

I.1. Filosofi Aristoteles dan Demokritos sampai Model Atom Thomson

Dua orang filsuf Yunani kuno pada sekitar 300 – 400 tahun sebelum Masehi, masing-masing Aristoteles (384 – 322 SM) dan Democritus (460 – 370 SM) mengemukakan teori tentang materi dan menyatakan hal yang berlawanan satu sama lain. Aristoteles menyatakan bahwa materi adalah sesuatu yang bersifat kontinyu, yaitu dapat dibelah atau dibagi secara terus menerus sampai tidak terhingga. Sedangkan Democritus menyatakan bahwa materi bersifat diskret (tidak kontinyu), yaitu bahwa pembelahan atau pembagian materi akan sampai pada suatu keadaan yang paling kecil, yang tidak dapat lagi dibagi-bagi, dan disebut sebagai **atom** (*atomos* = tidak dapat dibagi-bagi).

Konsep tentang atom ini tidak mengalami perkembangan yang berarti selama belasan abad kemudian. Baru pada sekitar abad ke 18, seorang ilmuwan berkebangsaan Inggris bernama John Dalton (1766 – 1844) mengemukakan teori atom yang selanjutnya menjadi titik tolak perkembangan teori atom.

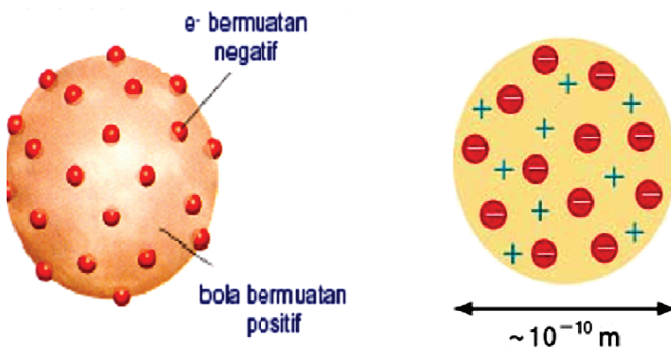
Substansi terpenting dalam teori atom Dalton (1803) adalah :

- a. Atom merupakan bagian terkecil dari materi.
- b. Atom unsur sejenis adalah identik, atom unsur yang berbeda juga berbeda.
- c. Suatu atom yang tertentu tidak dapat diubah menjadi atom yang lainnya.
- d. Gabungan atom-atom membentuk molekul.
- e. Reaksi kimia merupakan pemutusan dan pembentukan ikatan antar atom.

Penemuan materi bermuatan positif sebagai berkas sinar anode atau sinar kanal atau sinar terusan, yang di kemudian hari diidentifikasi sebagai proton (Eugene Goldstein, 1886), penemuan elektron (Thomson, 1897), dan disusul kemudian penemuan neutron (Chadwick, 1926) menunjukkan bahwa sebagian dari teori Dalton ternyata keliru. Atom bukan merupakan bagian terkecil dari materi, karena atom masih terdiri dari inti atom (kemudian diketahui mengandung proton dan neutron) dan elektron. Atom unsur sejenis belum tentu identik karena

ternyata atom unsur sejenis dapat mempunyai massa yang berbeda yang diakibatkan oleh perbedaan jumlah neutron di dalam inti atomnya, suatu atom ternyata dapat diubah menjadi atom lainnya melalui reaksi nuklir (reaksi inti).

