

# 2

# Struktur Atom Hidrogen

## Standar Kompetensi

Melakukan kajian ilmiah sehubungan dengan perkembangan teori atom kuantum dan menerapkan batas-batas berlakunya relativitas Einstein dalam paradigma fisika modern.

## Kompetensi Dasar

- Melakukan kajian ilmiah sehubungan dengan perkembangan teori atom

## Indikator

- Memformulasikan evolusi model atom Thomson, Rutherford dan Bohr
- Memformulasikan kuantisasi momentum dan energi pada model atom Bohr
- Menjelaskan terjadinya spectrum diskrit pada model atom Bohr
- Memformulasikan terjadinya spectrum diskrit pada model atom Bohr
- Memformulasikan efek Zeeman
- Memformulasikan atom berelektron banyak kaitannya dengan azas larangan Pauli dan sifat kimia unsur

## Pendalaman Materi

### A. PERKEMBANGAN TEORI ATOM

#### Model Atom Dalton

- Zat terdiri dari atom yang merupakan sesuatu yang tidak dapat dibagi-bagi lagi
- Atom penyusun suatu zat memiliki sifat sama, tidak dapat berubah menjadi unsure lain
- Atom-atom dapat membentuk molekul
- Perbedaan antara zat dengan zat lain disebabkan karena perbedaan atom-atom penyusunnya
- Reaksi kimia pada dasarnya merupakan penyusunan kembali atom-atom penyusun zat. Atom-atom berpisah dan kemudian membentuk susunan lain yang massa keseluruhannya tetap
- Dalam reaksi kimia, jumlah atom yang terlibat memiliki perbandingan tertentu yang sederhana.

Dalton menyatakan bahwa atom merupakan bagian terkecil dari zat. Pernyataan ini disanggah oleh Thomson melalui percobaan sinar katode, bahwa ada bagian zat lain yang lebih kecil dari atom yaitu electron.

#### Model Atom Thomson

- Atom berbentuk bulat dengan muatan positif dan muatan negatif tersebar merata diseluruh bagian atom
- Jumlah muatan positif sama dengan jumlah muatan negatif, sehingga atom bersifat netral
- Massa electron jauh lebih kecil dari massa atom

Kelemahan model atom Thomson adalah tidak dapat menjelaskan spectrum gas Hidrogen

#### Model Atom Rutherford

Dengan percobaan hamburan partikel alpha, Rutherford mengemukakan model atom berikut:

- Pada atom terdapat inti atom yang merupakan konsentrasi muatan positif, yang berukuran kecil tetapi memiliki massanya 99,99% dari total massa atom.
- Sebagian besar ruangan dalam atom merupakan ruang kosong
- Muatan negatif (electron) bergerak mengelilingi inti atom.

Kelemahan model atom Rutherford adalah :

- tidak dapat menjelaskan kestabilan atom. Rutherford meramalkan bahwa atom tidak stabil pada orbitnya, padahal atom secara umum bersifat stabil.
- tidak dapat menjelaskan terjadinya spectrum garis atom Hidrogen. Rutherford meramalkan spectrum kontinu, padahal spectrum atom H adalah spectrum garis

### B. SPEKTRUM ATOM HIDROGEN

Atom Hidrogen merupakan atom yang paling sederhana, karena hanya memiliki sebuah electron, sehingga spektrumnya juga sederhana. Jika sebuah elektrom meloncat dari kulit B ke kulit A, maka akan dihasilkan spectrum. Besarnya panjang gelombang yang dihasilkan dari spectrum garis atom Hidrogen memenuhi persamaan berikut :

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_A^2} - \frac{1}{n_B^2} \right)$$

$\lambda$  = panjang

R = tetapan Rydberg ( $1,097 \times 10^7$  /m)

$n_A$  dan  $n_B$  = kulit A dan B

Deret spectrum atom Hidrogen dapat dirangkum sebagai berikut :

- Deret Lyman (deret ultra ungu)  
Terjadi jika electron dari kulit terluar menuju kulit pertama / kulit K ( $n_A = 1, n_B = 2, 3, 4, \dots$ )
- Deret Balmer (deret cahaya tampak)  
Terjadi jika electron dari kulit terluar menuju kulit kedua/kulit L ( $n_A = 2, n_B = 3, 4, 5, \dots$ )
- Deret Paschen( deret inframerah I)  
Terjadi jika electron dari kulit terluar menuju kulit ketiga/kulit M ( $n_A = 3, n_B = 4, 5, 6, \dots$ )

