

Untuk Kalangan Sendiri

# MODUL

# FISIKA MODERN

---

Program Studi Pendidikan Fisika

Universitas HKBP Nommensen Medan

Erni Kusriani Sitinjak, S.Pd., M.Pd



**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS HKBP NOMMENSEN**

Jln. Sutomo No. 4-A Ged. Mayjen TNI A.E ManihurukLantai II Kantor FKIP Telp. 061-4522922; Fax. 4571426 Medan

---

**SURAT KETERANGAN**

Nomor : 101/FIS/FKIP-M/II/2023

Bersama dengan ini, Ketua Program Studi Pendidikan Fisika Universitas HKBP Nommensen Medan, dengan ini menerangkan bahwa Modul :

Judul : Modul Fisika Modern

Tahun : 2023

Nama Dosen : Erni Kusrini Sitinjak, S.Pd., M.Pd

Layak digunakan dalam mata kuliah Fisika Modern pada semester Genap T.A 2022/2023 di Program Studi Pendidikan Fisika Universitas HKBP Nommensen Medan.

Demikian surat keterangan ini diperbuat dengan sebenarnya untuk dapat digunakan seperlunya.

Hormat kami

Plt. Ketua Prodi

Parlindungan Sitorus, S.Si., M.Si

## **KATA PENGANTAR**

Puji dan Syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmatNya sehingga modul Fisika Modern ini dapat diselesaikan. Modul ini digunakan di lingkungan FKIP Universitas HKBP Nommensen Medan pada Program Studi Pendidikan Fisika. Modul ini adalah bahan ajar untuk mata kuliah Fisika Modern yang diuraikan dengan jelas sehingga memudahkan mahasiswa untuk mengikuti dan memahami materi perkuliahan. Modul ini terdiri dari XII Bab yang penyajiannya disertai dengan penjelasan materi, contoh – contoh soal serta soal latihan untuk mengasah kemampuan mahasiswa serta melihat sejauh mana penguasaan mahasiswa akan setiap topik.

Untuk membantu Anda memperjelas dan memperdalam penguasaan teori dan mempertajam bagian-bagian penting tertentu yang tanpa itu para mahasiswa disarankan untuk belajar secara aktif dan memperkaya modul ini dengan mencari sumber referensi lainnya sehingga proses pembelajaran mahasiswa lebih efektif.

Semoga modul ini dapat bermanfaat bagi mahasiswa dalam mempelajari Fisika Modern dan bagi pembaca pada umumnya dalam bidang Fisika.

Pematangsiantar,

Erni Kusriani Sitinjak, S.Pd., M.Pd

## **Daftar Isi**

Pendahuluan .....	i
Daftar Isi .....	ii
BAB I. Transformasi Lorentz Dan Momentum Relativistik .....	1
BAB II. Teori Kuantum Cahaya .....	12
BAB III. Model Atom .....	24
BAB IV. Sifat Gelombang Materi .....	29
BAB V. Bilangan Kuantum Dan Konfigurasi Elektron .....	70
BAB VI. Struktur Molekul.....	107
BAB VII. Teori Pita Energi Dan Piranti Semikonduktor .....	122
BAB VIII. Struktu Inti Atom .....	148
BAB IX. Energi Ikat Dan Gaya Inti .....	151
BAB X. Radioaktivitas .....	155
BAB XI. Peluruhan.....	158
BAB XII Reaksi Inti, Reaksi Fusi Dan Fisi Nuklir .....	158

# BAB I

## TRANSFORMASI LORENTZ DAN MOMENTUM RELATIVISTIK

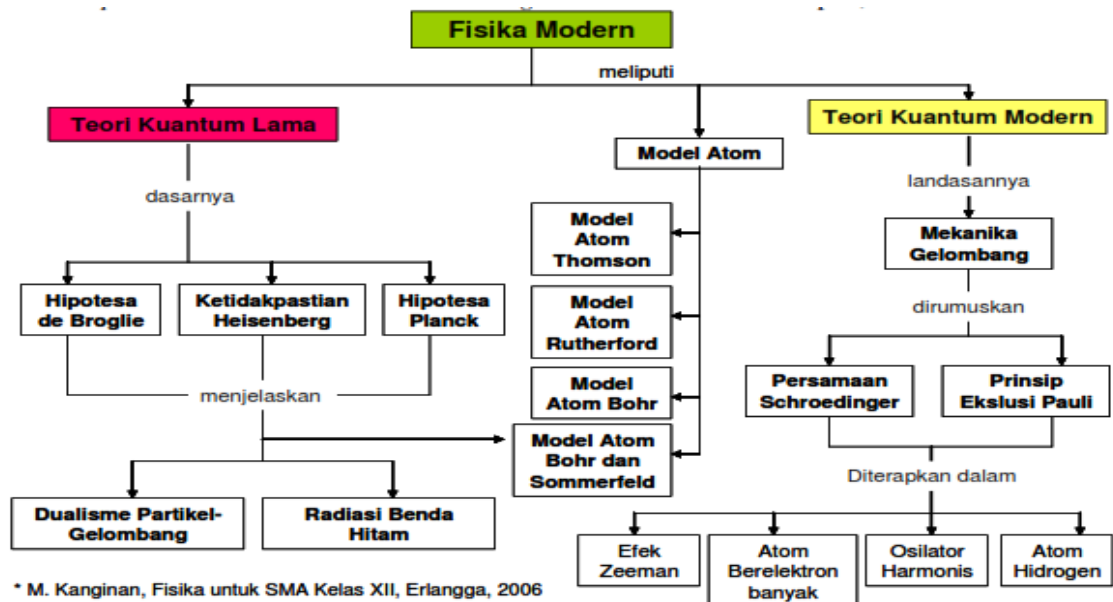
### 1.1 PENDAHULUAN

Ilmu Fisika Modern dikembangkan pada awal abad 20, dimana perumusan - perumusan dalam Fisika Klasik tidak lagi mampu menjelaskan fenomena – fenomena yang terjadi pada materi yang sangat kecil. Fisika Modern diawali oleh hipotesa Planck yang menyatakan bahwa besaran energi suatu benda yang berosilasi (osilator) tidak lagi bersifat kontinu, namun bersifat diskrit (kuanta), sehingga muncullah istilah Fisika Kuantum dan ditemukannya konsep dualisme partikel-gelombang. Konsep dualisme dan besaran kuantum ini merupakan dasar dari Fisika Modern.

Perbedaan fisika modern dengan fisika klasik yaitu fisika modern mempelajari perilaku materi dan energy pada skala atomik, partikel subatomik atau gelombang dan pada skala kecepatan yang sangat tinggi yaitu mendekati kecepatan cahaya  $c = 3 \times 10^8$  m/s atau disebut juga pada kecepatan relativistik.

### 1.2 KONSEP FISIKA MODERN

Secara umum pembahasan Fisika Modern terbagi atas dua yaitu: Teori Kuantum Lama dan Teori Kuantum Modern. Cakupan bahasan Fisika Modern dapat dilihat pada diagram yang ditunjukkan gambar berikut:



Konsep yang paling mendasar dalam fisika modern adalah konsep dualism partikel dan gelombang, dimana partikel berperilaku sebagai gelombang dan gelombang berperilaku sebagai partikel. Konsep dualism partikel-gelombang ini diamati oleh 2(dua) eksperimen

yaitu efek fotolistrik oleh Albert Einstein dan eksperimen difraksi partikel/elektron oleh G.P. Thomson dan Davison Germer.

### 1.3 TEORI RELATIVITAS KHUSUS

Pada Tahun 1905 Albert Einstein mempublikasikan teori relativitas khusus, yang merupakan kontribusi penting bagi sains . Kedua postulat yang dikemukakan oleh Einstein adalah sebagai berikut :

1. Hukum fisika adalah sama untuk semua kerangka acuan inersial, yaitu suatu kerangka acuan yang berada dalam keadaan diam atau bergerak terhadap acuan lainnya dengan kecepatan konstan pada suatu garis lurus. Semua gerak adalah relatif. Kecepatan obyek hanya dapat dinyatakan secara relatif terhadap obyek lainnya dan tidak mungkin dinyatakan secara mutlak.
2. Kelajuan cahaya dalam vakum memiliki nilai yang sama dalam semua kerangka acuan inersial yaitu sebesar  $c = 3 \times 10^8$  m/s.

### 1.4 TRANSFORMASI LORENTZ

Pada kasus kecepatan benda mendekati kecepatan cahaya tersebut maka Transformasinya dikenal dengan nama Transformasi Lorentz, yang dikembangkan oleh Hendrik A Lorentz pada tahun 1890. Apabila persamaan transformasi koordinat Galilean diterapkan pada kasus kecepatan besar yaitu mendekati kecepatan cahaya maka hasilnya menjadi salah (tidak sesuai dengan fakta eksperimen).

Persamaan Transformasi Lorentz dituliskan pada persamaan berikut:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} > 1$$

Dengan :

$\gamma$  = tetapan transformasi

$v$  = kecepatan relativistik benda ( m/s )

$c$  = kelajuan cahaya dalam vakum =  $3 \times 10^8$  m/s

## 1.5 DILATASI WAKTU

Dilatasi waktu merupakan fenomena nyata dan telah dibuktikan melalui berbagai eksperimen. Sebagai contoh adalah pengukuran waktu hidup partikel muon. Bagaimana bila fenomena itu diterapkan pada organisme, misalnya orang pergi keluar angkasa dengan pesawat yang kecepatannya mendekati kecepatan cahaya, apakah ketika ia balik lagi ke bumi usianya menjadi lebih muda dari teman seangkatannya di bumi? Fenomena tersebut disering disebut paradok anak kembar.

Untuk mengukur selang waktu relatif antara dua kejadian yang terjadi pada tempat yang sama dan diukur oleh pengamat yang diam serta oleh pengamat yang bergerak dengan kecepatan relativistik maka digunakan rumus :

$$\Delta t = \gamma \Delta t_0 = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Dengan:

$\Delta t$  = selang waktu relativistik ( sekon )

$\Delta t_0$  = selang waktu sejati ( sekon )

## 1.6 KONTRAKSI LORENTZ / DILATASI PANJANG

Jika seorang pengamat dalam keadaan diam mengukur panjang suatu benda dalam komponen x dan mendapatkan panjang benda tersebut adalah  $L_0$  maka  **$L_0$  disebut panjang sejati** benda tersebut. Selanjutnya jika benda tersebut kemudian diberi kecepatan  $v$  dalam arah x atau **sejajar** terhadap arah memanjang benda, maka menurut pengamat yang diam, komponen x benda panjangnya akan tampak berubah dan disebut **panjang relativistik  $L$**  ( Perhatikan, hanya komponen x saja yang tampak berubah sedangkan komponen y dan z yang tegak lurus terhadap arah gerak tidak mengalami perubahan ). Panjang relativistik ini dirumuskan sebagai :

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = L_0 \cdot \frac{1}{\gamma}$$

Dengan :

$L$  = panjang relativistik ( m )

$L_0$  = panjang sejati ( diam ) ( m )

## 1.7 MASSA DAN MOMENTUM RELATIVISTIK

Menurut pemahaman fisika klasik yang sebelumnya selalu dianut, massa adalah besaran yang bersifat mutlak, demikian pula dengan panjang dan selang waktu. Tetapi dengan teori relativitas khusus telah dibuktikan bahwa panjang dan selang waktu ternyata bersifat relatif, sehingga menimbulkan pertanyaan mungkinkah massa juga bersifat relatif.

