

## BAB 10 GAYA NUKLIR DAN MODEL INTI

### 10.1 Energi Ikat

Deutrium isotop hidrogen,  ${}^2_1H$ , memiliki neutron dan proton dalam intinya. Jika dihubungkan massa deutrium (2,014102 u) dengan massa proton (1,007825 u) ditambah dengan massa neutron (1,008665 u), terdapat kehilangan atau kekurangan massa sebesar 0,0024 u yang bersesuaian dengan energi sebesar  $(0,0024 \text{ u})(931,5 \text{ MeV/u}) = 2,2 \text{ MeV}$ . Energi sebesar ini ternyata sama dengan energi yang diperlukan untuk memecah deutrium menjadi proton dan neutron yang terpisah. Energi ini disebut dengan energi ikat inti. Energi ikat inti sangat besar. Kisaran energi ikat inti mantap ialah dari 2.2 MeV untuk  ${}^2_1H$  (deutrium) hingga 1640 MeV untuk  ${}^{209}_{83}Bi$ . Energi ikat per nukleon didapat dengan membagi energi ikat total inti dengan jumlah proton dan neutron dalam inti tersebut. Kurva energi ikat per nukleon ini lebih kecil pada titik ringan kemudian menaik dan mencapai puncaknya pada  ${}^{56}_{26}Fe$ , kemudian menurun. Lebih besar energi ikat per nukleon sebuah inti lebih mantap inti tersebut.

### 10.2 Struktur Inti

Inti sebuah atom terdiri dari nukleon-nukleon yang diikat oleh suatu gaya inti. Untuk menyelidiki gaya inti tersebut, maka diadakan asumsi sebagai berikut : (1) Gaya inti dapat dinyatakan dengan suatu interaksi antara dua benda (two body interaction), (2) Interaksi tersebut dapat dinyatakan dengan suatu potensial, dan (3) Pengaruh relativitas dapat diabaikan.

Ada beberapa bentuk potensial yang telah diajukan,

1) Potensial Sumur Persegi

$$\begin{aligned} v &= -v_0 & \text{untuk } r < r_0 \\ v &= 0 & \text{untuk } r > r_0 \end{aligned} \quad (10.1)$$

2) Potensial Eksponensial

$$v = -v_E \exp\left(\frac{r}{r_0}\right) \quad (10.2)$$

3) Potensial Gaussian

$$v = -v_G \exp\left[-\left(\frac{r}{r_0}\right)^2\right] \quad (10.3)$$

#### 4) Potensial Yukawa

$$v = -v_Y \frac{\exp(-r/r_0)}{r/r_0} \quad (10.4)$$

Model-model inti dapat dibagi dalam tiga golongan :

##### 1. Model Partikel Bebas

Dalam model ini, nukleon dianggap bergerak dalam orbit suatu potensial sentral yang ditimbulkan oleh nukleon-nukleon dalam inti. Interaksi antara nukleon dengan nukleon diabaikan. Termasuk dalam kategori ini : Model Kulit.

##### 2. Model Statistik

Model ini menganggap interaksi antara nukleon dengan nukleon besar. Nukleon-nukleon bergerak secara kolektif dan dipecahkan secara statistik. Termasuk dalam kategori ini ialah Model Tetes Zat Cair, Model Gas Fermi dan Model Kolektif.

##### 3. Model Penyatuan (*Unified Model*)

Kombinasi antara kedua golongan model tersebut menghasilkan suatu model yang lebih realistik, akan tetapi persoalan matematikanya menjadi sangat rumit. Termasuk dalam kategori ini adalah Model Penyatuan (*Unified Model*).

Selain model di atas masih ada model lain yang tidak termasuk dalam klasifikasi tersebut diantaranya adalah Model Partikel Alfa dan Model Optik. Berikut ini akan dibahas 2 model utama yaitu Model Kulit dan Model Tetes Cairan.

### 10.3 Model Kulit

Model Kulit pada inti sama dengan model kulit pada atom, yaitu elektron-elektron dalam sebuah atom berada dalam kulit dan sub kulit atom. Apabila ditentukan potensial ionisasi untuk atom-atom dengan  $Z$  yang berbeda-beda, maka jelaslah bahwa potensial ionisasi menjadi sangat besar untuk atom-atom He, Ne, Ar, Kr, dan Xe dengan  $Z = 2, 10, 18, 36, 54$ . Bilangan ini berkorespondensi dengan atom-atom yang stabil, dinamakan bilangan mujizat (*Magic Number*). Data eksperimen menunjukkan bahwa untuk inti terdapat juga bilangan-bilangan mujizat yaitu 2, 8, 20, 28, 50, 82, dan 126. Inti-inti yang mempunyai jumlah

proton (Z) atau jumlah neutron (N) sama dengan bilangan muatan ternyata sangat stabil. Jadi nukleon-nukleon pun berada dalam kulit-kulit.