- Deret Brackett (deret inframerah II)  
Terjadi jika electron dari kulit terluar menuju kulit keempat/kulit N ( $n_A = 4, n_B = 5, 6, 7, \dots$ )
- Deret Pfund (deret inframerah III)  
Terjadi jika electron dari kulit terluar menuju kulit kelima/kulit O ( $n_A = 5, n_B = 6, 7, 8, \dots$ )

### C. MODEL ATOM BOHR

Model atom Bohr pada dasarnya sama dengan Rutherford, yaitu atom terdiri dari inti atom yang dikelilingi electron. Inti atom merupakan pusat massa atom. Untuk menjelaskan kelemahan teori atom Rutherford, Bohr menyusun dua postulatnya, yaitu :

- Elektron bergerak mengelilingi inti atom pada lintasan stasioner, tanpa membebaskan energi dengan momentum sudut yang besarnya :

$$L = m.v.r = \frac{n.h}{2\pi}$$

- Elektron dapat berpindah lintasan. Jika electron berpindah dari lintasan luar ke lintasan dalam dipancarkan energi. Sebaliknya jika electron pindah dari lintasan dalam ke lintasan luar akan menyerap energi sebesar :

$$E = E_2 - E_1 = h.f = \frac{h.c}{\lambda}$$

L = momentum sudut ( $\text{kgm}^2/\text{s}$ )  
 m = massa electron (kg)  
 v = kecepatan linier electron (m/s)  
 n = kulit lintasan (bilangan kuantum)  
 h = tetapan Plank (Js)  
 $\lambda$  = panjang gelombang (m)  
 E = energi yang dipancarkan / diserap (J)  
 $E_1$  = energi pada lintasan awal (J)  
 $E_2$  = energi pada lintasan akhir (J)  
 f = frekuensi foton (Hz)  
 c = cepat rambat cahaya (m/s)

Besarnya energi electron pada lintasan n adalah :

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2} eV$$

$$r_n = n^2 . r_1$$

$$r_1 = 0,5292 A^\circ$$

$E_n$  = energi electron pada lintasan n (eV)  
 (1 eV =  $1,6 \times 10^{-19}$  J)  
 n = kulit lintasan  
 $r_1$  = jari-jari lintasan electron pada kulit K  
 $r_n$  = jari-jari lintasan electron pada kulit n

### Uji Kompetensi

- Tentukan panjang gelombang terpanjang dan terpendek deret Lyman atom Hidrogen !

- Berapa panjang gelombang yang diperlukan agar electron atom H tereksitasi dari keadaan dasarnya ke kulit M ?
- Spektrum deret Paschen menghasilkan panjang gelombang  $1,28 \times 10^{-6}$  m. Tentukan kulit asal ( $n_B$ ) electron berpindah !
- Elektron atom H berada pada orbit Bohr n = 3. Tentukan besarnya :
  - jari-jari orbit electron
  - gaya elektrostatik yang dialami electron
  - kelajuan linier electron berputar
- Elektron berpindah dari lintasan n = 3 ke n = 1 dengan memancarkan energi. Tentukan besarnya :
  - energi pada masing-masing kulit lintasan
  - energi foton yang dipancarkan
  - frekuensi foton yang terpancar
  - panjang gelombang foton yang dipancarkan
- Sebuah elketron bertransisi dari kulit n = 7 untuk menghasilkan deret Paschen. Hitung lah besarnya :
  - energi yang dipancarkan
  - panjang gelombang foton

### D. BILANGAN KUANTUM

Model atom Bohr sukses menjelaskan kestabilan atom dan spectrum garis atom Hidrogen, tetapi tidak dapat menjelaskan :

- efek Zeeman, yaitu gejala tambahan garis-garis spectrum jika atom-atom tereksitasi diletakkan dalam medan magnetic
- Spektrum dari atom-atom berelektron banyak

Kedua kelemahan tersebut dapat diterangkan dengan model atom mekanika kuantum, dengan menggunakan bilangan kuantum. Bilangan kuantum ada empat jenis, yaitu :

- Bilangan kuantum utama (n)**  
Bilangan kuantum utama menentukan tingkat energi dari jari-jari orbital electron atau kulit-kulit atom. Energi total electron pada kulit ke-n adalah :

$$E_n = \frac{-13,6.z^2}{n^2} eV$$

z = nomor atom

Nilai bilangan kuantum utama n = 1, 2, 3, ...  
 Nilai n = 1 disebut kulit K  
 Nilai n = 2 disebut kulit L  
 Nilai n = 3 disebut kulit M, dst.