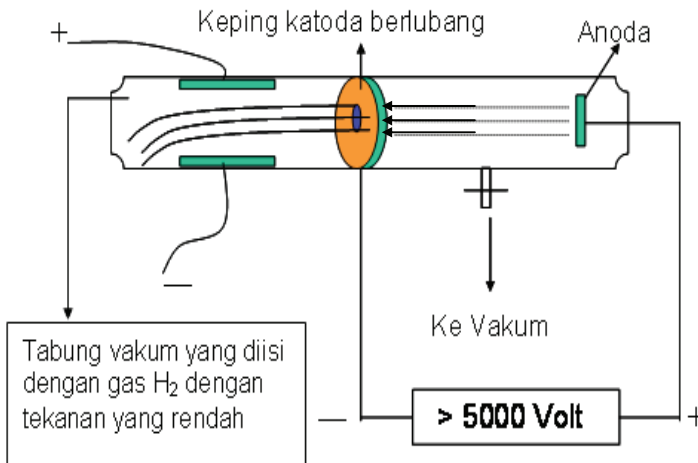
Menyusul penemuan elektron dan sifat muatan negatif elektron, Thomson menyusun teori atomnya yang disebut juga model atom roti kismis (1897). Thomson menyatakan bahwa atom merupakan bola pejal bermuatan positif yang pada tempat-tempat tertentu terdapat elektron yang bermuatan negatif. Secara sederhana model atom Thomson dapat digambarkan seperti pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1. Model atom Thomson.

Sebelum penemuan elektron oleh Thomson, seorang fisikawan berkebangsaan Jerman yang lahir di Polandia yang bernama Eugen Goldstein (1850 - 1930) pada tahun 1886 menemukan bahwa sinar anoda (= sinar kanal = sinar terusan) dibelokkan oleh medan listrik menuju arah kutub negatif (lihat Gambar 1.2). Pada percobaan Goldstein tersebut tegangan tinggi yang diberikan pada keadaan tekanan gas H_2 dalam tabung sangat rendah (sekitar 0,001 atm) menyebabkan terlepasnya elektron dari katoda dan tertarik ke arah anoda, sedangkan molekul gas H_2 terurai menjadi atom-atom hidrogen. Atom-atom hidrogen bertumbukan dengan elektron sehingga terjadi pelepasan elektron dari atom hidrogen dan menghasilkan partikel bermuatan positif yang dinyatakan sebagai H^+ . Partikel bermuatan positif yang dihasilkan tertarik ke arah katoda sebagai berkas sinar anoda (seolah-olah datang dari arah anoda ke katoda), sebagian melewati lubang katoda dan dibelokkan arahnya oleh medan listrik di balik katoda menuju kutub negatif. Partikel positif inilah yang kemudian disebut dengan nama **proton**. Selanjutnya dibuktikan pula bahwa

proton merupakan partikel pembentuk atom yang ada pada semua atom, seperti halnya elektron yang telah dikenal lebih dulu.

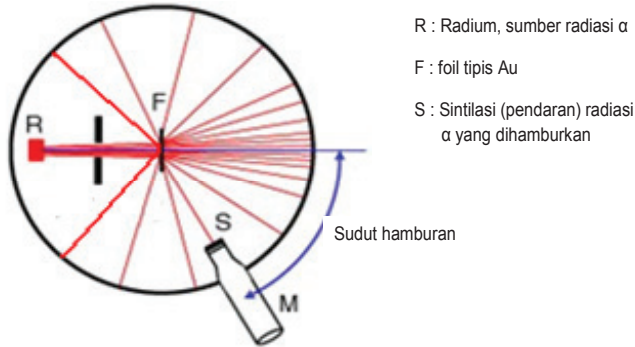


Gambar 1.2. Skema percobaan penemuan partikel proton.

I.2. Model Atom Rutherford dan Model Atom Bohr

Bagaimana posisi proton di dalam suatu atom menjadi semakin jelas ketika pada tahun 1909, dua orang mahasiswa Universitas Manchester (Inggris) bernama Hans Geiger dan Ernest Marsden di bawah bimbingan Ernest Rutherford melakukan percobaan yang kemudian dikenal dengan nama Percobaan Hamburan Partikel α dari Rutherford. Secara skematik percobaan hamburan partikel α tersebut ditunjukkan pada Gambar 1.3.