#### 10.4 Model Tetesan Cairan

Model tetesan cairan didasarkan atas asumsi : (1) Inti dianggap terdiri dari zat yang tak termampatkan sehingga jari-jarinya berbanding lurus dengan  $A^{1/3}$  atau  $R = r_0 A^{1/3}$ , (2) Gaya inti tak tergantung pada muatan nukleon, sehingga gaya inti : (n-n) (p-p) (n-p) dan (3) Gaya inti mempunyai sifat jenuh.

##### 1) Energi Volume

Setiap pasangan nukleon memiliki energi ikat sebesar U, maka masing-masing nukleon memiliki energi ikat  $\frac{1}{2} U$ . Jika masing-masing nukleon memiliki tetangga sebesar T maka jumlah energi ikatnya adalah  $\frac{1}{2} T U$ . Misalkan semua A nukleon inti berada di bagian dalam (interior), energi ikat total dari inti, sebagai energi volume  $E_v$ , ialah

$$E_v = \frac{1}{2} T U A \quad (10.5)$$

Ini dapat ditulis sebagai

$$E_v = a_1 A \quad (10.6)$$

##### 2) Energi Permukaan

Sebenarnya beberapa nukleon tentu harus terdapat pada permukaan, sehingga memiliki tetangga kurang dari T buah. Banyaknya tetangga nukleon seperti itu sebanding dengan luas permukaan inti,

$$4 \pi R^2 = 4 \pi R_0^2 A^{2/3} \quad (10.7)$$

Ini mereduksi energi ikat total dengan energi permukaan  $E_s$

$$E_s = -a_2 A^{2/3} \quad (10.8)$$

##### 3) Energi Coulomb

Gaya tolak listrik antara setiap pasangan proton memberi kontribusi pada pengurangan energi ikat total. Energi potensial sepasang proton yang berjarak r adalah

$$V = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (10.9)$$

Karena terdapat  $Z(Z-1)/2$  pasangan proton, maka energi coulomb  $E_c$

$$E_c = \frac{Z(Z-1)}{8fV_0} \left( \frac{1}{r} \right)_{av} \quad (10.10)$$

Dengan  $(1/r)_{av}$  harga rata-rata  $1/r$  terhadap semua pasangan proton. Jika proton terdistribusi serbasama keseluruh bagian sebuah inti berjari-jari  $R$ ,  $(1/r)_{av}$  berbanding lurus dengan  $1/R$  sehingga berbanding lurus dengan  $1/A^{1/3}$ , sehingga mereduksi energi ikat total dengan

$$E_c = -a_3 \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} \quad (10.11)$$

Sampai disini model tetesan cairan dapat menghasilkan energi ikat total

$$E_b = E_v + E_s + E_c = a_1 A + a_2 A^{2/3} - a_3 \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} \quad (10.12)$$

dengan energi ikat per nukleon adalah

$$\frac{E_b}{A} = a_1 - \frac{a_2}{A^{1/3}} - a_3 \frac{Z(Z-1)}{A^{4/3}} \quad (10.13)$$

Persamaan di atas yang merupakan kurva teoritis dapat dicocokkan dengan baik dengan kurva empiris yang menunjukkan model tetesan cairan dapat diterima namun masih harus dikoreksi dengan memasukkan dua efek yang tidak cocok dengan model tetesan cairan, tetapi dapat diterangkan dengan model yang menghasilkan tingkat energi.