Berdasarkan hukum kekekalan momentum akhirnya Einstein kembali dapat membuktikan bahwa massa suatu benda yang bergerak dengan kecepatan relativistik akan bertambah besar dan berarti bersifat relativistik pula. Besarnya massa relativistik ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \gamma m_0$$

Dengan:

- m = massa relativistik ( diukur terhadap kerangka acuan yang *bergerak* terhadap benda ) dalam kg
- m<sub>0</sub> = massa diam benda ( diukur terhadap kerangka acuan yang diam terhadap benda ) dalam kg
- v = kelajuan relativistik benda ( m/s )
- c = kelajuan cahaya dalam vakum = 3 x 10<sup>8</sup> m/s

Pada fisika klasik sudah dijelaskan bahwa jika suatu benda yang bermassa m bergerak dengan kecepatan v maka benda akan mempunyai momentum sebesar :

$$P = m v$$

Pada relativitas khusus, karena benda bergerak dengan kecepatan relativistik maka momentum yang timbul disebut momentum relativistic yang besarnya dihitung menggunakan persamaan:

$$p = m v = \gamma m_0 v = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Dengan :

- p = momentum relativistik benda ( kgm/s )
- m = massa relativistik ( kg )



$m_0$  = massa diam benda ( kg )

### 1.8 ENERGI RELATIVISTIK

Einstein berhasil menurunkan rumus energi relativistik yaitu :

$$E_k = E - E_0 = m c^2 - m_0 c^2$$

Keterangan

$E_k$  = energi kinetik relativistik ( J )

$E$  = energi total ( J )

$E_0$  = energi diam ( J )

### 1.9 Soal Latihan

1. Find the momentum, kinetic energy, and total energy of a proton moving at a speed of  $0.756c$ .
2. An electron is moving with a kinetic energy of 1.264 MeV. What is its speed?
3. Find the velocity and momentum of an electron ( $E_0 = 0.511$  MeV) with a kinetic energy of 10.0 MeV.
4. What is the momentum of a proton moving at a speed of  $v = 0.86c$ ?
5. Two rockets are leaving their space station along perpendicular paths, as measured by an observer on the space station. Rocket 1 moves at  $0.60c$  and rocket 2 moves at  $0.80c$ , both measured relative to the space station. What is the velocity of rocket 2 as observed by rocket 1?
6. What are the kinetic and relativistic total energies of a proton ( $E_0 = 938$  MeV) moving at a speed of  $v = 0.86c$ ?

## BAB II

### TEORI QUANTUM CAHAYA

#### A. DUALISME CAHAYA

Dualisme cahaya merupakan sifat cahaya sebagai gelombang dan cahaya sebagai materi (partikel). Kedua sifat cahaya tersebut dikenal sebagai dualisme gelombang partikel. Cahaya dapat didefinisikan sebagai:

- Cahaya adalah energi berbentuk gelombang elektromagnetik yang kasat mata dengan panjang gelombang sekitar 380–750 nm. Pada bidang fisika, cahaya adalah radiasi elektromagnetik, baik dengan panjang gelombang kasat mata maupun yang tidak.
- Cahaya adalah paket partikel yang disebut foton

#### B. RADIASI BENDA HITAM

Suatu permukaan benda pada suhu  $T > 0\text{K}$  selalu memancarkan radiasi, biasa disebut radiasi termal. Intensitas oleh Stefan dan Boltzmann sebagai:

$$I_T = e\sigma T^4$$

dengan

$e$  : konstanta emisivitas permukaan ( $0 \leq e \leq 1$ ) dan

$\sigma$  : konstanta Stefan-Boltzmann  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ J/m}^2\text{sK}^4$

Benda hitam sempurna adalah bendadengan permukaan yang mempunyai  $e = 1$ .

#### C. PERGESERAN WIEN

Pergeseran puncak spektrum dijelaskan oleh Wien secara empiris, menurut persamaan:

$$\lambda_{maks} T = C$$

dengan

$\lambda_{maks}$  adalah panjang gelombang radiasi

$C$  dikenal sebagai konstanta Wien,  $C = 2,9 \times 10^{-3} \text{ mK}$

Dalam fisika klasik penjelasan untuk keadaan tersebut sudah dijelaskan oleh Rayleigh and Jeans namun tidak berhasil. Adapun persamaan Rayleigh and jeans yang digunakan yaitu:

$$I_T(\lambda) = \frac{2\pi cKT}{\lambda^4} \text{ atau}$$

$$I_T(\nu) = \frac{2\pi K T}{c^2} \nu^2$$

dengan  $\nu$  adalah frekuensi radiasi.

#### D. TEORI KUANTUM PLANCK

Berdasarkan percobaan terhadap energi radiasi benda hitam, Max Planck membuat hipotesis: "Radiasi hanya dipancarkan (atau diserap) dalam bentuk satuan-satuan/kuantum energi disebut foton yang besarnya berbanding lurus dengan frekuensi radiasi".

Energi Foton dihitung menggunakan persamaan:

$$E = hf$$

Jika  $f = \frac{c}{\lambda}$ , maka diperoleh persamaan Energi foton lainnya yaitu:

$$E = h \frac{c}{\lambda}$$

Dengan

$h$  = tetapan Planck,  $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{J.s}$

$f$  = frekuensi

$\lambda$  = panjang gelombang foton

$c$  = kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8 \text{m/s}$ )

Jadi dapat disimpulkan dari hipotesis Planck, bahwa cahaya adalah partikel sedangkan Maxwell menyatakan bahwa cahaya adalah gelombang, disebut dualisme cahaya.

#### E. EFEK FOTO LISTRIK

Efek foto listrik merupakan peristiwa pelepasan elektron dari logam oleh radiasi yang memiliki energi lebih besar dari energi ambang (fungsi kerja) logam.. Hal ini pertama kali diamati oleh Heinrich Hertz (1887). Efek fotolistrik tidak dapat dipahami dengan fisika klasik, yang mana intensitas radiasi sebanding dengan energi gelombang (kuadrat amplitudo). Pada tahun 1905, Einstein menerangkan efek fotolistrik dengan teori kuantum cahaya:

1. Cahaya / radiasi terdiri dari atas kuantum / paket-paket energi sebesar :  $E = hf$
2. Intensitas cahaya ditentukan oleh cacah kuantum tenaga per satuan waktu per satuan luas penampang berkas cahaya tersebut.

Dengan adanya teori kuantum cahaya Einstein, berartilah memperlihatkan sifat dualisme, yaitu sebagai gelombang dan sebagai partikel. Partikel cahaya atau radiasi disebut foton.

Setiap jenis logam mempunyai fungsi kerja tertentu, yang merupakan karakter masing-masing jenis logam. Besarnya tenaga untuk melepaskan elektron dari logam, yang sama dengan tenaga ikat logam pada elektron-elektronnya, disebut fungsi kerja (work function) yang disimbolkan dengan  $\phi$ .

Energi Foton dihitung menggunakan persamaan:

$$E = hf$$

Berdasarkan kesetaraan massa-energi Einstein, foton mempunyai massa sebesar:

$$m_f = \frac{hf}{c^2}$$

dan momentum linear sebesar:

$$p_f = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

Energi kinetik foto elektron terlepas:

$$E = hf - hf_0$$

#### F. EFEK COMPTON

Mekanisme hamburan radiasi (kemudian disebut hamburan Compton atau efek Compton) tersebut di atas dapat dijelaskan dengan memberlakukan hukum-hukum kekekalan tenaga dan momentum linear secara relativistik. Pemberlakuan kedua hukum kekekalan tersebut menghasilkan persamaan-persamaan:

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos \theta)$$

dengan

$\lambda'$  = panjang gelombang radiasi terhambur

$\lambda$  = panjang gelombang radiasi sebelum terhambur

$\theta$  = sudut hamburan radiasi

$m$  = massa electron

#### G. HIPOTESIS DE BROGLIE

Louis de Broglie mengemukakan hipotesis: "Cahaya selain memiliki sifat sebagai partikel, juga memiliki sifat sebagai gelombang".

Panjang gelombang De Broglie:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

Dengan:

$v$  = kecepatan partikel

$h$  = tetapan Planck

$m$  = massa partikel

#### H. CONTOH SOAL

1. What are the energy and momentum of a photon of red light of wavelength 650 nm?
2. What is the wavelength of a photon of energy 2.40 eV?

Penyelesaian:

1. Using equation:

$$E = h \frac{c}{\lambda}$$

$$E = 6,626 \times 10^{-34} \text{J.s} \frac{3 \times 10^8 \text{m/s}}{650 \times 10^{-9} \text{m}}$$

$$E = 3,06 \times 10^{-19} \text{J}$$

Converting to electron-volts, we have:

$$E = \frac{3,06 \times 10^{-19} \text{J}}{1,60 \times 10^{-19} \text{J/eV}}$$

$$E = 1,91 \text{eV}$$

2. Solving for  $\lambda$ , we find:

$$E = h \frac{c}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{hc}{E} \rightarrow hc = 1240 \text{eV.nm}$$

$$\lambda = \frac{1240 \text{eV}}{2,40 \text{eV}}$$

$$\lambda = 517 \text{nm}$$

## BAB III

### MODEL ATOM

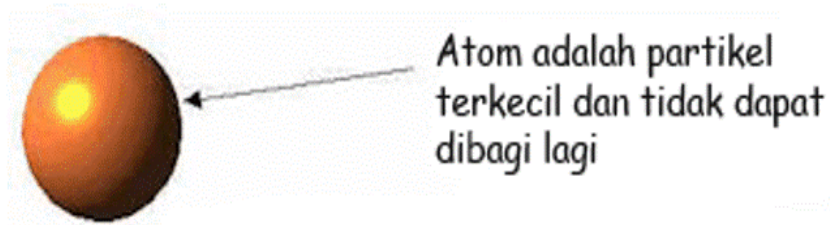
#### I. MODEL ATOM DALTON

Dalton mengusulkan bahwa seluruh materi terbuat dari bola bola kecil yang dapat dipantulkan kesekitarnya dengan elastisitas sempurna dan bola bola kecil itu disebut ATOM.

Teori Atom Dalton :

1. Seluruh materi terbuat dari partikel partikel kecil yang tidak dapat dibagi lagi yang disebut atom.
2. Atom atom dari unsur yang sama adalah identik(ukuran ,massa ,sifat kimia). Atom atom dari suatu unsur berbeda dengan atom atom dari unsur lain.
3. Atom atom dari unsur berbeda dapat bergabung satu sama lain membentuk senyawa dimana perbandingan jumlah atom relatif dari tiap unsur dalam senyawa yang terbentuk selalu sama dan angkanya sederhana.
4. Reaksi kimia terjadi ketika atom atom dalam keadaan terpisah bergabung atau hanya pengaturan kembali atom atom,namun atom dari suatu unsur tidak dapat berubah menjadi atom lainnya(atom tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan) melalui reaksi kimia biasa.

Hipotesa Dalton digambarkan dengan model atom sebagai bola pejal seperti pada tolak peluru. Seperti gambar berikut ini:

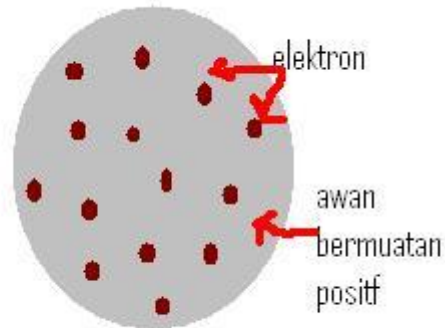


#### J. MODEL ATOM THOMSON

Thomson mengemukakan pemikirannya bahwa atom seperti bola materi bermuatan positif serbasama yang mengandung elektron. Model atom yang dikemukakan Thomson dikenal dengan model atom Plum Puding.” atau dalam bahasa Indonesia dikenal sebagai “model roti kismis”.