Bilangan kuantum utama membatasi jumlah electron maksimum yang dapat menempati suatu orbit (kulit). Jumlah electron maksimum pada orbit ke-n adalah  $2n^2$ .

- Bilangan kuantum orbital (l)**  
Bilangan kuantum orbital menentukan besarnya momentum sudut electron dalam mengelilingi inti atom. Nilai bilangan kuantum orbital adalah l. = 0, 1, 2, 3 ....(n-1).  
 Nilai l. = 0 disebut sub kulit s  
 Nilai l. = 1 disebut sub kulit p  
 Nilai l. = 2 disebut sub kulit d

Nilai  $l = 3$  disebut sub kulit f  
 Nilai  $l = 4$  disebut sub kulit g  
 Nilai  $l = 5$  disebut sub kulit h  
 Besarnya momentum sudut electron memenuhi persamaan :

$$L = \sqrt{l(l+1)}\hbar = \sqrt{l(l+1)}\frac{h}{2\pi}$$

$L$  = momentum sudut elektron  
 $l$  = bilangan kuantum orbital

3. **Bilangan kuantum magnetic ( $m$ )**

Bilangan kuantum magnetic menentukan arah dari momentum sudut electron. Nilai bilangan kuantum magnetic adalah mulai dari  $-l$  hingga  $+l$ . ( $m = -l, \dots, -2, -1, 0, +1, +2, \dots, +l$ .)  
 Setiap nilai  $l$  memiliki nilai  $m$  sebanyak  $(2l+1)$   
 Hubungan antara nilai  $m$  dengan arah momentum sudut orbital pada sumbu Z adalah :

$$L_z = m\hbar = \frac{m\cdot h}{2\pi}$$

$L_z$  = komponen  $L$  pada sumbu Z  
 $m$  = nilai bilangan kuantum magnetic  
 $h$  = tetapan Plank

4. **Bilangan kuantum spin ( $s$ )**

Bilangan kuantum spin menentukan arah perputaran electron terhadap sumbunya. Nilai bilangan kuantum spin ada dua, yaitu  $s = +\frac{1}{2}$  yang menyatakan arah spin ke atas dan  $s = -\frac{1}{2}$  yang menyatakan arah spin ke bawah.

E. **AZAS PAULI**

Azas Pauli (prinsip larangan pauli) menyatakan bahwa dalam suatu atom tidak boleh ada electron yang memiliki keempat bilangan kuantum yang sama. Azas Pauli dapat diterapkan bersama dengan aturan Aufbau (pengisian electron pada orbitalnya berdasarkan kenaikan tingkat energi) dan aturan Hund (pengisian orbital setingkat tidak boleh berpasangan sebelum seluruh orbital setingkat terisi oleh sebuah electron).

F. **SPEKTRUM EMISI DAN ABSORPSI**

Spektrum emisi (pancar) adalah panjang gelombang-panjang gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh suatu zat. Spektrum emisi ada tiga jenis, yaitu spektrum kontinu, spectrum pita dan spektrum garis. Spektrum garis dihasilkan oleh gas bertekanan rendah yang dipanaskan. Spektrum pita dihasilkan oleh gas dalam keadaan molekuler, misalnya  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$  dan  $CO$ . Spektrum kontinu dihasilkan oleh zat padat, cair dan zat gas yang berpijar.

Spektrum absorpsi (serapan) adalah spectrum yang terjadi karena penyerapan panjang gelombang tertentu oleh suatu zat terhadap radiasi gelombang elektromagnetik yang memiliki spectrum emisi kontinu. Contoh spectrum ini adalah spectrum matahari.

G. **ENERGI IONISASI DAN AFINITAS ELEKTRON**

Energi ionisasi adalah energi minimum yang diperlukan untuk membebaskan sebuah electron dari atomnya. Makin besar energi ionisasi, makin sukar bagi suatu atom untuk membebaskan elektronnya.

Atom-atom dalam golongan alkali (Li, Na, K, Rb, Cs) memiliki energi ionisasi terkecil, sebab hanya memiliki sebuah electron valensi (electron pada kulit terluar). Untuk memiliki kulit tertutup dengan 8 elektron (atom stabil), atom-atom ini lebih mudah untuk melepaskan electron valensi dari pada menangkap 7 buah electron. Makin mudah electron itu bebas dari atomnya, makin kecil energi ionisasinya. Atom-atom dalam golongan gas mulia (He, Ar, Kr, Xe dan Rn) memiliki energi ionisasi paling besar, sebab pada kulit terluarnya terisi 8 buah electron.

