

Model Atom

Drs. Alimufi Arief, M.Pd.



PENDAHULUAN

Para ilmuwan telah menduga bahwa materi walaupun kelihatannya kontinu dia memiliki struktur tertentu pada tingkat mikroskopik di luar jangkauan indra manusia. Dugaan ini menjadi kenyataan setelah ditemukan dan teridentifikasinya partikel dasar dari atom berupa sebuah inti kecil terdiri dari proton dan neutron, serta sejumlah elektron pada jarak yang agak jauh.

Pengertian kita tentang atom telah menjalani sejarah perkembangan yang cukup lama. Banyak teori yang telah dikembangkan oleh ilmuwan. Terdapat dugaan yang kuat dalam pikiran kita bahwa elektron berputar di sekeliling inti atom, seperti planet mengelilingi matahari, tetapi menurut teori elektromagnetik klasik menolak kemungkinan terdapatnya elektron berputar mengelilingi inti atom tersebut. Dalam usaha memecahkan kesukaran ini Niels Bohr menerapkan gagasan kuantum pada struktur atom, untuk mendapatkan gambaran struktur atom yang benar. Ternyata gambaran yang diperoleh masih terdapat kekurangan dan harus diganti dengan penerapan mekanika kuantum supaya didapatkan ketelitian yang lebih besar. Teori atom Bohr mengenai atom hidrogen sangat berharga karena teori ini merupakan transisi pengertian teori atom yang sederhana ke teori atom yang lebih abstrak dan kompleks.

Teori atom yang dibahas dalam modul ini telah dipelajari waktu di SMA sehingga pada saat mempelajari modul ini boleh dikatakan merupakan kegiatan pengulangan atau pemahaman saja. Oleh karena itu, modul ini tidak sulit dipahami asal dilakukan dengan kesungguhan hati.

Apabila Anda akan mempelajari modul ini, Anda akan memahami perkembangan teori dan formulasi model-model atom, serta data spektroskopi atom hidrogen. Apabila Anda akan mempelajari dan lebih memahami mata kuliah ini Anda dapat membaca buku Konsep Fisika Modern karangan Arthur Beiser dan buku penunjang lainnya.

Modul ini adalah modul pertama dari 9 modul tentang Fisika Atom, yang merupakan dasar dari modul-modul berikutnya. Oleh karena itu, modul ini harus dipahami benar-benar karena akan mempengaruhi pemahaman Anda pada modul-modul berikutnya.

Dalam hubungannya, dengan praktik sehari-hari, modul ini selalu ada hubungannya karena modul ini termasuk pelajaran fisika yang merupakan ilmu empiris yang selalu berhubungan dengan kenyataan yang ada yang mempengaruhi hampir semua sifat materi (bahan) yang telah membentuk dunia di sekeliling kita.

Secara umum, kompetensi dari pembelajaran modul ini adalah Anda diharapkan mampu menerapkan model atom dalam berbagai aspek fisis untuk mengungkap gejala dan peristiwa alam terutama ranah subatomik.

Secara lebih khusus lagi kompetensi dari pembelajaran modul ini adalah Anda dapat:

1. menerapkan perkembangan teori atom dan kelemahan model atom Thomson;
2. menerapkan kelemahan model atom Rutherford;
3. menghitung panjang gelombang dari masing-masing deret spektrum Hidrogen;
4. menerapkan persamaan spektrum atom Hidrogen dari model atom Bohr.

Masing-masing kegiatan belajar dari modul ini akan dimulai dengan penjelasan, definisi, formulasi, ilustrasi, dan bahan-bahan deskriptif lainnya. Di akhir dari setiap sajian materi akan diberikan contoh dengan harapan agar mahasiswa dapat memahami materi yang diberikan secara mendalam. Pada bagian akhir dari tiap kegiatan belajar akan diberikan rangkuman, latihan, dan tes formatif, sekaligus akan diberikan petunjuk jawaban latihan dan tes formatif. Glosarium yang terdapat pada bagian akhir modul dimaksudkan agar mahasiswa lebih cepat memahami beberapa istilah yang mungkin sebelumnya masih terasa asing baginya.

Agar Anda berhasil dalam pembelajaran ini maka pelajarilah seluruh isi modul ini secara sungguh-sungguh. Kerjakanlah sendiri soal-soal latihan dan tes formatif yang diberikan tanpa melihat terlebih dahulu petunjuk jawabannya.

Selamat belajar, semoga Anda berhasil!

KEGIATAN BELAJAR 1

Perkembangan Teori Atom

Setiap benda, misalnya garam dapur ditumbuk sampai halus maka sifat-sifat butir yang terkecil sekalipun masih serupa dengan sifat-sifat garam semula, hanya ukurannya yang berubah. Apabila proses pemecahannya diteruskan hasilnya tetap mempunyai sifat-sifat garam. Bahkan apabila butir-butir itu dilarutkan dalam air maka rasa asin masih tetap ada. Butir-butir terkecil yang telah larut dalam air tidak tampak oleh indra biarpun dengan mikroskop sekalipun.

Butir-butir garam dapur yang paling kecil ini semula disebut partikel. Dengan demikian, setiap materi garam dapur yang kita kenal terdiri dari kumpulan partikel garam dapur yang jumlahnya banyak sekali. Setiap materi bukan merupakan satu kesatuan, tetapi merupakan kumpulan dari partikel-partikel yang sangat banyak. Oleh karena partikel-partikel itu terdiri dari satu kesatuan maka berarti setiap materi terdiri dari bagian-bagian yang diskontinu (terputus-putus).

Pemikiran ini mendasari pengertian tentang atom yang telah mengalami perkembangan yang cukup lama. Perkembangan ini dimulai sejak para ahli filsafat Yunani bernama Demokritus (460-370 SM) merumuskan gagasan bahwa zat dapat dibagi atas bagian-bagian yang lebih kecil sampai mencapai satu bagian yang paling kecil yang tidak dapat dibagi lagi. Bagian zat yang tidak dapat dibagi lagi ini disebut atom, yang berasal dari kata Yunani *atomos*, artinya tak dapat dibagi lagi. Konsepsi tentang atom yang dikemukakan oleh Demokritus ini berdasarkan hasil pemikiran bukan berdasarkan hasil eksperimen. Konsepsi ini pertama kali dikembangkan oleh Leukipos salah seorang murid Demokritus dan sampai sekarang masih diakui kebenarannya. Leukipos berkesimpulan bahwa alam semesta ini hanya terdiri dari ruangan yang berisi atom-atom saja.

Selama \pm 2000 tahun teori tentang atom dari Demokritus dan Leukipos ini tidak berkembang sama sekali karena orang masih percaya kepada Aristoteles yang tidak membenarkan konsep tentang atom ini. Baru pada abad ke-18 para ilmuwan mulai percaya karena konsep ini mempunyai relevansi dengan proses fisika dan proses kimia yang mulai berkembang. Gagasan tentang atom dan bagian terkecil dari pada zat dipelajari lagi. Pada tahun 1802 John Dalton telah melakukan percobaan-percobaan yang

menunjang pertumbuhan pengertian tentang atom, yang mencoba menerangkan reaksi-reaksi kimia antara zat-zat. Teori atom Dalton sebagai berikut.

1. Atom merupakan partikel terkecil yang tidak dapat dibagi lagi.
2. Atom suatu unsur tidak dapat berubah menjadi unsur atom lain. Misalnya, atom unsur besi tidak dapat berubah menjadi atom unsur lain, seperti emas. Atom unsur lain semuanya serupa.
3. Dua buah atom atau lebih yang berasal dari unsur-unsur yang berlainan dapat bersenyawa membentuk molekul. Misalnya, atom-atom hidrogen dan oksigen bersenyawa membentuk molekul air (H_2O). Jadi, molekul suatu zat dapat dibagi atas atom dan molekul yang masih mempunyai sifat seperti zat asalnya.
4. Atom-atom yang bersenyawa dalam molekul, mempunyai perbandingan tertentu dan jumlah massa keseluruhannya tetap. Jumlah massa sebelum reaksi sama dengan jumlah massa sesudah reaksi.
5. Apabila dua macam atom membentuk dua macam senyawa atau lebih maka atom-atom yang sama dalam kedua senyawa itu mempunyai perbandingan yang sederhana. Misalnya, unsur karbon dan unsur oksigen dapat bersenyawa membentuk molekul CO dan CO_2 . Atom C pada CO dengan atom C pada CO_2 mempunyai perbandingan yang sederhana.

Dewasa ini teori atom mengalami perkembangan yang pesat dan dalam beberapa hal tidak sesuai lagi dengan teori atom Dalton bahwa atom tidak dapat dibagi ternyata bertentangan dengan eksperimen-eksperimen. Hasil eksperimen menunjukkan, atom masih terbagi lagi menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, seperti proton, neutron, dan elektron. Inti atom suatu unsur dapat berubah menjadi inti atom unsur lain. Hal ini dapat Anda pelajari pada bab berikutnya.

Teori atom Dalton hanya cocok dengan percobaan-percobaan yang dilakukan pada saat itu. Untuk membuktikan kebenaran suatu teori perlu adanya konsistensi dengan fakta dan harus menunjukkan bahwa teori itu adalah suatu teori yang cocok. Apabila ada dua teori yang memenuhi kedua syarat tadi maka akan dipilih yang lebih sederhana, dan dapat menerangkan gejala-gejala yang lebih banyak atau yang berlaku lebih umum. Teori bukanlah sesuatu yang mutlak, tetapi merupakan rencana atau pembimbing selama bekerja.

Walaupun para ilmuwan pada abad kesembilan belas menerima gagasan bahwa unsur kimia terdiri dari atom-atom, mereka tidak mengetahui tentang atom itu sendiri. Penemuan elektron oleh Thomson pada tahun 1897 dan pengetahuan bahwa semua atom mengandung elektron membuat pandangan yang penting mengenai struktur atomik. Elektron mengandung muatan listrik negatif, sedangkan atom muatan listriknya netral, jadi setiap atom harus mengandung cukup materi bermuatan positif untuk mengimbangi muatan negatif elektron-elektronnya. Elektron beribu kali lebih ringan dari atom keseluruhan. Hal ini menimbulkan dugaan bahwa bagian materi bermuatan positif dari atom menentukan hampir seluruh massa atom. Pada tahun 1895 ditemukan pula adanya partikel-partikel bermuatan listrik positif.

Atas dasar penemuan tersebut, pada tahun 1904 Thomson menyusun suatu model atom yang berbeda dengan model atom Dalton. Menurut Thomson, sebuah atom mempunyai muatan-muatan listrik positif yang tersebar merata di seluruh bagian atom, yang dikenal dengan model kue atom Thomson.

Tiga belas tahun kemudian uji eksperimen model kue atom Thomson dilakukan oleh Ernest Rutherford seorang ahli fisika Inggris. Ia mengadakan percobaan dengan menembak atom-atom pada sebuah keping emas yang sangat tipis, dengan partikel-partikel alfa. Partikel alfa adalah atom Helium yang kehilangan dua elektron sehingga yang tertinggal ialah partikel bermuatan $+2e$. Hasil eksperimen yang diperoleh memaksa kita untuk meninggalkan model atom Thomson.

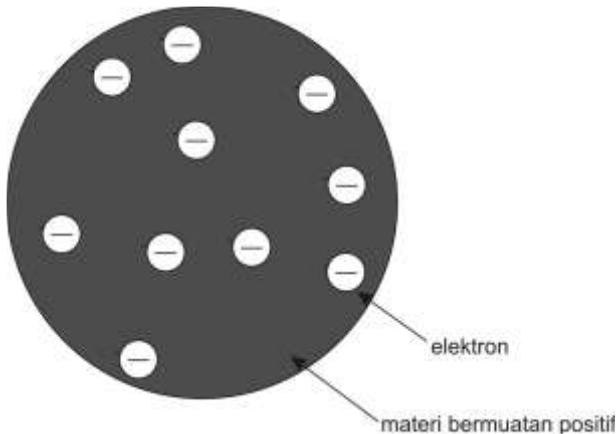
Jauh pada masa lalu manusia telah menduga bahwa materi walaupun kelihatannya kontinu, memiliki struktur tertentu pada tingkat mikroskopik di luar jangkauan indra kita. Dugaan ini tidak mengambil bentuk yang nyata sampai kira-kira satu setengah abad yang lalu, pada saat keberadaan atom dan molekul, partikel materi dasar dalam bentuk yang lazim telah dapat ditunjukkan dan partikel dasar dari atom dan molekul, yaitu elektron, proton dan neutron telah teridentifikasi dan telah dipelajari.