Di alam atom berada dalam keadaan yang stabil dan memiliki muatan yang netral, dengan demikian Thomson lebih lanjut mengasumsikan bahwa didalam atom itu sendiri pasti terdapat bagian yang bermuatan positif. Dari asumsi tersebut maka Thomson

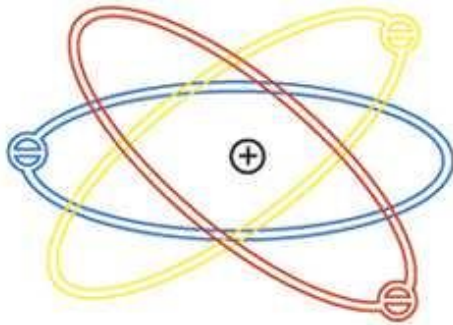
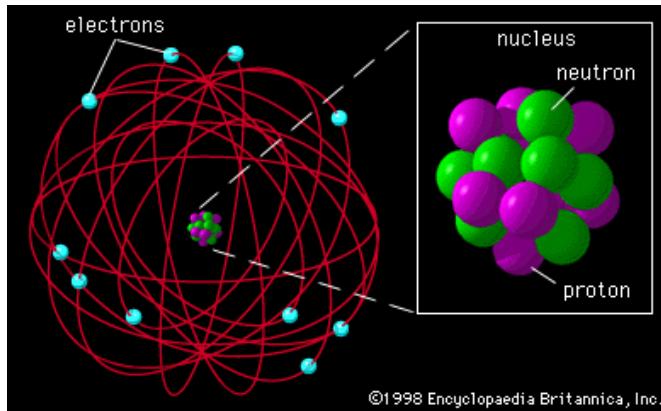
mengajukan struktur atom sebagai bulatan awan bermuatan positif dengan elektron yang terdistribusi random di dalamnya. (lihat gambar)



#### K. MODEL ATOM RUTHERFORD

Rutherford bersama dua orang muridnya (Hans Geiger dan Ernest Marsden) melakukan percobaan yang dikenal dengan hamburan sinar alfa ( $\alpha$ ) terhadap lempeng tipis emas. Sebelumnya telah ditemukan adanya partikel alfa, yaitu partikel yang bermuatan positif dan bergerak lurus, berdaya tembus besar sehingga dapat menembus lembaran tipis kertas. Percobaan tersebut sebenarnya bertujuan untuk menguji pendapat Thomson, yakni apakah atom itu betul-betul merupakan bola pejal yang positif yang bila dikenai partikel alfa akan dipantulkan atau dibelokkan. Dari pengamatan mereka, didapatkan fakta bahwa apabila partikel alfa ditembakkan pada lempeng emas yang sangat tipis, maka sebagian besar partikel alfa diteruskan (ada penyimpangan sudut kurang dari  $1^\circ$ ), tetapi dari pengamatan Marsden diperoleh fakta bahwa satu diantara 20.000 partikel alfa akan membelok sudut  $90^\circ$  bahkan lebih.

Rutherford mengemukakan pemikirannya tentang atom yang dikenal dengan model tata surya yaitu bahwa atom terdiri dari inti dan elektron-elektronnya bergerak mengelilingi inti dengan lintasan melingkar jarak yang cukup jauh dari inti (lihat ilustrasi pada gambar berikut):



#### L. MODEL ATOM NIELS BOHR

Pada tahun 1913, pakar fisika Denmark bernama Neils Bohr memperbaiki kegagalan atom Rutherford melalui percobaannya tentang spektrum atom hidrogen. Percobaannya ini berhasil memberikan gambaran keadaan elektron dalam menempati daerah disekitar inti atom. Penjelasan Bohr tentang atom hidrogen melibatkan gabungan antara teori klasik dari Rutherford dan teori kuantum dari Planck.

Teori Bohr sebagian didasarkan pada mekanika klasik dan sebagian lagi pada pemikiran baru yaitu kuantum. Teori Bohr dinyatakan dalam bentuk postulat sebagai berikut :

- Elektron electron bergerak disekitar inti dalam orbit orbit melingkar yang ditentukan oleh hukum Coulomb dan hukum Newton.
- Hanya orbit tertentu yang stabil. Elektron electron tidak memancarkan energy elektromagnetik dalam orbit ini, dan karena energi konstan terhadap waktu maka ini disebut keadaan stasioner.
- Spektrum garis dengan frekuensi  $f$  dipancarkan ketika electron loncat dari orbit mula mula dengan energi  $E_i$  ke orbit akhir dengan energi  $E_f$  dimana:

$$hf = E_i - E_f$$

- Ukuran kesetabilan orbit electron ditentukan oleh momentum angular electron sama dengan kelipatan integral dari  $h$

$$m_e v r = n h \quad \text{dengan } n = 1, 2, 3, \dots$$



### Penerapan postulat Bohr pada kasus atom Hidrogen

Atom Hidrogen adalah atom yang paling sederhana dimana inti terdiri dari satu proton dan satu electron bergerak mengelilingi inti. Antara electron dan proton terjadi interaksi tarik menarik berupa gaya tarik Coulomb. Energi total electron tersebut ialah:

**E = Energi kinetik + Energi potensial**

$$E = \frac{1}{2}mv^2 - k\frac{e^2}{r}$$

Dari persamaan diatas diperoleh energi kinetik diperoleh:

$$\frac{1}{2}mv^2 - k\frac{e^2}{r}$$

Maka Energi total elektron pada atom hydrogen ialah:

$$E = -\frac{ke^2}{2r}$$

Kecepatan linear electron dirumuskan dengan:

$$v = \frac{nh}{2\pi mr}$$

Kecepatan linear electron pada lintasan ke n dirumuskan dengan:

$$v = \frac{1}{n} \frac{h}{2\pi mr}$$

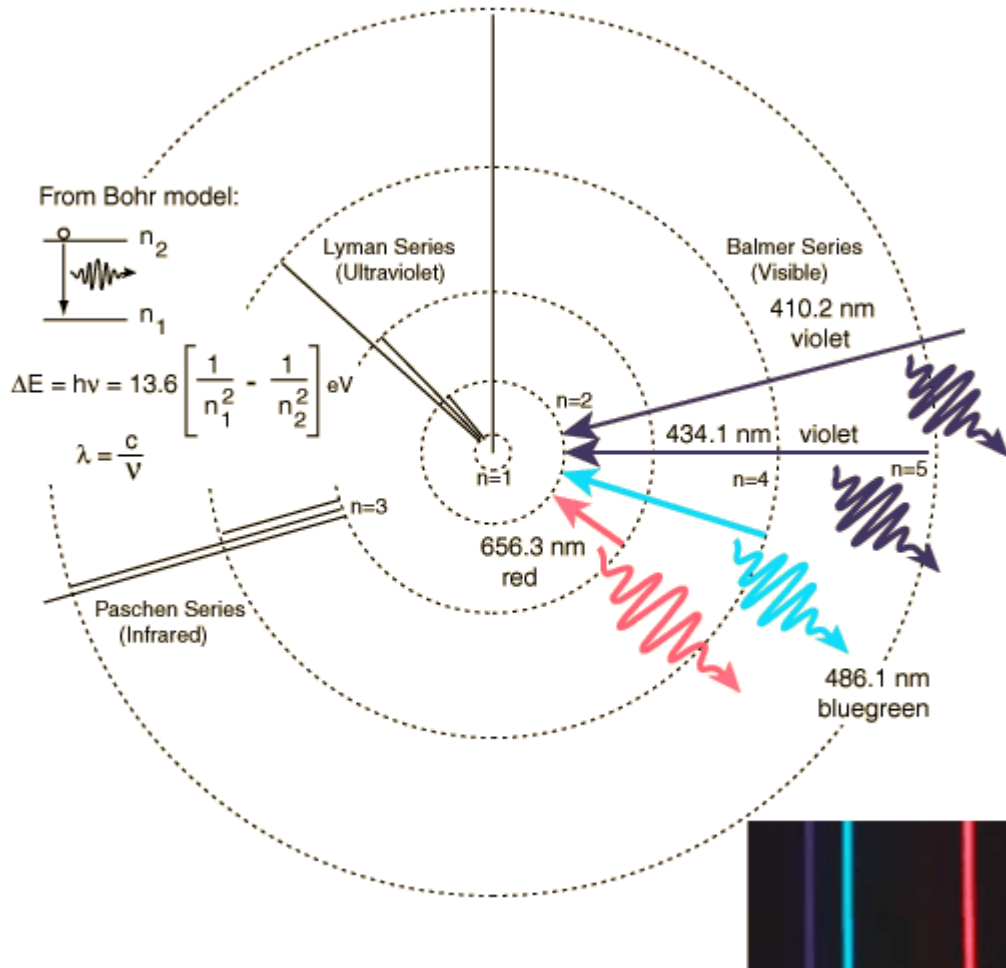
Energi total electron yang berada [ada lintasan ke n dirumuskan dengan:

$$E_n = \frac{1}{n^2} \frac{ke^2}{2r} = \frac{-13,6 \text{ ev}}{n^2}$$

### M. SPEKTRUM ATOM HIDROGEN

Dengan menggunakan alat spectrometer Balmer dan kawan kawan melakukan pengukuran spectrum yang dipancarkan atom Hidrogen. Balmer mengukur spectrum pada daerah cahaya tampak sedangkan Lyman mengukur spectrum atom Hidrogen pada daerah ultraviolet .Tiga orang lainnya yaitu Paschen, Bracket dan Pfund mengukur spectrum atom hydrogen pada daerah inframerah (IR) dan far infra red (FIR).

Model atom hydrogen dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Sebagaimana kita ketahui sekarang prediksi Bohr tersebut benar, dan sekarang notasi seluruh deret tersebut dinyatakan oleh persamaan tunggal:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right),$$

Deret Lyman :  $n_f = 1$  dan  $n_i = 2, 3, 4, 5, \dots$

Deret Balmer :  $n_f = 2$  dan  $n_i = 3, 4, 5, \dots$

Deret Paschen :  $n_f = 3$  dan  $n_i = 4, 5, 6, \dots$

Deret Brackett :  $n_f = 4$  dan  $n_i = 5, 6, 7, \dots$

Deret Pfund :  $n_f = 5$  dan  $n_i = 6, 7, 8, \dots$

## N. CONTOH SOAL

1. Tentukanlah panjang gelombang terbesar pada spektrum atom hidrogen untuk deret (a) Lyman, (b) Balmer.

Penyelesaian:

- a. Panjang gelombang terbesar pada deret Lyman ketika  $n_i = 2$  :

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$
$$\frac{1}{\lambda} = 1,097 \times 10^7 \text{ m}^{-1} \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right)$$
$$\lambda = 1,21 \times 10^{-7} \text{ m}$$

- b. Panjang gelombang terbesar pada deret Lyman ketika  $n_i = 3$  :

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$
$$\frac{1}{\lambda} = 1,097 \times 10^7 \text{ m}^{-1} \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right)$$
$$\lambda = 6,56 \times 10^{-7} \text{ m}$$

#### O. SOAL LATIHAN

- Elektron pada atom hidrogen berada pada keadaan eksitasi ke 2 ( $n = 3$ ). (a).Foton dengan frekuensi berapakah harus diserap oleh atom supaya elektron dapat tereksitasi ke keadaan eksitasi ke 4. (b). Ketika elektron dari keadaan eksitasi ke 2 bertransisi ke keadaan dasar (ground state), berapakah panjang gelombang foton yang dipancarkan atom.
- Tentukanlah panjang gelombang terbesar yang dipancarkan atom Hidrogen untuk:
  - deret Paschen
  - deret Bracket
  - deret Pfund
- Jelaskan kelemahan dan kekuatan model atom : Bohr, Rutherford, Thomson dan Dalton.

## BAB IV

### SIFAT GELOMBANG MATERI

#### P. HIPOTESIS DE BROGLIE

Louis de Broglie mengemukakan hipotesis: "**Cahaya selain memiliki sifat sebagai partikel, juga memiliki sifat sebagai gelombang**".

Menurut de Broglie partikel (seperti elektron) bermassa  $m$  dan momentum  $p$  memiliki sifat gelombang dengan panjang gelombang dinyatakan oleh de Broglie:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

dengan  $h$  adalah konstanta Planck dan  $p$  adalah momentum relativistik. Persamaan momentum relativistik dituliskan :

$$p = \gamma mv, \text{ dimana } v \text{ adalah kecepatan partikel.}$$

Frekuensi gelombang :

$$f = \frac{E}{h},$$

Hubungan Energi Total Partikel dengan Momentum:

$$E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$$

Contoh:

Elektron pada alat pemercepat partikel bergerak dengan kecepatan  $5 \times 10^5$  m/s, tentukanlah panjang gelombang de Broglie nya.

Jawab

Karena kecepatannya jauh dibawah cepat rambat cahaya maka kita gunakan momentum klasik.

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6,67 \times 10^{-34} \text{ Js}}{9,1 \times 10^{-31} \text{ kg } (5 \times 10^5) \text{ m/s}}$$

$$\lambda = 1,46 \times 10^{-9} \text{ m}$$

#### Q. PRINSIP KETIDAKPASTIAN HEISENBERG

WERNER HEISENBERG mengemukakan bahwa posisi atau lokasi suatu electron dalam atom tidak dapat ditentukan dengan pasti. Heisenberg berusaha menentukan sifat-sifat subatomic dan variable yang digunakan untuk menentukan sifat atom. Sifat ini adalah kedudukan partikel (x) dan momentum (p).

