharga antara $0,32c$ dan $0,9c$.
- Jejak partikel beta dalam bahan berbelok – belok. Jejak tersebut disebabkan oleh hamburan yang dialami oleh elektron di dalam atom.
- Batas jangkauannya beberapa cm di udara.

3) Peluruhan sinar gamma

Sinar gamma merupakan radiasi gelombang elektromagnetik, sejenis dengan sinar X, dengan panjang gelombang pendek. Peluruhan sinar gamma tidak memengaruhi jumlah proton dan neutron dan hanya mengurangi jumlah energi atom yang meluruh. Berikut ilustrasi peluruhan sinar gamma.



Gambar 9. Proses peluruhan sinar gamma

Sifat – sifat sinar gamma

- Mempunyai daya tembus paling besar.
- Tidak dibelokkan oleh medan magnetik dan medan listrik.
- Memiliki frekuensi yang sangat besar.
- Sinar gamma merupakan radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang lebih pendek, dengan demikian tidak bermuatan dan hampir tidak bermassa.
- Kecepatan partikel gamma bernilai sama dengan kecepatan cahaya dalam ruang hampa.
- Foton gamma tidak banyak berinteraksi dengan atom suatu bahan.

E. Bentuk dan Ukuran Atom

Eksperimen yang telah dilakukan Rutherford yang disebut hamburan. Rutherford membuktikan bahwa inti memiliki ukuran dan bentuk. Sebuah atom berbentuk seperti bola pejal. Inti atom berada tepat di tenggan-tengah atom yang dikelilingi oleh elektron-elektron. Inti atom tersusun atas proton dan neutron yang biasa disebut nuklon. Volume inti yang terdiri dari proton dan neutron ini dipengaruhi oleh kerapatan yang menyebabkan bentuk inti berbeda-beda.

Perbedaan yang terjadi ini dipengaruhi oleh ketergantungan kerapatan inti atom pada jarak radial ke pusat yang terjadi karena adanya gaya tarik menarik antar proton-elektron ataupun proton-neutron. Namun, pada rapat inti atom sepertinya tak bergantung pada

nomor massa A , karena inti atom yang sangat ringan memiliki kerapatan yang hampir sama dengan inti atom yang sangat berat. Dengan kata lain, pada inti atom jumlah proton dan neutron tiap satuan volume kurang lebih tak berubah. Dari penjelasan diatas dapat kita peroleh jari-jari inti sebuah atom. Menggunakan rumus kerapatan massa sbb:

$$\begin{aligned} \rho &= m/V = \text{massa atom/volume inti atom} \\ &= A/4/3 \pi R^3 \quad \text{menghasilkan suatu tetapan, yang} \\ &\quad \text{merupakan ciri khusus dari setiap inti atom tertentu.} \end{aligned}$$

Jadi

$$A \propto R^3 = R \propto A^{1/3}$$

Dari perbandingan diatas kita dapat mendefinisikan R dengan syarat menambahkan tetapan banding R_0 , sehingga diperoleh nilai R adalah:

$$R = R_0 A^{1/3}$$

Tetapan R_0 diperoleh dengan cara menghamburkan partikel-partikel bermuatan dari inti atom, agar diperoleh jari-jari inti atom dari distribusi partikel yang terhambur, dari percobaan yang dilakukan oleh Enrico Fermi diketahui nilai $R_0 = 1,2 \times 10^{-15} \text{ m} = 1,2 \text{ fermi} = 1,2 \text{ femtometer (fm)}$. Satuan jari-jari biasa digunakan istilah fermi untuk menghormati Enrico Fermi.

Kerapatan inti atom adalah densitas inti atom, rata-rata sekitar $4 \times 10^{17} \text{ kg / m}^3$. Kepadatan inti atom untuk inti khas dapat dihitung dari ukuran kerapatan inti atomnya.

F. Energi Ikat Inti Atom

Kestabilan inti erat kaitannya dengan energi. Energi yang dimaksud adalah energi yang mengikat inti atom, selanjutnya lazim disebut dengan energi ikat. Energi ikat inti atom adalah energi yang dilepaskan pada saat nukleon bebas membentuk inti atom.

Jika energi ikat inti dibagi dengan jumlah nukleon disebut energi ikat rata-rata per nukleon. Energi ikat dan energi ikat inti rata-rata per nukleon dapat menjelaskan kestabilan relatif nuklida. Nuklida kurang stabil dapat meluruh menjadi nuklida lain, yang energi pengikat rata-rata per nukleonnya lebih kecil. Di samping itu energi ikat inti dan energi ikat rata-rata per nukleon dapat memperkirakan besarnya energi yang terlibat dalam reaksi spontan inti (peluruhan), reaksi fisi, reaksi fusi, dan reaksi penembakan inti.

Nuklida tidak stabil karena nuklida tersebut mempunyai kelebihan energi di dalam intinya dibanding nuklida stabilnya. Oleh karena energi sebanding dengan massa ($E = mc^2$), maka kelebihan energi di dalam inti suatu nuklida dapat ditentukan dan ini merupakan energi ikat inti nuklida tersebut.

Massa sebuah inti stabil selalu lebih kecil daripada massa gabungan nukleon-nukleon pembentuknya. Selisih massa antara gabungan massa nukleon-nukleon pembentuk inti dengan massa inti stabilnya disebut efek massa (*mass defect*).

Energi yang diperlukan untuk memutuskan inti menjadi

proton-proton dan neutron-neutron pembentuknya disebut Energi ikat inti (*binding energy*).

Besarnya energi ikat inti atom dirumuskan dengan :

$$\Delta E = \Delta mc^2$$

Keterangan :

ΔE = energi ikat inti atom (J)

Δm = mass defect (kg)

c = kecepatan merambat cahaya dalam ruang hampa
= 3×10^8 m/s

Jika energi ikat ΔE dan Δm dinyatakan dalam MeV dan μ , maka menjadi

$$\Delta E = \Delta m \times (931 \text{ MeV} / \mu)$$

Keterangan :

ΔE = energi ikat inti atom (MeV)

Δm = mass defect (μ)

$1 \mu = 931 \text{ MeV} / c^2$

Rumus untuk menghitung energi ikat sbb :

$$\Delta E = [Zm_p + (A-Z)m_n + m] \times 931 \text{ MeV}/u$$

Keterangan :

ΔE = energi ikat inti atom (MeV)

Z = jumlah proton = nomor atom

A = nomor massa = jumlah proton dan netron dalam inti atom

m_p = masaa proton (μ)

m_n = massa neutron (μ)

m = massa inti atom yang baru (μ)

G. Reaksi Inti Atom

Reaksi yang terjadi di dalam inti atom dinamakan reaksi nuklir. Reaksi nuklir tidak melibatkan perubahan pada kulit elektron terluar tetapi terjadi pada inti atom. Reaksi nuklir memiliki persamaan dan perbedaan dengan reaksi kimia biasa.

Persamaan reaksi nuklir dengan reaksi kimia biasa, antara lain seperti berikut.

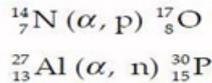
- Ada kekekalan muatan dan kekekalan massa energi.
- Mempunyai energi pengaktifan.
- Dapat menyerap energi (endoenerjik) atau melepaskan energi (eksoenerjik).

Perbedaan antara reaksi nuklir dan reaksi kimia biasa, antara lain seperti berikut.

- Nomor atom dan nomor massa berubah.
- Pada reaksi endoenerjik, jumlah materi hasil reaksi lebih besar dari pereaksi, sedangkan dalam reaksi eksoenerjik terjadi sebaliknya.
- Jumlah materi dinyatakan per partikel bukan per mol.
- Reaksi-reaksi menyangkut nuklida tertentu bukan campuran isotop.

Reaksi nuklir dapat ditulis seperti contoh berikut. Pada awal dituliskan nuklida sasaran, kemudian di dalam tanda kurung dituliskan proyektil dan partikel yang

dipancarkan dipisahkan oleh tanda koma dan di akhir perumusan dituliskan nuklida hasil reaksi. Berikut contoh penulisan reaksi inti :

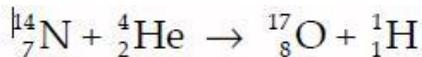


Pada reaksi di atas terdapat dua macam partikel proyektil yaitu:

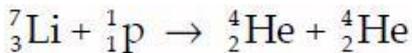
- Partikel bermuatan seperti proton (${}_1p^1$) atau atom yang lebih berat seperti alfa (${}_2\alpha^4$)
- Sinar gamma (${}_0\gamma^0$) dan partikel tidak bermuatan seperti neutron (${}_0n^1$)

Contoh lain reaksi inti:

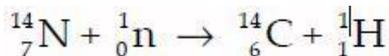
- Penembakan dengan partikel alfa



- Penembakan dengan proton



- Penembakan dengan neutron



Reaksi inti dibedakan menjadi dua yaitu reaksi fisi dan reaksi fusi. Berikut ini pembahasan lebih rinci dari kedua macam reaksi inti tersebut.

- Reaksi Fisi

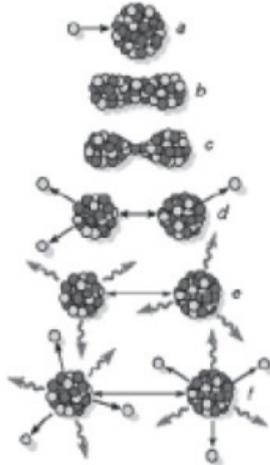
Reaksi fisi yaitu reaksi pembelahan inti atom berat menjadi dua inti atom lain yang lebih ringan dengan disertai timbulnya energi yang sangat

besar. Misalnya inti atom uranium-235 ditembak dengan neutron sehingga terbelah menjadi inti atom Xe-235 dan Sr-94 disertai dengan timbulnya 2 neutron yang memiliki energi tinggi. Reaksinya dapat dituliskan:



Reaksi fisi ini menghasilkan energi kira-kira sebesar 234 MeV. Neutron-neutron yang timbul akan menumbuk inti atom berat yang lain sehingga akan menimbulkan reaksi fisi yang lain. Hal ini akan berlangsung terus sehingga semakin lama semakin banyak reaksi inti yang dihasilkan dan dalam waktu singkat dapat timbul energi yang sangat besar. Peristiwa semacam ini disebut reaksi fisi berantai.

Reaksi fisi berantai yang tak terkendali akan menyebabkan timbulnya energi yang sangat besar dalam waktu relatif singkat, sehingga dapat membahayakan kehidupan manusia. Reaksi berantai yang tak terkendali terjadi pada bom atom. Energi yang timbul dari reaksi fisi yang terkendali dapat dimanfaatkan untuk kehidupan manusia. Reaksi fisi terkendali yaitu reaksi fisi yang terjadi dalam reaktor nuklir (reaktor atom). Di mana dalam reaktor nuklir neutron yang terbentuk ditangkap dan tingkat energinya diturunkan sehingga reaksi fisi dapat dikendalikan.



Gambar 10. Reaksi Fisi Dari Uranium

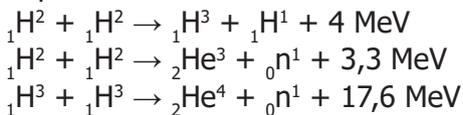
Pada umumnya untuk menangkap neutron yang terjadi, digunakan logam yang mampu menangkap neutron yaitu logam *Cadmium* atau *Boron*. Pengaturan populasi neutron yang mengadakan reaksi fisi dikendalikan oleh batang pengendali yang terbuat dari batang logam *Cadmium*, yang diatur dengan jalan memasukkan batang pengendali ke dalam teras-teras bahan bakar dalam reaktor. Dalam reaktor atom, energi yang timbul kebanyakan adalah energi panas, di mana energi panas yang timbul dalam reaktor ditransfer keluar reaktor kemudian digunakan untuk menggerakkan generator, sehingga diperoleh energi listrik.

- Reaksi Fusi
Reaksi fusi yaitu reaksi penggabungan dua inti atom ringan menjadi inti atom lain yang lebih berat dengan melepaskan energi.