Setiap atom terdiri dari sebuah inti kecil yang terdiri dari proton dan neutron, serta sebuah elektron pada jarak yang lebih jauh. Dalam pikiran kita terdapat gambaran bahwa elektron berputar mengelilingi inti, seperti planet mengelilingi matahari. Akan tetapi, menurut teori elektromagnetik klasik, menolak kemungkinan terdapatnya orbit elektron yang mantap. Dalam usaha untuk memecahkan kesukaran ini pada tahun 1913 Niels Bohr menerapkan gagasan kuantum. Pada struktur atomik untuk mendapatkan model yang tetap

dan memudahkan gambaran karakteristik atom. Model ini ternyata terdapat kekurangan dan harus diganti dengan pemerian mekanika kuantum supaya didapatkan ketelitian dan kegunaan yang lebih besar. Teori Bohr mengenai atom hidrogen sangat berharga untuk dipelajari karena teori itu memberikan gambaran dan menyiapkan transisi yang berharga menuju teori kuantum atom yang lebih abstrak.

A. MODEL ATOM THOMSON

Menurut Thomson sebuah atom mempunyai muatan-muatan listrik positif yang tersebar merata di seluruh bagian atom. Muatan listrik positif ini dinetralkan oleh elektron-elektron yang tersebar di antara muatan-muatan listrik positif. Model atom ini disebut model kue (*plum-pudding*) karena menyerupai kue yang berkismis, seperti pada Gambar 1.1.

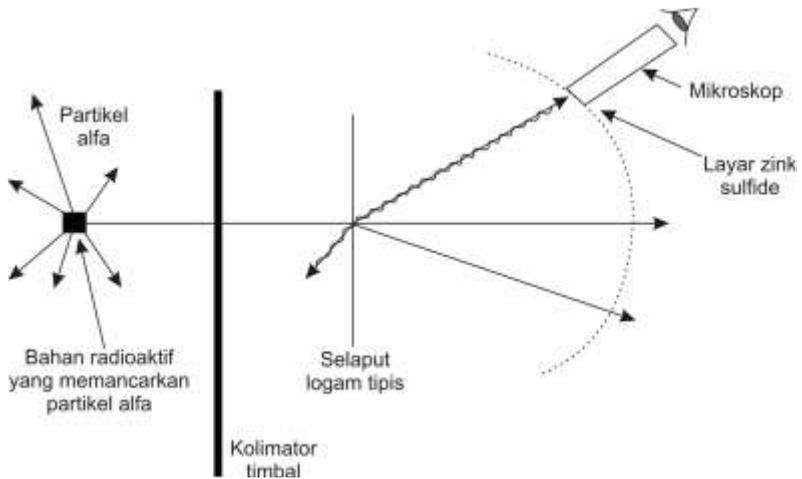


Gambar 1.1.
Model Atom Thomson

Walaupun persoalan teori atom Thomson tersebut sangat penting baru 13 tahun kemudian uji eksperimen model kue ini dilakukan. Dalam eksperimen klasik yang dilakukan pada tahun 1911 oleh Geiger dan Marsden atas usul Rutherford, mereka memakai partikel alfa cepat sebagai bahan penyelidikan yang secara spontan dipancarkan oleh unsur radioaktif. Eksperimen dilakukan dengan meletakkan sebuah sampel (cuplikan) selaput logam sebagai bahan pemancar partikel alfa di belakang layar timbal yang

mempunyai lubang kecil sehingga menghasilkan berkas partikel alfa yang tajam seperti Gambar 1.2. Pada sisi lain ditempatkan layar sintilasi (*zink sulfide*) yang dapat berputar dan akan berpendar apabila terkena partikel alfa. Berkas sinar alfa ini diarahkan pada selaput logam tipis.

Apabila teori atom Thomson benar maka seluruh partikel alfa dengan energi yang besar itu tidak akan dihamburkan, akan menembus lurus keping logam. Sebab atom-atom keping logam netral tidak menghalangi partikel alfa yang bermuatan listrik positif. Sebagian besar partikel alfa menembus keping logam lurus mengenai layar, tetapi beberapa di antaranya dibelokkan bahkan ada yang dipantulkan dan membentuk sudut antara 90° sampai 180° . Hal ini tidak cocok dengan model atom Thomson.



Gambar 1.2.
Eksperimen Hamburan Rutherford untuk
Membuktikan Kelemahan Teori Atom Thomson

Rutherford mengukur sudut-sudut hamburan partikel-partikel alfa dengan teliti. Apabila muatan positif tidak menyebar, tetapi mengumpul pada suatu tempat dalam tiap-tiap atom maka berdasarkan hukum Coulomb sudut penyimpangan akan berkisar antara 5° sampai 150° . Berdasarkan hukum ini, partikel alfa yang bermuatan listrik positif, hanya mungkin dibelokkan dan dipantulkan oleh muatan listrik positif yang ada pada atom-atom keping logam itu. Jadi, muatan listrik positif pada atom, tidak tersebar merata dan

diselingi oleh muatan listrik negatif dari elektron, tetapi terkumpul pada suatu tempat dalam atom untuk menolak partikel alfa.

Oleh karena partikel alfa massanya relatif besar (sekitar 7000 kali lebih dari elektron) dan partikel yang dipakai dalam eksperimen ini memiliki kecepatan tinggi (biasanya 2×10^7 m/s), jelaslah terdapat gaya yang kuat yang beraksi pada partikel itu supaya terjadi defleksi (pembelokan) sebesar itu.

Dengan menganggap sebuah atom sebagai sesuatu yang terdiri dari bagian besar ruang hampa, dapat dengan mudah dilihat mengapa sebagian besar dari partikel alfa menembus selaput logam dalam eksperimen hamburan Rutherford. Namun, apabila partikel alfa mendekati inti partikel itu akan mengalami medan listrik yang kuat dan mempunyai peluang besar untuk dihambur dengan sudut yang besar. Elektron atom tersebut yang sangat ringan hampir tidak mempengaruhi gerak partikel alfa yang datang.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Siapa yang pertama kali menyebutkan bagian zat yang tidak dapat dibagi lagi dengan istilah atom?
- 2) Eksperimen apa yang menunjukkan kekurangan dan kelemahan model atom menurut Thomson dan gejala apa yang ditunjukkan?
- 3) Bagian-bagian manakah dari teori atom Dalton yang tidak sesuai dengan kenyataan sekarang?
- 4) Sebutkan lima ilmuwan yang telah mengemukakan teori/model atom hingga saat ini!

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Demokritus.
- 2) Eksperimen hamburan Rutherford.
Gejala yang ditimbulkan dalam eksperimen tersebut adalah terjadinya hamburan partikel alfa. Apabila teori atom Thomson benar maka seluruh partikel alfa dengan energi yang besar itu tidak akan dihamburkan, akan menembus lurus keping logam. Sebab atom-atom

- keping logam netral tidak menghalangi partikel alfa yang bermuatan listrik positif. Gejala yang ditunjukkan, adanya sebagian besar partikel alfa menembus keping logam lurus mengenai layar, tetapi sebagian lagi dibelokkan bahkan ada yang dipantulkan dan membentuk sudut antara 90° sampai 180° .
- 3) Teori atom Dalton yang tidak sesuai dengan kenyataan sekarang adalah sebagai berikut.
 - a. Atom tidak dapat dibagi lagi yang bertentangan dengan eksperimen-eksperimen.
Pada kenyataannya atom masih terbagi lagi menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, seperti proton, neutron, dan elektron.
 - b. Unsur yang sama mempunyai massa dan ukuran yang sama tidak cocok dengan penemuan isotop.
 - 5) Demokritus, John Dalton, Thomson, Ernest Rutherford, dan Niels Bohr.



RANGKUMAN

Demokritus merumuskan gagasan bahwa zat dapat dibagi atas bagian-bagian yang lebih kecil lagi. Bagian zat yang tidak dapat dibagi lagi ini disebut atom, yang berasal dari kata Yunani *atomos*, artinya tak dapat dibagi lagi.

Tahun 1802 John Dalton telah melakukan percobaan guna menunjang pertumbuhan pengertian tentang atom, yang mencoba menerangkan reaksi-reaksi kimia antara zat. Menurut eksperimen selanjutnya teori atom mengalami perkembangan yang pesat dan dalam beberapa hal tidak sesuai dengan teori atom Dalton. Hasil eksperimen menunjukkan, atom masih terbagi lagi menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, seperti proton, neutron, dan elektron. Inti atom suatu unsur dapat berubah menjadi inti atom unsur lain. Teori atom Dalton hanya cocok dengan percobaan-percobaan yang dilakukan pada saat itu.

Penemuan elektron pada tahun 1897 dan kenyataan bahwa atom dalam keadaan normal tidak bermuatan digunakan oleh Thomson sebagai dasar teori model atomnya yang menyatakan bahwa sebuah atom mempunyai muatan-muatan listrik positif yang tersebar merata di seluruh bagian atom di mana muatan positif atom sama dengan muatan negatif dari elektronnya sehingga atom menjadi netral.

Model Thomson dikoreksi oleh teori atom Rutherford dengan eksperimen hamburan partikel alfa oleh lapisan tipis logam. Menurut Rutherford, atom terdiri dari inti atom yang bermuatan positif yang

terletak di pusat atom, terdiri dari proton dan neutron dan elektron berputar mengelilingi inti, seperti planet mengelilingi matahari. Menurut teori elektromagnetik klasik, menolak kemungkinan terdapatnya orbit elektron yang mantap. Untuk memecahkan kesukaran ini pada tahun 1913 Niels Bohr menerapkan gagasan kuantum pada struktur atomik untuk mendapatkan model yang tetap dan memudahkan gambaran mental atom.



TES FORMATIF 1

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Urutan penemuan teori atom mulai dari zaman Yunani hingga saat ini secara berturut-turut adalah
 - A. Demokritus, John Dalton, Thomson, Rutherford, dan Niel Bohr
 - B. Demokritus, Thomson, John Dalton, Rutherford, dan Niel Bohr
 - C. Demokritus, John Dalton, Rutherford, Thomson, dan Niel Bohr
 - D. Demokritus, Thomson, John Dalton, Niels Bohr, dan Rutherford

- 2) Kelemahan model atom Thomson adalah
 - A. adanya hamburan partikel alfa yang ditembakkan pada keping logam dan ada sebagian dipantulkan membentuk sudut antara 90° sampai 180°
 - B. adanya atom-atom keping logam netral yang menghalangi partikel alfa
 - C. adanya partikel alfa bermuatan positif
 - D. sebagian kecil partikel alfa bermuatan listrik negatif

- 3) Perbedaan antara kapur, marmer, dan intan tersusun dari atom karbon yang sama, namun begitu ketiganya memiliki perbedaan pada
 - A. bentuk dan susunan kristalnya
 - B. massa jenisnya
 - C. ukuran kristalnya
 - D. kepadanya

- 4) Perbandingan berat masing-masing unsur di dalam molekul H_2SO_4 adalah
 - A. Hidrogen: Oksigen: Sulfur = 1: 16: 32
 - B. Hidrogen: Sulfur: Oksigen = 1: 16: 32
 - C. Sulfur: Oksigen: Hidrogen = 1: 16: 32
 - D. Oksigen: Sulfur: Hidrogen = 32: 1: 16

- 5) Jika kita mempunyai 1 gram gas Nitrogen jumlah atom dan molekulnya adalah
- A. jumlah molekul $N = 2,15 \times 10^{22}$ molekul N dan jumlah atom $N = 4,30 \times 10^{22}$ atom N
 - B. jumlah atom $N = 2,15 \times 10^{22}$ atom N dan jumlah molekul $N_2 = 4,30 \times 10^{22}$ atom N
 - C. jumlah molekul $N_2 = 2,15 \times 10^{22}$ molekul N_2 dan jumlah atom $N = 4,30 \times 10^{22}$ atom N .
 - D. jumlah molekul $N_4 = 2,15 \times 10^{22}$ molekul N_4 dan jumlah atom $N_2 = 4,30 \times 10^{22}$ atom N_2
- 6) Atom merupakan partikel terkecil yang tidak dapat dibagi lagi adalah pendapat dari
- A. Demokritus
 - B. John Dalton
 - C. JJ Thomson
 - D. Rutherford
- 7) Atom terdiri atas inti atom yang bermuatan listrik positif dan dikelilingi elektron-elektron yang bermuatan listrik negatif adalah pendapat dari
- A. Demokritus
 - B. John Dalton
 - C. Rutherford
 - D. Niels Bohr
- 8) Untuk mengoreksi kelemahan model atom Rutherford maka
- A. JJ Thomson berpendapat bahwa atom netral
 - B. menurut Dalton atom suatu unsur tidak dapat berubah menjadi atom unsur yang lain
 - C. menurut Niels Bohr elektron tidak dapat berputar mengelilingi inti pada setiap lintasan melainkan hanya pada lintasan tertentu saja tanpa membebaskan energi
 - D. menurut Demokritus berpendapat bahwa zat tidak dapat dibagi secara terus-menerus dan partikel zat yang tidak dapat dibagi lagi

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 1 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 1.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

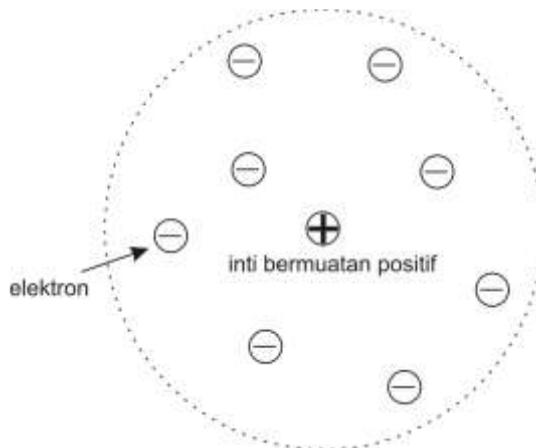
Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali
80 - 89% = baik
70 - 79% = cukup
< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 2

Model Atom Rutherford

Pada Kegiatan Belajar 1 sebelumnya telah dijelaskan eksperimen yang dilakukan oleh Rutherford untuk membuktikan kelemahan teori atom yang dikemukakan oleh Thomson. Hasil percobaan tersebut mendorong Rutherford untuk menyusun model atom baru. Menurut Rutherford, muatan listrik positif dan sebagian besar massa sebuah atom akan berkumpul pada satu titik di tengah-tengah atom yang disebut inti atom. Di luar inti pada jarak yang relatif jauh dari inti atom, elektron-elektron beredar mengelilingi inti dalam lintasan sama seperti planet-planet yang beredar mengelilingi matahari dalam tata surya. Model atom Rutherford, seperti pada Gambar 1.3.