Ketidakpastian posisi dan momentum dituliskan:

$$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{1}{2} \hbar$$

Dengan cara sama dapat ditunjukkan relasi ketidakpastian energy dan waktu yang dinyatakan sebagai berikut:

$$\Delta E \Delta t \geq \frac{1}{2} \hbar$$

Dimana nilai  $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,05 \times 10^{-34} \text{ Js} = 6,58 \times 10^{-16} \text{ eV.s}$

Contoh:

Misalkan kecepatan electron dan kecepatan peluru senapan yang massanya 0,03 kg masing masing diukur dengan ketidak pastian kecepatan  $\Delta v = 10^{-3} \text{ m/s}$ . Berapakah ketidak pastian posisi dari electron dan peluru tersebut ?

Jawab

$$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{h}{2\pi}$$

$$\Delta x m \Delta v = \frac{h}{2\pi}$$

Untuk electron ketidakpastian posisinya adalah:

$$\Delta x = \frac{h}{2\pi m \Delta v}$$

$$\Delta x = \frac{6,63 \times 10^{-34} \text{ Js}}{2(3,14)(9,1 \times 10^{-31} \text{ kg})10^{-3} \text{ m/s}}$$

$$\Delta x = 0,116 \text{ m}$$

Untuk peluru senapan ketidakpastiannya adalah:

$$\Delta x = \frac{h}{2\pi m \Delta v}$$

$$\Delta x = \frac{6,63 \times 10^{-34} \text{ Js}}{2(3,14)(0,03) \text{ kg} \left( \frac{10^{-3} \text{ m}}{\text{s}} \right)}$$

$$\Delta x = 3,5 \times 10^{-30} \text{ m}$$

#### R. Kisi

celah ganda dengan jarak antar celah  $d$  dan lebar celah  $d/4$ , sedangkan jarak antar kisi ke layar ialah  $D$ . Berkas electron monoenergetik yang momentum liniernya  $P$  datang pada kisi celah ganda, maka menurut postulat de Broglie electron akan berperilaku sebagai gelombang dengan panjang gelombang  $\lambda = h/P$ . Pada layar akan tampak pola interferensi berupa garis terang (intensitas maksimum) dan garis gelap (intensitas minimum). Jarak antar garis terang atau garis gelap ke terang pusat dinyatakan oleh persamaan :

$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

Intensitas maksimum terjadi pada saat  $\theta = 0$  dan minimum (gelap) pertama terjadi pada  $\sin\theta = \lambda/2d$ . Apabila harga  $\lambda/2d$  sangat kecil maka  $\sin\theta \sim \theta$ , sehingga minimum pertama terjadi pada  $\theta_m = \lambda/2d$ .

Bagaimana kalau pada peristiwa difraksi celah ganda tersebut kita anggap electron sebagai partikel atau materi ?

Menurut prinsip ketidakpastian Heisenberg perkalian ketidakpastian posisi dan momentum ialah:

$$\Delta y \Delta p_y = \frac{h}{2\pi}$$

$$\Delta p_y = \frac{h}{2\pi \Delta y}$$

Jika tumbukan itu berlangsung di sebelah garis pusat maka berarti elektron bergerak melewati celah atas, dan ketidakpastian kedudukan elektron pada saat melewati celah maksimum ialah sebesar  $\Delta y = d/4$ .

Maka diperoleh persamaan:

$$\Delta p_y = \frac{h}{2\pi \Delta y}$$

$$\Delta p_y = \frac{h}{2\pi \frac{d}{4}}$$

$$\Delta p_y = \frac{2h}{\pi d}$$

Maka sudut simpangan electron adalah:

$$\theta = \frac{\Delta p_y}{P} = \frac{2\lambda}{\pi d}$$

## 5. Soal Latihan

1. Sebuah elektron yang sedang bergerak diketahui berada dikawasan sepanjang 0,1 m. Berapakah ketidakpastian kecepatannya .

2. Berapakah energi kinetik minimum dari sebuah partikel yang massanya  $10^{-20}$  kg ,jika ketidak pastian kedudukannya ialah  $10^{-10}$  m .

## BAB V

### BILANGAN KUANTUM DAN KONFIGURASI ELEKTRON

#### 5.1 Bilangan Kuantum dan Orbital Elektron

- ❖ Bilangan kuantum yang pertama adalah **bilangan kuantum utama,  $n$** . Bilangan kuantum ini merupakan bilangan bulat, positif, dan bukan nol.

$$n = 1, 2, 3, 4, \dots$$

- ❖ Bilangan kuantum yang kedua adalah **bilangan kuantum orbital/azimuth,  $\ell$** . Harganya bisa nol atau bilangan bulat positif. Tidak dapat negatif dan tidak dapat lebih besar dari  $n - 1$  (dimana  $n$  adalah bilangan kuantum utama).

$$\ell = 0, 1, 2, 3, \dots, n - 1$$

- ❖ Bilangan kuantum yang ketiga adalah **bilangan kuantum magnetik,  $m_\ell$** . Harganya bisa positif atau negatif, termasuk nol, dan antara  $-\ell$  sampai  $+\ell$  (dimana  $\ell$  adalah bilangan kuantum orbital).

$$m_\ell = -\ell, -\ell + 1, -\ell + 2, \dots, 0, \dots, +\ell - 2, +\ell - 1, +\ell$$

#### Contoh soal:

Tentukan harga  $\ell$  dan  $m_\ell$  untuk bilangan kuantum utama,  $n = 3$ .

Penyelesaian:

$$n = 3, \ell = 0, 1, \text{ dan } 2$$

Kalau  $\ell = 0$  hanya ada satu harga  $m_\ell$  yang mungkin yaitu 0

Kalau  $\ell = 1$  ada tiga harga  $m_\ell$  yang mungkin yaitu  $-1, 0, +1$

Kalau  $\ell = 2$  ada lima harga  $m_\ell$  yang mungkin yaitu  $-2, -1, 0, +1, +2$

Semua orbital yang memiliki harga bilangan kuantum yang sama disebut berada pada kulit elektronik utama atau tingkat utama yang sama, dan semua orbital yang memiliki harga  $\ell$  yang sama berada pada sub-kulit atau sub-tingkat yang sama. Kulit utama diberi nomor sesuai dengan harga  $n$ . Kulit elektronik utama pertama mengandung orbital dengan  $n = 1$ ; kulit utama kedua mengandung orbital dengan  $n = 2$ ; dan seterusnya. Harga bilangan kuantum  $n$  berkaitan dengan energi elektron dan jaraknya yang paling mungkin dari inti. Harga bilangan kuantum  $\ell$  menentukan bentuk geometri dari awan elektron atau kemungkinan distribusi elektron.

Semua orbital dengan harga  $\ell = 0$  adalah orbital s. Kalau orbital s berada di kulit elektronik utama pertama ( $n = 1$ ), maka itu adalah orbital 1s, kalau berada di kulit elektronik utama kedua ( $n = 2$ ), maka itu adalah orbital 2s, dan seterusnya. Karena kalau  $\ell = 0$ ,  $m_\ell$  harus 0, hanya ada satu harga  $m_\ell$ , maka hanya ada satu orbital tipe s untuk setiap kulit utama.



Tipe orbital yang berkaitan dengan  $\ell = 1$  adalah orbital p. Karena kalau  $\ell = 1$ ,  $m_\ell$  hanya dapat memiliki satu dari tiga harga ( $-1, 0, +1$ ), maka orbital p berjumlah tiga. Jadi, ada tiga orbital p dalam sub-kulit p.

Ada lima orbital yang memiliki  $\ell = 2$ , ini adalah orbital d. Karena kalau  $\ell = 2$ ,  $m_\ell$  hanya dapat memiliki satu dari lima harga ( $-2, -1, 0, +1, +2$ ), maka orbital d berjumlah lima. Jadi, ada lima orbital d dalam sub-kulit d.

Tipe keempat dari orbital adalah orbital f, dengan  $\ell = 3$ . Karena kalau  $\ell = 3$ ,  $m_\ell$  hanya dapat memiliki satu dari tujuh harga ( $-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3$ ), maka ada tujuh orbital f yang berbeda, yang terkait dengan tujuh harga yang mungkin dari  $m_\ell$ . Jadi, ada tujuh orbital f dalam sub-kulit f.

**Kulit Elektronik, Orbital, dan Bilangan Kuantum.**

Kulit Utama	Ke-1	Ke-2			Ke-3									
n =	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
l =	0	0	1	1	1	0	1	1	1	2	2	2	2	2
$m_l$ =	0	0	-1	0	+1	0	-1	0	+1	-2	-1	0	+1	+2
nama orbital	1s	2s	2p	2p	2p	3s	3p	3p	3p	3d	3d	3d	3d	3d
jumlah orbital dalam sub-kulit	1	1	3			1	3			5				
jumlah orbital total	1	4			9									

**5.2 Spin Elektron**

Selain memiliki momentum sudut, sebuah elektron juga memiliki spin. Spin adalah momentum sudut intrinsik yang tidak memiliki ruang. Operator-operator spin adalah  $\widehat{S}_z, \widehat{S}^2, \widehat{S}_+, \widehat{S}_-$ . Elektron mempunyai bilangan kuantum spin  $s = \frac{1}{2}$  sehingga bilangan kuantum magnetik spin adalah  $m_s = +\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ . Karena tak mempunyai variabel ruang, fungsi spin dinyatakan dengan:

$$|s, m_s\rangle$$

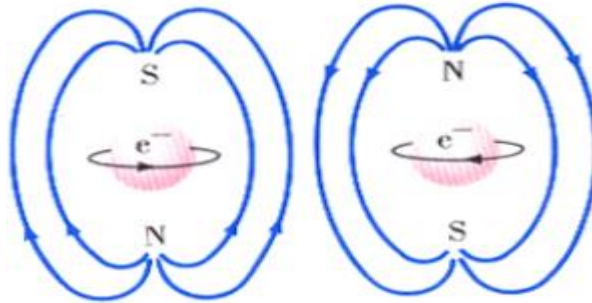
Yang memenuhi :

$$\langle s, m_s | s, m_s \rangle = 1, \langle s, \frac{1}{2} | s, -\frac{1}{2} \rangle = \langle s, -\frac{1}{2} | s, \frac{1}{2} \rangle = 0.$$

Spin  $\vec{S}$  dari elektron mengalami penjumlahan dengan momentum sudut  $\vec{L}$  dari elektron bersangkutan untuk membentuk momentum sudut total  $\vec{J}$  sebagai berikut:

$$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$$

Ada dua kemungkinan perputaran elektron, seperti diusulkan pada gambar:



Bilangan kuantum yang menjelaskan tentang spin elektron,  $m_s$ , dapat memiliki harga  $+\frac{1}{2}$  (ditunjukkan dengan tanda panah ke atas  $\uparrow$ ) atau  $-\frac{1}{2}$  (ditunjukkan dengan tanda panah ke bawah  $\downarrow$ ). Tidak seperti bilangan kuantum  $n$ ,  $\ell$ , dan  $m_\ell$ , yang mempunyai harga yang saling berkaitan, harga  $m_s$  berdiri sendiri tidak tergantung pada bilangan kuantum lainnya.

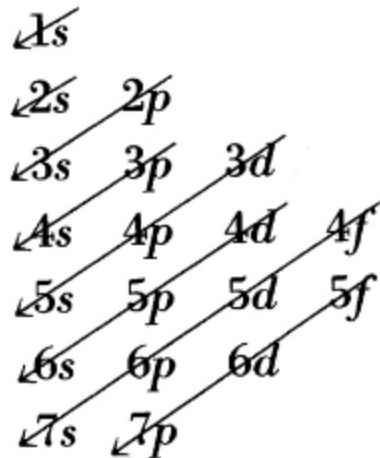
### 5.3 Konfigurasi Elektron

Konfigurasi elektron dari suatu atom adalah penetapan distribusi elektron-elektronnya diantara kulit elektronik dan orbital yang berbeda.