#### 4) Energi Asimetri

Kenyataan menunjukkan jika jumlah proton ( $Z$ ) sama dengan jumlah neutron ( $N$ ) inti menjadi sangat stabil. Jika terjadi sebaliknya energi ikat akan direduksi. Setiap tingkat energi paling atas hanya dapat diisi oleh dua partikel masing-masing (prinsip eksklusi Pauli), yang memiliki jarak yang sama. Misalnya agar menghasilkan kelebihan neutron  $N - Z = 8$ , tanpa mengubah  $A$ ,  $1/2 (N - Z) = 4$  proton harus diganti neutron, dalam inti asal yang memiliki  $N = Z$ . Neutron yang baru harus menempati tingkat energi yang lebih tinggi dengan  $2 \times 1/2 = 1$  dibandingkan dengan proton yang digantikannya. Pada umumnya  $1/2 (N - Z)$  proton harus digeser, masing-masing harus ditambah energinya dengan  $1/2 (N - Z) \times 1/2$ , dan kerja total yang diperlukan ialah

$$\Delta E = \text{banyaknya neutron baru} \times \left( \frac{\text{pertambahan energi}}{\text{neutron baru}} \right)$$

$$= \left[ \frac{1}{2}(N-Z) \right] \left[ \frac{1}{2}(N-Z) \frac{v}{2} \right] = \frac{v}{8}(N-Z)^2 \quad (10.14)$$

Hal yang sama juga berlaku untuk proton jika  $Z > N$ , karena  $(N-Z)^2$  selalu positif. Karena  $N = A - Z$ ,  $(N-Z)^2 = (A - 2Z)^2$ , dan

$$\Delta E = \frac{v}{8}(A - 2Z)^2 \quad (10.15)$$

Lebih besar jumlah nukleon dalam inti, lebih kecil jarak selang energi, dengan berbanding lurus dengan  $1/A$ . Ini berarti energi asimetri  $E_a$ , akan mereduksi energi ikat total untuk inti yang  $N - Z$  sebesar

$$E_a = -\Delta E = -a_4 \frac{(A - 2Z)^2}{A} \quad (10.16)$$

### 5) Energi Pasangan

Umumnya inti genap-genap ( $Z$  genap,  $N$  genap) merupakan inti termantap, muncul sebagai puncak dalam kurva empiris energi ikat per nukleon, sementara inti ganjil-ganjil yang memiliki proton dan neutron yang tidak berpasangan memiliki energi ikat paling rendah. Energi pasangan  $E_p$  berharga positif untuk inti genap-genap, nol untuk inti genap-ganjil dan ganjil-genap, dan negatif untuk inti ganjil-ganjil, yang besarnya

$$E_p = (\pm, 0) \frac{a_5}{A^{3/4}} \quad (10.17)$$

Rumus akhir untuk menyatakan energi ikat sebuah inti bernomor atom  $Z$  dan bernomor massa  $A$  yang pertama kali dikemukakan oleh C.F. von Weizsacker pada tahun 1935 yang disebut dengan rumus energi ikat semi empiris ialah

$$E_b = a_1 A - a_2 A^{2/3} - a_3 \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} - a_4 \frac{(A-2Z)^2}{A} (\pm, 0) \frac{a_5}{A^{3/4}} \quad (10.18)$$

Kumpulan koefisien yang cocok dengan data ialah sebagai berikut

$$a_1 = 14 \text{ MeV} \quad a_2 = 13 \text{ MeV} \quad a_3 = 0,60 \text{ MeV}$$

$$a_4 = 19 \text{ MeV} \quad a_5 = 34 \text{ MeV} \quad (10.19)$$

Persamaan di atas menunjukkan kesesuaian dengan eksperimental. yang berarti bahwa model nuklir tetesan cairan dapat diterima namun masih membutuhkan pembahasan lebih lanjut.

## PERTANYAAN DAN SOAL-SOAL

1. Carilah energi ikat per nukleon dalam  ${}_{10}^{20}\text{Ne}$  dan  ${}_{26}^{56}\text{Fe}$ .
2. Carilah energi ikat per nukleon dalam  ${}_{35}^{79}\text{Br}$  dan  ${}_{79}^{197}\text{Au}$ .
3. Cari energi yang diperlukan untuk menyingkirkan neutron dari  ${}_{2}^{4}\text{He}$ , kemudian energi untuk menyingkirkan sebuah proton dan akhirnya untuk memisahkan neutron dan proton. Bandingkan energi total dengan energi ikat  ${}_{2}^{4}\text{He}$ .
4. Energi ikat  ${}_{10}^{20}\text{Ne}$  ialah 160,64 MeV. Carilah massa atomiknya.
5. Gunakan rumus energi ikat semi empiris untuk menghitung energi ikat  ${}_{20}^{40}\text{Ca}$ . Berapa persentase penyimpangan antara hasil ini dengan energi ikat sebenarnya. Massa atomik  ${}_{20}^{40}\text{Ca}$  ialah 39,96371 u.