Gambar 1.3.
Model atom Rutherford

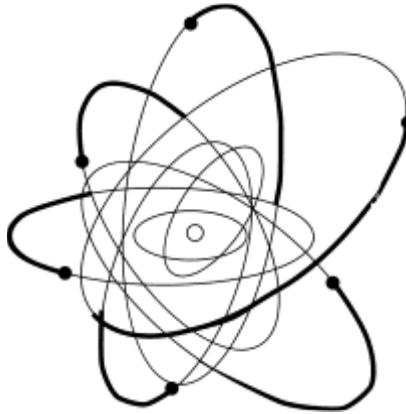
Untuk atom hidrogen, perbandingan garis tengah elektron dengan garis tengah inti, kira-kira 10.000 : 1. Kalau inti atom diperbesar seperti sebuah kelereng dan kelereng itu diletakkan di tengah-tengah lapangan sepak bola maka elektron beredar keliling lapangan. Sebagian besar dari atom itu merupakan ruangan kosong. Massa atom hampir seluruhnya terletak pada massa intinya, dengan perbandingan massa inti atom hidrogen dengan massa

elektron adalah 1837:1. Muatan listrik positif yang terkumpul pada inti atom, sama besarnya dengan jumlah muatan listrik negatif dari elektron-elektron yang mengelilinginya sehingga atom keseluruhannya bersifat netral. Inti atom dengan elektron tarik menarik. Gaya tarik menarik inti terhadap elektron merupakan gaya sentripetal yang menyebabkan elektron tetap beredar mengelilingi inti.

Semua atom suatu unsur mempunyai muatan inti yang unik, dan muatan ini bertambah secara teratur dari suatu unsur ke unsur lain dalam tabel periodik (berkala). Ternyata muatan ini selalu merupakan kelipatan dari $+e$, bilangan Z menyatakan besar satuan muatan positif dalam inti suatu unsur, disebut bilangan atomik unsur itu. Kita mengetahui bahwa proton yang masing-masing bermuatan $+e$, merupakan penentu dari muatan suatu inti, sedangkan bilangan atom suatu unsur sama dengan banyaknya proton dalam inti atom tersebut.

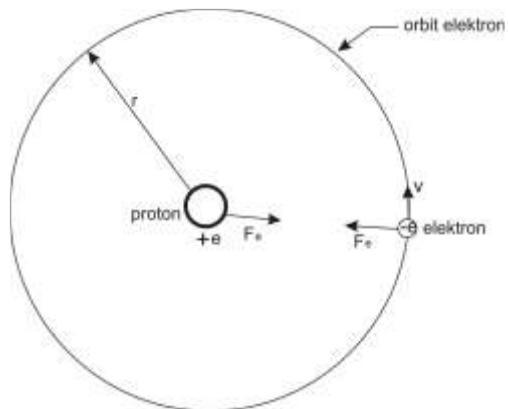
Sesudah Rutherford melakukan percobaannya tahun 1920 partikel bermuatan listrik positif yang terdapat pada inti atom disebut proton. Besarnya muatan listrik sebuah proton sama dengan muatan listrik sebuah elektron, sebesar $1,6 \times 10^{-19}$ Coulomb. Misalnya, atom oksigen mempunyai 8 buah elektron maka inti atom oksigen mempunyai 8 buah proton ($Z = 8$). Elektron-elektron atom oksigen tersebar, seperti Gambar 1.4.

Model atom Rutherford dapat diterima karena dapat diperoleh suatu rumus yang menggambarkan hamburan partikel alfa oleh selaput tipis berdasarkan model tersebut. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa partikel alfa dan inti yang berinteraksi dengannya berukuran cukup kecil sehingga dapat dipandang sebagai massa titik dan muatan titik. Inti begitu masif dibandingkan dengan partikel alfa sehingga tidak bergerak ketika terjadi interaksi.



Gambar 1.4.
Atom Oksigen menurut Model Rutherford

Model atom Rutherford yang telah diterima secara meyakinkan oleh eksperimen ini, memberikan gambaran bahwa sebuah inti bermuatan positif yang kecil dan masif yang dilingkungi pada jarak yang relatif besar oleh elektron sehingga atom secara keseluruhan bermuatan netral. Dalam metode ini elektron tidak dapat diam karena tidak ada sesuatu pun yang dapat mempertahankannya melawan gaya tarikan listrik dari inti, seperti pada Gambar 1.5.



Gambar 1.5.
Keseimbangan Gaya dalam Atom Hidrogen

Marilah kita tinjau dinamika klasik atom hidrogen berelektron tunggal sebagai atom yang paling sederhana. Untuk mudahnya kita menganggap bahwa orbit elektron berbentuk lingkaran, dengan gaya sentripetal:

$$F_c = \frac{mv^2}{r} \quad (1.1)$$

Gaya tarik menarik antara inti atom dan elektron:

$$F_c = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} \quad (1.2)$$

Agar terjadi kesetimbangan (kemantapan) orbit maka

$$\begin{aligned} F_2 &= F_c \\ \frac{mv^2}{r} &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} \end{aligned} \quad (1.3)$$

Kecepatan elektron v berhubungan dengan jari-jari r adalah:

$$v = \frac{e}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 mr}} \quad (1.4)$$

Jumlah energi kinetik:

$$K = \frac{1}{2} mv^2$$

Energi potensial:

$$V = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

Tanda (-) menyatakan bahwa gaya pada elektron berada dalam arah $-r$. Jadi

$$\begin{aligned} E &= K + V \\ &= \frac{mv^2}{2} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \end{aligned}$$

Substitusikan v dari Persamaan 1.4, akan diperoleh:

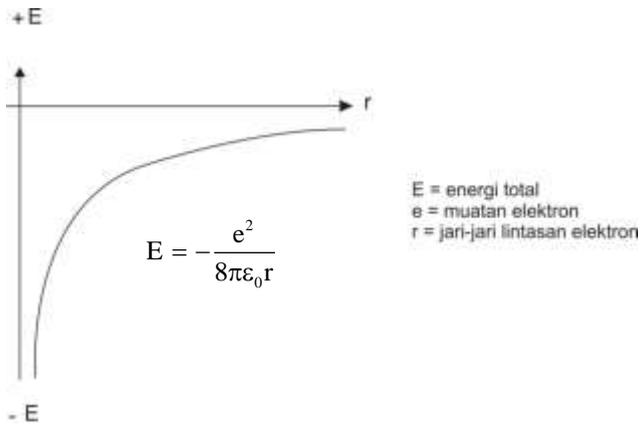
$$E = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

Energi total atom hidrogen:

$$E = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r} \tag{1.5}$$

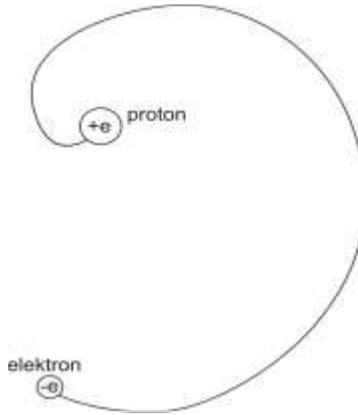
Energi total elektron bertanda negatif, hal ini berlaku untuk setiap elektron atomik, dan mencerminkan bahwa elektron itu terikat pada inti. Jika E lebih besar dari nol, elektronnya tidak akan mengikuti orbit tertutup di sekeliling inti. Sebenarnya, energi E bukan hanya milik elektron, tetapi merupakan milik sistem elektron dan inti.

Hubungan antara energi atom dengan jari-jari elektron dapat dilihat pada Gambar 1.6.



Gambar 1.6.
Hubungan Energi Atom dengan Jari-jari Elektron

Berdasarkan Persamaan (1.5) nampak berkurangnya tenaga elektron tersebut akan menyebabkan jari-jari lintasannya mengecil dan akhirnya jatuh ke inti. Menurut teori klasik, elektron atomik harus secara spiral menuju inti dengan cepat ketika elektron itu memancarkan energi karena adanya percepatan. Gerakan spiral elektron menuju inti seperti dapat dilihat pada Gambar 1.7.



Gambar 1.7.
Gerakan Spiral Elektron Menuju Inti Atom

Selain itu, berkurangnya tenaga tersebut menyebabkan frekuensi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan mengecil secara kontinu, yang berarti bahwa atom tersebut akan menghasilkan spektrum yang kontinu. Hal ini bertentangan dengan kenyataan yang ada yaitu bahwa tiap atom menghasilkan deretan frekuensi gelombang elektromagnetik yang terputus-putus dalam bentuk spektrum garis.

Analisis yang dilakukan di atas merupakan penerapan langsung dari hukum gerak Newton dan hukum Coulomb mengenai gaya listrik, serta sesuai dengan pengamatan bahwa atom tersebut mantap. Namun, keadaan ini tidak sesuai dengan teori elektromagnetik, yang menyatakan bahwa muatan listrik yang menyatakan bahwa muatan listrik yang dipercepat memancarkan energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Sebuah elektron yang melintasi lintasan lengkung merupakan partikel yang dipercepat, jadi harus kehilangan energi terus-menerus membuat spiral menuju inti dalam satu fraksi dalam satu detik.

Ketika teori ini diuji secara langsung, ramalan teori magnetik selalu cocok dengan eksperimen, namun teori atom tetap berlaku. Pertentangan (kontradiksi) ini hanya mungkin karena hukum fisika yang berlaku dalam dunia maskroskopik tidak berlaku dalam dunia mikroskopik atom. Penyebab kegagalan fisika klasik untuk menghasilkan analisis struktur atomik yang berarti ialah kenyataan fisika klasik menghampiri alam secara eksklusif dalam konsep abstrak partikel murni dan gelombang murni.

Berdasarkan uraian di atas, kelemahan teori atom Rutherford adalah elektron yang mengelilingi inti akan memancarkan energi berupa gelombang elektromagnetik sehingga lintasannya merupakan bentuk spiral yang mendekati intinya dan akhirnya jatuh pada intinya; serta tak dapat menerangkan spektrum atom dan struktur stabil pada inti atom.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Atom hidrogen merupakan atom yang paling sederhana mempunyai satu proton dan satu elektron. Kalau jarak antara proton dan elektron 0,529 Angstrom, hitung gaya tarik-menarik antara elektron dan proton tersebut.
- 2) Untuk memisahkan atom hidrogen menjadi sebuah proton dan sebuah elektron diperlukan energi sebesar 13,6 eV. Carilah jari-jari orbit dan kecepatan elektron dalam atom tersebut!
- 3) Menurut teori atom Rutherford, atom Helium mempunyai 2 proton dan 2 elektron yang beredar mengelilingi intinya. Jika jarak antara inti dengan elektron tersebut 0,529 Å, hitung gaya Coulomb yang dialami oleh inti atom dan masing-masing elektron!
- 4) Pada suatu percobaan sinar alfa dapat mendekati inti perak pada jarak 2×10^{-12} cm.
Hitung:
 - a. Gaya Coulomb antara partikel alfa dan inti perak dalam Newton.
 - b. Kecepatan sinar alfa agar dapat mendekati inti perak pada jarak tersebut.
- 5) Partikel proton dengan energi 1 MeV ditembakkan kepada inti emas. Hitung jarak terdekat yang dapat dicapai partikel proton terhadap inti emas tersebut.