Aturan penting atau prinsip-prinsip yang mendasari konfigurasi electron:

1. Elektron-elektron menempati orbital-orbital sedemikian rupa sehingga energi dari atom minimum.

Urutan Pengisian Sub-kulit Elektronik seperti ditunjukkan gambar dibawah ini :



Ikuti tanda panah dari atas ke bawah, dan akan dicapai urutan yang sama seperti di atas. Akan tetapi harus mampu menghasilkan kolom orbital dan tanda panah diagonal dari kanan atas ke bagian kiri bawah.

2. Prinsip Pauli : Tidak ada dua elektron dalam suatu atom yang mempunyai kombinasi keempat bilangan kuantum yang sama.
3. Aturan Hund : Prinsip kelipatan maksimum. Untuk orbital dengan energi yang sama (orbital dalam sub-kulit yang sama), elektron mula-mula akan menempati orbital ini satu-satu (tidak berpasangan).
4. Aturan Aufbau: elektron menempati orbital sedemikian rupa untuk meminimumkan energi atom. Urutan tingkat energi dari yang paling rendah adalah: 1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, 3d, 4p, 5s, 4d, 5p, 6s, 4f, 5d, 6p, 7s, 5f, 6d, ...

#### 5.4 Konfigurasi Elektron dari Unsur – Unsur

Konfigurasi elektron dari unsur dapat dinyatakan dalam dua cara yaitu menggunakan notasi spdf dan diagram orbital.

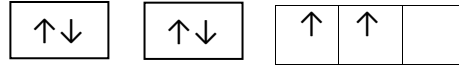
**Notasi spdf menunjukkan** jumlah elektron dalam setiap sub-kulit dengan menggunakan angka yang dituliskan di atas. **Sedangkan Diagram orbital** menguraikan masing-masing sub-kulit menjadi orbital tersendiri (digambarkan sebagai kotak) dan menunjukkan jumlah elektron untuk setiap orbital dengan menggunakan tanda panah. Tanda panah ke atas berkaitan dengan satu tipe spin ( $+\frac{1}{2}$ ), dan tanda panah ke bawah menunjukkan spin lainnya ( $-\frac{1}{2}$ ).

##### Sebagai Contoh:

Konfigurasi elektron dari atom karbon dapat dinyatakan dalam dua cara yang berbeda seperti di bawah ini:

Notasi spdf : C  $1s^2 2s^2 2p^2$

Diagram Orbital : C  $1s \quad 2s \quad 2p$



Pada masing-masing pernyataan harus tampak jumlah enam elektron karena nomor atom karbon adalah 6.

### 5.5 Efek Zeeman

Jika suatu atom diletakkan pada medan magnetik maka spectrum garis yang dihasilkan akan terpecah menjadi garis – garis spectral. Hal ini terjadi karena dalam medan magnetik, tingkat energi atom terpecah menjadi beberapa sub keadaan sesuai dengan harga  $m_l$ . Peristiwa ini disebut Efek Zeeman.

Efek Zeeman ada dua jenis yaitu: efek Zeeman normal dan efek Zeeman tidak normal. Pada efek Zeeman normal sebuah garis spectrum terpisah menjadi tiga komponen. Sedangkan efek Zeeman tidak normal sebuah garis spectrum terpisah menjadi lebih dari tiga komponen.

### 5.6 Soal Latihan

1. Diketahui atom-atom berikut : 11Na, 17Cl, 26Fe. Dengan mengikuti ketentuan aturan penulisan konfigurasi elektron, maka untuk masing-masing atom tersebut:
  - a. Tuliskan Konfigurasi elektronnya!
  - b. Tuliskan semua bilangan kuantum untuk semua elektron yang terdapat pada kulit terakhir!
2. Tuliskan konfigurasi elektron dari ion-ion:
  - a.  $S^{2-}$
  - b.  $Co^{3+}$
  - c.  $N^{3-}$
  - d.  $Cl^-$
  - e.  $Mg^{2+}$
  - f.  $Sc^{3+}$
3. Tentukan jumlah elektron tidak berpasangan yang terdapat pada ion-ion berikut ini.
  - a.  $19K^+$
  - b.  $35Br^-$
  - c.  $20Ca^{2+}$
  - d.  $9F^-$
4. Berapakah jenis orbital yang dihuni oleh elektron dengan bilangan kuantum  $n = 4, l = 1$ ? Berapakah jumlah orbital yang ditemukan di dalam atom K?
5. Menunjukkan apakah bilangan kuantum berikut ini:

- a. Bilangan kuantum utama
- b. Bilangan Kuantum azimuth
- c. Bilangan kuantum magnetic
- d. Bilangan kuantum spin

## BAB VI

### STRUKTUR MOLEKUL

#### A. STRUKTUR MOLEKUL

Struktur molekul adalah penggambaran ikatan-ikatan unsur atau atom yang membentuk molekul. Molekul terdiri dari sejumlah atom yang bergabung melalui ikatan kimia, baik itu ikatan kovalen, ikatan hidrogen dan ikatan ion, serta ikatan-ikatan kimia lainnya. Molekul didefinisikan sebagai sekelompok atom (paling sedikit dua) yang saling berikatan dengan sangat kuat dalam susunan tertentu dan bermuatan netral serta cukup stabil.

#### B. IKATAN KIMIA

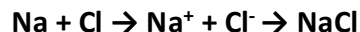
Ikatan kimia adalah sebuah proses fisika yang bertanggung jawab dalam interaksi gaya tarik menarik antara dua atom atau molekul yang menyebabkan suatu senyawa diatomik atau poliatomik menjadi stabil. Tujuan pembentukan ikatan kimia adalah agar terjadi pencapaian kestabilan suatu unsur. Adapapun jenis ikatan kimia yaitu:

##### 1. Ikatan Ion

Ikatan ion sering disebut dengan ikatan elektrovalen atau heteropolar. Ikatan ion timbul sebagai akibat dari gaya tarik menarik antara ion yang bermuatan positif dan ion yang bermuatan negatif yang dihasilkan karena perpindahan elektron. Ikatan ion dibentuk antara atom yang mudah melepaskan elektron dengan atom yang mudah menangkap elektron. Apabila atom netral melepaskan elektron, akan terbentuk ion positif. Sebaliknya bila atom netral menerima atau menangkap elektron maka akan terbentuk ion negatif.

Sebagai contoh:

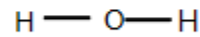
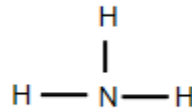
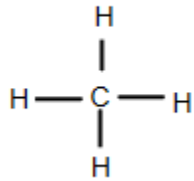
Ketika natrium (Na) dan klor (Cl) bergabung, atom-atom natrium kehilangan elektron, membentuk kation ( $\text{Na}^+$ ), sedangkan atom-atom klor menerima elektron untuk membentuk anion ( $\text{Cl}^-$ ). Sehingga proses pembentukan Natrium Klorida ( $\text{NaCl}$ ) seperti:



##### 2. Ikatan Kovalen

Ikatan kovalen sering disebut juga dengan ikatan homopolar. Ikatan kovalen adalah ikatan yang terjadi karena penggunaan bersama pasangan elektron oleh dua atom yang berikatan. Ikatan ini biasanya terjadi antara atom logam dan atom non logam. Penggunaan bersama pasangan elektron biasanya menggunakan notasi titik electron atau lebih dikenal dengan struktur Lewis.

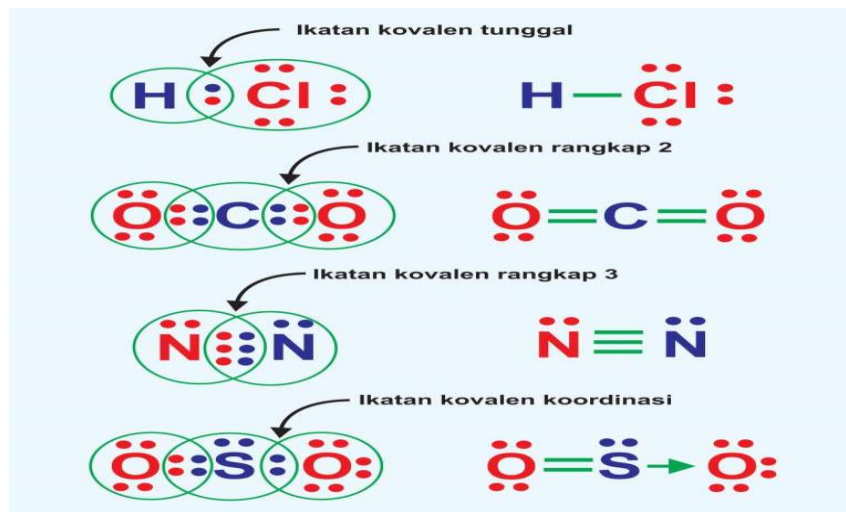
Di bawah ini terdapat rumus bangun beberapa senyawa di mana digunakan garis untuk menyatakan ikatan kovalen.



Ikatan kovalen dibedakan menjadi:

- Ikatan Kovalen Tunggal
- Ikatan Kovalen Rangkap Dua
- Ikatan Kovalen Rangkap Tiga
- Ikatan Kovalen Koordinat

Contoh ikatan kovalen berdasarkan struktur Lewis disajikan pada gambar berikut:



### 3. Ikatan Logam

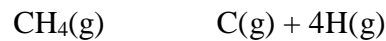
Ikatan logam adalah ikatan antaratom dalam suatu unsur logam dengan menggunakan interaksi antar elektron valensi. Ikatan logam terjadi karena adanya saling meminjamkan elektron, namun proses ini tidak hanya terjadi antara dua atau beberapa atom tetapi dalam jumlah yang tidak terbatas. Setiap atom memberikan elektron valensinya untuk digunakan bersama, sehingga terjadi ikatan atau tarik menarik antara atom-atom yang saling berdekatan. Contoh: ikatan logam pada magnesium (Mg)

### 4. Ikatan Hidrogen

Ikatan hidrogen merupakan ikatan yang terjadi akibat gaya tarik antarmolekul antara dua muatan listrik parsial dengan polaritas yang berlawanan. Ikatan hidrogen dapat terjadi inter molekul dan intra molekul. Jika ikatan terjadi antara atom-atom dalam molekul yang sama maka disebut ikatan hidrogen intramolekul atau didalam molekul, seperti molekul H<sub>2</sub>O dengan molekul H<sub>2</sub>O. Ikatan hidrogen, juga terbentuk pada antar molekul seperti molekul NH<sub>3</sub>, CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH dengan molekul H<sub>2</sub>O, ikatan yang semacam ini disebut dengan ikatan hidrogen intermolekul.