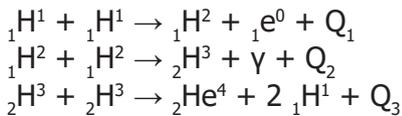
Gambar 11. Reaksi Fusi Dari Uranium

Misalnya penggabungan deuteron dengan deuteron menghasilkan triton dan proton dilepaskan energi sebesar kira-kira 4,03 MeV. Penggabungan deuteron dengan deuteron menghasilkan inti He-3 dan neutron dengan melepaskan energi sebesar 3,3 MeV. Penggabungan triton dengan triton menghasilkan inti Helium dengan melepaskan energi sebesar 17,6 MeV, yang reaksi fusinya dapat dituliskan :

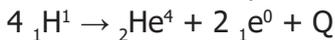


Agar dapat terjadi reaksi fusi diperlukan temperatur yang sangat tinggi sekitar 10⁸ K, sehingga reaksi fusi disebut juga reaksi termonuklir. Karena untuk bisa terjadi reaksi fusi diperlukan suhu yang sangat tinggi, maka di matahari merupakan tempat berlangsungnya reaksi fusi. Energi matahari yang sampai ke Bumi diduga merupakan hasil reaksi fusi yang terjadi dalam matahari.

Hal ini berdasarkan hasil pengamatan bahwa matahari banyak mengandung hidrogen (${}_1\text{H}^1$). Dengan reaksi fusi berantai akan dihasilkan inti helium. Di mana reaksi dimulai dengan penggabungan antar dua atom hidrogen membentuk deuteron, selanjutnya antara deuteron dengan deuteron membentuk inti atom helium-3 dan akhirnya dua inti atom helium-3 bergabung membentuk inti atom helium -4 dan 2 atom hidrogen dengan melepaskan energi total sekitar 26,7 MeV, yang reaksinya dapat dituliskan:



Reaksi tersebut dapat ditulis:



Reaksi-reaksi fusi biasanya terjadi pada suhu sekitar 100 juta derajat celsius. Pada suhu ini terdapat plasma dari inti dan elektron. Reaksi fusi yang terjadi pada suhu tinggi ini disebut reaksi termonuklir.

Pada reaksi inti baik fisi maupun fusi terjadi perubahan unsur karena ditumbuk zarah nuklir atau zarah radioaktif yang dapat dinyatakan oleh persamaan reaksi:



Secara sederhana penulisan reaksi dituliskan sbb :



Keterangan:

X = unsur awal

Y = unsur baru

a = partikel yang menembak

b = partikel baru

Q = energi yang dilepaskan atau yang diserap

Besarnya energi yang terjadi dapat dicari dengan persamaan:

$$Q = \{(m_x + m_a) - (m_y + m_b)\} \times 931 \text{ MeV}$$

dengan:

Q= energi yang terjadi selama reaksi berlangsung

$(m_x + m_a)$ = jumlah massa inti atom sebelum reaksi

$(m_y + m_b)$ = jumlah massa inti atom sesudah reaksi.

Menurut Albert Einstein dalam kesetaraan antara massa dan energi dinyatakan bahwa energi total yang dimiliki oleh suatu massa sebesar m adalah $E = mc^2$.

Apabila semua massa inti atom dinyatakan dalam sma (satuan massa atom), maka energi total yang dimiliki massa sebesar 1 sma setara dengan energi sebesar 931 MeV (1 sma = $1,66 \times 10^{-27}$ kg, $c = 3 \times 10^8$ m/s dan $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19}$ Joule)

H. Reaktor Nuklir

Reaktor nuklir adalah tempat terjadinya reaksi inti berantai yang terkendali, baik pembelahan inti (fisi) atau penggabungan inti (fusi). Desain reaktor nuklir dapat dikategorikan dengan istilah "generasi", yaitu, Generasi I, II, III, III +, dan IV. Atribut kunci karakteristik pembangunan dan penyebaran reaktor nuklir menerangi perbedaan penting antara berbagai generasi reaktor. Analisis saat ini tentang konsep reaktor nuklir yang ada,

berfokus pada enam faktor kunci reaktor yakni :

- Efektivitas biaya
Dari perspektif pelanggan, reaktor nuklir di lihat dari sisi harganya, yang mana dapat dibedakan dari energi terbarukan atau *fossil-fired* kilowatt-jam. Oleh karena itu tenaga nuklir harus ekonomis kompetitif.
- Keselamatan
Beberapa sistem nuklir yang menggabungkan fitur desain pasif untuk menjamin keselamatan operasi reaktor nuklir, dibandingkan dengan sistem keselamatan aktif memerlukan intervensi oleh agen manusia. Ini karena berbagai alasan teknis dan kebijakan publik, termasuk pengurangan risiko kuantitatif.
- Keamanan dan nonproliferasi
Sistem tenaga nuklir harus meminimalkan risiko pencurian nuklir dan terorisme. Desain yang akan bermain di pasar internasional juga harus meminimalkan risiko yang disponsori negara proliferasi senjata nuklir. Kekhawatiran tentang teknologi penggunaan ganda (yaitu, teknologi yang awalnya dikembangkan untuk militer atau lainnya tujuan dan sekarang dalam penggunaan komersial) yang memperkuat ancaman ini.
- Kesesuaian Jaringan
Kedua kemampuan baik lokal dan nasional jaringan listrik harus sesuai dengan tenaga listrik reaktor yang diusulkan akan menyampaikan ke jaringan. Jaringan kesesuaian ditentukan oleh kombinasi dari kapasitas terpasang dan eksternalitas yang didefinisikan oleh

masih ada jaringan listrik. Bagaimana kapasitas jaringan listrik berdampak pada persyaratan keuangan, kelayakan ekonomi jangka panjang, dan ketersediaan dari reaktor.

- **Komersialisasi roadmap**
Menurut sejarah, perpindahan dasar sumber daya oleh sumber alternatif telah menjadi proses evolusi bukan pergeseran tiba-tiba, mengganggu, dan radikal. Mencoba untuk “mendorong amplop” dengan memaksa pergeseran ke arah ekonomis yang tidak layak karena investor jarang bersedia menanggung biaya, misalnya, biaya modal terkait dengan penyebaran teknologi alternatif ke dalam arsitektur jaringan yang ada. Karena itu komersialisasi roadmap harus mencakup waktu yang masuk akal untuk penyebaran (terutama di negara berkembang teknologi *powerhouses* seperti Cina, India, dan Republik Korea).
- **Siklus bahan bakar**
Rincian siklus bahan bakar reaktor yang diberikan itu adalah unsur yang sangat penting dalam menentukan tingkat risiko untuk keselamatan nuklir, keamanan, dan penjamin. Dengan kedua bagian depan dan belakang ujung siklus bahan bakar, intrinsik sifat reaktor pasangan desain erat dengan eksternalitas seperti kemungkinan internasionalisasi depan dan ujung belakang proses.

Bagian depan. Sejauh mana sebuah reaktor nuklir membutuhkan terus pengisian bahan bakar diperkaya dengan bahan bakar segar merupakan

faktor penting dalam menentukan risiko. Faktor yang terkait adalah tingkat dan cara di dimana pasokan bahan bakar (terutama pengayaan fabrikasi). Bergerak menuju desain fitur reaktor-seperti pemanfaatan bahan bakar yang tinggi dan derajat bakar BBM (ukuran berapa banyak energi yang diekstrak dari bahan bakar segar, misalnya, dalam membakar desain reaktor umumnya ≥ 20 persen) dan disegel panjang-hidup desain-bisa inti secara signifikan mengurangi risiko tersebut.

Disposisi bahan bakar yang digunakan (“Bagian belakang”). Mengingat institusional tantangan yang disajikan oleh penyimpanan jangka panjang dan pembuangan akhir bahan bakar yang digunakan, sistem reaktor masa depan harus meminimalkan jumlah dan toksisitas limbah nuklir. Ini adalah masalah kelembagaan, bukan keselamatan jangka pendek atau jangka menengah atau masalah keamanan.

Reaktor nuklir Generasi I

PLTN generasi pertama dikembangkan pada rentang waktu tahun 50-an hingga tahun 60-an. PLTN generasi pertama ini merupakan prototipe awal dari reaktor pembangkit daya yang bertujuan untuk membuktikan bahwa energi nuklir dapat dimanfaatkan dengan baik untuk tujuan damai. Contoh PLTN generasi pertama ini adalah Shippingport (tipe PWR), Dresden (tipe BWR), Fermi I (tipe FBR) dan Magnox (tipe GCR).

Enrico Fermi dan Leó Szilárd, pertama kali membangun

reaktor nuklir Chicago Pile-1 saat mereka di Universitas Chicago pada 2 Desember 1942. Reaktor nuklir generasi pertama digunakan untuk menghasilkan plutonium sebagai bahan senjata nuklir.

Selain itu, reaktor nuklir juga digunakan oleh angkatan laut Amerika (lihat Reaktor Angkatan Laut Amerika Serikat) untuk menggerakkan kapal selam dan kapal pengangkut pesawat udara. Pada pertengahan 1950-an, baik Uni Sovyet maupun negara-negara barat meningkatkan penelitian nuklirnya termasuk penggunaan atom di luar militer. Tetapi, sebagaimana program militer, penelitian atom di bidang non-militer juga dilakukan dengan rahasia.

Pada tanggal 20 Desember 1951, listrik dari generator yang digerakkan oleh tenaga nuklir pertama kali dihasilkan oleh Experimental Breeder Reaktor-I (EBR-1) yang berlokasi di Arco, Idaho. Pada 26 Juni 1954, pukul 5:30 pagi, PLTN pertama dunia untuk pertama kalinya mulai beroperasi di Obninsk, Kaluga Oblast, USSR. PLTN ini menghasilkan 5 megawatt, cukup untuk melayani daya 2,000 rumah. PLTN skala komersial pertama dunia adalah Calder Hall, yang mulai beroperasi pada 17 Oktober 1956. Reaktor ini menghasilkan listrik untuk disambungkan ke jaringan listrik, sekaligus menghasilkan energi panas yang dibutuhkan oleh pabrik proses olah ulang bahan bakar di wilayah itu.

Setelah lebih dari 40 tahun, empat unit reaktor Calder Hall dengan kapasitas masing-masing 50 MWe masih beroperasi sampai sekarang. Di Swedia, Reaktor Agesta menyediakan air panas untuk 'district heating' daerah

pinggiran kota Stockholom selama 1 dasawarsa, yang dimulai pada tahun 1963. Reaktor generasi pertama lainnya adalah Shippingport Reactor yang berada di Pennsylvania (1957).

Reaktor nuklir Generasi II

Reaktor nuklir generasi II (Gen II) mengacu pada kelas reaktor komersial yang dirancang untuk menjadi ekonomis dan handal. Dirancang untuk khas operasional seumur hidup 40 tahun, 2 prototipikal Reaktor Gen II termasuk reaktor air bertekanan (PWR), Kanada Deuterium Reaktor uranium (CANDU), reaktor air mendidih (BWR), reaktor gas maju didinginkan (AGR), dan Vodo-Vodyanoi Energetichesky Reaktor (VVER). Reaktor Gen II di Amerika Serikat diatur oleh NRC sesuai 10CFR Part 50. Sistem Gen II mulai beroperasi pada akhir tahun 1960 dan terdiri massal dari PWR 400 + komersial dunia dan BWR. Reaktor-reaktor ini, biasanya disebut sebagai reaktor air ringan (LWR), gunakan fitur keselamatan aktif tradisional melibatkan operasi listrik atau mekanik yang dimulai secara otomatis dan dalam banyak kasus, dapat diprakarsai oleh operator reaktor nuklir.

Beberapa sistem rekayasa masih beroperasi secara pasif (misalnya, menggunakan tekanan katup relief) dan berfungsi operator tanpa kendali atau kehilangan daya tambahan. Sebagian besar instalasi Gen II masih beroperasi di Barat yang diproduksi oleh salah satu dari tiga perusahaan: Westinghouse, 3Framatome4 (sekarang bagian dari AREVA5) dan General Electric (GE).

Reaktor nuklir Generasi III

Reaktor nuklir generasi III adalah reaktor Gen II yang berevolusi, desain *improvementsstate-of-the-art*. Perbaikan ini berada di daerah teknologi bahan bakar, efisiensi termal, termodulasi konstruksi, sistem keselamatan (terutama penggunaan pasif daripada sistem aktif), dan standar design. Perbaikan teknologi reaktor Gen III telah ditunjukkan pada operasional yang lebih lama, biasanya beroperasi 60 tahun, berpotensi untuk lebih melebihi 60 tahun, sebelum menyelesaikan perbaikan dan tekanan reaktor pengganti.