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Muatan proton sama dengan muatan elektron, hanya proton bermuatan positif dan elektron bermuatan negatif. Dengan menggunakan rumus gaya Coulomb, gaya antara partikel alfa dan inti perak dapat dihitung.

$$2) \quad 13,6 \text{ eV} = 2,2 \times 10^{-18} \text{ J.}$$

Berdasarkan Persamaan 1.5, jari-jari atom hidrogen adalah:

$$\begin{aligned} E &= -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r} \quad \text{maka} \\ r &= -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 E} \\ &= -\frac{(1,6 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{8\pi(8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m})(-2,2 \times 10^{-18} \text{ J})} \\ &= 5,3 \times 10^{-11} \text{ m} \\ &= 0,53 \text{ \AA} \end{aligned}$$

Kecepatan elektron:

$$\begin{aligned} v &= \frac{e}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 mr}} \\ &= -\frac{(1,6 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{\sqrt{4\pi(8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m})(9,1 \times 10^{-31} \text{ kg})(5,3 \times 10^{-11} \text{ m})}} \\ &= 2,2 \times 10^6 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$3) \quad \text{Muatan elektron } -1,6 \times 10^{-19} \text{ C dan muatan inti Helium } +2 \times 1,6 \times 10^{-19} \text{ C.}$$

Dengan menggunakan rumus gaya Coulomb, Anda hitung jawabannya dengan benar.

$$4) \quad \text{Sinar alfa adalah ion Helium yang mempunyai muatan positif } 2 \times 1,6 \times 10^{-19} \text{ C, sedangkan intinya Mempunyai } 47 \times 1,5 \times 10^{-19} \text{ C.}$$

a. Gunakan rumus gaya Coulomb maka gaya antara partikel alfa dan inti perak dapat dihitung (ϵ_0 $8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$).

b. Hitunglah energi potensial partikel alfa pada jarak tersebut. Besarnya energi potensial ini sama dengan energi kinetik partikel alfa = $1/2 mv^2$. Dengan demikian, Anda dapat menghitung besarnya v.

$$5) \quad \text{Agar mencapai titik terdekat dengan inti, proton berhenti sebentar sebelum kembali lagi. Pada waktu berhenti. Proton mempunyai energi total yang sama dengan energi proton semula.}$$

$$\frac{e \cdot 79e}{8\pi\epsilon_0 r} = 1 \text{ MeV}$$

$$\frac{(1,6 \times 10^{-19})(79 \times 1,6 \times 10^{-19}) C^{-2}}{8 \times 3,14 (8,85 \times 10^{-12} \text{ c}^2/\text{N.m}^2) r} = 1,6 \times 10^{-13}$$

Setelah dihitung akan didapatkan $r = 568,5 \text{ \AA}$.

Jadi, jarak terdekat yang dapat dicapai proton dengan inti emas adalah $568,5 \text{ \AA}$.



RANGKUMAN

Menurut Rutherford, muatan listrik positif dan sebagian besar massa sebuah atom akan berkumpul pada satu titik di tengah-tengah atom yang disebut inti atom. Di luar inti pada jarak yang relatif jauh dari inti atom, elektron-elektron beredar mengelilingi inti dalam lintasan sama, seperti planet-planet beredar mengelilingi matahari dalam tata surya. Untuk atom hidrogen, perbandingan garis tengah elektron dengan garis tengah inti, kira-kira 10.000:1. Sebagian besar dari atom itu merupakan ruangan kosong. Massa atom hampir seluruhnya terletak pada massa intinya, dengan perbandingan masa inti atom hidrogen dengan massa elektron adalah 1837:1. Muatan listrik positif yang terkumpul pada inti atom, sama besarnya dengan jumlah muatan listrik negatif dari elektron-elektron yang mengelilinginya sehingga atom keseluruhannya bersifat netral. Inti atom dengan elektron tarik-menarik. Gaya tarik-menarik inti terhadap elektron merupakan gaya sentripetal yang menyebabkan elektron tetap beredar mengelilingi inti.

Model atom Rutherford dapat diterima (pada saat itu) karena dapat mencapai suatu rumus yang menggambarkan hamburan partikel alfa oleh selaput tipis berdasarkan model tersebut yang cocok dengan hasil eksperimen. Kelemahan teori atom Rutherford adalah:

Elektron yang mengelilingi inti akan memancarkan energi berupa gelombang elektromagnetik sehingga lintasannya merupakan bentuk spiral yang mendekati intinya dan akhirnya jatuh pada dirinya.

Tak dapat menerangkan spektrum atom dan struktur stabil pada inti atom.

Energi total atom hidrogen adalah:

$$E = - \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r}$$

Energi total elektron bertanda negatif, hal ini berlaku untuk setiap elektron atomik, dan mencerminkan bahwa elektron itu terikat pada inti.

**TES FORMATIF 2**

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Model atom menurut Rutherford adalah
 - A. atom bermuatan positif, sebagian besar massa atom berkumpul di suatu titik yang berpusat di pusat inti atom dan elektron mengorbit mengelilingi inti atom dalam lintasan seperti planet mengelilingi matahari dalam tata surya
 - B. atom bermuatan inti negatif, dan massa atom hampir semuanya terletak pada intinya. Atom secara keseluruhan bersifat netral
 - C. atom mempunyai muatan positif dan muatan negatif yang tersebar secara merata di seluruh permukaan atom
 - D. atom bermuatan positif dan antara elektron dan inti tarik-menarik yang menyebabkan gaya sentrifugal di antara keduanya

- 2) Pernyataan yang paling benar tentang kelemahan teori atom Rutherford adalah
 - A. atom menunjukkan spektrum garis tertentu melainkan spektrum yang kontinu
 - B. atom tidak stabil dan elektron mempunyai lintasan yang menciut sehingga waktu putar mengecil, frekuensi yang dipancarkannya menjadi bermacam-macam dan atom tidak menunjukkan spektrum garis tertentu melainkan spektrum yang kontinu
 - C. lintasan atom merupakan lingkaran dengan jari-jari yang berbeda, tetapi merupakan putaran berpilin yang mendekati intinya dan akhirnya elektron akan bersatu dengan intinya
 - D. elektron mempunyai lintasan yang menciut maka waktu putarnya pun akan mengecil, frekuensi yang dipancarkannya menjadi tetap

- 3) Apabila jari-jari orbit elektron makin besar maka akibatnya adalah
 - A. energinya akan semakin besar
 - B. energinya akan semakin kecil
 - C. tidak ada perubahan energi
 - D. kecepatannya semakin besar

- 4) Sinar ultraviolet dengan panjang gelombang 800 \AA mampu melemparkan elektron keluar dari orbitnya pada atom H maka jari-jari orbit elektron tersebut adalah
- A. $r = 46,437 \times 10^{-11} \text{ m}$
 - B. $r = 464,37 \times 10^{-11} \text{ m}$
 - C. $r = 4,6437 \times 10^{-11} \text{ m}$
 - D. $r = 46437 \times 10^{-11} \text{ m}$
- 5) Sebuah elektron atom Litium mempunyai energi kinetik sebesar 3 eV , jari-jari elektron tersebut adalah
- A. $r = 1,6615 \times 10^{-10} \text{ m}$
 - B. $r = 16,615 \times 10^{-10} \text{ m}$
 - C. $r = 166,15 \times 10^{-10} \text{ m}$
 - D. $r = 1661,5 \times 10^{-10} \text{ m}$
- 6) Cahaya dengan panjang gelombang 600 \AA mengandung foton dengan energi
- A. $1,31 \times 10^{-29} \text{ j}$
 - B. $1,32 \times 10^{-22} \text{ j}$
 - C. $3,31 \times 10^{-19} \text{ j}$
 - D. $7,50 \times 10^{-19} \text{ j}$
- 7) Energi ionisasi dari atom H yang berasal dari lintasan 3 adalah
- A. $16,34 \text{ V}$
 - B. $9,0 \text{ eV}$
 - C. $4,53 \text{ eV}$
 - D. $4,51 \text{ eV}$
- 8) Perubahan bilangan kuantum berikut ini pada atom H memancarkan energi foton dengan frekuensi terbesar adalah
- A. $n = 1 \text{ ke } n = 2$
 - B. $n = 2 \text{ ke } n = 1$
 - C. $n = 4 \text{ ke } n = 2$
 - D. $n = 2 \text{ ke } n = 6$

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

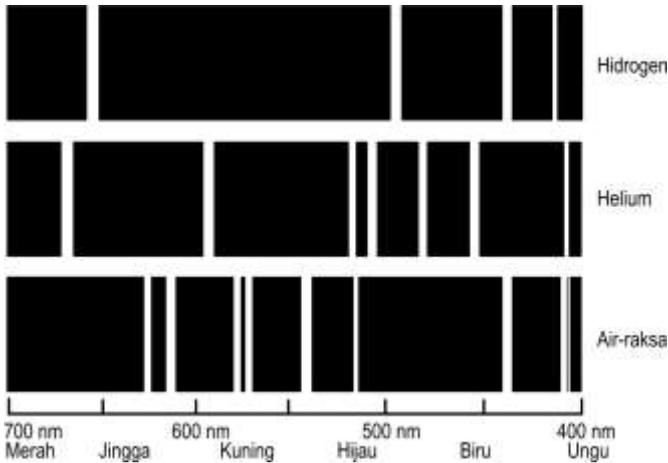
Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 3. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 3**Spektrum Atom Hidrogen**

Teori atom Rutherford walaupun lebih baik dari model atom Thomson karena ditunjang oleh hasil eksperimen, tidak dapat menjelaskan spektrum cahaya yang dipancarkan oleh atom hidrogen.

Sebuah elektron akan tetap di salah satu orbitnya, apabila tidak ada energi yang diradiasikan. Apabila diberi radiasi elektron akan berpindah ke lintasan yang lain. Berpindahnya elektron dari lintasan tertentu ke lintasan yang lain menghasilkan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang tertentu yang harganya berada di antara daerah infra merah dan ultra violet. Gelombang ini menghasilkan garis-garis spektrum yang mengumpul dalam suatu deret spektrum.

Seperti kita ketahui jika pada sebuah prisma dipancarkan seberkas cahaya maka akan didispersikan menjadi suatu spektrum. Apabila sumber cahayanya zat padat atau zat cair yang berpijar, spektrum yang dihasilkan adalah kontinu, artinya cahaya dengan semua panjang gelombang muncul dalam spektrum tersebut. Apabila sumber cahayanya berupa gas yang berpijar, spektrumnya mempunyai sifat yang berbeda dan menjadi beberapa warna saja dalam bentuk garis-garis paralel yang terisolasi satu sama lain. Spektrum jenis ini disebut spektrum garis emisi. Panjang gelombang garis-garis ini ditentukan oleh elemen yang mengemisikan cahaya tersebut. Hidrogen memberikan himpunan garis-garis tertentu pada posisi yang sama, helium menghasilkan himpunan yang lain, air raksa menghasilkan himpunan yang lain lagi dan seterusnya. Spektrum garis emisi hidrogen, helium, dan air raksa ditunjukkan pada Gambar 1.8.



Gambar 1.8.

Beberapa Garis Utama dalam Spektrum Hidrogen, Helium, dan Air Raksa

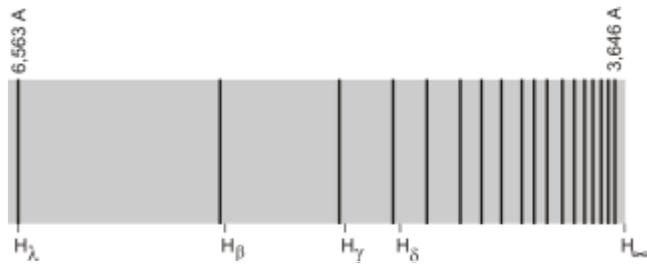
Pada mulanya sangat sulit menentukan sifat atau rumus yang dapat menggambarkan frekuensi pada sebuah grup cahaya yang timbul pada spektrum garis tersebut. Pada akhir abad XIX dalam suatu eksperimen ditemukan bahwa panjang gelombang dalam setiap deret spektrum dapat dispesifikasikan dengan rumus empiris yang sederhana dan dapat menjelaskan frekuensi gelombang yang dipancarkan oleh hidrogen. Deret spektrum ini pertama kali ditemukan oleh J.J. Balmer (1885) ketika ia mempelajari bagian tampak dari spektrum hidrogen. Spektrum ini terlihat pada daerah cahaya tampak yang dapat dengan jelas teramati. Dari pengamatan ternyata garis-garis menjadi makin rapat dan akhirnya terkumpul bersama-sama pada batas deretan garis-garis tersebut, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.9.