### C. ENERGI IKATAN

Energi ikatan didefinisikan sebagai energi yang diperlukan untuk memutuskan 1 mol ikatan dari suatu molekul dalam wujud gas. Besarnya energi ikatan diperoleh dengan kalor pengatoman. Misalnya, dalam metana energi ikatan C–H adalah seperempat dari entalpi pada proses:



Energi ikatan dapat dihitung dari entalpi pembentukan standar untuk senyawa itu dan dari entalpi pengatoman unsur-unsurnya. Energi yang dihitung dengan cara itu disebut energi ikatan rata-rata.



$$\text{Jadi, energi ikatan C–H} = \frac{1}{4} \times 74,8 \text{ kJ} = 18,7 \text{ kJ}$$

### D. SOAL LATIHAN

- Tuliskan ikatan ion yang terjadi pada :
  - Z<sub>n</sub> (electron valensi = 2) dan B<sub>r</sub> (electron valensi = 7)
  - C<sub>r</sub> (electron valensi = 3) dan O (electron valensi = 6)
- Tentukan jenis ikatan senyawa berikut, tergolong ikatan kovalen atau ikatan ion:
  - H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
  - H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>
  - A<sub>g</sub>O<sub>2</sub>
  - H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>
- Gambarkan dengan struktur Lewis terjadinya ikatan kovalen berikut dan sebutkan macam ikatan kovalen tunggal atau rangkap:
  - H<sub>2</sub>S (Nomor Atom H = 1 dan S = 16)
  - CCl<sub>4</sub> (Nomor Atom C = 6 dan Cl = 17)
  - O<sub>2</sub> (Nomor Atom O = 8)



## BAB VII

### TEORI PITA ENERGI DAN PIRANTI SEMIKONDUKTOR

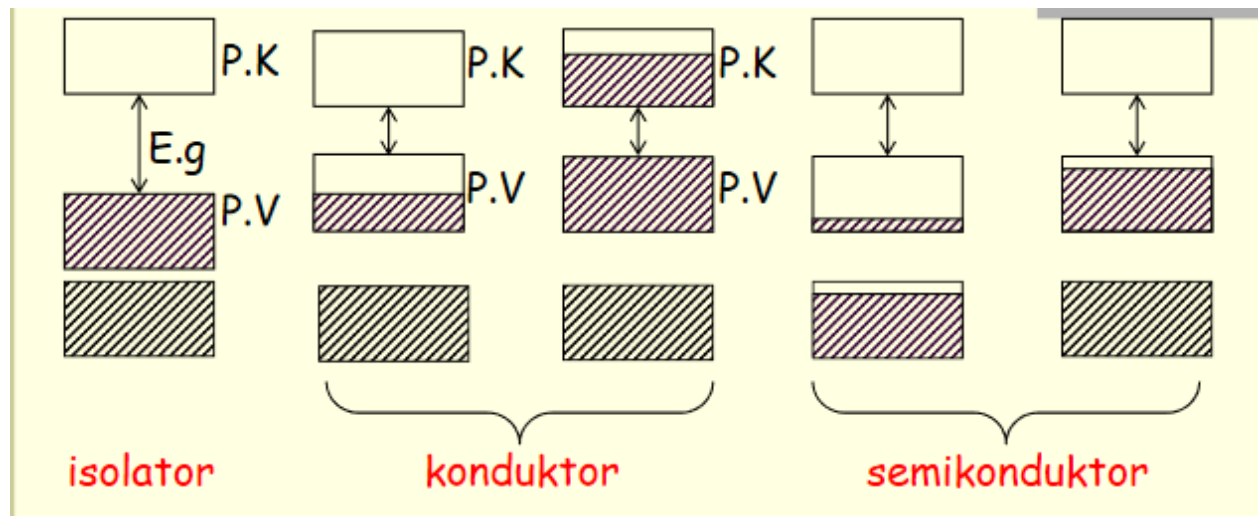
#### 7.1 PENDAHULUAN PITA ENERGI

Pita energi adalah kumpulan garis pada tingkat energi yang sama akan saling berimpit dan membentuk pita. Tingkat-tingkat energi pada digambarkan dengan cara yang sama dengan atom tunggal. Interaksi antar atom pada kristal hanya terjadi pada elektron bagian luar sehingga tingkat energi elektron pada orbit bagian dalam tidak berubah. Pada orbit bagian luar terdapat elektron yang sangat banyak dengan tingkat-tingkat energi yang berimpit satu sama lain. Berdasarkan asas Pauli, dalam suatu tingkat energi tidak boleh terdapat lebih dari satu elektron pada keadaan yang sama, maka apabila ada elektron yang berada pada keadaan yang sama akan terjadi pergeseran tingkat energi sehingga tidak pernah ada garis-garis energi yang bertindihan. Pita energi digunakan untuk membedakan antara konduktor, semikonduktor, isolator dan superkonduktor.

#### 7.2 JENIS – JENIS PITA ENERGI

- Pita Valensi (P.V) adalah pita energi yang terisi oleh elektron valensi
- Pita Konduksi (P.K) adalah pita energi di atas pita valensi yang terisi sebagian atau tidak terisi oleh elektron.
- Celah energy ( $E.g$ ) adalah energi yang diperlukan elektron untuk loncat ke pita konduksi.

Struktur pita energy untuk isolator, konduktor dan semikonduktor digambarkan sebagai berikut:



#### 7.3 TEORI ELEKTRON BEBAS

Salah satu alasan mengapa perlu dipelajari teori pita energy adalah karena teori elektron bebas tidak dapat menjelaskan :

- Mengapa beberapa logam dengan jumlah electron bebas yang banyak dapat bersifat sebagai konduktor, sedangkan logam dengan jumlah electron konduksi sedikit akan bersifat isolator.
- Perubahan resistivitas konduktor oleh adanya perubahan suhu dan sifat – sifat semikonduktor.

- **Menurut teori elektron bebas** ( $V = 0$ ), energi elektron bebas adalah:

$$E = \frac{\hbar^2 k^2}{2m}$$

sehingga menurut teori ini, nilai energi adalah kontinyu untuk semua nilai k. Artinya kita tidak menemukan adanya celah energi dimana elektron dilarang berada. Inilah kegagalan teori elektron bebas dalam menjelaskan perbedaan antara isolator, semikonduktor, dan konduktor.

- **Teori Elektron Hampir Bebas**

Menurut model elektron hampir bebas ( $V(x) \neq 0$ ) energi elektron tidak lagi kontinyu untuk semua nilai k, tetapi tepat pada nilai-nilai k tertentu, tingkat energi elektron mengalami diskontinyu, yaitu pada nilai-nilai  $k = \pm n\pi/a$ , dimana  $n = 1, 2, 3$ , dan seterusnya.

Persamaan Schrodinger untuk electron yang bergerak dalam energy potensial periodik untuk 1 dimensi yaitu:

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} = \frac{2m}{\hbar^2} (E - V(x)) \psi(x) = 0$$

Serta persamaan schrodinger 3 dimensi:

$$\left(-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V\right)\psi = E(\psi)$$

Memiliki solusi yang diatur oleh sebuah teorema yaitu Teorema Bloch.

#### 7.4 TEOREMA BLOCH

Fungsi Bloch merupakan suatu teorema yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan Schrodinger pada potensial – potensial periodik.

**Persamaan Schrodinger 1 dimensi :**

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} = \frac{2m}{\hbar^2} (E - V(x)) \psi(x) = 0$$

**Solusinya adalah :**

$$\psi(x) = e^{\pm ikx} u_{k(x)}$$

$$\psi(x) = e^{\pm ikx} u_{k(x)}$$

**Persamaan ini disebut Fungsi Bloch**

## 7.5 PIRANTI SEMIKONDUKTOR

Piranti semikonduktor dapat diartikan sebagai komponen atau alat yang berbahan semikonduktor. *Semikonduktor* merupakan bahan yang memiliki sifat diantara isolator dan *konduktor*. Daya hantar listrik semikonduktor makin baik bila suhunya tinggi, pada suhu yang rendah sekali semikonduktor bersifat seperti isolator. Contoh semikonduktor misalnya  $\text{Cu}_2\text{O}$ , Se, Si, Ge,  $\text{HgI}_2$  dan PbS. Semikonduktor yang paling terkenal adalah semikonduktor Silikon (Si) dan Germanium (Ge).

JENIS – JENIS PIRANTI SEMIKONDUKTOR:

### 1. Semikonduktor Intrinsik (murni)

Jika konsentrasi (jumlah per volume) elektron bebas dalam semi konduktot instrinsik dinyatakan dengan  $n_i$  dan konsentrasi hole dengan  $p_i$  maka berlaku:

$$n_i = p_i$$

Ketergantungan konsentrasi pembawa muatan dalam semikonduktor instrinsik nterhadap suhu dapat ditentukan berdasarkan statistik Fermi Dirac, dan menghasilkan formulasi sebagai berikut :

$$n_i^2 = A_o T^3 e^{-EGO/kT}$$

Dengan:

$A_o$  = tetapan tak bergantung suhu

T = Suhu ( Kelvin)

EGO= energi gap pada 0 oK dalam eV

K = konstante Bolzman dalam eV/oK

$\epsilon = 2,7$

### 2. Semikonduktor Ekstrinsik, terdiri atas:

- Semikonduktor tipe P : Tipe semiconductor ini biasa disebut dengan P (positive) karena diasumsikan muatan listriknya adalah positif karena elektronnya lebih sedikit. Saat mendapat tegangan, electron mengisi sisi hole kemudian hole tersebut secara terus menerus bergerak menurun. Arus listriknya mengalir melalui hole yang ada di dalam semiconductor tipe P ini.

Jika konsentrasi (jumlah per volume) elektron bebas dalam semi konduktor tipe N dinyatakan dengan  $n_n$  dan konsentrasi hole dengan  $p_n$  dan konsentrasi atom donor dinyatakan dengan  $n_D$  maka berlaku:

$$n_n = n_D$$

$$p_n = \frac{n_2^2}{n_n} = \frac{n_2^2}{n_D}$$

Daya hantar jenis listrik dicari menggunakan persamaan:

$$\sigma = eN_D\mu_n$$

- Semikonduktor tipe N : Semiconductor ini disebut dengan tipe N (negatif) karena arus listriknya diasumsikan adalah negatif. Arus listrik ini mengalir melalui semiconductor tipe N (penghantar : elektron).

- Jika konsentrasi (jumlah per volume) elektron bebas dalam semi konduktor tipe N dinyatakan dengan  $n_p$  dan konsentrasi hole dengan  $P_p$  dan konsentrasi aseptornya  $N_A$  maka analog pada semikonduktor tipe N berlaku persamaan-persamaan :
  - $P_p \approx N_A$
  - $n_p P_p = n_2^2$
  - $n_p = \frac{n_2^2}{P_p} = \frac{n_2^2}{N_A}$
- Daya hantar jenis listrik dicari menggunakan persamaan:
$$\sigma = eN_A\mu_p$$

## BAB VIII

### STRUKTUR INTI ATOM

#### A. Struktur inti atom

Atom adalah bagian terkecil dari suatu materi yang masih memiliki sifat dasar materi tersebut. Atom terdiri dari partikel-partikel subatom, yaitu elektron (e), proton (p), dan neutron (n). Inti atom (nukleon) terdiri dari proton dan neutron.

Inti atom terdiri dari proton dan neutron. Proton dan neutron merupakan partikel inti, tanpa membedakan proton dan neutron partikel ini dinamakan nukleon. Tabel massa dan muatan disajikan berikut ini :

Partikel	Massa	Simbol	Muatan
Elektron	$9 \times 10^{-31}$ kg	${}_{-1}^0\text{e}$	$-1,6 \times 10^{-19}\text{C}$
Proton	$1,67 \times 10^{-27}$ kg	${}_{1}^1\text{p}$	$+1,6 \times 10^{-19}\text{C}$
Neutron	$1,67 \times 10^{-27}$ kg	${}_{0}^1\text{n}$	0
Positron	$9 \times 10^{-31}$ kg	${}_{1}^0\text{e}$	$+1,6 \times 10^{-19}\text{C}$

Sebuah inti atom dituliskan dalam bentuk:



Dimana

X = nama unsur

A = nomor massa (menyatakan jumlah nucleon dalam inti)

Z = nomor atom (menyatakan jumlah proton dalam inti)

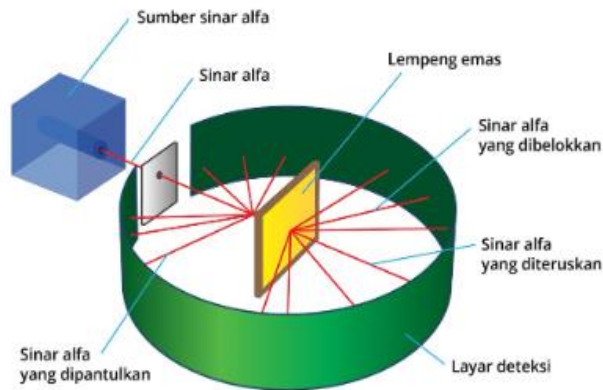
N = nomor neutron (menyatakan jumlah neutron dalam inti)

$N = A - Z$

#### B. Ukuran, Gaya dan Massa inti

##### 1. Ukuran Inti

Eksperimen hamburan Rutherford membuktikan bahwa di dalam atom terdapat sebuah inti yang memiliki ukuran tertentu.



Gambar 1. Diagram eksperimen hamburan Rutherford

Pada eksperimen tersebut, sinar alfa dilewatkan pada lempeng tipis emas. Ternyata, sebagian sinar diteruskan dan sebagian lagi dibelokkan. Sinar alfa yang diteruskan berarti sinar tersebut melewati bagian kosong dalam atom. Sementara sinar alfa yang dibelokkan berarti sinar tersebut mengenai inti atom. Jumlah neutron dan proton per satuan volume di seluruh daerah inti atom dianggap tidak berubah. Secara matematis, dapat dinyatakan sebagai berikut.