Penelitian Konfirmatori untuk menyelidiki penuaan instalasi nuklir melampaui 60 tahun diperlukan untuk memungkinkan reaktor tersebut untuk beroperasi selama masa hidup diperpanjang tersebut. Tidak seperti Gen I dan reaktor Gen II, reaktor Gen III diatur oleh Peraturan NRC berdasarkan 10 CFR Part 52.

Reaktor nuklir Generasi III+

Desain reaktor Gen III+ merupakan perkembangan evolusi dari reaktor Gen III, menawarkan perbaikan yang signifikan dalam keamanan atas desain reaktor Gen III disertifikasi oleh NRC pada 1990-an. Di Amerika Serikat, Desain Gen III+ harus disertifikasi oleh NRC sesuai dengan 10 CFR Part 52.

Produsen memulai pengembangan sistem Gen III+ pada 1990-an dengan membangun pada pengalaman operasi Armada LWR dari Amerika, Jepang, dan Eropa Barat. Mungkin peningkatan yang paling signifikan dari

desain sistem Gen III+ over-generasi kedua adalah penggabungan dalam beberapa desain fitur keselamatan pasif yang tidak memerlukan kontrol aktif atau intervensi operator melainkan bergantung pada gravitasi atau konveksi alami untuk mengurangi dampak peristiwa abnormal.

Dimasukkannya fitur keselamatan pasif, antara lain perbaikan, dapat membantu mempercepat proses sertifikasi reaktor dan dengan demikian memperpendek konstruksi *schedules*. Reaktor ini, sekali *on line*, diharapkan untuk mencapai derajat bakar bahan bakar lebih tinggi dari pendahulu evolusioner mereka (sehingga mengurangi konsumsi bahan bakar dan produksi limbah). Lebih dari dua lusin reaktor Gen III+ didasarkan pada lima teknologi direncanakan untuk Amerika Serikat .

Reaktor nuklir Generasi IV

PLTN Gen IV adalah reaktor daya hasil pengembangan inovatif dari PLTN generasi sebelumnya. PLTN generasi IV terdiri dari enam tipe reaktor daya yang diseleksi dari sekitar 100 buah desain. Kriteria seleksi adalah aspek ekonomi yang tinggi, tingkat keselamatan lanjut, menghasilkan limbah dengan kuantitas yang sangat rendah, dan tahan terhadap aturan NPT. PLTN generasi IV dirancang tidak hanya berfungsi sebagai instalasi pemasok daya listrik saja, tetapi dapat pula digunakan untuk pemasok energi termal kepada industri proses.

Oleh karena itu PLTN generasi IV tidak lagi disebut sebagai PLTN, tetapi disebut sebagai Sistem Energi Nuklir (SEN) atau *Nuclear Energy System* (NES). Enam tipe dari

reaktor daya generasi IV adalah: *Very High Temperature Reactor (VHTR)*, *Sodium-cooled Fast Reactor (SFR)*, *Gas-cooled Fast Reactor (GFR)*, *Liquid metal cooled Fast Reactor (LFR)*, *Molten Salt Reactor (MSR)*, dan *Super Critical Water-cooled Reactor (SCWR)*.

Secara konseptual, reaktor Gen IV memiliki semua fitur dari unit Gen III+, serta memiliki kemampuan beroperasi pada suhu tinggi, untuk mendukung ekonomi produksi hidrogen, energi panas terambil, dan bahkan mungkin desalinasi air. Selain itu, desain ini termasuk manajemen aktinida canggih.

Reaktor Gen IV akan sampai dua sampai empat dekade ke depan, meskipun beberapa desain bisa akan tersedia dalam satu dekade. Seperti dalam kasus desain Gen III dan Gen III+ di Amerika Serikat, Gen IV desain harus disertifikasi oleh NRC sesuai dengan 10 CFR Part 52, sesuai dengan peraturan diperbarui dan panduan peraturan. Departemen Energi AS (DOE) Kantor Energi nuklir memilikidan mengambil tanggung jawab untuk mengembangkan ilmu yang dibutuhkan selama lima Gen teknologi . Tingkat pendanaan untuk setiap konsep teknologi mencerminkan penilaian DOE konsep ini tahap pengembangan teknologi dan potensinya untuk memenuhi kebutuhan energi nasional.

The Next Generation Tenaga Nuklir (NGNP) proyek sedang mengembangkan satu contoh dari sistem reaktor Gen IV, Reaktor Suhu Sangat Tinggi, yang dikonfigurasi untuk menyediakan panas suhu tinggi (sampai 950 °C) untuk varietas co-produk , termasuk produksi hidrogen. NRC bekerja dengan DOE pada pendekatan lisensi.

Teknologi reaktor nuklir saat ini

- Pressurized water reactor (PWR)
- Boiling water reactor (BWR)
- Pressurized Heavy Water Reactor (PHWR)
- Reaktor Bolshoy Moschnosti Kanalnyi (High Power Channel Reactor) (RBMK)
- Gas-cooled reactor (GCR) and advanced gas-cooled reactor (AGR)
- Liquid-metal Fast breeder reactor (LMFBR)
 - o Lead-cooled fast reactor
 - o Sodium-cooled fast reactor
- Pebble-bed reactor (PBR)
- Molten salt reactor
- Aqueous Homogeneous Reactor (AHR)

Generator termoelektrik radioisotop

Generator termoelektrik radioisotop atau *radioisotope thermoelectric generator* (RTG, RITEG) adalah sebuah generator listrik yang menggunakan sebuah array dari termokopel untuk mengubah panas yang dilepaskan oleh peluruhan bahan radioaktif yang cocok menjadi listrik oleh efek Seebeck. RTGS telah digunakan sebagai sumber listrik di satelit, pesawat antariksa berawak dan seperti fasilitas remote sebagai serangkaian mercusuar Uni Soviet yang didirikan di dalam Lingkaran Arktik.

Proses Kerja Pusat Listrik Tenaga Nuklir

Proses kerja PLTN sebenarnya hampir sama dengan proses kerja pembangkit listrik konvensional seperti pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), yang umumnya sudah dikenal secara luas. Yang membedakan antara

dua jenis pembangkit listrik itu adalah sumber panas yang digunakan. PLTN mendapatkan suplai panas dari reaksi nuklir, sedang PLTU mendapatkan suplai panas dari pembakaran bahan bakar fosil seperti batubara atau minyak bumi.

Reaktor daya dirancang untuk memproduksi energi listrik melalui PLTN. Reaktor daya hanya memanfaatkan energi panas yang timbul dari reaksi fisi, sedang kelebihan neutron dalam teras reaktor akan dibuang atau diserap menggunakan batang kendali. Karena memanfaatkan panas hasil reaksi fisi, maka reaktor daya dirancang berdaya thermal tinggi dari orde ratusan hingga ribuan MW. Proses pemanfaatan panas hasil reaksi fisi untuk menghasilkan energi listrik di dalam PLTN adalah sebagai berikut :

- Bahan bakar nuklir melakukan reaksi fisi sehingga dilepaskan energi dalam bentuk panas yang sangat besar.
- Panas hasil reaksi nuklir tersebut dimanfaatkan untuk menguapkan air pendingin, bisa pendingin primer maupun sekunder bergantung pada tipe reaktor nuklir yang digunakan.
- Uap air yang dihasilkan dipakai untuk memutar turbin sehingga dihasilkan energi gerak (kinetik).
- Energi kinetik dari turbin ini selanjutnya dipakai untuk memutar generator sehingga dihasilkan arus listrik.

Komponen dasar reaktor nuklir

Komponen dasar dari reaktor nuklir adalah sebagai berikut:

- Bahan bakar nuklir, berbentuk batang logam berisi bahan radioaktif yang berbentuk pelat
- Moderator, berfungsi menyerap energi neutron
- Reflektor, berfungsi memantulkan kembali neutron
- Pendingin, berupa bahan gas atau logam cair untuk mengurangi energi panas dalam reaktor
- Batang kendali, berfungsi menyerap neutron untuk mengatur reaksi fisi
- Perisai, merupakan pelindung dari proses reaksi fisi yang berbahaya

Klasifikasi Reaktor

Jenis reaktor nuklir hingga saat ini dibedakan berdasarkan kegunaan, tenaga neutron dan nama komponen serta parameter operasinya.

Menurut kegunaannya reaktor nuklir dibedakan menjadi:

- Reaktor daya
- Reaktor riset termasuk uji material dan latihan
- Reaktor produksi isotop yang kadang-kadang digolongkan juga kedalam reaktor riset

Ditinjau dari tenaga neutron yang melangsungkan reaksi pembelahan, reaktor nuklir dibedakan menjadi:

- Reaktor cepat: GCFBR, LMFBR, SCFBR
- Reaktor thermal: PWR, BWR, PHWR, GCR.

Berdasarkan parameter yang lain, reaktor nuklir dapat disebut:

- Reaktor bereflektor grafit: GCR, AGCR
- Reaktor berpendingin air ringan: PWR, BWR
- Reaktor suhu tinggi: HTGR

Klasifikasi berdasarkan type reaksi nuklir

- Reaktor Nuklir Fisi

Semua PLTN komersial yang ada di dunia menggunakan reaksi nuklir fisi. Pada umumnya reaktor jenis ini menggunakan bahan bakar nuklir Uranium dan reaktor jenis ini akan menghasilkan Plutonium, meskipun dimungkinkan juga menggunakan siklus bahan bakar Thorium. Reaktor fisi dapat dibagi menjadi 2 kelompok besar berdasarkan energy neutron yang digunakan dalam proses fisi, yaitu:

- a) Reaktor thermal (lambat) menggunakan neutron lambat atau neutron thermal. Reaktor ini bercirikan mempunyai moderator neutron/material pelambat yang ditujukan untuk memperlambat neutron sampai mempunyai energi kinetik rerata partikel yang ada disekitarnya, dengan kata lain, sampai mereka "dithermalkan". Reaktor thermal, reaktor jenis ini menggunakan neutron lambat atau neutron thermal.

Hampir semua reaktor yang ada saat ini adalah reaktor jenis reaktor thermal. Reaktor ini mempunyai bahan moderasi neutron yang dapat memperlambat neutron hingga mencapai energy thermal. Kemungkinan (propabilitas) lebih besar terjadinya reaksi fisi antara neutron thermal dan bahan fisil seperti Uranium 235, Plutonium 239 dan Plutonium 241 dan akan mempunyai kemungkinan lebih kecil terjadinya reaksi fisi dengan Uranium 238.

Dalam reaktor jenis ini, biasanya pendingin juga berfungsi sebagai moderator neutron, reaktor jenis ini umumnya menggunakan pendingin air dalam tekanan tinggi untuk meningkatkan titik didih air pendingin. Reaktor ini diwadahi dalam suatu tangki reaktor yang didalamnya dilengkapi dengan instrumentasi pemantau dan pengendali reaktor, pelindung radiasi dan gedung containment.

- b) Reaktor cepat, reaktor jenis ini menggunakan neutron cepat untuk menghasilkan fisi dalam bahan bakar reaktor nuklir. reaktor jenis ini tidak memiliki moderator neutron, dan menggunakan bahan pendingin yang kurang memoderasi neutron. Untuk tetap menjaga agar reaksi nuklir berantai tetap berjalan maka diperlukan bahan bakar yang mempunyai bahan belah (fissile material) dengan kandungan uranium 235 yang lebih tinggi (lebih dari 20 %). Reaktor cepat mempunyai potensi menghasilkan limbah trasnuranic yang lebih kecil karena semua aktinida dapat terbelah dengan menggunakan neutron cepat, namun reaktor ini sulit untuk dibangun dan mahal dalam pengoperasiannya.
- Reaktor Nuklir Fusi
Reaktor jenis ini merupakan teknologi reaktor nuklir yang masih dalam tahap eksperimental, secara umum menggunakan hidrogen sebagai bahan bakarnya.

I. Akselerator dan Detektor

Akselerator merupakan alat yang dapat meningkatkan kecepatan partikel untuk menghasilkan energi kinetik yang sangat besar dan dapat menumbuk atom target. Sampai awal tahun 1950, sumber partikel berenergi tinggi satu-satunya hanyalah sinar kosmik. Dengan mempelajari sinar kosmik ini telah menghasilkan penemuan-penemuan yang penting di antaranya penemuan positron dan pion.