Rumus Balmer untuk panjang gelombang dalam deret tersebut adalah

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 3, 4, 5 \dots \quad (1.6)$$

R dikenal dengan tetapan Rydberg = $1,097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$

Garis spektrum yang terjadi pada deret Balmer dengan panjang gelombang terbesar 656,3 nm (disebut H_{α}) berwarna merah dan secara berturut-turut di sebelahnnya dengan panjang gelombang 486,3 nm (disebut H_{β}) berwarna biru. Panjang gelombang 434,1 nm (disebut H_{γ}) berwarna ungu, dan panjang gelombang 364,6 nm (disebut H_{δ}) berwarna ultra ungu. Ketika panjang gelombangnya bertambah kecil, garis yang didapatkan bertambah berdekatan dan intensitasnya lebih lemah. Di luar batas itu tidak terdapat lagi garis yang terpisah, hanya terdapat spektrum kontinu yang lemah.



Gambar 1.9.

Deret Balmer Hidrogen, dengan Garis H_{α} (merah), H_{β} (biru), H_{γ} (ungu), H_{δ} (ultra ungu)

Garis H_{α} bersesuaian dengan $n = 3$, garis H_{β} dengan $n = 4$, garis H_{γ} dengan $n = 5$ dan seterusnya. Batas deret bersesuaian dengan $n = \infty$ sehingga pada saat itu panjang gelombangnya adalah $4/R$ sesuai dengan hasil eksperimen.

Di sini jelas bahwa frekuensi-frekuensi yang timbul pada deret Balmer ini disebabkan oleh adanya perpindahan letak elektron dari lapisan kulit yang ke 3, 4, 5 dan seterusnya ke lapisan kulit yang ke-2 pada susunan atom Hidrogen. Hal ini berarti bahwa bila sebuah elektron pada kulit ke-3 atom Hidrogen pindah ke kulit ke-2 maka akan terpancar foton dengan panjang gelombang H_{α} , yaitu 656,3 nm (cahaya merah). Deret Balmer hanya berisi panjang gelombang pada bagian tampak dari spektrum hidrogen. Garis spektrum hidrogen dalam daerah ultra ungu dari infra merah jatuh pada beberapa deret lain.

Deret Lyman mempunyai spektrum ultra ungu hasil loncatan elektron dari orbit $n > 1$ ke orbit $n = 1$, dengan panjang gelombang:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 2, 3, 4 \dots \quad (1.7)$$

Dalam daerah infra merah telah didapatkan tiga deret spektrum, yaitu:

Deret Paschen mempunyai spektrum hasil loncatan elektron dari orbit $n > 3$ ke orbit $n=3$, dengan panjang gelombang:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 4, 5, 6 \dots \quad (1.8)$$

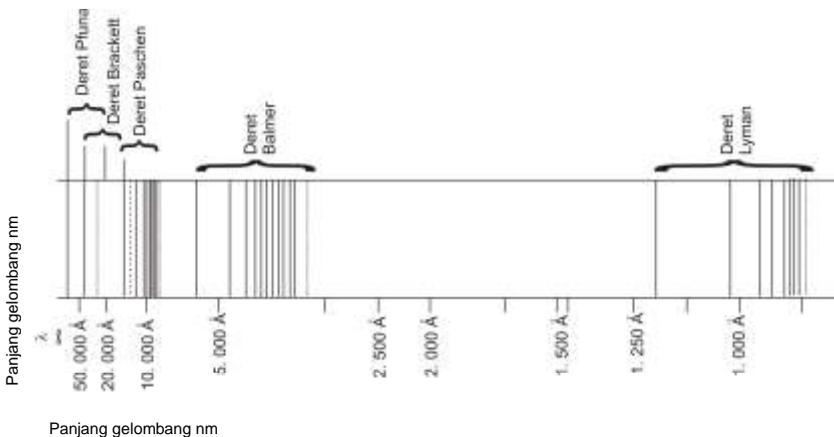
Deret Brackett mempunyai spektrum hasil loncatan elektron dari orbit $n > 4$ ke orbit $n=4$, dengan panjang gelombang:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 5, 6, 7 \dots \quad (1.9)$$

Deret Pfund mempunyai spektrum hasil loncatan elektron dari orbit $n > 5$ ke orbit $n=5$, dengan panjang gelombang:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 6, 7, 8 \dots \quad (1.10)$$

Deret spektrum seperti di atas jika dihubungkan terhadap panjang gelombangnya dan apabila digambarkan seluruh spektrum garis yang didapat dari atom hidrogen, ditunjukkan pada Gambar 1.10.



Gambar 1.10.
Deret Spektrum Atom Hidrogen

Berdasarkan Gambar 1.10 tersebut bahwa deret Brackett bertumpang tindih dengan deret Paschen dan Pfund, berada pada daerah infra merah. Keteraturan yang terjadi dalam struktur atom hidrogen dan atom yang lebih kompleks, membuka peluang pengujian teori struktur atom yang kemudian dikembangkan oleh Niels Bohr.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Bagaimana model atom menurut Rutherford?
- 2) Jelaskan kelemahan-kelemahan model atom Rutherford!
- 3) Tentukan panjang gelombang terpendek dan terpanjang dari deret Lyman untuk atom hidrogen!
- 4) Tentukan panjang gelombang garis ke dua deret Paschen atom hidrogen!
- 5) Berapa panjang gelombang radiasi yang dipancarkan oleh atom hidrogen bila satu elektron meloncat dari lintasan $n = 10$ ke $n = 9$?
- 6) Carilah panjang gelombang foton yang dipancarkan apabila atom hidrogen pindah dari $n = 4$ ke $n = 1$!

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Muatan positif dan sebagian besar massa atom berkumpul di suatu titik yang berpusat di pusat inti atom. Di luar inti elektron mengorbit mengelilingi inti atom dalam lintasan, seperti planet mengelilingi matahari dalam tata surya. Massa atom hampir semuanya terletak pada intinya. Atom secara keseluruhan bersifat netral. Muatan inti adalah positif dan besarnya sama dengan besar muatan elektron-elektron yang mengorbitnya. Apabila elektron mempunyai muatan sebesar satu muatan elementer maka muatan inti adalah kelipatan muatan elementer tersebut. Inti dan elektron tarik-menarik hal ini menyebabkan gaya sentripetal yang membiarkan elektron-elektron tetap dalam lintasan masing-masing.
- 2) Kelemahan-kelemahannya, antara lain (a) atom tidak stabil karena adanya energi yang dipancarkan elektron yang lama kelamaan akan menyusut dan jari-jari lintasannya akan mengecil. Lintasan tidak lagi merupakan lingkaran dengan jari-jari yang sama, tetapi merupakan

putaran berpilin yang mendekati intinya dan akhirnya elektron akan bersatu dengan intinya. (b) Oleh karena elektron mempunyai lintasan yang menciut mata waktu putarnya pun akan mengecil dan frekuensi yang dipancarkannya menjadi bermacam-macam. Atom tidak menunjukkan spektrum garis tertentu melainkan spektrum yang kontinu.

- 3) Panjang gelombang deret Lyman dihitung dengan rumus:

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

Panjang gelombang terpendek $n = \infty$

$$\begin{aligned} \frac{1}{\lambda_{\min}} &= R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{\infty^2} \right) \\ &= (1,097 \times 10^7/\text{m}) \left(1 - \frac{1}{\infty} \right) \end{aligned}$$

$$\frac{1}{\lambda_{\min}} = 1,097 \times 10^7/\text{m}$$

$$\lambda_{\min} = 912 \text{ \AA}$$

Panjang gelombang terpanjang $n = 2$

$$\begin{aligned} \frac{1}{\lambda_{\text{maks}}} &= R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) \\ &= (1,097 \times 10^7/\text{m}) \left(1 - \frac{1}{4} \right) \end{aligned}$$

$$\frac{1}{\lambda_{\text{maks}}} = 1,097 \times 10^7/\text{m} \left(\frac{3}{4} \right)$$

$$\lambda_{\text{maks}} = 1215 \text{ \AA}$$

- 4) Deret Paschen ditentukan oleh $n = 3$, dan garis kedua berhubungan dengan $n = 5$.

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

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{5^2} \right)$$

$$= 12,820 \text{ \AA}$$

5) Panjang gelombangnya adalah:

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{9^2} - \frac{1}{10^2} \right) \\ &= (1,097 \times 10^{-7}/\text{m})(0,0023) \\ &= 396 \times 10^{-7} \text{ m} = 396 \text{ \AA} \end{aligned}$$

6) Panjang gelombang foton yang dipancarkan bila elektron pindah dari $n = 4$ ke $n = 1$.

$$\begin{aligned} \frac{1}{\lambda} &= R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right) \\ \frac{1}{\lambda} &= (1,097 \times 10^{-7}/\text{m}) \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{4^2} \right) \\ \lambda &= 972 \text{ \AA} \end{aligned}$$



RANGKUMAN

Teori atom Rutherford walaupun lebih baik dari model atom Thomson karena ditunjang oleh hasil eksperimen, tidak dapat menjelaskan spektrum cahaya yang dipancarkan oleh atom hidrogen. Berpindahnya elektron dari lintasan tertentu ke lintasan yang lain menghasilkan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang tertentu yang harganya berada di antara daerah infra merah dan ultra violet. Gelombang ini menghasilkan garis-garis spektrum yang mengumpul dalam suatu deret spektrum. Deret spektrum ini pertama kali ditemukan oleh J.J. Balmer (1885) ketika ia mempelajari bagian tampak dari spektrum hidrogen. Spektrum ini terlihat pada daerah cahaya tampak yang dapat dengan jelas teramati. Dari pengamatan ternyata garis-garis menjadi makin rapat dan akhirnya terkumpul bersama-sama pada batas deretan garis-garis tersebut.

Garis spektrum yang terjadi pada deret Balmer dengan panjang gelombang terbesar 656,3 nm (H_{α}) berwarna merah, di sebelahnya dengan panjang gelombang 486,3 nm (H_{β}) berwarna biru, panjang gelombang 434,1 nm (H_{γ}) berwarna ungu, dan panjang gelombang 354,6 nm (H_{δ}) berwarna ultra ungu. Di luar batas itu tidak terdapat lagi garis yang terpisah, hanya terdapat spektrum kontinu yang lemah. Garis H_{α} bersesuaian dengan $n=3$, garis H_{β} dengan $n=4$, garis H_{γ} dengan $n=5$ dan

seterusnya. Batas deret bersesuaian dengan $n=\infty$ sehingga pada saat itu panjang gelombangnya adalah $4/R$, sesuai dengan eksperimen.

Frekuensi-frekuensi yang timbul pada deret Balmer ini disebabkan oleh adanya perpindahan letak elektron dari lapisan kulit yang ke-3, 4, 5, dan seterusnya ke lapisan kulit yang ke-2 pada susunan atom Hidrogen. Hal ini berarti bahwa apabila sebuah elektron pada kulit ke-3 atom hidrogen pindah ke kulit ke-2 maka akan terpancar foton dengan panjang gelombang $H\alpha$ yaitu 656,3 nm (cahaya merah). Spektrum atom hidrogen yang lain adalah spektrum Lyman, Paschen, Bracket dan Pfund.



TES FORMATIF 3

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Panjang gelombang terbesar dari deret Balmer adalah
 - A. $\lambda = 6,562 \text{ \AA}$
 - B. $\lambda = 65,62 \text{ \AA}$
 - C. $\lambda = 656,2 \text{ \AA}$
 - D. $\lambda = 6562 \text{ \AA}$

- 2) Sebuah elektron memerlukan waktu 10^{-8} s dalam keadaan eksitasi pada lintasan $n = 2$ sebelum pindah pada lintasan $n = 1$, dengan memancarkan foton berupa spektrum garis, berapa kali elektron tersebut berputar dalam lintasan $n = 2$?
 - A. $8,26 \times 10^6$ kali.
 - B. $8,26 \times 10^8$ kali.
 - C. $1,2112 \times 10^{19}$ kali.
 - D. $1,2112 \times 10^{21}$ kali.