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

Berdasarkan hasil percobaan, diketahui  $R_0 = 1,2 \times 10^{-15} \text{ m} = 1,2 \text{ fm}$  (fermi). Dengan demikian, dapat dituliskan sebagai berikut:

$$R = 1,2 A^{1/3}$$

### Dimana

$R$  = Jari – jari inti atom

$A$  = nomor massa atom

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

**Kerapatan inti dicari menggunakan persamaan:**

$$\rho = \rho_0 A^{1/3}$$

## 2. Gaya Inti

Berdasarkan Hukum Coulomb, muatan sejenis yang berdekatan akan tolak-menolak dan muatan tak sejenis akan tarik-menarik. Di dalam inti atom, sesama proton akan tolak-menolak. Sementara gaya gravitasi antara neutron dan proton sangat kecil dibandingkan dengan gaya tolak sesama proton. Ini berarti, pasti ada gaya lain yang menyebabkan inti

atom tidak berserakan dan dapat bersatu. Gaya yang menyebabkan inti terikat ini disebut gaya ikat inti.

### 3. Massa Inti

Massa inti berarti massa proton dan neutron. Satuan massa yang digunakan dalam perhitungan nuklir atau inti atom adalah satuan massa atom atau disingkat sma atau u.

1 sma adalah  $\frac{1}{12}$  dari massa atom karbon yang ditemukan di Bumi, yaitu sebagai berikut:

$$1 \text{ sma} = 1,6606 \times 10^{-27} \text{ kg} = 931,494 \text{ MeV}/c^2$$

### C. Soal Latihan

1. Atom karbon memiliki jari-jari sekitar  $3 \times 10^{-15}$  m dengan massa 12 sma. Tentukan massa jenis rata-rata material nuklir. Tentukan juga perbandingannya jika dibandingkan dengan massa jenis air.
2. Carilah diameter dari inti atom berikut:
  - a.  ${}_{20}^{40}\text{Ca}$
  - b.  ${}_{82}^{208}\text{Pb}$

## BAB IX

### ENERGI IKAT DAN GAYA INTI

#### 9.1 DEFEK MASSA

Dari mana awal mula Nuklida terbentuk? Tentu dari partikel penyusunnya, yaitu nukleon yang terdiri atas proton dan neutron. Bagaimana menjelaskan keadaan proton-proton saling berdekatan? Padahal antara muatan positif seharusnya akan terjadi tolak menolak akibat gaya elektrostatis (Gaya Coulomb).

Fisikawan meyakini ada energi besar yang mampu mengikat nukleon dalam inti sehingga mampu menahan gaya tolak elektrostatis. Energi besar yang mengikat nukleon itu dinamakan energi ikat inti.

**Jika dirumuskan maka defek massa dinyatakan dengan rumus:**

$$\Delta m = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - m_{\text{nuklida}}$$

**Dimana:**

$\Delta m$  = masa yang hilang (Defek massa)

$m_p$  = massa proton = 1,0078 sma

$m_n$  = massa neutron = 1,0087 sma

#### 1.10

#### ENERGI IKAT (BINDING ENERGY)

Massa inti suatu atom jika dibandingkan dengan massa nukleon penyusunnya maka massa inti lebih kecil. Dapat dikatakan pada penyusunan inti dari partikel/nukleon penyusunnya ada massa yang hilang, massa yang hilang berubah menjadi energi ikat inti. Hal ini berarti energi ikat setara dengan massa yang lenyap pada penyusunan inti dari partikel penyusunnya. Energi ikat inti dapat dihitung dengan rumus:

$$E = \Delta m \cdot 931 \text{ MeV}$$

Atau

$$E = (Zm_p + (A - Z)m_n - M_{\text{nuklida}})931 \text{ MeV}$$

Dimana:



$m_p$  = massa proton = 1,0078 sma  
 $m_n$  = massa neutron = 1,0087 sma  
 $E$  = Energi ikat (J)

**Contoh soal:**

Hitunglah energi ikat total (E) dan energi ikat per nukleon ( $\frac{E}{A}$ ) dari  ${}^{56}_{26}\text{Fe}_{30}$ .

Penyelesaian:

${}^{56}_{26}\text{Fe}_{30}$ . Maka N = 30 dan Z = 26 dan A = 56.

$$BE = (Zm_p + (A - Z)M_n - M_{\text{nuklida}})931\text{MeV}$$

$$BE = [(26(1,0078) + (30 \times 1,0087) - (55,934939))931$$

$$BE = 492,3\text{MeV}$$

Untuk energi ikat per nukleon:

$$\left(\frac{BE}{A}\right) = \frac{492,3\text{MeV}}{56} = 8,791\text{MeV per nukleon.}$$

**1.11 GAYA INTI**

Di dalam inti atom selain terdapat gaya tolak elektrostatis antara proton dan proton, juga terjadi gaya tarik menarik antara neutron-neutron itu sendiri untuk mengimbangi gaya tolak elektrostatis tersebut. Gaya yang mempersatukan antara proton-proton atau neutron-neutron disebut **gaya inti**.

**Sifat – sifat gaya inti**

1. Gaya inti mempunyai sifat yang berbeda dengan gaya elektrostatis Coulomb dan gaya gravitasi
2. Gaya inti tidak tergantung pada muatan listrik, sehingga besarnya gaya antara proton-proton atau neutron-neutron sama besar.
3. Gaya inti bekerja pada jarak yang sangat dekat,  $\pm 10^{-15}$  m atau 1 fermi
4. Besarnya gaya inti adalah sangat besar, sekitar  $10^{-3}$  C.

**1.12 SOAL LATIHAN**

1. Hitung besar defek massa, energi ikat inti, dan energi ikat per nukleon nuklida berikut ini. ( $m_p = 1,0078$  sma,  $m_n = 1,0087$  sma, dan  $C^2$  setara dengan 931 MeV)
  - a.  ${}^{14}_7\text{N}$  dengan massa nuklida 14,0030 sma
  - b.  ${}^{238}_{92}\text{U}$  dengan massa nuklida 238,0508 sma
2. Hitung besarnya energi ikat inti dari isotop  ${}^{12}_6\text{C}$

## BAB X

# RADIOAKTIVITAS

### 10.1 Penemuan Radioaktivitas

Radioaktivitas ditemukan oleh H. Becquerel pada tahun 1896. Becquerel menamakan radiasi dengan uranium. Becquerel (Antoine Henri Becquerel, Perancis, 1852-1908) yang merupakan profesor fisika di Museum Sains Paris. Dua tahun kemudian Marie dan Pierre Curie menemukan dua unsur, polonium dan radium yang keduanya radioaktif.

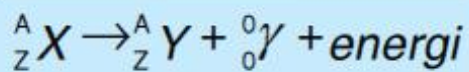
### 10.2 Radioaktivitas

Radioaktivitas adalah kemampuan inti atom tidak stabil untuk memancarkan radiasi dan berubah menjadi inti stabil. Peluruhan ialah perubahan inti atom yang tidak stabil menjadi inti atom yang lain, atau berubahnya suatu unsur radioaktif menjadi unsur yang lain. Proses peluruhan bersifat statistik eksponensial. Jumlah inti atom untuk meluruh setiap saat  $N$  bergantung pada jumlah sampel mula-mula inti induk  $N_0$ , selang waktu peluruhan  $t$ , dan tetapan desintegrasi  $\lambda$  yang memenuhi persamaan:

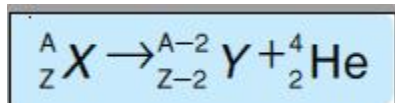
$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Ada lima jenis peluruhan radioaktif yaitu:

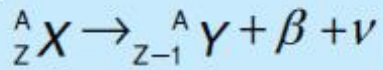
1. Peluruhan partikel Gamma ( $\gamma$ ): Bila inti atom memancarkan sinar gamma, tidak akan dihasilkan unsur baru, karena sinar gamma hanya merupakan energi foton yang tidak bermassa dan tidak bermuatan.



2. Peluruhan Alfa ( $\alpha$ ): Bila inti atom memancarkan sinar alpha atau helium, maka akan berubah menjadi isotop baru dengan nomor atom berkurang dua dan nomor massa berkurang empat.



3. Peluruhan Beta: Bila inti atom memancarkan sinar beta atau partikel elektron, maka akan berubah menjadi isotop baru yang nomor atomnya bertambah satu dan nomor massa tetap.



4. Penangkapan Elektron : Penangkapan elektron merupakan jenis peluruhan inti yang jarang terjadi. Dalam peluruhan ini, *elektron dari tingkat energi yang lebih dalam (misalkan subkulit 1s) akan ditangkap oleh inti atom. Elektron tersebut akan bergabung dengan proton pada inti atom membentuk neutron.* Akibatnya, nomor atom berkurang satu dan nomor massanya tetap sama.
5. Pemancaran Positron : Pemancaran positron tidak terjadi pada *isotop radioaktif yang meluruh secara alami, tetapi hal ini terjadi secara alami pada isotop radioaktif buatan manusia.* Positron pada dasarnya merupakan *elektron yang memiliki muatan positif.* Positron dapat terbentuk bila *proton di dalam inti atom meluruh menjadi neutron.* Positron yang terbentuk ini kemudian dipancarkan dari inti atom.

### 10.3 Waktu Paruh

Waktu paruh didefinisikan sebagai periode waktu dimana jumlah cacah inti atom induk yang bersifat radioaktif tinggal separuh dari cacah semula. Waktu paruh dirumuskan dengan:

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

Pada saat  $= nT_{1/2}$ , dengan n bilangan bulat maka persamaan diatas dapat dituliskan dalam bentuk:

$$N_i(t) = \left(\frac{1}{2}\right)^n N_0$$

atau

$$\frac{N_i}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

### 10.4 Aktivitas

Aktivitas merupakan laju peluruhan dan didefinisikan sebagai jumlah peluruhan tiap satuan waktu. Aktivitas dituliskan dengan persamaan:

$$A = \left| \frac{dN_i(t)}{dt} \right| = \lambda N_i(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

Aktivitas inti saat A memenuhi persamaan:

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

### 10.5 Contoh Soal

1. Waktu paruh suatu unsur radioaktif diketahui sebesar 30 menit. Dalam waktu dua jam tentukan berapa bagian dari unsur radioaktif tersebut: yang sudah meluruh dan yang tersisa?

2. Suatu zat radioaktif meluruh dengan waktu paro 20 hari. Agar zat radioaktif hanya tinggal  $\frac{1}{8}$  saja dari jumlah asalnya, maka diperlukan waktu....

Penyelesaian:

1. Diketahui:

$$t = 2 \text{ jam} = 120 \text{ menit}$$

$$T_{\frac{1}{2}} = 30 \text{ menit}$$

Ditanya:

$\frac{N_i}{N_o}$  ? dan Yang sudah meluruh?

Jawab:

$$\frac{N_i}{N_o} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

$$\frac{N_i}{N_o} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{120}{30}}$$

$$\frac{N_i}{N_o} = \frac{1}{16}$$

Yang sudah meluruh :  $1 - \frac{1}{16} = \frac{15}{16}$

2. Diketahui

$$T_{\frac{1}{2}} = 20 \text{ hari}$$

$$\frac{N_i}{N_o} = \frac{1}{8}$$

Ditanya :  $t = ?$

Jawab:

$$\frac{N_i}{N_o} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

$$\frac{1}{8} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{20}}$$

$$\left(\frac{1}{2}\right)^3 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{20}}$$

$$\frac{t}{20} = 3$$

$$t = 60$$

## 10.6 Soal Latihan

1. Inti  ${}_{88}^{226}\text{Ra}$  memiliki waktu paruh  $1,6 \times 10^3$  tahun. Jumlah inti  $3 \times 10^{16}$ . Berapakah aktivitas inti saat itu?
2. Sebuah bahan radioaktif yang waktu paruhnya 3 menit dengan massa awal 2 kg. tentukanlah:
  - a. Tetapan peluruhan bahan radioaktif tersebut
  - b. Setelah waktu 1 jam berapa massa radioaktif tersebut yang tinggal?
3. Massa unsur sebuah fosil radioaktif ditemukan adalah 0,5 gram. Diperkirakan massa radioaktif mula-mula adalah 2 gram. Tentukan umur fosil tersebut jika waktu paruh unsur radioaktif tersebut 6000 tahun.