Suatu keping logam emas (Au) yang sangat tipis di dalam sistem vakum ditembak dengan berkas partikel α yang telah diketahui sebagai suatu partikel bermuatan positif. Hasil percobaan menunjukkan bahwa sebagian besar berkas partikel α ternyata terdeteksi diteruskan menembus foil tipis Au, sebagian lagi dibelokkan arahnya, dan hanya sebagian terkecil yang dipantulkan kembali. Hal ini bertentangan dengan teori atom Thomson. Seharusnya permukaan foil Au yang bermuatan positif akan memberikan gaya tolak terhadap partikel α yang datang dan membalikkan kembali arah berkas partikel α tersebut.



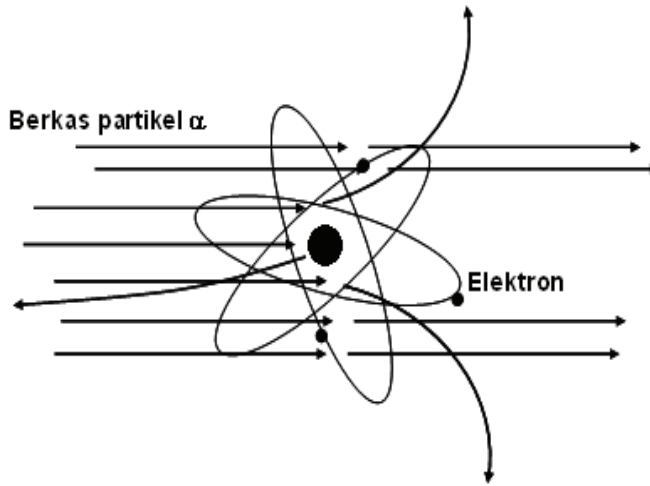
Gambar I.3. Bagan percobaan hamburan partikel α dari Rutherford.

Berdasarkan hasil percobaan Hamburan Partikel α tersebut, pada tahun 1911, Rutherford mengumumkan teorinya tentang inti atom, dan ini merupakan konsep pertama tentang inti atom yang selanjutnya merupakan awal perkembangan teori atom modern meninggalkan teori atom yang diperkenalkan sebelumnya sejak Aristoteles dan Democritos, sampai teori atom Dalton dan teori atom Thomson yang telah disebutkan di atas. Pemahaman pokok teori atom Rutherford adalah :

- Atom terdiri dari inti yang bermuatan positif dan dikelilingi elektron yang bermuatan negatif.
- Jumlah elektron sama dengan jumlah muatan positif dalam inti sehingga atom bersifat netral.
- Massa atom terpusat pada intinya, karena massa elektron sangat kecil dibandingkan dengan massa inti atom.

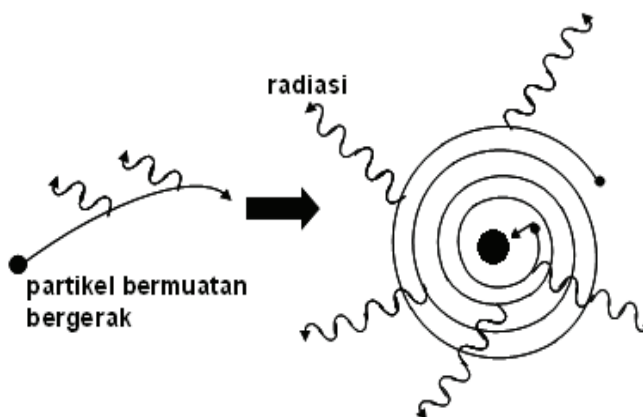
Pada Gambar I.4 diperlihatkan gambaran model atom Rutherford dan sekaligus ditunjukkan bagaimana hasil percobaan Rutherford dapat diterangkan. Atom terdiri dari inti yang bermuatan positif, yang dikelilingi oleh elektron yang bermuatan negatif dengan jumlah elektron sama dengan jumlah muatan positif dalam inti atomnya. Massa atom terpusat pada intinya.