- 3) Frekuensi terbesar dari deretan infra merah kedua adalah
 - A. $f = 0,0686 \times 10^{15} \text{ Hz}$
 - B. $f = 2,058 \times 10^{15} \text{ Hz}$
 - C. $f = 4,859 \times 10^{15} \text{ Hz}$
 - D. $f = 14,577 \times 10^{15} \text{ Hz}$

- 4) Panjang gelombang terpendek deret spektrum Balmer adalah
- A. $\lambda_{\min} = 3,649 \text{ \AA}$
 - B. $\lambda_{\min} = 36,49 \text{ \AA}$
 - C. $\lambda_{\min} = 3649 \text{ \AA}$
 - D. $\lambda_{\min} = 6563 \text{ \AA}$
- 5) Panjang gelombang foton yang dipancarkan ketika sebuah atom hidrogen mengalami transisi dari $n = 5$ ke $n = 2$ adalah
- A. $\lambda = 4340 \text{ \AA}$
 - B. $\lambda = 1026,051 \text{ \AA}$
 - C. $\lambda = 43,40 \text{ \AA}$
 - D. $\lambda = 4,340 \text{ \AA}$
- 6) Panjang gelombang terbesar pada deret Balmer dari spektrum hidrogen adalah
- A. $2,2 \times 10^{-7} \text{ m}$
 - B. $4,4 \times 10^{-7} \text{ m}$
 - C. $6,6 \times 10^{-7} \text{ m}$
 - D. $8,8 \times 10^{-7} \text{ m}$
- 7) Panjang gelombang terkecil pada deret Paschen dari spektrum hidrogen adalah
- A. $4,3 \times 10^{-7} \text{ m}$
 - B. $6,3 \times 10^{-7} \text{ m}$
 - C. $8,3 \times 10^{-7} \text{ m}$
 - D. $10,3 \times 10^{-7} \text{ m}$
- 8) Besar frekuensi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan atom hidrogen ketika elektron berpindah dari lintasan 5 ke lintasan 4 adalah
- A. $3,4 \times 10^{13} \text{ Hz}$
 - B. $5,4 \times 10^{13} \text{ Hz}$
 - C. $7,4 \times 10^{13} \text{ Hz}$
 - D. $9,4 \times 10^{13} \text{ Hz}$

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 3 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 3.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 4. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 3, terutama bagian yang belum dikuasai.

KEGIATAN BELAJAR 4

Model Atom Bohr

Hasil eksperimen menunjukkan spektrum hidrogen terdiri dari deret garis-garis yang terpisah-pisah menurut aturan tertentu yang dikenal sebagai deret Balmer. Berdasarkan hal ini dapat disimpulkan bermacam-macam kemungkinan, antara lain model atom Rutherford salah, teori elektrodinamika klasik salah, model atom Rutherford dan teori elektrodinamika klasik tidak memenuhi atau terbatas berlakunya.

Pada tahun 1913, Niel Bohr menyusun model atom hidrogen berdasarkan teori atom Rutherford dan teori kuantum Planck. Dalam atom Rutherford dijelaskan bahwa prinsip fisika klasik tidak sesuai dengan kemantapan atom hidrogen yang teramati. Elektron dalam atom ini diharuskan berputar mengelilingi inti untuk mempertahankan diri supaya jangan tertarik ke dalam inti atom, tetapi elektron itu juga harus memancarkan radiasi energi elektromagnetik terus-menerus. Elektron itu makin lama akan mendekati inti atom yang akhirnya akan menempel. Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan Bohr, ternyata energi yang dipancarkan tidak berubah sehingga Bohr menyusun teori yang mempunyai dua postulat yang sangat fundamental, sebagai berikut:

Postulat 1:

Elektron dapat mengelilingi inti menurut lintasan berupa lingkaran tertentu tanpa memancarkan radiasi elektromagnetis.

Lintasan berupa lingkaran tertentu ini mempunyai momentum anguler merupakan kelipatan bilangan bulat dari panjang gelombang de Broglie atau

$$2\pi r = n \times \lambda \text{ de Broglie} \quad (1.11)$$

$$\text{berarti juga } 2\pi r = n \frac{h}{mv}$$

$$\text{sehingga } mvr = n h/2\pi \quad (1.12)$$

n = bilangan kuantum utama dan harganya 1, 2, 3,

h = konstanta Planck = $6,63 \times 10^{-34}$ J.s.

Pada lintasan tertentu ini elektron bergerak mengelilingi intinya tanpa memancarkan energi, disebut orbit atau lintasan stasioner.

Berdasarkan postulat 1 ini besarnya jari-jari lintasan elektron dalam atom dapat dihitung sebagai berikut:

Panjang gelombang de Broglie untuk elektron adalah:

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

v = kecepatan elektron seperti dalam Persamaan (1.4).

$$v = \frac{e}{\sqrt{4\pi\epsilon_0} mr}$$

Menurut mekanika kuantum, suatu benda yang bergerak melingkar beraturan tidak kehilangan tenaga jika keliling lintasannya merupakan kelipatan bilangan bulat dari de Broglie.

Jadi

$$2\pi r = n \lambda \text{ de Broglie}$$

$$2\pi r = n \lambda = \frac{h}{mv}$$

$$mvr = n \lambda = \frac{h}{2\pi}$$

Dengan menyubstitusikan Persamaan (1.4) ke dalam Persamaan (1.11), panjang gelombang orbit elektron adalah:

$$\lambda = \frac{h}{e} \sqrt{\frac{4\pi\epsilon_0 r}{m}} \quad (1.13)$$

Keliling orbit lingkaran berjari-jari r ialah $2\pi r$, jadi dapat kita tuliskan syarat kemandapan (kesetimbangan) orbit adalah:

$$n\lambda = 2\pi r_n \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (1.14)$$

dengan r_n menyatakan jari-jari orbit yang mengandung panjang gelombang. Bilangan n disebut bilangan kuantum dari orbit.

Dengan mensubstitusikan Persamaan (1.12) ke dalam Persamaan (1.13), panjang gelombang elektron adalah:

$$\frac{nh}{c} \sqrt{\frac{4\pi\epsilon_0 r_n}{m}} = 2\pi r_n$$

sehingga jari-jari orbit elektron dalam atom Bohr adalah:

$$r_n = \frac{n^2 h^2 \epsilon_0}{\pi m e^2} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (1.15)$$

Jari-jari orbit terdalam atau terkecil bila $n = 1$, disebut jari-jari Bohr dari atom hidrogen dan dinyatakan dengan lambang a_0 .

$$a_0 = r_1 = 5,292 \times 10^{-11} \text{ m} = 0,5292 \text{ \AA}$$

Jari-jari yang lain dapat dinyatakan dengan a_0 .

$$R_n = n^2 a_0$$

sehingga jarak antara orbit yang berdekatan bertambah besar.

Jadi, hanya jari-jari lintasan tertentu yang memenuhi Persamaan (1.14) yang memungkinkan elektron dapat mengorbit mengelilingi inti atom menurut lintasan lingkaran tanpa memancarkan gelombang elektromagnetik.

Postulat 2:

Tiap-tiap lintasan elektron mempunyai tingkat energi sendiri-sendiri. Apabila elektron meloncat dari suatu lintasan yang tingkat energinya E_n ke lintasan yang tingkat energinya E_1 maka akan dipancarkan energi foton yang besarnya sama dengan hf .

$$E = E_n - E_1 = hf \quad (1.17)$$

E_n = energi awal

E_1 = energi akhir

f = frekuensi radiasi yang dipancarkan atau diserap atom

h = tetapan Planck

Apabila $E_n > E_1$ energi tersebut dipancarkan, sebaliknya apabila $E_n < E_1$, energi tersebut diserap oleh atom. Jadi, menurut teori atom Bohr ini, elektron tidak terus-menerus memancarkan energi, tetapi hanya memancarkan atau menyerap energi apabila elektron meloncat dari satu lintasan ke lintasan yang lain.

Energi elektron pada suatu lintasan dinyatakan dalam Persamaan (1.5) sebagai berikut:

$$E_n = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r_n}$$

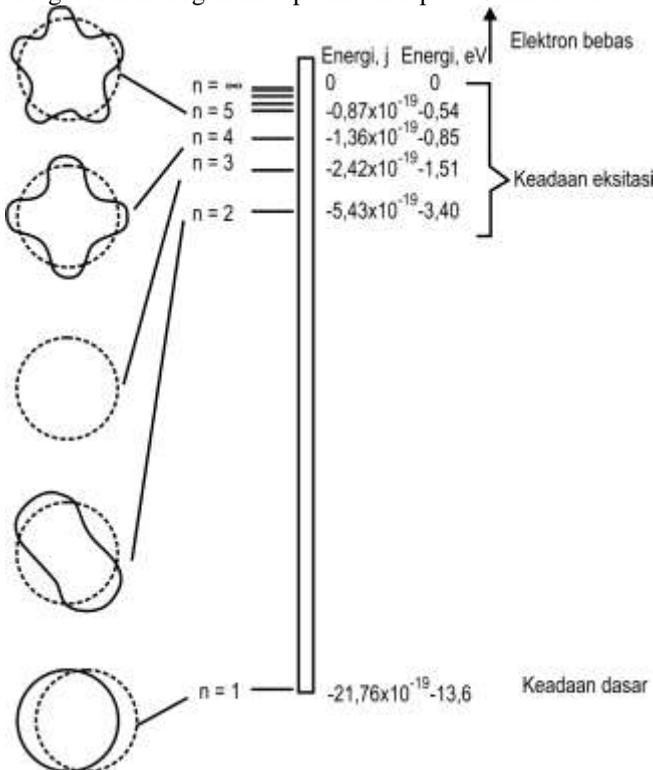
Sedangkan jari-jari orbit dalam atom Bohr menurut Persamaan (1.4) adalah

$$r_n = -\frac{n^2 h^2 \epsilon_0}{\pi m e^2}$$

Dengan mensubstitusikan Persamaan (1.14) ke dalam Persamaan (1.15) maka tingkat energi dari atom hidrogen adalah:

$$E_n = -\frac{m e^4}{8 \epsilon_0^2 h^2} \left(\frac{1}{n^2}\right) = \frac{E_1}{n^2} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (1.18)$$

Tingkat energi atom hidrogen ini diperlihatkan pada Gambar 1.11.



Gambar 1.11. Tingkat Energi Atom hidrogen

Tingkat energi ini semuanya negatif, hal ini menyatakan bahwa elektron. tidak memiliki energi yang cukup untuk melepaskan diri dari inti atom.

Tingkat energi yang terendah E_1 disebut keadaan dasar dari atom itu dan tingkat energi lebih tinggi E_2, E_3, E_4, \dots disebut keadaan eksitasi (status eksitasi). Ketika bilangan kuantum n bertambah, energi E_n yang bersesuaian menjadi nol, dalam limit $n = \infty$, $E_\infty = 0$ dan elektronnya tidak lagi terikat pada inti untuk membentuk atom. Energi positif untuk kombinasi inti elektron berarti bahwa elektronnya tidak terikat pada inti dan tidak memenuhi syarat kuantum yang harus dipenuhinya; kombinasi seperti itu tidak membentuk atom.

Energi yang dibutuhkan untuk membebaskan elektron dari atom dalam keadaan dasarnya disebut energi ionisasi. Energi ionisasi atom hidrogen biasanya $-13,6$ eV sama dengan $-E_1$. Jika bilangan kuantum dalam keadaan awal (energi lebih tinggi) ialah n_i dan bilangan kuantum dalam keadaan akhir (energi lebih rendah) ialah n_f maka energinya adalah:

$$\begin{aligned} \text{Energi awal} & - \text{Energi akhir} = \text{Energi foton} \\ E_i & - E_f = hf \end{aligned} \tag{1.19}$$

dengan f menyatakan frekuensi foton yang dipancarkan.

Dari Persamaan (1.17) diperoleh

$$E_i - E_f = E_1 \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right) = -E_1 \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

Kita ingat bahwa sebelumnya E_1 adalah bilangan negatif ($-13,6$ eV) sehingga $-E_1$ adalah bilangan positif. Frekuensi foton yang dipancarkan dalam transisi ini adalah:

$$f = \frac{E_i - E_f}{h} = -\frac{E_1}{h} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \tag{1.20}$$

Karena $\lambda = c/v$, $1/\lambda = v/c$ dan

$$\frac{1}{\lambda} = -\frac{E_1}{ch} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \tag{1.21}$$

Persamaan (1.21) menyatakan bahwa radiasi yang dipancarkan oleh atom hidrogen yang tereksitasi hanya mengandung panjang gelombang tertentu saja. Panjang gelombang ini jatuh pada deret tertentu yang tergantung dari bilangan kuantum n_1 dari tingkat akhir elektron. Oleh karena bilangan kuantum awal n_i harus selalu lebih besar dari bilangan kuantum akhir n_1 supaya terdapat kelebihan energi yang dilepas sebagai foton, rumus perhitungan untuk lima deret yang pertama adalah:

Deret Lyman:

$$n_{r=i} = 1 : \frac{1}{\lambda} = -\frac{E_1}{ch} \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{1^2} \right) \quad n = 2, 3, 4, \dots$$

Deret Balmer:

$$n_{r=i} = 2 : \frac{1}{\lambda} = -\frac{E_1}{ch} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{1^2} \right) \quad n = 3, 4, 5, \dots$$

Deret Paschen:

$$n_{r=i} = 3 : \frac{1}{\lambda} = -\frac{E_1}{ch} \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{1^2} \right) \quad n = 4, 5, 6, \dots$$

Deret Brackett:

$$n_{r=i} = 4 : \frac{1}{\lambda} = -\frac{E_1}{ch} \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{1^2} \right) \quad n = 5, 6, 7, \dots$$

Deret Pfund:

$$n_{r=i} = 5 : \frac{1}{\lambda} = -\frac{E_1}{ch} \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{1^2} \right) \quad n = 6, 7, 8, \dots$$

Deret ini bentuknya sama dengan deret spektrum empiris yang telah dibahas sebelumnya. Deret Lyman bersesuaian dengan $n_r = 1$, deret Balmer bersesuaian dengan $n_r = 2$, deret Paschen bersesuaian dengan $n_r = 3$, deret Brackett bersesuaian dengan $n_r = 4$, dan deret Pfund bersesuaian dengan $n_r = 5$.