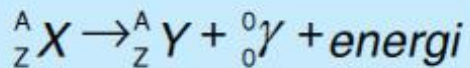
# BAB XI

## PELURUHAN

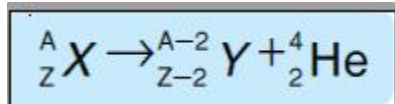
### 11.1 Jenis Peluruhan

Ada lima jenis peluruhan radioaktif yaitu:

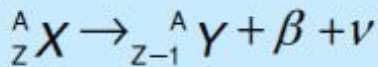
- ✓ Peluruhan partikel Gamma ( $\gamma$ ): Bila inti atom memancarkan sinar gamma, tidak akan dihasilkan unsur baru, karena sinar gamma hanya merupakan energi foton yang tidak bermassa dan tidak bermuatan.



- ✓ Peluruhan Alfa ( $\alpha$ ): Bila inti atom memancarkan sinar alpha atau helium, maka akan berubah menjadi isotop baru dengan nomor atom berkurang dua dan nomor massa berkurang empat.



- ✓ Peluruhan Beta : Bila inti atom memancarkan sinar beta atau partikel elektron, maka akan berubah menjadi isotop baru yang nomor atomnya bertambah satu dan nomor massa tetap.



- ✓ Penangkapan Elektron : Penangkapan elektron merupakan jenis peluruhan inti yang jarang terjadi. Dalam peluruhan ini, *elektron dari tingkat energi yang lebih dalam (misalkan subkulit 1s) akan ditangkap oleh inti atom. Elektron tersebut akan bergabung dengan proton pada inti atom membentuk neutron*. Akibatnya, nomor atom berkurang satu dan nomor massanya tetap sama.
- ✓ Pemancaran Positron : Pemancaran positron tidak terjadi pada *isotop radioaktif yang meluruh secara alami, tetapi hal ini terjadi secara alami pada isotop radioaktif buatan manusia*. Positron pada dasarnya merupakan *elektron yang memiliki muatan positif*. Positron dapat terbentuk bila *proton di dalam inti atom meluruh menjadi neutron*. Positron yang terbentuk ini kemudian dipancarkan dari inti atom.

### 11.2 PELURUHAN RADIOAKTIF

Peluruhan ialah perubahan inti atom yang tidak stabil menjadi inti atom yang lain, atau berubahnya suatu unsur radioaktif menjadi unsur yang lain. Proses peluruhan

bersifat statistik eksponensial. Jumlah inti atom untuk meluruh setiap saat  $N$  bergantung pada jumlah sampel mula-mula inti induk  $N_0$ , selang waktu peluruhan  $t$ , dan tetapan desintegrasi  $\lambda$  yang memenuhi persamaan:

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

### 11.3 Waktu Paruh

Waktu paruh didefinisikan sebagai periode waktu dimana jumlah cacah inti atom induk yang bersifat radioaktif tinggal separuh dari cacah semula. Waktu paruh dirumuskan dengan:

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

Pada saat  $= nT_{1/2}$ , dengan  $n$  bilangan bulat maka persamaan diatas dapat dituliskan dalam bentuk:

$$N_i(t) = \left(\frac{1}{2}\right)^n N_0$$

atau

$$\frac{N_i}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

### 11.4 Aktivitas

Aktivitas merupakan laju peluruhan dan didefinisikan sebagai jumlah peluruhan tiap satuan waktu. Aktivitas dituliskan dengan persamaan:

$$A = \left| \frac{dN_i(t)}{dt} \right| = \lambda N_i(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

Aktivitas inti saat  $A$  memenuhi persamaan:

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

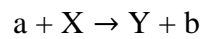
## BAB XII

### REAKSI INTI, FUSI DAN FISI NUKLIR

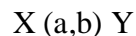
#### 12.1 REAKSI INTI

Reaksi inti pertama kali diamati oleh Rutherford pada tahun 1919. Sejak saat itu ribuan reaksi nuklir telah diamati terutama setelah ditemukannya alat pemercepat partikel pada tahun 1930.

Reaksi inti dapat terjadi ketika inti target X yang dalam keadaan diam dibombardir oleh partikel energetik a hingga dihasilkan inti baru Y dan partikel baru b:



atau



**Pada reaksi inti ini berlaku hukum kekekalan yaitu :**

- Hukum kekekalan nomor massa : jumlah nucleon total sebelum dan sesudah reaksi sama.
- Hukum kekekalan muatan atau nomor atom : jumlah muatan sebelum dan sesudah reaksi sama
- Hukum kekekalan energi , momentum linier dan momentum orbital.

Besarnya energy reaksi dituliskan dengan persamaan:

$$Q = (M_x + M_a - M_y - M_b) \cdot 931,49 \text{ MeV}$$

Apabila reaksi inti tersebut membebaskan sejumlah energi atau Q positif maka disebut reaksi eksotermik. Energi reaksi sebagai hasil dari perubahan massa inti menjadi energy kinetic dari partikel produk Y dan b.

Apabila pada reaksi tersebut harga Q negative maka diperlukan energi kinetic input minimum pada proses pembombardiran partikel supaya reaksi bisa berlangsung. Reaksi seperti itu dinamakan reaksi endotermik. Pada reaksi endotermik partikel datang harus memiliki harga energi kinetic minimum (energi kinetic ambang) tertentu supaya reaksi inti bisa berlangsung.

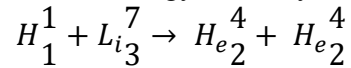
Besar energi kinetic ambang dirumuskan:

$$K_{th} = -Q \left( 1 + \frac{M_a}{M_x} \right)$$

**Contoh Soal:**



Pada reaksi Cockroft Walton dibawah merupakan reaksi ini pertama kali diamati tahun 1932. Tentukanlah energy reaksinya.



Penyelesaian:

Berlaku hukum kekekalan pada reaksi inti, maka:

- Jumlah nomor massa sebelum reaksi  $1 + 7 = 8$  sama dengan jumlah nomor massa setelah reaksi  $4 + 4 = 8$ .
- Jumlah muatan sebelum reaksi  $1 + 3 = 4$  sama dengan jumlah muatan setelah reaksi  $2 + 2 = 4$ .
- Energi yang dihasilkan atau diserap dari reaksi seperti itu disebut energi reaksi  $Q$  yaitu :

$$Q = (M_x + M_a - M_y - M_b) \cdot 931,49 \text{ MeV}$$

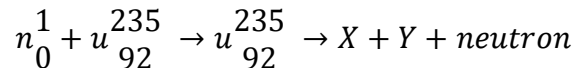
$$Q = (7,016003 + 1,007825 - 4,002603 - 4,002603) \cdot 931,49 \text{ MeV}$$

$$Q = 17,3 \text{ MeV}$$

## 12.2 REAKSI FISI NUKLIR

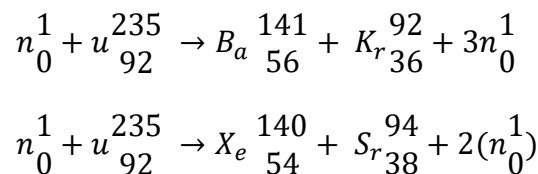
Reaksi fisi disebut juga reaksi pembelahan inti. Fisi nuklir merupakan proses pembelahan inti berat menjadi dua atau lebih inti yang lebih ringan dengan melepaskan energi.

Fisi nuklir terjadi ketika inti yang sangat berat seperti  $U^{235}$  pecah menjadi dua fragmen yang lebih kecil dengan masing masing massanya hampir sama. Proses fisi nuklir pertama kali diamati oleh Otto Hahn dan Fritz Strassmann pada tahun 1939 Neutron termal dapat menciptakan fisi dalam  $U^{235}$  seperti berikut :



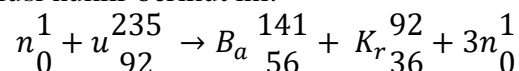
Dimana X dan Y adalah dua inti baru yang massanya tidak berbeda jauh. Pada setiap fisi akan dihasilkan 2 atau 3 neutron baru atau rata ratanya 2,5. Neutron baru ini memiliki energi kinetic besar. Inti inti baru yang terbentuk selanjutnya melakukan serangkaian peluruhan gama dan beta hingga pada akhirnya menjadi berbagai macam isotop.

**Contoh reaksi fisi nuklir ialah :**



### Contoh Soal

Perhatikan reaksifusi nuklir berikut ini:



- Tentukanlah jumlah energy yang dihasilkan bila massa  $n = 1,008665$  u , massa  $u = 235,043915$  u , massa  $B_a = 140,9139$  dan massa  $K_r = 91,8973$  u.
- Hitunglah jumlah energi yang dibebaskan jika 1 Kg Uranium tersebut melakukan fisi lengkap.
- Bila energi pada soal b) seluruhnya dikonversi menjadi energi listrik berapa KWH jumlah energi listrik yang dihasilkan ( $1\text{MeV} = 4,14 \times 10^{-20}$  KWH)

Penyelesaian:

- Energi yang dihasilkan ketika 1 buah inti atom Uranium melakukan fisi ialah

$$Q = (M_x + M_a - M_y - M_b) \cdot 931,49 \text{ MeV}$$

$$Q = (235,043915 + 1,008665) - (140,9139 + 91,8973 + 3 \times 1,008665) \cdot 931,49 \text{ MeV}$$

$$Q = 200,6 \text{ MeV}$$

- Jumlah inti uranium dalam 1 Kg sample uranium ialah :

$$N = \frac{1000 \text{ gram}}{235 \text{ gram/Mol}} \times \frac{6,02 \times 10^{23} \text{ partikel}}{\text{mol}} = 2,56 \times 10^{24}$$

Maka jumlah energi total yang dibebaskan ialah :

$$E = N \cdot Q = 2,56 \times 10^{24} \text{ partikel} \times 200,6 \text{ MeV/partikel}$$

$$E = 5,135 \times 10^{26} \text{ MeV}$$

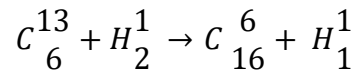
- Jumlah energy listrik yang dihasilkan:

$$E = 5,135 \times 10^{26} \text{ MeV} \times 4,14 \times 10^{-20} \text{ KWH/MeV}$$

$$E = 21,27 \times 10^7 \text{ KWH}$$

### 12.3 Soal Latihan

- Perhatikan reaksi inti berikut ini:



Jika diketahui massa:

$$C_6^{13} = 13,0033 \text{ sma}$$

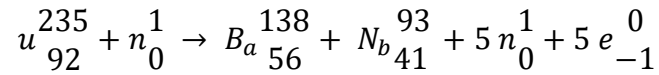
$$H_2^1 = 2,141 \text{ sma}$$

$$C_{16}^6 = 14,0030$$

$$H_1^1 = 1,0078 \text{ sma}$$

Tentukan besarnya energy yang terjadi pada reaksi inti tersebut jika 1 sma setara dengan 931MeV.

2. Hitung besarnya energy yang dibebaskan reaksi fisi uranium berikut:



Jika diketahui massa:

$${}_{92}^{235}\text{u} = 235,0439 \text{ sma}$$

$${}_0^1\text{n} = 1,0087 \text{ sma}$$

$${}_{56}^{138}\text{Ba} = 137,9050 \text{ sma}$$

$${}_{41}^{93}\text{Nb} = 92,9060 \text{ sma}$$

$$5 {}_0^1\text{n} = 5,0435 \text{ sma}$$

$$5 e_{-1}^0 = 0,0055 \text{ sma}$$

## DAFTAR PUSTAKA

- 1) Thornton, S.T. dan Rex, A.2006. *Modern Physics for Scientists and Engineers*. 3<sup>rd</sup> edition, Singapore:Thomson.
- 2) Krane, K. 2012. *Modern Physics*. 3<sup>rd</sup> edition, 2012, New York: John Wiley & Sons.
- 3) Beiser, A. 1995. *Concept of Modern Physics*. 5<sup>th</sup> edition, New York: Mc Graw Hill.