Jika kita bergerak dari atas ke bawah dalam satu golongan pada sistem periodic unsur-unsur berkala energi ionisasinya makin kecil, sebab jumlah kulit yang terisi electron bertambah dan gaya Coulomb antara electron terluar dengan inti atom semakin kecil, akibatnya electron terluar lebih mudah bebas.

Jika kita bergerak dari kiri ke kanan dalam satu periode energi ionisasinya semakin besar, sebab jumlah kulit yang terisi electron tetap, tetapi jumlah nomor atom (muatan inti) bertambah, akibatnya gaya Coulomb antara electron terluar dan inti atom semakin besar, sehingga electron terluar sukar untuk bebas.

Besarnya energi ionisasi electron pada kulit ke- $n$  adalah :

$$E_n = \frac{+13,6}{n^2} eV$$

Afinitas electron adalah besarnya energi yang dibebaskan ketika sebuah atom netral menangkap electron untuk membentuk ion negatif. Makin mudah suatu atom menangkap electron, maka makin besar energi yang dibebaskan, sehingga makin besar nilai negatif afinitas elektronnya. Unsur-unsur Halogen (F, Cl, Br dan I) memiliki afinitas electron terbesar.

**Uji Kompetensi**

1. Tentukan jumlah electron maksimum yang dapat menempati kulit K, L, M dan kulit N !
2. Ion  $Li^{+2}$  memiliki sebuah electron. Tentukan energi total yang dimiliki oleh electron tersebut jika menempati bilangan kuantum utama  $n = 3$  !
3. Untuk bilangan kuantum orbital  $l = 2$ , tentukan :
  - a. besarnya momentum sudut electron yang mungkin
  - b. momentum sudut electron dalam arah sumbu Z
4. Tentukan keempat bilangan kuantum dari sebuah electron paling luar pada atom oksigen yang memiliki konfigurasi electron  $1s^2 2s^2 2p^4$  !
5. Tentukan keempat bilangan kuantum dari electron yang menempati orbit L !