Untuk dapat mempercepat partikel, sekarang ini telah banyak dikembangkan mesin yang dapat melontarkan partikel yang panjang gelombangnya lebih kecil daripada jari-jari hedron yaitu sekitar 10^{-15} meter sehingga momentum $p=h/\lambda$ haruslah beberapa ratus MeV/c. Mesin ini dikenal dengan pemercepat partikel.

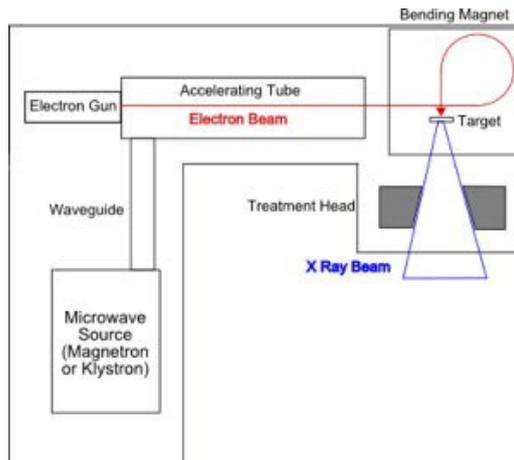
Akselerator partikel bekerja berdasarkan interaksi partikel bermuatan dalam medan elektromagnet. Peran medan elektromagnet ini dimulai sejak awal yaitu ketika partikel bermuatan dihasilkan dalam suatu sumber pembangkit partikel bermuatan atau injektor, sebelum dipercepat lebih lanjut dengan medan elektromagnet.

Linear accelerator (LINAC) adalah instrumen radioterapi yang digunakan untuk mematikan sel tumor maupun kanker pada penderita penyakit tersebut. Ide pengembangan LINAC diawali oleh eksperimen Wilhelm Conrad Rontgen (1845 -1923) yang merujuk pada ditemukannya radiasi energi tinggi yang selanjutnya dikenal dengan sinar - X. Kemudian pada tahun 1899, sinar -X diaplikasikan pada bidang kesehatan berupa terapi penyakit karsinoma untuk pertama kalinya.

Hal ini mendorong ilmuwan lain salah satunya Gebbert dan Schall untuk melakukan inovasi baru dan berhasil meningkatkan energi sinar-X yang cukup tinggi yaitu sekitar 150 kV. Barulah pada tahun 1930 LINAC pertama diperkenalkan oleh Rolf Wideroe. Pada tahun-tahun berikutnya perkembangan LINAC semakin pesat hingga saat ini setidaknya sudah terdapat 3 generasi dari LINAC.

Prinsip Kerja Linear Accelerator

Sebuah linear accelerator bekerja berdasarkan prinsip penjaralan gelombang frekuensi radio untuk mempercepat partikel bermuatan sehingga partikel tersebut akan memiliki energi kinetik yang tinggi pada arah/track yang lurus. Proses mempercepat partikel bermuatan tersebut dilakukan didalam sebuah tabung yang disebut *accelerator waveguide*. Skema sederhana dari LINAC diperlihatkan pada gambar berikut :

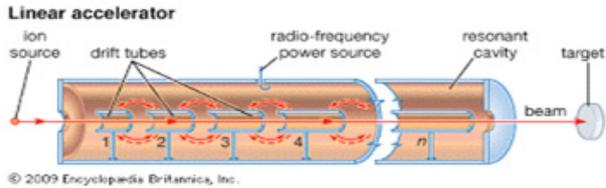


Gambar 12. Skematik prinsip kerja LINAC

Untuk dapat menghasilkan foton yang selanjutnya digunakan untuk terapi radiasi, setidaknya sebuah LINAC membutuhkan sumber gelombang mikro, sumber elektron yang akan dipercepat, serta lempengan target yang akan ditumbuk. Sumber gelombang mikro disuplai oleh komponen Magnetron ataupun Klystron. Magnetron berfungsi sebagai osilator frekuensi yang mampu menghasilkan gelombang mikro dengan frekuensi tinggi. Gelombang mikro tersebut digunakan untuk menghasilkan medan magnet statis yang selanjutnya digunakan untuk mempercepat elektron yang dihasilkan oleh elektron gun.

Berbeda dengan magnetron klystron bukanlah penghasil gelombang mikro, melainkan memperkuat gelombang sumber yang diberikan menggunakan sebuah amplifier penguat frekuensi. Dari hasil penguatan frekuensi sumber tersebut, akan dihasilkan sebuah sistem pandu gelombang dengan frekuensi mencapai 3 GHz. Khusus magnetron, pada umumnya digunakan untuk menghasilkan energi radiasi rendah yaitu 4 – 6 MeV.

Untuk rentang energi yang lebih tinggi digunakan klystron. Selanjutnya, elektron gun merupakan sumber elektron yang akan dipercepat. Sebuah elektron gun dilengkapi dengan filamen tungsten yang dipanaskan. Akibat pemanasan tersebut maka akan terjadi proses emisi termionik yang mengakibatkan munculnya arus elektron yang terlepas dari tungsten tersebut. Besarnya intensitas elektron berbanding lurus dengan besarnya suhu pemanasan pada tungsten tersebut. Setelah elektron dihasilkan maka berkas elektron tersebut akan diarahkan ke tabung pemercepat (*accelerating tube*) untuk dipercepat sehingga energi kinetiknya meningkat.



Gambar 13. Komponen pada accelerator tube

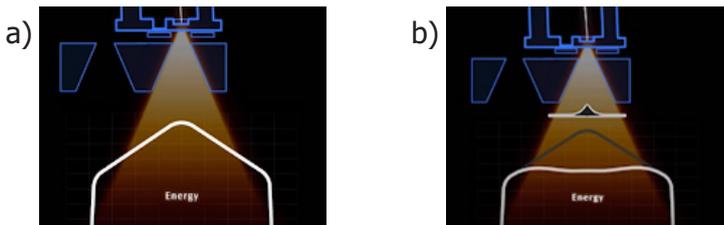
Tabung pemercepat dilengkapi dengan pengendali arus/ *drift tube* yang berfungsi membalik polarisasi dari medan listrik. Dengan adanya proses ini akan terjadi lompatan partikel sehingga menambah kecepatan partikel akibat pembalikan polarisasi tersebut. Semakin banyak dan panjang *drift tube* yang digunakan, semakin besar pula kecepatan akhir/ energi kinetik partikel yang dihasilkan. Namun, tentunya akan dibutuhkan konstruksi tabung yang panjang untuk menghasilkan energi yang lebih tinggi.

Apabila energi kinetik yang dibutuhkan sudah tercapai, maka berkas elektron dengan kecepatan tinggi ini akan arahkan untuk menumbuk lempengan logam. Karena energi yang menumbuk lempengan logam sangat tinggi, maka akan dihasilkan berkas foton dari proses ini. Berkas tersebut diarahkan keluar melalui kepala linac yang disebut gantri untuk selanjutnya di arahkan menuju target.

Setelah dihasilkan foton dengan energi tertentu, perlu diadakan pengkondisian akan berkas tersebut dikarenakan berkas yang dihasilkan tidak menghasilkan intensitas foton yang seragam yang artinya energinya juga tidak seragam. Selain itu, dalam aplikasinya, geometri berkas yang dibutuhkan akan beragam,

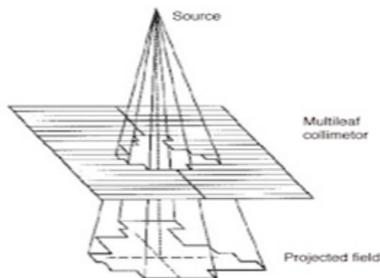
sehingga diperlukan komponen yang bisa mengatasi kedua permasalahan tersebut.

Untuk menjadikan energi berkas foton menjadi seragam/uniform dapat digunakan flattening filter (FF). Komponen ini bekerja dengan menyerap sebagian berkas foton pada bagian menggunakan bahan tertentu agar intensitas dibagian tersebut berkurang dan sama dengan bagian lainnya sehingga semua bagian memiliki intensitas energi yang merata. Berikut ilustrasinya.



Gambar 14a) Profil energi tanpa FF, 14b)
Profil energi dengan FF

Sedangkan untuk memodifikasi geometri berkas digunakan kolimator. Prinsip kerjanya adalah dengan meloloskan berkas foton uniform pada sebuah kerangka sesuai dengan bentuk yang diinginkan.



Gambar 14. Modifikasi geometri dengan multi leaf colimator.

Dari kombinasi komponen *flattening filter* dan *colimator* akan dihasilkan berkas foton dengan intensitas seragam dan sesuai dengan geometri yang dibutuhkan.

BAB 2

RADIOAKTIVITAS

A. PENDAHULUAN

Sejarah Penemuan Unsur Radioaktif

Pada tahun 1895 seorang fisikawan berasal dari Jerman Wilhelm Conrad Röntgen(27 Maret 1845 – 10 Februari 1923) melakukan percobaan dengan sinar katoda. Ia menemukan bahwa tabung sinar katoda menghasilkan suatu radiasi berdaya tembus besar yang dapat menghitamkan film foto.

Selanjutnya sinar itu diberi nama sinar X. Sinar X tidak mengandung elektron, tetapi merupakan gelombang elektromagnetik. Sinar X tidak dibelokkan oleh bidang magnet, serta memiliki panjang gelombang yang lebih pendek daripada panjang gelombang cahaya. Berkat hasil penelitiannya ini Rotgen memperoleh penerima pertama Penghargaan Nobel dalam Fisika, pada tahun 1901, untuk penemuannya pada sinar-X, yang menandai dimulainya zaman fisika modern dan merevolusi kedokteran diagnostik.

Berdasarkan hasil penelitian W.C Rontgen tersebut, maka Henry Becquerel pada tahun 1896 bermaksud menyelidiki sinar X, tetapi secara kebetulan ia menemukan gejala keradioaktifan yaitu peristiwa radiasi secara spontan. Peristiwa ini kemudian disebut **keradioaktifan**, sedangkan zat yang bersifat radioaktif disebut dengan zat **radioaktif**.

Pada penelitiannya ia menemukan bahwa garam-garam uranium dapat merusak film foto meskipun ditutup rapat dengan kertas hitam. Menurut Becquerel, hal ini karena

garam-garam uranium tersebut dapat memancarkan suatu sinar dengan spontan. Peristiwa ini dinamakan radio aktivitas spontan.

Marie Curie merasa tertarik dengan temuan Becquerel, selanjutnya dengan bantuan suaminya Piere Curie berhasil memisahkan sejumlah kecil unsur baru dari beberapa ton bijih uranium. Unsur tersebut diberi nama radium. Pasangan Currie melanjutkan penelitiannya dan menemukan bahwa unsur baru yang ditemukannya tersebut telah terurai menjadi unsur-unsur lain dengan melepaskan energi yang kuat yang disebut radioaktif.

Ilmuwan Inggris, Ernest Rutherford menjelaskan bahwa inti atom yang tidak stabil (radionuklida) mengalami peluruhan radioaktif. Partikel-partikel kecil dengan kecepatan tinggi dan sinar-sinar menyebar dari inti atom ke segala arah. Para ahli kimia memisahkan sinar-sinar tersebut ke dalam aliran yang berbeda dengan menggunakan medan magnet. Dan ternyata ditemukan tiga tipe radiasi atom yang berbeda yaitu sinar alfa, beta, dan gamma. Semua radionuklida secara alami memancarkan salah satu atau lebih dari ketiga jenis radiasi tersebut.

B. Sifat Unsur Radioaktif

Unsur yang bersifat radioaktif adalah unsur yang mempunyai isotop tidak stabil. Unsur dengan nomor atom lebih besar dari 83 merupakan unsur radioaktif karena mempunyai isotop yang tidak stabil. Unsur bernomor atom 84 – 94 (polonium sampai uranium) adalah unsur yang terdapat di alam. Unsur yang bernomor atom lebih besar dari 92 merupakan unsur radioaktif buatan. Ada

beberapa unsur dengan nomor atom dibawah 84 yang bersifat radioaktif, yaitu teknetium (Tc) dengan nomor atom 43 dan europium (Eu) dengan nomor atom 63.

Tabel 1. Sifat fisika beberapa unsur radioaktif yang terdapat di alam.