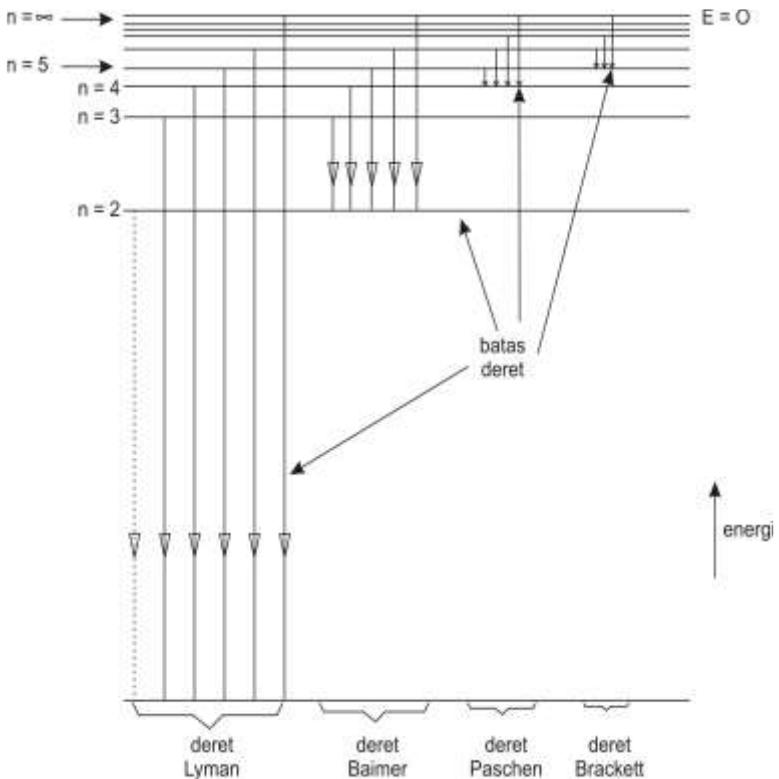
Sampai di sini kita belum memperoleh kepastian bahwa spektrum garis hidrogen berasal dari transisi elektron dari tingkat energi tinggi ke tingkat energi rendah.

Jika dibandingkan harga tetapan Rydberg R dalam persamaan empiris (1.6) hingga persamaan (1.10), harga tetapan Rydberg R dengan menggunakan rumus di atas adalah:

$$-\frac{E_1}{ch} = -\frac{me^4}{8\epsilon_0^2 ch^3} = -\frac{(9,1 \times 10^{-31} \text{ kg})(1,6 \times 10^{-19} \text{ C})^4}{(8)(8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m})^2 (3 \times 10^8 \text{ m/s})(6,63 \times 10^{-34} \text{ J/s})^3}$$

$$= 1,097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

yang ternyata hasilnya sama dengan harga R sebelumnya.



Gambar 1.12.
Garis Spektrum Berasal dari Transisi antara Tingkat Energi

Model atom hidrogen ini yang pada hakikatnya sama dengan yang dikembangkan oleh Bohr pada tahun 1913 walaupun ia tidak memasukkan gelombang de Broglie untuk memandu pikirannya sesuai dengan eksperimen. Secara skematik kaitan spektrum hidrogen dengan tingkat energi atom hidrogen dapat dilihat pada Gambar 1.12. Deret spektrum ini ditunjukkan oleh atom hidrogen. Apabila $n = \infty$ maka elektron akan bebas.



LATIHAN

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Turunkan persamaan spektrum atom hidrogen menurut teori atom Niel Bohr!
- 2) Tuliskan 5 tingkatan energi untuk atom hidrogen!
- 3) Berapa potensial pemercepat minimum yang akan memungkinkan sebuah elektron mengeksitasi sebuah atom hidrogen ke luar dari keadaan dasarnya?
- 4) Sebuah elektron atom Boron pada lintasannya mempunyai energi $-13,6\text{eV}$. Berapa panjang gelombang harus diberikan agar elektron dapat berpindah lintasan dengan energi $-3,4\text{eV}$?
- 5) Sebuah elektron atom Berelium pada orbitnya mempunyai energi $13,6\text{ eV}$. Elektron ini meloncat ke orbit lain membutuhkan energi $-1,511\text{ eV}$, dan ternyata elektron ini kembali lagi sambil memancarkan sinar. Hitung energi dan panjang gelombang sinar yang dipancarkan!

Petunjuk Jawaban Latihan

- 1) Anda dapat menurunkan persamaan spektrum atom tersebut, seperti yang telah dijelaskan dalam uraian materi.
- 2) Tingkat energi atom hidrogen, dapat dihitung dengan persamaan:

$$E_n = -13,6 \text{ EV}/n^2$$

$$n = 1 : E_1 = -13,6 \text{ eV} \quad (\text{keadaan dasar})$$

$$n = 2 : E_2 = -3,4 \text{ eV} \quad (\text{keadaan eksitasi})$$

$$n = 3 : E_3 = -1,51 \text{ eV} \quad (\text{keadaan eksitasi})$$

$$n = 4 : E_4 = -0,85 \text{ eV} \quad (\text{keadaan eksitasi})$$

$$n = 5 : E_5 = -0,54 \text{ eV} \quad (\text{keadaan eksitasi})$$

- 3) Potensial pemcepatnya = 10,2 eV.
 4) Perbedaan energi elektron sesudah dan sebelum berpindah:
 $= -3.4 \text{ eV} - a (-13,6 \text{ eV}) = 10,2 \text{ eV}$
 Energi yang diberikan untuk memindah elektron ini juga 10,2 eV

$$E = hf = hc/\lambda = 10,2 \text{ eV}$$

$$\lambda = hc/E = \frac{(6,62 \times 10^{-34} \text{ J/s})(3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1})}{10,2 \times 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}}$$

$$= 216 \text{ \AA}$$

- 5) Perpindahan orbit elektron dari energi -1511 eV ke energi $-13,6 \text{ eV}$ sambil memancarkan sinar. Energi sinar yang dipancarkan sama dengan selisih energi tersebut $= -1,511 \text{ eV} (-13,6 \text{ eV}) = 12,089 \text{ eV}$
 Energi sinar total $= hf = hc/\lambda = 12,089 \text{ eV}$
 $\lambda = 1026,051 \text{ \AA}$



RANGKUMAN

Niels Bohr menyusun model atom hidrogen berdasarkan teori atom Rutherford dan teori kuantum Planck, dengan dua postulat yang sangat fundamental, yaitu sebagai berikut.

Postulat 1: Elektron dapat mengelilingi inti menurut lintasan berupa lingkaran tertentu tanpa memancarkan radiasi elektromagnetis. Lintasan berupa lingkaran tertentu ini mempunyai momentum anguler merupakan kelipatan bilangan bulat dari panjang gelombang de Broglie atau $2\pi r = n \times \lambda$ de Broglie.

Postulat 2: Tiap-tiap lintasan elektron mempunyai tingkat energi sendiri-sendiri. Apabila elektron meloncat dari suatu lintasan yang tingkat energinya E_n ke lintasan yang tingkat energinya E_1 maka akan dipancarkan energi foton yang besarnya sama dengan hf .

Tingkat energi ini semuanya negatif, hal ini menyatakan bahwa elektron tidak memiliki energi yang cukup untuk melepaskan diri dari inti atom. Tingkat energi yang terendah E_1 disebut keadaan dasar dari atom itu dan tingkat energi lebih tinggi E_2, E_3, E_4, \dots disebut keadaan eksitasi (status eksitasi). Ketika bilangan kuantum n bertambah, energi E_n yang bersesuaian menjadi nol, dalam limit $n = \infty$. $E_\infty = 0$ dan elektronnya tidak lagi terikat pada inti untuk membentuk atom.

Energi positif untuk kombinasi inti elektron berarti bahwa elektronnya tidak terikat pada inti dan tidak syarat kuantum yang harus dipenuhinya; kombinasi seperti itu tidak membentuk atom.

Energi yang dibutuhkan untuk membebaskan elektron dari atom dalam keadaan dasarnya disebut energi ionisasi. Energi ionisasi atom hidrogen biasanya -13.6 eV sama dengan $-E_1$.



TES FORMATIF 4

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Panjang gelombang foton yang dipancarkan ketika sebuah atom hidrogen meloncat dari $n = 5$ ke $n = 2$ adalah panjang gelombang
 - A. 4340 \AA
 - B. 4340 nm
 - C. $486,3 \text{ nm}$
 - D. $653,3 \text{ nm}$

- 2) Jika panjang gelombang terpendek dalam deret Balmer adalah 3650 \AA , energi ionisasi hidrogen adalah
 - A. $0,85 \text{ eV}$
 - B. $1,51 \text{ eV}$
 - C. $3,40 \text{ eV}$
 - D. $13,6 \text{ eV}$

- 3) Dalam transisi ke suatu tingkat energi eksitasi $10,19 \text{ eV}$, atom hidrogen memancarkan foton 4890 \AA , energi ikat keadaan awalnya adalah
 - A. $0,87 \text{ eV}$
 - B. $1,51 \text{ eV}$
 - C. $3,41 \text{ eV}$
 - D. $13,6 \text{ eV}$

- 4) Tentukan energi ionisasi hidrogen jika panjang gelombang terpendek dalam deret Balmer 3650 \AA
 - A. $1,51 \text{ eV}$
 - B. $13,6 \text{ eV}$
 - C. $0,87 \text{ eV}$
 - D. $3,40 \text{ eV}$

- 5) Elektron-elektron berenergi 12,2 eV ditembakkan ke atom-atom hidrogen dalam sebuah tabung lucutan gas, panjang gelombang garis-garis yang dipancarkan oleh hidrogen adalah
- $\lambda_1 = 6563 \text{ \AA}$, $\lambda_2 = 1215 \text{ \AA}$ dan $\lambda_3 = 1026 \text{ \AA}$
 - $\lambda_2 = 1215 \text{ \AA}$, $\lambda_1 = 6563 \text{ \AA}$ dan $\lambda_3 = 1026 \text{ \AA}$
 - $\lambda_3 = 1026 \text{ \AA}$, $\lambda_1 = 6563 \text{ \AA}$ dan $\lambda_2 = 1215 \text{ \AA}$
 - $\lambda_1 = 6563 \text{ \AA}$, $\lambda_2 = 1215 \text{ \AA}$ dan $\lambda_3 = 4863 \text{ \AA}$

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 4 yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 4.

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban yang Benar}}{\text{Jumlah Soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan: 90 - 100% = baik sekali
 80 - 89% = baik
 70 - 79% = cukup
 < 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan modul selanjutnya. **Bagus!** Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 4, terutama bagian yang belum dikuasai.

Kunci Jawaban Tes Formatif

Tes Formatif 1

- 1) A. Gunakan rangkuman yang tercantum pada Kegiatan Belajar 1.
- 2) A. Kelemahan teori atom Thomson adalah adanya hamburan partikel alfa yang ditembakkan pada keping logam dalam percobaan Rutherford. Seharusnya apabila teori atom Thomson benar maka seluruh partikel alfa dengan energi yang besar itu tidak akan dihamburkan, akan menembus lurus keping logam. Sebab atom-atom keping logam netral tidak menghalangi partikel alfa yang bermuatan listrik positif. Sebagian besar partikel alfa menembus keping logam lurus mengenai layar, tetapi beberapa di antaranya dibelokkan bahkan ada yang dipantulkan dan membentuk sudut antara 90° sampai 180° .
- 3) A. Kapur, marmer, dan intan sebetulnya tersusun dari atom karbon yang sama, yang menyebabkan berbeda adalah bentuk dan susunan kristalnya.
- 4) B. Atom hidrogen, Sulfur, dan Oksigen dapat membentuk molekul H_2SO_4 , dengan perbandingan berat masing-masing 1 : 16 : 32.
- 5) C. Satu gram gas Nitrogen = $1/28$ mole N_2 , berarti = $1/28 \times 6,023 \times 10^{23}$ molekul $\text{N}_2 = 2,15 \times 10^{22}$ molekul N_2 .
 Karena setiap molekul N_2 tersusun dari 2 atom N maka dengan sendirinya mempunyai $2 \times 2,15 \times 10^{22}$ atom N = $4,30 \times 10^{22}$ atom N.
- 6) B. Baca kembali teori.
- 7) D. Baca kembali teori.
- 8) C. Baca kembali teori.