Model ini dapat menjelaskan bahwa ketika berkas partikel α yang bermuatan positif ditembakkan pada foil emas, maka sebagian kecil berkas partikel α mengenai inti dan dipantulkan. Sebagian berkas partikel α lewat di dekat inti dan dibelokkan arahnya oleh medan inti. Sebagian besar berkas partikel α diteruskan karena berada di luar pengaruh medan inti. Kemungkinan yang paling besar, sesuai dengan pengamatan Rutherford, adalah bahwa partikel α diteruskan, sebagian lagi dihamburkan dan fraksi yang terkecil adalah yang dipantulkan kembali.



Gambar 1.4. Penjelasan hasil percobaan hamburan partikel α dengan model atom Rutherford.

Teori atom Rutherford mengandung kelemahan yang mendasar karena tidak sesuai dengan hukum mekanika klasik yang menyatakan bahwa partikel bermuatan yang bergerak akan mengalami perlambatan pada sepanjang lintasan gerakannya karena terjadi pemancaran energi dalam bentuk radiasi. Fenomena perlambatan ini akan secara bertahap mengurangi energi kinetik elektron dalam mengelilingi inti atom sehingga suatu saat energi kinetik akan sama dengan nol dan elektron akan tertarik ke dalam inti, seperti digambarkan pada Gambar 1.5.



Gambar 1.5. Perlambatan elektron berdasarkan teori mekanika klasik.

Hal lain yang menjadi kelemahan teori atom Rutherford adalah bahwa teori Rutherford tidak dapat menjelaskan mengapa spektrum atom merupakan spektrum garis dan bukan spektrum kontinyu. Sesuai dengan teori mekanika klasik di atas, spektrum atom seharusnya merupakan spektrum kontinyu sebab pelepasan radiasi yang menyertai perlambatan gerak elektron berlangsung secara kontinyu.

Niels Bohr, seorang ahli fisika berkebangsaan Denmark (1885 – 1962), memperbaiki teori atom Rutherford dengan memasukkan 2 postulat yang dikenal dengan Postulat Bohr (1913), yaitu :

- a. Elektron mengelilingi inti dalam orbit tertentu pada mana tidak terjadi penyerapan dan/atau pelepasan energi. Pada keadaan tersebut elektron dikatakan berada pada tingkat energi dasar (*ground state*) dan keadaan ini disebut keadaan stasioner (keadaan diam)
- b. Penyerapan energi terjadi bila elektron berpindah ke orbit dengan tingkat energi yang lebih tinggi (elektron tereksitasi) sedang pelepasan energi terjadi bila elektron berpindah ke orbit dengan tingkat energi yang lebih rendah (elektron terdeksitasi). Perpindahan elektron dengan demikian melibatkan perubahan tingkat energi yang besarnya memenuhi persamaan Planck :

$$\Delta E = E_n - E_{n-1} = h \cdot C/\lambda$$

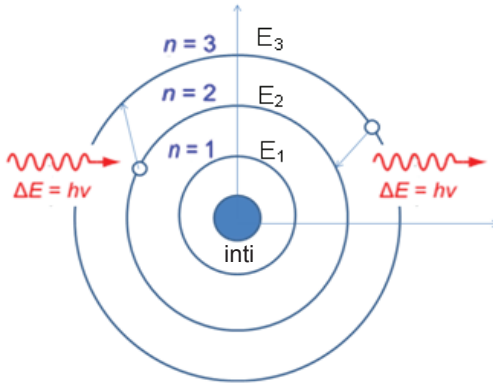
h : Tetapan Planck, $6,626 \times 10^{-34}$ J.det.

C : Kecepatan cahaya, $2,998 \times 10^{10}$ cm/det.

Indek n : tingkat energi dasar ke n .

λ : Panjang gelombang radiasi yang dilepaskan (cm).