Sifat Fisika	Unsur				
	Polonium (Po)	Radon (Rn)	R a d i u m (Ra)	Aktinium (Ac)	Uranium (U)
Nomor atom	84	86	88	89	92
Mr	209	222	226	227	238,03
Titik leleh (°C)	254,00	-71,00	700,00	1.050	1.132,3
Titik Didih (°C)	962,00	61,80	-	3200	3.818
Rapatan (gcm ⁻³)	9,32	4,40	5,00	10,07	20,25
Warna	Perak-Abu	T.B	Keperakan	Perak	Perak
E.I (kJ/mol)	812,00	1.037	509,00	499,00	587,00
A.E (kJ/mol)	180,00	0	>0	-	-
Keelektro-negativan	2,00	-	0,90	1,10	1,38
Jari-Jari ion (Å)	0,67	-	1,43	1,11	0,80
Jari-Jari Atom (Å)	1,67	1,45	2,23	1,8	1,38

Unsur Polonium (Po) terletak pada golongan VIA dalam tabel periodik. Polonium hampir tidak ada di alam. Keberadaan unsur tersebut terdapat dalam batuan bersamaan dengan radium. Di alam, Po^{210} (dinamakan juga radium-F) adalah bentuk isotopnya dan beberapa isotop unsurnya telah disintesis.

Radon (Rn) dalam tabel periodik terletak pada golongan gas mulia (VIIA). Jadi, Radon adalah unsur radioaktif yang bersifat gas, tidak berwarna, dan lebih berat dari udara. Radon ditemukan pada tahun 1900 oleh ahli kimia Jerman *Friedrich Ernst Dorn*. Radon dihasilkan dari peluruhan uranium dan radium yang dilepaskan ke udara. Untuk memperoleh radon dari udara dilakukan dengan cara melarutkan gas radon ke dalam larutan garam radium.

Radium (Ra) terletak pada golongan IIA dalam tabel periodik. Radium ditemukan dalam bijih uranium. Unsur radium mudah teroksidasi bila terkena udara, sehingga tidak ditemukan dalam bentuk logamnya. Radium dibentuk dari pemecahan radioaktif uranium dan akibatnya ditemukan dalam seluruh batuan uranium. Radium dieksrasi dengan penambahan senyawa barium. Sifat kimia radium mirip dengan barium (Ba) dan dipisahkan dari komponen batuan lainnya melalui pengendapan barium dan radium sulfat. Sulfat diubah menjadi karbonat atau sulfide dengan melarutkannya dalam HCl. Radium dipisahkan dari barium sebagai hasil akhir kristalisasi dengan larutan klorida.

Uranium (U) dalam tabel periodik terletak pada golongan aktinida, yaitu unsur-unsur transisi dalam. Pertama

kali ditemukan oleh ahli kimia Jerman *Martin heinrich Klaproth* pada tahun 1789 dan diberi nama sesuai dengan nama planet Uranus. Diisolasi pertama kali pada tahun 1986.

Uranium mempunyai tiga bentuk Kristal, dimana salah satunya terbentuk pada temperature 770 °C adalah lunak dan mudah dibentuk. Uranium dapat larut dalam asam klorida dan asam nitrit. Pada temperature 1000 °C uranium bergabung dengan nitrogen membentuk nitrit berwarna kuning. Uranium mempunyai tiga bilangan oksidasi, yaitu +4, +5, dan +6. Contoh senyawa uranium adalah uranil trioksida, UO_3 ; uranil klorida UO_2Cl_2 ; uranium tetraklorida, UCl_4 ; dan uranium dioksida UO_2 . Uranium dengan bilangan oksidasi +4 biasanya tidak stabil, dapat berubah menjadi uranium dengan bilangan oksidasi +6 ketika bereaksi dengan udara dan menimbulkan ledakan. Garam uranium, seperti uranium klorida akan terurai dengan adanya cahaya yang kuat dan bahan – bahan organik.

C. Peluruhan Inti Atom

Inti atom yang tidak stabil akan melakukan peluruhan untuk memperoleh inti atom baru yang stabil. Peristiwa peluruhan ini dikenal dengan aktivitas unsur radioaktif.

Aktivitas sampel nuklida didefinisikan dengan kecepatan meluruh inti atom pembentuknya. Jika N menyatakan jumlah ini dalam sampel pada suatu saat, maka aktivitas unsur radioaktif R dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$R = -dN/dt$$

Tanda negatif digunakan supaya nilai aktivitas R memiliki nilai yang positif, karena dN/dt tentu saja secara intrinsik berharga negatif. Satuan aktivitas dalam Sistem Internasional (SI) diberi nama menurut nama penemu radioaktivitas (1896) yakni Henri Becquerel. Dimana :

$$1 \text{ becquerel} = 1 \text{ Bq} = 1 \text{ kejadian/s} = 1 \text{ atom/s}$$

Besarnya nilai aktivitas dalam kenyataannya sangat besar sehingga diperlukan bantuan satuan yang lebih tinggi untuk memudahkan penulisan dan pembacaannya. Oleh karena itu sering digunakan satuan MBq (10^6 Bq) dan GBq (10^9 Bq).

Selanjutnya satuan aktivitas bisa juga dinyatakan dalam satuan curie. Dimana 1 curie (Ci) didefinisikan sebagai aktivitas 1 gram radium ${}_{88}\text{Ra}^{226}$. Radium merupakan unsur radioaktif yang ditemukan oleh Marie Curie dan Pierre Curie tahun 1898. Oleh karena itu untuk menghargai hasil penemuannya digunakan satuan curie.

Hubungan antara satuan Bq dan Ci adalah:

$$1 \text{ curie} = 1 \text{ Ci} = 3,70 \times 10^{10} \text{ kejadian/s} = 37 \text{ GBq.}$$

Sebagai contoh bahwa jarum jam yang berpendar mengandung $1 \mu\text{Ci} = 10^{-6}$ Ci Radium. Kalium biasa memiliki aktivitas $1 \text{ mCi} = 10^{-3}$ Ci per kg yang ditimbulkan oleh radio isotop ${}_{19}\text{K}^{40}$ yang terdapat di dalamnya.

Hasil pengamatan dari beberapa eksperimen menunjukkan bahwa aktivitas setiap unsur radioaktif

menurun secara eksponensial terhadap waktu. Gambar berikut menunjukkan grafik R terhadap waktu t untuk isotop-isotop tertentu.

Gambar Grafik Peluruhan Secara eksponensial.

Berdasarkan pada grafik di atas terlihat bahwa terdapat hubungan yang empiris antara perubahan aktivitas terhadap waktu dalam bentuk :

$$R = R_0 e^{-\lambda t}$$

Dimana :

R_0 = aktivitas sebelum peluruhan

R = aktivitas setelah peluruhan

e = bilangan natural

λ = konstanta peluruhan (peluang/s)

t = umur unsur radioaktif = lamanya unsur disimpan

Konstanta peluruhan λ masing-masing unsur radioaktif berbeda-beda. Hubungan antara konstanta peluruhan λ , waktu paroh $T_{1/2}$, aktivitas R adalah

$$R = R_0 e^{-\lambda t}$$

Jika t diganti dengan $T_{1/2}$ maka aktivitas unsur radioaktif tinggal $1/2$ dari aktivitas semula ($1/2R_0$), sehingga persamaannya menjadi:

$$1/2R_0 = R_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$$

$$\ln 1/2 = -\lambda T_{1/2}$$

$$\ln 1 - \ln 2 = -\lambda T_{1/2}$$

$$0 - \ln 2 = -\lambda T_{1/2}$$

$$\ln 2 = \lambda T_{1/2}$$

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda$$

$$T_{1/2} = 0,693 / \lambda$$

Dari hasil empiris aktivitas diperoleh langsung bahwa peluang masing-masing unsur radioaktif tertentu untuk meluruh per satuan waktu adalah konstan λ . Karena λ adalah peluang per satuan waktu, maka λt adalah peluang setiap inti untuk meluruh dalam selang waktu dt . Jika suatu sampel unsur radioaktif mengandung N inti atom yang belum meluruh, maka banyaknya inti atom yang meluruh dN dalam selang waktu dt merupakan hasil perkalian dari banyaknya inti atom N dengan peluang meluruh λdt untuk masing-masing inti atom meluruh selama selang waktu dt . Hal ini berarti bahwa:

$$dN = - N \lambda dt$$

Tanda minus diperlukan, karena N berkurang saat t bertambah, sehingga persamaannya dapat dituliskan dengan $dN / N = - \lambda dt$

selanjutnya masing-masing diintegrasikan dan diperoleh hasil

$$\int \frac{dN}{N} = - \lambda \int dt$$

$$\ln N - \ln N_0 = - \lambda t$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Karena aktivitas unsur radioaktif dinyatakan dengan persamaan

$$R = -dN/dt,$$

maka jika nilai N diganti dengan $N = N_0 e^{-\lambda t}$, diperoleh persamaan untuk R menjadi

$$R = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

Selanjutnya dapat dituliskan bahwa

$$R_0 = \lambda N_0$$

atau $R = \lambda N$

Untuk menentukan jumlah atom N yang ada dalam inti ada 2 cara yaitu :

1. Menggunakan persamaan:
 $N = \{\text{jumlah sampel (gram)} \times NA\} / \text{nomor massa}$
 dengan $NA = \text{bilangan Avogadro } (6,03 \times 10^{23} \text{ atom/mol})$
2. Menggunakan persamaan:
 $N = \text{jumlah sampel (kg)} / \{\text{nomor massa} \times 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}\}$

Contoh:

Hitunglah aktivitas unsur radioaktif dari sampel Radon (Rn^{222}) sebesar 1 mg, jika diketahui waktu paroh Radon 3,8 hari.

Jawab: Menghitung terlebih dulu besarnya konstanta peluruhan berdasarkan waktu parohnya.

$$\begin{aligned} \Lambda &= 0,693 / \{3,8 \text{ hari} \times 24 \text{ jam} \times 3600 \text{ sekon}\} \\ &= 2,1 \times 10^{-6} /s \end{aligned}$$

Selanjutnya menghitung jumlah atomnya N dengan cara yang ke-2 yaitu:

$$\begin{aligned} N &= 10^{-6} \text{ kg} / \{222 \mu \times 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}/\mu\} \\ &= 2,7 \times 10^{18} \text{ atom} \end{aligned}$$

Setelah itu dimasukkan ke dalam persamaan aktivitas R:

$$\begin{aligned} R &= \lambda N \\ &= 2,1 \times 10^{-6} /s \times 2,7 \times 10^{18} \text{ atom} \\ &= 5,7 \times 10^{12} \text{ kejadian/s} \\ &= 5,7 \times 10^3 \text{ GBq} \\ &= 153 \text{ Ci.} \end{aligned}$$

Unsur – unsur yang mempunyai nomor atom lebih besar dari 83 berada di atas pita kestabilan. Dalam usaha mencapai kestabilannya, unsur-unsur tersebut akan mengemisi radiasi, dengan melakukan peluruhan. Terdapat lima macam peluruhan yang biasa dilakukan oleh unsur radioaktif untuk membentuk konfigurasi yang stabil. Adapun lima jenis peluruhan tersebut adalah:

1. Peluruhan gamma (γ)

Suatu unsur radioaktif yang melakukan peluruhan gamma tidak mengalami perubahan jumlah proton dan netron di dalam inti atom, tetapi mengalami pengurangan energinya.

Peluruhan gamma memancarkan sinar gamma yang merupakan gelombang elektromagnetik yang disebut *foton*. Peluruhan gamma terjadi pada nuklida yang berada dalam keadaan tereksitasi, yaitu nuklida yang memiliki tingkat energi di atas tingkat energi terendahnya (tingkat dasar atau *ground state*). Tingkat energi dasar nuklida adalah energi ikat total dari nuklida. Peluruhan gamma dapat ditulis sebagai berikut.