## Evaluasi

1. Salah satu konsep atom menurut Dalton adalah ...
  - a. molekul terdiri dari atom-atom
  - b. massa keseluruhan atom berubah
  - c. atom tidak bergabung dengan atom lain
  - d. atom tidak dapat membentuk suatu molekul
  - e. atom dapat dipecah-pecah lagi
2. Percobaan Rutherford menghasilkan kesimpulan ...
  - a. atom adalah bagian terkecil dari unsure
  - b. electron adalah bagian atom yang bermuatan negatif
  - c. atom memiliki massa yang tersebar merata
  - d. massa atom terpusat pada inti
  - e. electron mengelilingi inti pada lintasan tertentu
3. Kesamaan antara model atom Rutherford dan Bohr adalah berikut, *kecuali* ...
  - a. electron mengelilingi inti dengan membebaskan energi
  - b. electron merupakan bagian atom yang bermuatan negatif
  - c. atom berbentuk bola kosong dengan inti berada di tengah
  - d. secara keseluruhan atom bersifat netral
  - e. massa atom terpusat pada inti atom
4. Salah satu model atom Bohr adalah ...
  - a. electron bergerak dengan lintasan stasioner
  - b. energi foton yang terpancar berbanding terbalik dengan  $f$
  - c. tidak memiliki momentum anguler
  - d. atom merupakan bola pejal bermuatan positif
  - e. atom tidak dapat dipecah-pecah lagi
5. Dalam postulat Bohr, panjang gelombang electron yang bergerak dalam suatu orbit berjari-jari  $r$  memenuhi ...
  - a.  $r = n\lambda$
  - b.  $2\pi r = n\lambda$
  - c.  $2\pi r = n^2\lambda$
  - d.  $\lambda = r.n$
  - e.  $2\pi r n^2 = \lambda$
6. Menurut Bohr electron pada atom Hidrogen dengan jari-jari lintasan  $0,53 \text{ \AA}$  mempunyai kecepatan ....
  - a. 0,5c
  - b. 0,2c
  - c. 0,07
  - d. 0,005
  - e. 0,007
7. Berdasarkan teori Bohr, jika terjadi transisi electron dari lintasan  $n = 4$  ke lintasan  $n = 2$  dipancarkan foton dengan panjang gelombang ...  $\text{\AA}$ 
  - a. 1820
  - b. 2430
  - c. 3650
  - d. 4860
  - e. 7290
8. Panjang gelombang terbesar dari deret Balmer adalah ...  $\text{\AA}$ 
  - a. 1215
  - b. 4050
  - c. 5127
  - d. 6563
  - e. 8752
9. Energi foton sinar tampak ketika terjadi transisi electron dari kulit 4 ke kulit 2 adalah ... eV
  - a. 13,6
  - b. 6,8
  - c. 3,4
  - d. 2,55
  - e. 54,4
10. Spektrum air raksa mengandung garis 435,8 nm di dalam daerah biru. Selisih tingkat energi dalam atom yang menimbulkan garis tersebut adalah ...  $\times 10^{-19} \text{ J}$ 
  - a. 5,27
  - b. 4,27
  - c. 6,05
  - d. 5,51
  - e. 4,56
11. Bila terjadi transisi electron dalam orbit atom H, maka frekuensi terbesar terjadi jika electron pindah dari ...
  - a.  $n = 2$  ke  $n = 1$
  - b.  $n = 3$  ke  $n = 2$
  - c.  $n = 4$  ke  $n = 3$
  - d.  $n = 4$  ke  $n = 2$
  - e.  $n = 5$  ke  $n = 2$
12. Energi yang diserap atom H agar elektronnya tereksitasi dari tingkat dasar ke lintasan kulit M adalah ... eV
  - a. 6,82
  - b. 8,53
  - c. 9,07
  - d. 10,20
  - e. 12,09
13. Elektron atom H model Bohr mengelilingi intinya dengan bilangan kuantum  $n$ . Jika energi ionisasi atom bernilai  $\frac{1}{16}$  kali energi ionisasi atom dalam keadaan dasarnya, maka nilai  $n$  adalah ...
  - a. 2
  - b. 4
  - c. 8
  - d. 16
  - e. 32
14. Dalam model atom Bohr, electron atom H yang mengorbit disekitar inti atom membangkitkan kuat arus listrik rata-rata 0,8 mA pada suatu titik di orbit lintasannya. Jumlah putaran per detik electron tadi mengelilingi inti adalah ...  $\times 10^{15}$  kali
  - a. 2
  - b. 3
  - c. 4
  - d. 5
  - e. 6
15. Elektron atom H bergerak dengan orbit lingkaran dengan kelajuan  $2,2 \times 10^6 \text{ m/s}$ . Besarnya arus listrik pada orbit tersebut adalah ... mA
  - a. 0,06
  - b. 0,6
  - c. 1,06
  - d. 1,6
  - e. 16

16. Perbandingan frekuensi yang dipancarkan foton jika electron pindah dari orbit 2 ke 1 dengan pindah dari orbit 4 ke orbit 1 adalah ...
- 4:5
  - 4:2
  - 4:1
  - 2:4
  - 1:4
17. Besarnya momentuk sudut orbital electron pada keadaan  $n = 4$ , maksimum adalah ...
- $\sqrt{2}\hbar$
  - $\sqrt{3}\hbar$
  - $\sqrt{5}\hbar$
  - $2\sqrt{3}\hbar$
  - $2\sqrt{5}\hbar$
18. Kumpulan keempat bilangan kuantum yang mungkin untuk sebuah electron dalam orbital 3d adalah ...
- $n = 3, l = 3, m = 1, s = \frac{1}{2}$
  - $n = 3, l = 2, m = -2, s = \frac{1}{2}$
  - $n = 3, l = -2, m = 0, s = \frac{1}{2}$
  - $n = 3, l = 2, m = 3, s = \frac{1}{2}$
  - $n = 3, l = 3, m = 3, s = \frac{1}{2}$
19. Perhatikan konfigurasi electron berikut :  
 $1s^2 2s^2 2p^5 3s^2$   
 Kulit L ditempati oleh .... Electron
- 2
  - 4
  - 5
  - 7
  - 9
20. Pasangan bilangan kuantum yang menggambarkan keadaan salah satu electron kulit terluar atom  ${}_{11}\text{Na}$  adalah ...
- $n = 2, l = 0, m = 1, s = \frac{1}{2}$
  - $n = 2, l = 1, m = 0, s = \frac{1}{2}$
  - $n = 3, l = 0, m = 0, s = \frac{1}{2}$
  - $n = 3, l = 1, m = 0, s = \frac{1}{2}$
  - $n = 4, l = 0, m = 1, s = \frac{1}{2}$