Pada Gambar 1.6 ditunjukkan kedudukan elektron dalam orbit dengan tingkat energi yang tertentu, semakin jauh orbit elektron dari inti semakin tinggi tingkat energinya. Berdasarkan postulat Bohr tersebut maka model atom Bohr telah dapat menjelaskan kelemahan teori atom Rutherford. Elektron tidak tertarik ke dalam inti karena elektron berada dalam tingkat energi yang tetap dan dianggap dalam keadaan stasioner, sedangkan spektrum atom merupakan spektrum garis karena eksitasi dan deeksitasi elektron melibatkan perubahan energi yang tertentu.



$$E_3 > E_2 > E_1$$

Eksitasi elektron :
perpindahan elektron dari E_{n-1} ke E_n , terjadi penyerapan energi.

Deeksitasi elektron :
Perpindahan electron dari E_n ke E_{n-1} , terjadi pelepasan energi

Gambar I.6. Model atom Bohr.

Elektron berada di dalam orbitnya yang merupakan kulit atom di luar inti dengan tingkat energi yang tertentu. Semakin jauh jarak kulit atom terhadap inti, semakin tinggi tingkat energinya. Karena ΔE untuk setiap atom telah tertentu, sedangkan h dan c juga telah tertentu (karena merupakan bilangan tetapan), maka λ juga mempunyai harga yang tertentu. Harga λ tersebut bersesuaian dengan warna garis spektrum atom. Selanjutnya dapat dinyatakan bahwa spektrum atom kecuali bersifat diskret (berupa spektrum garis) juga merupakan salah satu karakteristik atom yang bersangkutan walaupun banyak atom yang mempunyai lebih dari satu garis spektrum.

I.3. Model Atom Mekanika Gelombang

Model atom Bohr telah mampu menjelaskan kelemahan utama teori atom Rutherford, namun berbagai hasil penelitian dalam bidang fisika dan kimia ternyata tidak dapat dijelaskan dengan teori atom Bohr, khususnya yang berkaitan dengan sifat-sifat atom yang besar. Pada tahun 1926 dikembangkan model atom baru yang dikenal dengan nama model atom Mekanika Gelombang. Model atom ini menyempurnakan teori atom Bohr dengan menambahkan 3 azas, yaitu :

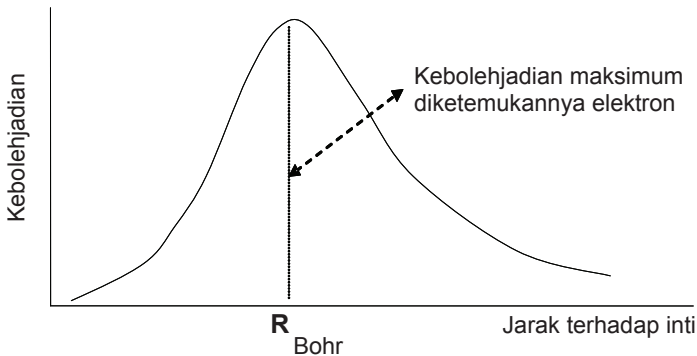
- a. Azas Ketidakpastian Heisenberg yang menyatakan bahwa posisi dan kecepatan elektron tidak dapat ditentukan secara serentak,
- b. Azas De Broglie yang menyatakan bahwa lintasan gerak suatu partikel pada dasarnya berupa suatu gelombang,

- c. Azas Schrodinger yang menyatakan bahwa elektron terdistribusi di luar inti atom di dalam ruang tiga dimensi dengan karakter pergerakan yang dapat dinyatakan secara matematik dalam bentuk fungsi gelombang.