Contoh :



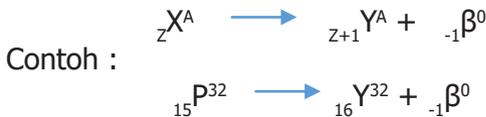
2. Peluruhan Alfa (α)

Peluruhan alfa pada umumnya terjadi pada inti-inti tidak stabil yang relatif berat. Dalam peluruhan ini akan dipancarkan partikel alfa (α), yaitu suatu partikel yang terdiri atas dua proton dan dua neutron, sehingga nuklida baru yang terbentuk akan kehilangan dua proton dan dua neutron. Partikel alfa sama dengan inti atom Helium (${}_2\text{He}^4$). Peluruhan alfa dapat ditulis sebagai berikut:



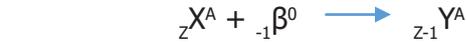
3. Peluruhan Beta (β)

Peluruhan beta terjadi pada inti tidak stabil yang relatif ringan. Dalam peluruhan ini akan dipancarkan partikel beta yang bermuatan negatif (β^-). Terjadi pemancaran elektron oleh neutron nuklir. Pada peluruhan β^- terjadi perubahan neutron menjadi proton di dalam inti atom. Proses peluruhan beta sebagai berikut:



4. Penangkapan elektron

Terjadi penangkapan elektron oleh proton nuklir. Proses peluruhan dengan penangkapan elektron sbb:



5. Peluruhan positron (positif elektron) β^+ terjadi perubahan proton menjadi neutron di dalam inti atom.

Peluruhan β^+ :



Neutrino (ν) dan ($\bar{\nu}$) adalah partikel yang tidak bermassa tetapi berenergi yang selalu mengiringi perubahan β .

6. Peluruhan Gamma (γ)

Dalam penulisan persamaan reaksi peluruhan, selain harus memenuhi hukum kekekalan massa juga harus memenuhi hukum kekekalan muatan, yang menyatakan bahwa massa dan muatan sebelum reaksi dan sesudah reaksi harus sama.

D. Waktu Paroh

Setiap radio isotop memiliki waktu umur paroh atau waktu paroh yang merupakan karakteristik unsur radioaktif. Beberapa unsur radioaktif memiliki waktu paroh dangat kecil yakni seper sejuta detik, namun ada juga yang memiliki waktu paroh sampao milyaran atau bilyun tahun. Waktu paroh / umur paro / waktu

paruh adalah waktu yang diperlukan unsur radioaktif untuk mengalami peluruhan sehingga jumlah atomnya/ massanya/ aktivitasnya tinggal 1/2 dari jumlah semula.

Rumus :

Waktu Paruh

- Waktu paruh dari sebuah materi radioaktif adalah rentang waktu yang dibutuhkan inti untuk meluruh menjadi setengah dari jumlah semulanya

Keterangan:

1 Ci = 3,7 × 10¹⁰ peluruhan/s

1 Bq = 1 peluruhan/s

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda}$$

$T_{1/2}$ = waktu paruh

λ = konstanta peluruhan

Contoh

Suatu unsur radioaktif mempunyai waktu paro 4 jam. Jika semula tersimpan 16 gram unsur radioaktif, maka berapa massa zat yang tersisa setelah meluruh 1 hari ?

Jawab :

Diketahui: $N_0 = 16$ gram
 $T = 1$ hari = 24 jam
 $t_{1/2}$ = waktu paro

Ditanya: $N_t = \dots?$

Jawab: $N_t = N_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{T}{t_{1/2}}}$

$$= 16 \text{ gram} \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{24}{4}}$$

$$= 16 \text{ gram} \left(\frac{1}{2} \right)^6$$

$$= 16 \text{ gram} \cdot \frac{1}{64}$$

$$= \frac{16}{64} = 0,25 \text{ gram}$$

E. Deret Unsur Radioaktif

Deret unsur radioaktif merupakan deret nuklida radioaktif. Pada deret ini setiap anggotanya terbentuk dari hasil peluruhan nuklida sebelumnya. Deret akan berakhir dengan nuklida stabil. Suatu unsur radioaktif (isotop radioaktif) selalu meluruh sehingga terbentuk unsur yang baru. Unsur yang terbentuk masih juga bersifat radioaktif sehingga akan meluruh, demikian terus akan terjadi sehingga akhirnya akan diperoleh hasil akhir terbentuk inti atom yang stabil/ mantap. Dari hasil inti-inti yang terbentuk yang bersifat radioaktif sampai diperoleh inti atom yang stabil/mantap, ternyata terbentuk serangkaian inti-inti atom yang memiliki nomor massa dan membentuk suatu deret.

Misalnya isotop radioaktif ${}_{92}\text{U}^{235}$ meluruh menjadi ${}_{90}\text{Th}^{231}$ dengan memancarkan sinar α , selanjutnya ${}_{90}\text{Th}^{231}$ meluruh menjadi ${}_{91}\text{Pa}^{231}$ dengan memancarkan sinar β . Pemancaran sinar α dan sinar β ini akan berlangsung terus hingga terbentuk inti atom yang stabil yaitu ${}_{82}\text{Pb}^{207}$. Dari serangkaian hasil-hasil inti selama peluruhan (${}_{92}\text{U}^{235}$) sampai terbentuk inti atom yang stabil (${}_{82}\text{Pb}^{207}$) ternyata nomor massa inti yang terbentuk selalu merupakan kelipatan bilangan $(4n + 3)$ di mana n adalah bilangan bulat. Peluruhan yang *diawali* oleh inti induk ${}_{92}\text{U}^{235}$ sehingga diperoleh inti atom akhir ${}_{82}\text{Pb}^{207}$ yang stabil disebut deret radioaktif $(4n + 3)$ yang diberi nama deret *Aktinium*.

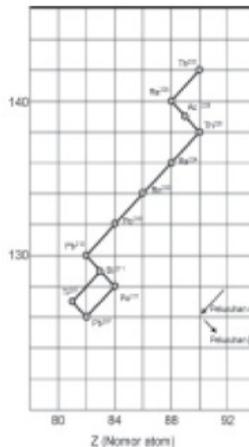
Karena dalam peluruhan radioaktif hanya pemancaran sinar α yang menyebabkan terjadinya perubahan nomor massa inti, maka unsur radioaktif dalam peluruhannya

dapat digolongkan dalam 4 macam deret yaitu deret *Thorium* ($4n$), deret *Neptunium* ($4n + 1$), deret *Uranium* ($4n + 2$) dan deret *Aktinium* ($4n + 3$). Di mana dari keempat deret tersebut tiga merupakan deret radioaktif alami dan satu deret merupakan deret radioaktif buatan, yaitu deret *Neptunium*.

Empat deret radioaktif, yaitu deret *thorium*, *neptunium*, *uranium*, dan *actinium*.

- Deret Thorium

Deret thorium dimulai dari inti induk ${}_{90}^{232}\text{Tl}$ dan berakhir pada inti ${}_{83}^{208}\text{Pb}$. Deret ini juga disebut dengan deret $4n$, sebab nomor massanya selalu kelipatan 4.

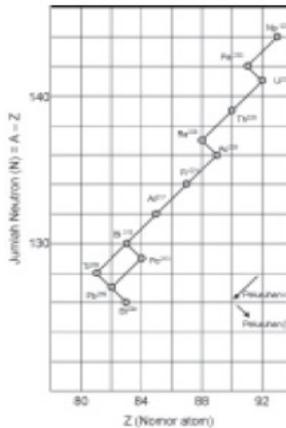


Deret Thorium

- Deret Neptunium

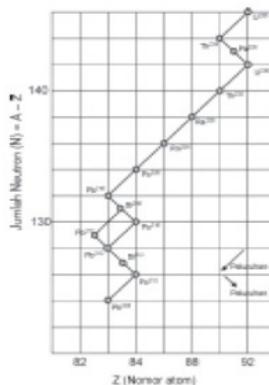
Deret neptunium dimulai dari induk ${}_{93}^{237}\text{Np}$ dan berakhir pada inti ${}_{83}^{208}\text{Bi}$. Deret ini juga disebut deret

$(4n + 1)$, karena nomor massanya selalu dapat dinyatakan dalam bentuk $4n + 1$.



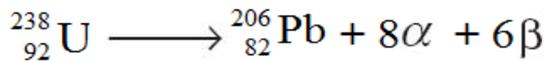
Deret Neptunium

- Deret Uranium
Deret uranium dimulai dari inti induk ^{235}U dan berakhir pada ^{207}Pb . Deret ini disebut juga deret $(4n + 2)$, karena nomor massanya selalu dapat dinyatakan dalam bentuk $4n + 2$.



Deret Uranium

Deret uranium tersebut dapat ditulis secara singkat menjadi :



Berikut Tabel dari Reaksi Peluruhan pada Deret uranium:

No.	Nomor Atom	Unsur	Massa Atom	Sinar	$t_{\frac{1}{2}}$
1.	92	U	238	alfa	$4,5 \times 10^9$ th
2.	90	Th	234	beta	24,1 hari
3.	91	Pa	234	beta	1,14 menit
4.	92	U	234	alfa	$2,35 \times 10^5$ th
5.	90	Th	230	alfa	$8,3 \times 10^4$ th
6.	88	Ra	226	alfa	1620 th
7.	86	Rn	222	alfa	3,82 hari
8.	84	Po	218	alfa	3,05 menit
9.	82	Pb	214	beta	26,8 menit
10.	83	Tl	214	beta	19,7 menit
11.	84	Pb	214	beta + alfa	$1,5 \times 10^{-4}$ detik
12.	81	Bi	210	alfa	1,32 menit
13.	82	Po	210	beta	22 th
14.	83	Bi	210	beta	5 th
15.	84	Po	210	beta	140 hari
16.	82	Pb	206	alfa	-

Deret *thorium* dan deret *neptunium* diberi nama sesuai dengan nama anggota yang mempunyai waktu paroh terpanjang yaitu berturut-turut $1,39 \times 10^{10}$ dan $4,51 \times 10^9$ tahun. Deret *actinium* diawali dari unsur *uranium* (U-235) dengan waktu paroh $7,1 \times 10^8$ tahun. Sedangkan unsur induk deret *neptunium* adalah unsur *neptunium* dengan waktu paroh $2,20 \times 10^6$ tahun.

F. Aplikasi Radioaktivitas dalam Bidang Sains dan Teknologi

- Bidang Kedokteran
Digunakan sebagai perunut untuk mendeteksi berbagai jenis penyakit, antara lain:
 - a ^{24}Na , mendeteksi adanya gangguan peredaran darah.
 - b ^{59}Fe , mengukur laju pembentukan sel darah merah.
 - c ^{11}C , mengetahui metabolisme secara umum
 - d ^{131}I , mendeteksi kerusakan pada kelenjar tiroid.
 - e ^{32}P , mendeteksi penyakit mata, liver, dan adanya tumor.
- Bidang Industri
Digunakan untuk meningkatkan kualitas produksi, seperti pada:
 - a. Industri makanan, sinar gamma untuk mengawetkan makanan, membunuh mikroorganisme yang menyebabkan pembusukan pada sayur dan buah-buahan.
 - b. Industri metalurgi, digunakan untuk mendeteksi rongga udara pada besi cor, mendeteksi sambungan pipa saluran air, keretakan pada pesawat terbang, dan lain-lain.
 - c. Industri kertas, mengukur ketebalan kertas.
 - d. Industri otomotif, mempelajari pengaruh oli dan aditif pada mesin selama mesin bekerja.

Bidang Hidrologi

- a ^{24}Na dan ^{131}I , digunakan untuk mengetahui kecepatan aliran air sungai.

- b. Menyelidiki kebocoran pipa air bawah tanah.
 - c. $_{14}\text{C}$ dan $_{13}\text{C}$, menentukan umur dan asal air tanah.
- Bidang Kimia
 - a. Digunakan untuk analisis penelusuran mekanisme reaksi kimia, seperti:
 - b. Dengan bantuan isotop oksigen-18 sebagai atom perunut, dapat ditentukan asal molekul air yang terbentuk.
 - c. Analisis pengaktifan neutron
 - d. Sumber radiasi dan sebagai katalis pada suatu reaksi kimia.
 - e. Pembuatan unsur-unsur baru.
 - Bidang Biologi
 - a. Mengubah sifat gen dengan cara memberikan sinar radiasi pada gen-gen tertentu.
 - b. Menentukan kecepatan pembentukan senyawa pada proses fotosintesis menggunakan radioisotop C-14.
 - c. Meneliti gerakan air di dalam batang tanaman.
 - d. Mengetahui ATP sebagai penyimpan energi dalam tubuh dengan menggunakan radioisotop $_{38}\text{F}$.
 - Bidang Pertanian
 - a. $_{37}\text{P}$ dan $_{14}\text{C}$, mengetahui tempat pemupukan yang tepat.
 - b. $_{32}\text{P}$, mempelajari arah dan kemampuan tentang serangga hama.
 - c. Mutasi gen atau pemuliaan tanaman.
 - d. $_{14}\text{C}$ dan $_{18}\text{O}$, mengetahui metabolisme dan proses fotosintesis.