Tes Formatif 2

- 1) A. Model atom menurut Rutherford adalah muatan positif dan sebagian besar massa atom terkumpul di suatu titik yang berpusat di pusat inti atom. Di luar inti elektron mengorbit mengelilingi inti atom dalam lintasan, seperti planet mengelilingi matahari dalam tata surya. Massa atom hampir semuanya terletak pada intinya. Atom secara keseluruhan bersifat netral. Muatan inti adalah positif dan besarnya sama dengan besar muatan elektron-elektron yang mengorbitnya.

Apabila elektron mempunyai muatan sebesar satu muatan elementer maka muatan inti adalah kelipatan muatan elementer tersebut. Inti dan elektron tarik-menarik, hal ini menyebabkan gaya sentripetal yang membiarkan elektron-elektron tetap dalam lintasan masing-masing

- 2) B. Kelemahan-kelemahan teori atom Rutherford, antara lain (a) Atom tidak stabil karena adanya energi yang dipancarkan elektron yang lama kelamaan akan menyusut dan jari-jari lintasannya akan mengecil. Lintasan tidak lagi merupakan lingkaran dengan jari-jari yang sama, tetapi merupakan putaran berpilin yang mendekati intinya dan akhirnya elektron akan bersatu dengan intinya. (b)Oleh karena elektron mempunyai lintasan yang menciut maka waktu putarnya pun akan mengecil, frekuensi yang dipancarkannya menjadi bermacam-macam. Atom tidak menunjukkan spektrum garis tertentu melainkan spektrum yang kontinu.
- 3) A. Apabila jari-jari orbit elektron makin besar, akibat yang akan terjadi adalah energinya akan semakin besar.
- 4) A. $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$.

Panjang gelombang sinar ultraviolet = $800 \text{ \AA} = 800 \times 10^{-10} \text{ m} = 8 \times 10^{-8} \text{ m}$. oleh karena sinar ini dapat melemparkan elektron keluar dari orbitnya maka energi elektron pada orbit tersebut sama dengan energi sinar.

$$\text{Energi sinar } E = h.f. = h \cdot \frac{c}{\lambda} = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r}$$

$$r = \frac{e^2 \lambda}{8\pi\epsilon_0 hc}$$

$$= \frac{(1,6 \times 10^{-19} \text{ C})^2 (8 \times 10^{-8} \text{ m})}{8\pi \times (8,85 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}) (6,62 \times 10^{-24} \text{ J}\cdot\text{s}) (2,99 \times 10^8 \text{ m/s})}$$

$$= 4,6437 \times 10^{-11} \text{ m}.$$

- 5) A. Energi kinetik $E_k = 13 \text{ eV} = 13 \times 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$

$$\text{Energi total} = \frac{Ze^2}{8\pi\epsilon_0 r}, \text{ untuk litium } Z = 3$$

$$\frac{(3e)e}{2,4\pi\epsilon_0 r^2} = E_k$$

Jadi,

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{3e^2}{2\frac{1}{k} \cdot E_k} \\
 &= \frac{3ke^2}{2E_k} \\
 &= \frac{3 \cdot (9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}) (1,6 \times 10^{-19} \text{C})^2}{2 \cdot 13 \times 16 \times 10^{-19} \text{J}} \\
 &= 1,66 \times 10^{-10} \text{ m} \\
 &= 1,66 \text{ \AA}
 \end{aligned}$$

Jadi, jari-jari elektron = $1,6615 \times 10^{-10} \text{ m}$.

6) C. $E = hf$

$$E = n \frac{C}{\lambda}$$

$$E = 6,62 \cdot 10^{-34} \frac{3 \cdot 10^8}{6 \cdot 10^{-7}}$$

$$\begin{aligned}
 E &= 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 0,5 \cdot 10^{15} \\
 &= 3,31 \cdot 10^{-19} \text{ j}
 \end{aligned}$$

7) D. $\frac{1}{\lambda} = 1,097 \cdot 10^7 \left(\frac{1}{n_B^2} - \frac{1}{n_A^2} \right)$

$$\begin{aligned}
 &= 1,097 \cdot 10^7 \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2} \right) \\
 &= 1,097 \cdot 10^7
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E &= h \cdot \frac{C}{\lambda} \\
 &= 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8
 \end{aligned}$$

8) B. $\frac{1}{\lambda} = 1,097 \cdot 10^7 \left(\frac{1}{n_B^2} - \frac{1}{n_A^2} \right)$

$$\begin{aligned}
 &= 1,097 \cdot 10^7 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right) \\
 &= 6,6 \cdot 10^7 \text{ m} \\
 &= 6,600 \text{ \AA}
 \end{aligned}$$

Tes Formatif 3

1) D. Hal yang dimaksud adalah panjang gelombang $H\alpha$ Balmer.

Jadi $n_1 = 2$ dan $n_2 = 3$

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = 1,097 \times 10^{-7} / \text{m} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = 1,097 \times 10^{-7} / \text{m} \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{9} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = 1,097 \times 10^{-7} / \text{m} (0,1389)$$

$$\frac{1}{\lambda} = 0,1524 \times 10^{-7} / \text{m}$$

$$\lambda = 6562 \text{ \AA}$$

2) A. Elektron berpindah dari n_2 ke n_1

Waktu $t = 10^{-8} \text{ s}$

$$r_n = n^2 r_1, \text{ sedangkan } r_1 = 5,28 \times 10^{-11} \text{ m}$$

$$r_2 = 2^2 \times 5,28 \times 10^{-11} \text{ m}$$

$$= 21,12 \times 10^{-11} \text{ m}$$

Untuk mengelilingi satu kali putaran $= 2\pi r_2$

$$= 2 \times 3,14 \times 21,12 \times 10^{-11} \text{ m}$$

$$= 132,63 \times 10^{-11} \text{ m}$$

Kecepatan elektron berputar mengelilingi lingkaran pada $n = 2$

$$v = \frac{e}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 m r}}$$

$$v = \frac{1,6 \times 10^{-19}}{\sqrt{4 \times 3,14 (8,85 \times 10^{-12}) (9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}) (21,12 \times 10^{-11} \text{ m})}}$$

$$= 1,095 \times 10^6 \text{ m/s}$$

$$\text{Periode } T = \frac{2\pi r}{v}$$

$$= \frac{132,63 \times 10^{-11}}{1,095 \times 10^6 \text{ m/s}}$$

Waktu yang diperlukan untuk satu kali putaran $= 121,12 \times 10^{-17} \text{ s}$.

Jadi, jumlah putaran dalam $10^{-8} \text{ s} =$

$$= \frac{10^{-8}}{121,12 \times 10^{-17} \text{ s}}$$

$$= 8,26 \times 10^6 \text{ kali.}$$

- 3) B. $f = c/\lambda$, di mana c laju cahaya.

Agar diperoleh frekuensi terbesar maka λ harus terkecil.

Jadi, yang dimaksud adalah frekuensi dari H^∞ Brackett, di mana $n_A=4$ dan $n_B = \infty$

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

$$\frac{1}{\lambda} = 1,097 \times 10^{-7} / \text{m} \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{\infty} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = 1,097 \times 10^{-7} / \text{m} (0,0625)$$

$$\frac{1}{\lambda} = 0,0686 \times 10^{-7} / \text{m}$$

$$\lambda = 14,57 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$f = c/\lambda = 3,10^8 \text{ m/s} \times 14,577 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$= 0,2058 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

$$= 2,058 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

- 4) C. Panjang gelombang terpendek $n = \infty$

$$\frac{1}{\lambda_{\min}} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{\infty^2} \right)$$

$$= (1,097 \times 10^{-7} / \text{m}) (1/4)$$

$$\frac{1}{\lambda_{\min}} = 0,274 \times 10^{-7} / \text{m}$$

$$\lambda_{\min} = 3649 \text{ \AA}$$

- 5) A. Panjang gelombang foton dari $n=5$ ke $n=2$

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{5^2} \right)$$

$$= (1,097 \times 10^{-7} / \text{m}) (0,21)$$

$$\lambda = 4340 \text{ \AA}$$

- 6) D. $\frac{1}{\lambda} = 1,097 \times 10^7 \left(\frac{1}{n_B^2} - \frac{1}{n_A^2} \right)$

$$= 1,097 \times 10^7 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right)$$

$$\begin{aligned}\lambda &= 6,6 \cdot 10^{-7} \text{ m} \\ &= 6,600 \text{ \AA}\end{aligned}$$

7) C. $\frac{1}{\lambda} = 1,097 \cdot 10^7 \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{\infty} \right)$
 $\lambda = 8,3 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

8) C. $f = \frac{13,6 \text{ e}}{n} \left(\frac{1}{n_B^2} - \frac{1}{n_A^2} \right)$
 $f = \frac{13,6 \cdot 1,610^{-19}}{6,63 \cdot 10^{-34}} \frac{1}{4^2} - \frac{1}{5^2}$
 $= 7,4 \cdot 10^{13} \text{ Hz}$

Tes Formatif 4

- 1) A. Dari model Bohr, tingkatan energi adalah $E_n = (-13,6 \text{ eV})/n^2$

Oleh karena itu,

$$E_2 = (-13,6 \text{ eV})/2^2 = -3,40 \text{ eV}$$

$$E_5 = (-13,6 \text{ eV})/5^2 = -0,544 \text{ eV}$$

Berdasarkan postular Bohr, energi foton yang dipancarkan adalah:

$$E = -0,544 \text{ eV} - (-3,30 \text{ eV}) = 2,86 \text{ eV}$$

Panjang gelombang foton = hc/E

$$= 4340 \text{ \AA}$$

- 2) D. Deret Balmer diberikan $n=2$ dan panjang gelombang terpendek berhubungan dengan $n = \infty$. Dengan demikian $E_n = -E_1/n^2$, dengan E_1 adalah energi ionisasi maka

$$hc/\lambda = E_u - E_i = 0 - (-E_i/4)$$

$$E_i = 13,6 \text{ eV.}$$

- 3) A. Energi foton yang dipancarkan $hf = hc/\lambda = 2,54 \text{ eV}$

Energi eksitasi adalah energi untuk mengeksitasikan atom ke suatu tingkatan energi di atas keadaan dasar. Oleh karena itu, tingkatan energinya adalah

$$E_i = E_1 - E_2 = -13,6 \text{ eV} + 10,19 \text{ eV} = -3,41 \text{ eV}$$

Foton muncul dari transisi di antara keadaan energi yang sedemikian rupa sehingga $E_u - E_l = hv$ karena itu $E_n - (-3,4 \text{ eV}) = 2,54 \text{ eV}$ atau $E_u = -0,87 \text{ eV}$.

Oleh karena itu, energi ikat elektron dalam keadaan itu = $0,87 \text{ eV}$

- 4) B. Panjang gelombang terpendek deret Balmer akan berhubungan dengan $n_u = \infty$. Dengan menggunakan persamaan energi ionisasi maka energi ionisasinya akan diperoleh 13,6 eV.
- 5) A. Energi maksimum yang dapat diserap atom hidrogen sama dengan energi elektron 12,2 eV. Penyerapan energi ini akan mengeksitasi atom ke tingkat energi E_u (anggap mula-mula atom dalam keadaan dasar):

$$E_u = E_1 + 12,2 \text{ eV} = -13,6 \text{ eV} + 12,2 \text{ eV} = -1,4 \text{ eV}$$

Nilai n yang berhubungan dengan keadaan energi ini diperoleh dari

$$E_u = -E_1/n^2$$

$$-1,4 \text{ eV} = 13,6 \text{ eV}/n^2 \text{ atau } n = 3,12$$

Oleh karena n harus bilangan asli maka keadaan tertinggi yang dicapai adalah $n = 3$. Ada tiga macam gelombang yang dapat dipancarkan apabila atom kembali pada keadaan dasarnya, yang berhubungan dengan transisi $n = 3$ ke $n = 2$, $n = 2$ ke $n = 1$ dan $n = 3$ ke $n = 1$. Dengan menggunakan persamaan Rydberg akan diperoleh $\lambda_1 = 6563 \text{ \AA}$, $\lambda_2 = 1215 \text{ \AA}$ dan $\lambda_3 = 1026 \text{ \AA}$.

Daftar Pustaka

- Alonso, Finn. (1979). *Fundamental University Physics II + III*. Addison Wesley.
- Arthur Beiser, The How Liong. (1990). *Konsep Fisika Modern*. Edisi Keempat. Jakarta: Erlangga.
- Bambang Subali W. (1986). *Fisika Atom, Modul UT*. Jakarta: Karunika UT.
- Getrude and Savin. (1981). *Teori Soal Penyelesaian Fisika Modern*. Bandung: GSB.
- Henry Sema. (1970). *Introduction to Atomic and Nuclear Physics*. Third Edition. New York: Rinehard & Company, Inc.
- Richard, Wehr. (1972). *Physics of The Atom*. Second Edition. London: Addison Wesley Publishing Company.
- Fogiel. (1981). *The Physics Problem Solver*. New York: Research and Education Association.