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E - V) \psi = 0$$

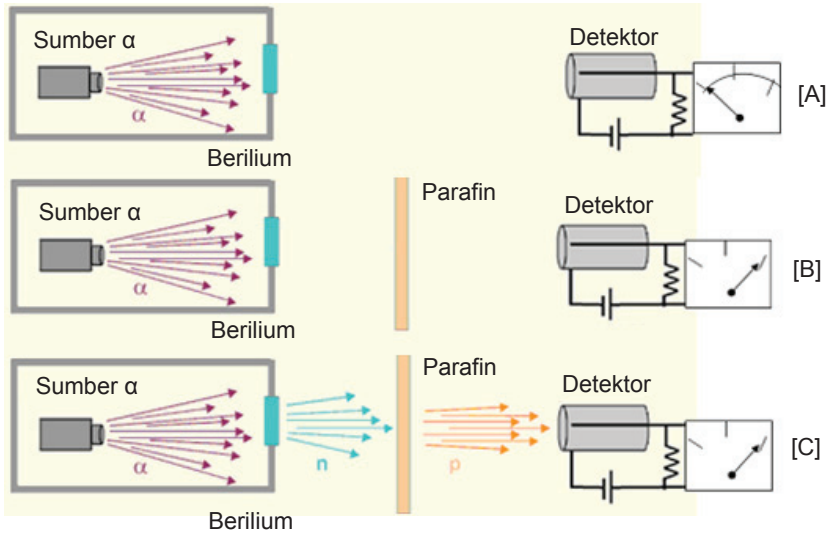
ψ : fungsi gelombang Schrodinger
 h : konstanta Planck
 E : energi
 V : energi potensial
 m : massa
 X : posisi

Dengan azas-azas tersebut dapat dijelaskan bahwa letak elektron terhadap inti merupakan kebolehjadian dengan nilai maksimum pada jarak jari-jari atom Bohr, seperti ditunjukkan pada Gambar I.7.



Gambar I.7. Kebolehjadian letak elektron terhadap inti.

Massa atom yang dinyatakan terpusat pada inti ternyata tidak ekuivalen dengan massa sejumlah proton yang ada di dalam inti atom tersebut. Sebagai contoh sederhana, ternyata massa atom He (2 proton dan 2 elektron). tidak 2 kali massa atom H (1 proton dan 1 elektron) tetapi 4 kali. Bagaimana hal ini dapat dijelaskan? James Chadwick, seorang ilmuwan kelahiran Inggris (1891 – 1974), yang pernah bekerja di bawah bimbingan Ernest Rutherford, pada tahun 1932 menemukan jawaban melalui percobaan yang menghasilkan penemuan dan pendefinisian adanya berkas partikel yang tidak bermuatan di dalam inti atom.



Gambar I.8. Bagan percobaan penemuan partikel neutron oleh Chadwick.

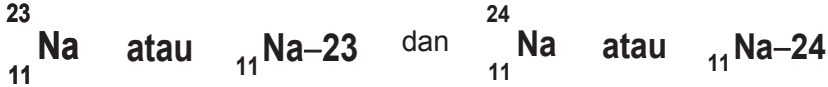
Berkas radiasi α dipancarkan dari sumber ditembakkan pada keping berilium (Be) tidak menghasilkan respon pada sistem detektor menunjukkan bahwa tidak ada partikel bermuatan yang mengenai detektor, karena radiasi α tertahan oleh keping Be (Gambar I.8.A). Ketika dipasang lapisan parafin antara Be dan detektor, ternyata terjadi respon pada unit detektor yang menunjukkan bahwa ada berkas proton terlepas dari parafin dan terukur pada unit detektor (Gambar I.8.B). Chadwick menyimpulkan ada partikel netral yang terlempar dari inti atom Be yang ditembak dengan radiasi α . Kemudian partikel netral tersebut menumbuk parafin dan memelantingkan partikel bermuatan dari parafin yang kemudian direspon oleh detektor sebagai partikel proton (Gambar I.8.C). Partikel netral itulah yang kemudian disebut dengan neutron. Hal ini menjelaskan bahwa komponen pembentuk inti atom adalah proton dan neutron. Selanjutnya dapat diketahui bahwa partikel neutron ini mempunyai massa yang kira-kira sama dengan partikel proton. Secara bersama-sama, proton dan neutron disebut nukleon (partikel pembentuk nuklida/inti atom).