- Bidang Peternakan
 - a. Mengkaji efisiensi pemanfaatan pakan untuk produksi ternak.
 - b. Mengungkapkan informasi dasar kimia dan biologi maupun antikuualitas pada pakan ternak
 - c. ^{32}P dan ^{35}S , untuk pengukuran jumlah dan laju sintesis protein di dalam usus besar.
 - d. ^{14}C dan ^3H , untuk pengukuran produksi serta proporsi asam lemak mudah
 - e. menguap di dalam usus besar.

- Sebagai Sumber Radiasi
 - a. Bidang Kedokteran Digunakan untuk sterilisasi radiasi, terapi tumor dan kanker.
 - b. Bidang Industri, digunakan untuk:
 - 1) Perbaikan mutu kayu dengan penambahan monomer yang sudah diradiasi, kayu menjadi lebih keras dan lebih awet.
 - 2) Perbaikan mutu serat tekstil dengan meradiasi serat tekstil, sehingga titik leleh lebih tinggi dan mudah mengisap zat warna serta air
 - 3) Mengontrol ketebalan produk yang dihasilkan, seperti lembaran kertas, film, dan lempeng logam.
 - 4) ^{60}Co untuk penyamakan kulit, sehingga daya rentang kulit yang disamak dengan cara ini lebih baik daripada kulit yang disamak dengan cara biasa.
 - c. Bidang Peternakan, Digunakan untuk:
 - 1) Mutasi gen dengan radiasi untuk pemuliaan tanaman.
 - 2) Pemberantasan hama dengan meradiasi serangga jantan sehingga mandul.

- 3) Pengawetan bahan pangan dengan radiasi sinar-X atau gamma untuk membunuh telur atau larva.
- 4) Menunda pertunasan pada bawang, kentang, dan umbi-umbian untuk memperpanjang masa penyimpanan.

Dampak negatif dari radiasi unsur radioaktif, antara lain:

1. Radiasi zat radioaktif dapat memperpendek umur manusia. Hal ini karena zat radioaktif dapat menimbulkan kerusakan jaringan tubuh dan menurunkan kekebalan tubuh.
2. Radiasi zat radioaktif terhadap kelenjar-kelenjar kelamin dapat mengakibatkan kemandulan dan mutasi genetik pada keturunannya.
3. Radiasi zat radioaktif dapat mengakibatkan terjadinya pembelahan sel darah putih, sehingga mengakibatkan penyakit leukimia.

G. SOAL DAN PEMBAHASAN

1. Waktu paruh ^{24}Na ialah 15 hari. Berapa lamakah waktu yang diperlukan supaya 80 persen sampel nuklide ini meluruh?

Penyelesaian :

$$\text{Diketahui : } T_{1/2} = 1,83 \times 10^3 \text{ tahun} = 5,771 \times 10^{16} \text{ s}$$

$$\text{Massa sampel } m = 19 = 1 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

$$A = 40 \text{ sma} = 66,4 \times 10^{-27} \text{ Kg}$$

Ditanya : Aktivitas (R) =...?

Dijawab :

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{1 \times 10^3 \text{ kg}}{66,4 \times 10^{-27} \text{ kg}} \\
 &= 0,015 \times 10^{24} \text{ atom} \\
 &= 15 \times 10^{21} \text{ atom} \\
 \lambda &= \frac{0,693}{T_{1/2}} \\
 &= \frac{0,693}{5,771 \times 10^{16} \text{ s}} \\
 &= 0,12 \times 10^{-16} /\text{s} \\
 &= 12 \times 10^{-18} /\text{s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R &= \lambda \cdot N \\
 &= (12 \times 10^{-18} /\text{s})(15 \times 10^{21} \text{ atom}) \\
 &= 1,8 \times 10^5 \text{ atom}
 \end{aligned}$$

2. Aktivitas unsur radioaktif tertentu menurun 15% dari aktivitasnya semula dalam waktu 10 hari. Hitunglah waktu parohnya?

Diketahui:

$$R = 0,85 R_0$$

Ditanya : $T_{1/2} = \dots?$

Jawab :

$$R = R_0 e^{-\lambda t}$$

$$0,85R_0 = R_0 e^{-\lambda t}$$

$$\ln 0,85 = -\lambda \cdot 86400 \text{ s}$$

$$\lambda = 1,88 \times 10^{-7} /\text{s}$$

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda}$$

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{1,88 \times 10^{-7} /\text{s}}$$

$$T_{1/2} = 3,69 \times 10^6 \text{ s}$$

3. Satu gram ^{226}Ra beraktivitas sebesar 1 Ci. Dari fakta tersebut tentukan waktu paroh ^{236}Ra (anggap massa atomiknya dalam satuan massa atomik sama dengan nomor massa)

Diketahui :

$$R = 1 \text{ Ci} = 37 \times 10^9 \text{ Bq}$$

$$m = 1 \text{ g} = 1 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

$$A = 226 \text{ sma} = 375,18 \times 10^{-23} \text{ Kg}$$

Ditanya : $T_{1/2}$

Jawab :

$$N = \frac{m}{A} = \frac{1 \times 10^{-3} \text{ Kg}}{375,18 \times 10^{-23} \text{ Kg}} = 27 \times 10^{20} \text{ atom}$$

$$\lambda = \frac{R}{N} = \frac{37 \times 10^9 \text{ Bq}}{27 \times 10^{20} \text{ atom}} = 1.37 \times 10^{-11} / \text{s}$$

$$T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} = \frac{0.693}{1.37 \times 10^{-11} / \text{s}} = 5.06 \times 10^{10} \text{ sekon}$$

4. Massa sampel atom ^{214}Pb satu millicurie ialah $3 \times 10^{-14} \text{ kg}$. Hitunglah konstanta peluruhan ^{214}Pb .

Diketahui :

$$R = 1 \text{ millicurie} = 1 \times 10^{-3} \text{ Ci} = 3,7 \times 10^7 \text{ Bq} = 3,7 \times 10^7 \text{ atom/s}$$

$$m_{\text{pb}} = 3 \times 10^{-14} \text{ kg}$$

$$A = 214 \text{ sma} = 355,24 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

Ditanya : $\lambda = \dots?$

Jawab :

$$N = \frac{m_{\text{pb}}}{A}$$

$$N = \frac{3 \times 10^{-14} \text{ kg}}{355,24 \times 10^{-27} \text{ kg}}$$

$$N = 0,0084 \times 10^{13} \text{ atom}$$

$$N = 84 \times 10^9 \text{ atom}$$

$$\lambda = \frac{R}{N}$$

$$\lambda = \frac{3,7 \times 10^7 \text{ atom/s}}{84 \times 10^9 \text{ atom}}$$

$$\lambda = 0,044 \times 10^{-2}/s$$

$$\lambda = 4,4 \times 10^{-4}/s$$

5. Waktu paroh ${}_{92}^{238}\text{U}$ terhadap peluruhan alfa ialah 4,5 x 10⁹ tahun. Hitunglah aktivitas dari 1 g ${}_{92}^{238}\text{U}$

Diketahui:

$$T_{1/2} = 4,5 \times 10^9 \text{ tahun}$$

$$= 1,42 \times 10^{17} \text{ s}$$

$$A \text{ } {}_{92}^{238}\text{U} = 238 \text{ sma}$$

$$m \text{ sampel } {}_{92}^{238}\text{U} = 1 \text{ g}$$

$$\text{Ditanya: } R = \dots\dots?$$

Dijawab:

$$N = \frac{m \text{ U}}{m \text{ U}} \times N_A$$

$$= \frac{1 \text{ g}}{2,58 \text{ sma}} \times (6,02 \times 10^{23})$$

$$= 2,53 \times 10^{21}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

$$= \frac{0,693}{1,42 \times 10^{17} \text{ s}}$$

$$= 4,9 \times 10^{-18}$$

$$R = \lambda \cdot N$$

$$= 4,9 \times 10^{-18} \cdot 2,53 \times 10^{21}$$

$$= 12,4 \times 10^3 \text{ atom/sekon}$$

$$= 3,4 \times 10^{-7} \text{ Ci}$$

6. Isotop Kalium ${}_{19}^{40}\text{K}$ mengalami peluruhan beta dengan waktu paroh $1,83 \times 10^9$ tahun. Hitunglah banyaknya peluruhan beta yang terjadi perdetik dari sampel sebesar $1 \text{ g } {}_{19}^{40}\text{K}$.

Diketahui:

$$T_{1/2} = 1,83 \times 10^9 \text{ tahun}$$

$$\text{Massa sampel } m = 1 \text{ g} = 1 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$\text{Nomor massa } A = 40 \text{ sma} = 66,4 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

Ditanya : $R = \dots?$

Dijawab:

$$\begin{aligned} N &= \frac{1 \times 10^{-3} \text{ kg}}{66,4 \times 10^{-27} \text{ kg}} \\ &= 0,015 \times 10^{24} \text{ atom} \\ &= 15 \times 10^{21} \text{ atom} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{0,693}{T_{1/3}} \\ &= \frac{0,693}{5,771 \times 10^{16} \text{ S}} \\ &= 0,12 \times 10^{-16} / \text{S} \\ &= 12 \times 10^{-18} / \text{S} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \lambda \times N \\ &= 12 \times 10^{-18} / \text{S} \times 15 \times 10^{21} \text{ atom} \\ &= 180 \times 10^3 \text{ atom/s} \\ &= 1,8 \times 10^5 \text{ atom/s} \end{aligned}$$

7. Waktu paroh pemancar alfa ${}^{210}\text{Po}$ ialah 138 hari. Berapa massa ${}^{210}\text{Po}$ supaya menjadi sumber aktivitas 10 mCi ?

Diketahui:

$$R = 10 \text{ mCi}$$

$$T_{1/2} = 138 \text{ hari} = 119,232 \times 10^5 \text{ s}$$

$$A = 210 \text{ sma} = 348,6 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

Ditanya : massa sampel $m = \dots\dots\dots?$

Dijawab:

$$\lambda = \underline{0,693}$$

$$\begin{aligned} & T_{1/2} \\ &= \frac{0,693}{119,232 \times 10^5 \text{ s}} \\ &= 5,81 \times 10^{-5}/\text{s} \end{aligned}$$

$$N = \frac{R}{\lambda}$$

$$\begin{aligned} & \lambda \\ &= \frac{3,7 \times 10^8 \text{ atom/s}}{5,81 \times 10^{-5} / \text{s}} \\ &= 0,638 \times 10^{16} \text{ atom} \end{aligned}$$

$$N = m/A$$

$$m = N \cdot A$$

$$\begin{aligned} &= 0,638 \times 10^{16} \text{ atom} \cdot 348,6 \times 10^{-27} \text{ kg} \\ &= 2,22 \times 10^{-9} \text{ kg} \end{aligned}$$

Konversi Satuan

Konversi Panjang

1 km	= 0,6215 mil
1 mil	= 1,609 km
1 m	= 1,0936 yard = 3,281 kaki = 39,37 inci
1 inci	= 2,54 cm
1 kaki	= 12 inci = 30,48 cm
1 yard	= 3 kaki = 91,44 cm
1 tahun cahaya	= 1 c .tahun = $9,461 \times 10^{15}$ m

Konversi Massa

1 kg	= 1000 g
1 ton	= 1000 kg = 1 Mg
1 u	= $1,6606 \times 10^{-27}$ kg = $931,50 \text{ MeV}/c^2$
1 kg	= $6,022 \times 10^{23}$ u
1 slug	= 14,59 kg
1 kg	= $6,852 \times 10^{-2}$ slug

Konversi Waktu

1 jam	= 60 menit = 3,6 ks
1 hari	= 24 jam = 1440 menit = 86,4 ks
1 tahun	= 365,24 hari = 31,56 Ms

Konversi Luas

1 m ²	= 1064 cm ²
1 km ²	= 0,3861 mil ² = 247,1 are
1 inci ²	= 6,4516 cm ²
1 kaki ²	= $9,29 \times 10^{-2}$ m ²
1 m ²	= 10,76 kaki ²
1 are	= 43.560 kaki ²
1 mil ²	= 640 are = 2,590 km ²

Konversi Volume

1 m ³	= 10 ⁶ cm ³
1 L	= 1000 cm ³ = 10 ⁻³ m ³
1 gal	= 3,786 L
1 gal	= 4 qt = 8 pt = 128 oz = 231 inci ³
1 inci ³	= 16,39 cm ³
1 kaki ³	= 1728 inci ³ = 28,32 L = 2,832 x 10 ⁴ cm ³

Konversi Kelajuan

1 km/jam	= 0,2778 m/s = 0,6215 mil/jam
1 mil/jam	= 0,4470 m/s = 1,609 km/jam
1 mil/jam	= 1,467 kaki/s

Konversi Sudut dan Kecepatan Sudut

1 (phi) rad	= 180 ^o
1 rad	= 57,30 ^o
1 ^o	= 1,745 x 10 ⁻² rad
1 rev/menit	= 0,1047 rad/s
1 rad/s	= 9,549 rev/menit

Konversi Massa Jenis

1 g/cm ³	= 1000 kg/m ³ = 1 kg/L
(1 g/cm ³)g	= 62,4 pon/kaki ³

Konversi Gaya

1 N	= 0,2248 pon = 10 ⁵ dyne
1 pon	= 4,4482 N
(1 kg)	= 2,2046 pon

Konversi Tekanan

1 Pa	= 1N/m ²
1 atm	= 101,325 kPa = 1,01325 bar
1 atm	= 14,7 pon/inci ² = 760 mmHg = 29,9 inciHg

$$\begin{aligned}
 &= 33,8 \text{ kaki H}_2\text{O} \\
 1 \text{ pon/inci}^2 &= 6,895 \text{ kPa} \\
 1 \text{ torr} &= 1 \text{ mmHg} = 133,32 \text{ Pa} \\
 1 \text{ bar} &= 100 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

Konversi Energi

$$\begin{aligned}
 1 \text{ kW.h} &= 3,6 \text{ MJ} \\
 1 \text{ kal} &= 4,1840 \text{ J} \\
 1 \text{ kaki.pon} &= 1,356 \text{ J} = 1,286 \times 10^{-3} \text{ Btu} \\
 1 \text{ L.atm} &= 101,325 \text{ J} \\
 1 \text{ L.atm} &= 24,217 \text{ kal} \\
 1 \text{ Btu} &= 778 \text{ kaki.pon} = 252 \text{ kal} = 1054,35 \text{ J} \\
 1 \text{ eV} &= 1,602 \times 10^{-19} \text{ J} \\
 1 \text{ u.c}^2 &= 931,50 \text{ MeV} \\
 1 \text{ erg} &= 10^{-7} \text{ J}
 \end{aligned}$$

Konversi Daya

$$\begin{aligned}
 1 \text{ daya kuda (hp)} &= 550 \text{ kaki.pon/s} = 745,7 \text{ W} \\
 1 \text{ Btu/ menit} &= 17,58 \text{ W} \\
 1 \text{ W (watt)} &= 1,341 \times 10^{-3} \text{ dayakuda} = 0,7376 \text{ kaki.pon/s}
 \end{aligned}$$

Konversi Medan Magnet

$$\begin{aligned}
 1 \text{ G (gauss)} &= 10^{-4} \text{ T} \\
 1 \text{ T (tesla)} &= 10^4 \text{ G}
 \end{aligned}$$

Konversi Konduktivitas Termal

$$\begin{aligned}
 1 \text{ W/m.K} &= 6,938 \text{ Btu.inci/jam.kaki}^2.\text{F}^\circ \\
 1 \text{ Btu.inci/jam.kaki}^2.\text{F}^\circ &= 0,1441 \text{ W/m.K}
 \end{aligned}$$

Konversi Massa Jenis

$$\begin{aligned}
 1 \text{ g/cm}^3 &= 1000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ kg/L} \\
 (1 \text{ g/cm}^3) &= 62,4 \text{ pon/kaki}^3
 \end{aligned}$$

Konversi Gaya

$$1 \text{ N} = 0,2248 \text{ pon} = 10^5 \text{ dyne}$$

$$1 \text{ pon} = 4,4482 \text{ N}$$

$$(1 \text{ kg}) = 2,2046 \text{ pon}$$

Konversi Tekanan

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ atm} = 101,325 \text{ kPa} = 1,01325 \text{ bar}$$

$$1 \text{ atm} = 14,7 \text{ pon/inci}^2 = 760 \text{ mmHg} = 29,9 \text{ inciHg} \\ = 33,8 \text{ kakiH}_2\text{O}$$

$$1 \text{ pon/inci}^2 = 6,895 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ torr} = 1 \text{ mmHg} = 133,32 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa.}$$

Konversi Satuan Lain (Jumlah)

$$1 \text{ gross} = 144 \text{ buah} = 12 \text{ lusin}$$

$$1 \text{ lusin} = 12 \text{ buah}$$

$$1 \text{ kodi} = 20 \text{ helai}$$

$$1 \text{ rim} = 500 \text{ lembar}$$

Awalan Pada Satuan, Abjad Yunani

No.	Faktor Perkalian	Awalan	Lambang
1	10^{24}	Yotta	Y
2	10^{21}	Zetta	Z
3	10^{18}	Eksa	E
4	10^{15}	Penta	P
5	10^{12}	Tera	T
6	10^9	Giga	G
7	10^6	Mega	M
8	10^3	Kilo	k
9	10^2	hekto	h
10	10^1	deka	da
11	10^0	-	-
12	10^{-1}	desi	d
13	10^{-2}	centi	c
14	10^{-3}	Mili	m
15	10^{-6}	mikro	μ
16	10^{-9}	nano	n
17	10^{-12}	piko	p
18	10^{-15}	femto	f
19	10^{-18}	ato	a
20	10^{-21}	zepto	z
21	10^{-24}	yokto	y

Tetapan Fisis

Cepat rambat cahaya dalam ruang hampa	$c = 2,9979 \times 10^8 \text{ m/s}$
Percepatan gravitasi bumi	$g = 9,807 \text{ m/s}^2$
Tetapan gravitasi umum	$= 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$
Tetapan Coulomb	$k = 8,988 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$
Volume gas ideal dalam keadaan normal (STP)	$= 22,4 \text{ m}^3/\text{kmol}$
Bilangan Avogadro	$N_A = 6,022 \times 10^{23} /\text{mol}$
Tetapan gas umum	$R = 8314 \text{ J/kmol.K}$
Tara kalor mekanik	$= 4,184 \text{ J/cal}$
Tetapan Stefan-Boltzman	$= 5,67 \times 10^8 \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$
Tetapan Planck	$h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$
Tetapan Faraday	$= 9,6485 \times 10^4 \text{ C/mol}$
Tetapan Boltzman	$k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
Massa elektron	$m_e = 9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$
Muatan elektron	$e = 1,6022 \times 10^{-19} \text{ C}$
Massa proton	$m_p = 1,6726 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Massa netron	$m_n = 1,6749 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Massa partikel alfa	$= 6,645 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Satuan massa energi 1μ	$1\mu = 931,5 \text{ MeV}$
Tekanan atmosfer	$= 1,0132 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

Daftar Pustaka

- Adiwardoyo, dkk. 2009. *Mengenal Reaktor Nuklir dan Manfaatnya*. Jakarta : Badan Tenaga Nuklir Nasional Pusat Diseminasi Iptek Nuklir.
- Arthur Beiser, 2003. *Concepts of Modern Physics, sixth edition*, McGraw-Hill, USA
- Ikawati, Yuni, dkk. 2008. *50 Tahun BATAN Berkarya*. Jakarta: Badan Tenaga Nuklir Nasional.
- Jean-Louis Basdevant, et al., 2002. *Fundamentals In Nuclear Physics*, Springer, France
- Kenneth S. Krane, 1988. *Introduction nuclear physics*, John Wiley & Sons, Inc., USA
- Patel, S.B. 1991. *Nuclear Physics , An Introduction*, New Age International, New Delhi
- Sagala, F.P., dkk. 2003. *Model Atom, Uranium dan Prospeknya sebagai Energi Masa Depan*. Jakarta : Badan Tenaga Nuklir Nasional Pusat Diseminasi Iptek Nuklir.
- Sukmanawati, W. 2009. *Kimia 3 : Untuk SMA/ MA Kelas XII*. Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta, p. 266
- Wardana, Arya Wisnu. 1996. *Radioekologi*. Yogyakarta, Penerbit Andi.

<http://www.suaramedia.com/berita-dunia/asia/40822-drama-tragedi-nuklir-jepang-hancurkan-citra-as.html> diakses tanggal 28 Maret 2014

http://id.wikipedia.org/wiki/Reaktor_nuklir diakses 3 april 2014

<http://indone5ia.wordpress.com/2012/02/17/prinsip-kerja-pembangkit-listriktenaga-nuklir/> diakses 3 April 2014

<http://septiadih.wordpress.com/2011/04/07/reaktor-nuklir-serta-pengaruh-peristiwa-kebocorannya-terhadap-manusia-dan-lingkungan/> diakses 3 April 2015

Profil Penulis



Dr. Laili Komariyah, M.Si lahir di Kabupaten Tulungagung tanggal 18 Agustus 1966. Riwayat pendidikan diawali dari pendidikan dasar di SD Negeri 1 Boyolangu (tahun 1972-1979) dan di SMP Negeri 2 Tulungagung (tahun 1979-1982). Adapun jenjang Pendidikan menengahnya di SMPP Tulungagung (tahun 1982-1985). Melanjutkan kuliah di IKIP Negeri Malang (tahun 1985-1990) mengambil jurusan Pendidikan Fisika melalui jalur PMDK.

Sejak Maret 1991 hingga sekarang menjadi dosen pada program studi pendidikan fisika dan pendidikan geografi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan (FKIP) Universitas Mulawarman di Samarinda Kalimantan Timur. Pernah menjabat sebagai Ketua Program Studi Pendidikan Fisika selama 2 periode (2008-2016). Setelah habis masa jabatan ketua program Studi di Fisika, selanjutnya menjadi Ketua Program Studi Pendidikan Geografi (2016-2020). Saat ini menjabat sebagai Sekretaris Program Doktor Manajemen Pendidikan.

Pendidikan Magister mengambil program studi Ilmu Lingkungan di Universitas Mulawarman (2014-2016). Pendidikan Doktor bidang Manajemen Pendidikan di Universitas Negeri Jakarta (2009-2012).

Setelah lulus doktor langsung aktif menjadi tenaga pengajar di program Magister (S2) Manajemen Pendidikan, dan Program Doktor (S3) Manajemen Pendidikan FKIP UNMUL. Mulai Tahun 2018 ini menjadi ketua Unit Penjamin Mutu Program Doktor (S3) Manajemen Pendidikan. Untuk berkorespondensi atau berdiskusi terkait buku ini dengan Laili Komariyah dapat melalui: lailikomariyah@yahoo.com

Awal Syaddad



Dikenal sebagai Coach Nasional Satu Guru Satu Buku dan Mentor Nasional Guru Menulis. Target pada tahun 2018, Awal Syaddad melatih minimal 1000 guru di seluruh Indonesia. Dia menjadi mentor menulis di Mentoring Guru Menulis dan Satu Guru Satu Buku. Sudah puluhan alumni terbit bukunya setelah dibimbing

olehnya.

Sudah mengisi workshop penulisan buku ke seluruh pelosok Indonesia. Di antaranya Parepare, Papua Barat, Sampang - Madura I, Sampang-Madura 2, Jakarta, Makassar, Balikpapan, Pasuruan, Penajam Paser Utara, Samarinda dan beberapa wilayah lainnya. Dia juga mencetak puluhan penulis lewat Kaaffah Learning Center.

Awal Syaddad sudah menulis 5 buku (Strategi Menulis Puisi Kreatif, 5 Langkah Dahsyat Melejitkan Potensi Diri, Sekali Action Langsung Eksis dan buku keempat dan kelima dalam proses perampungan naskah).

Awal Syaddad bisa dikontak di
Email : trainerpengembangandiri@gmail.com
Instagram : @guruawal
HP/WA : 089691710768
FB : <https://facebook.com/GuruAwal/>