Secara sederhana, suatu inti atom X dituliskan sebagai berikut :



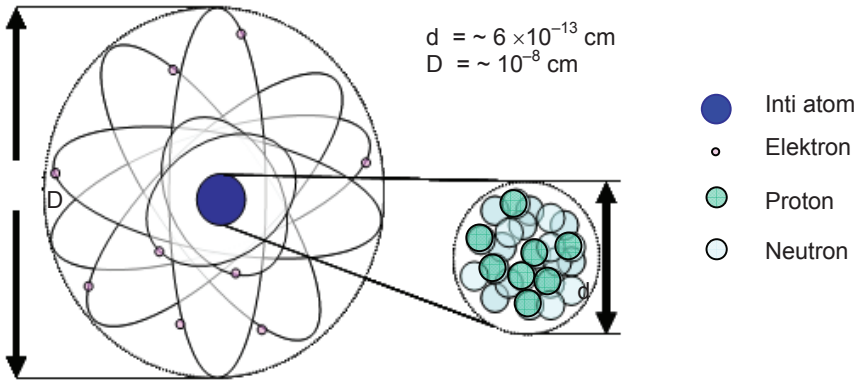
dengan A adalah nomor massa (= jumlah proton dan neutron) dan Z adalah nomor atom (= jumlah proton = jumlah elektron yang mengelilingi inti atom). Dengan demikian jumlah neutron adalah $(A - Z)$. Sebagai contoh suatu inti

atom natrium (Na) yang mempunyai nomor massa 23 dan nomor atom 11 dapat dibedakan dengan inti atom natrium yang mempunyai nomor massa 24 dan nomor atom 11 dengan menuliskan berturut-turut sebagai berikut :



Sering kali untuk lebih menyederhanakan penulisan, nomor atom tidak dituliskan, sehingga kedua isotop Natrium tersebut di atas berturut-turut dapat dituliskan dengan ${}^{23}\text{Na}$ atau Na-23 dan ${}^{24}\text{Na}$ atau Na-24.

Penemuan partikel neutron oleh Chadwick pada tahun 1932 kemudian semakin menyempurnakan pemahaman tentang struktur atom, karena penemuan ini dapat menjelaskan fenomena bahwa massa atom yang dinyatakan terpusat pada inti terbukti tidak ekuivalen dengan masa proton yang ada di dalam inti atom tersebut. Seperti ditunjukkan pada Gambar 1.9, di dalam inti atom, kecuali inti atom hidrogen (H), selain terdapat sejumlah proton yang bermuatan positif ternyata juga terdapat sejumlah neutron yang tidak bermuatan.



Gambar 1.9. Bagan struktur atom pasca penemuan neutron.

Neutron memberikan kontribusi massa yang kira-kira sama dengan massa proton sedangkan massa elektron kira-kira $1/1836$ massa proton. Karena itu massa atom terpusat pada intinya, dan jumlah proton ditambah dengan neutron di dalam inti atom merupakan nomor massa dari inti atom yang bersangkutan. Diameter atom (= D) sekitar 10^{-8} cm , jauh lebih besar

dibandingkan dengan kisaran diameter inti atom ($= d$) yang kira-kira 6×10^{-13} cm. Secara keseluruhan, atom bersifat netral karena jumlah proton di dalam inti atom sama dengan jumlah elektron yang mengelilingi inti atom tersebut. Atom-atom unsur yang sejenis mempunyai jumlah proton yang sama, tetapi jumlah neutronnya dapat berbeda. Atom-atom sejenis yang mempunyai jumlah neutron berbeda ini disebut sebagai isotop. Perbedaan jumlah neutron di dalam inti atom mengakibatkan perbedaan massa isotop-isotop tersebut dan karena itu atom sejenis tidak selalu identik satu sama lain.