

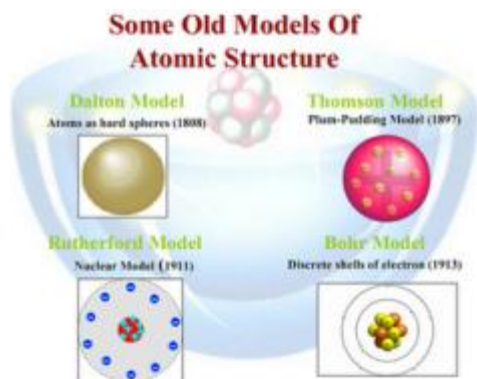
Analisis Sejarah Perkembangan Model Atom Berdasarkan Paradigma Kuhn

Ida Farida

Program Studi Pendidikan Kimia
UIN Sunan Gunung Djati Bandung
2009

Published In:

<https://faridach.wordpress.com/2009/12/11/analisis-sejarah-model-atom-berdasarkan-paradigma-kuhn/>



PENDAHULUAN

Salah satu konsep dalam ilmu kimia yang mengalami perubahan secara dinamis adalah mengenai konsep atom. Hal ini karena teori-teori dan model-model yang dikembangkan mempunyai kegunaan yang luas dalam menerangkan gejala-gejala fisis dan kimia. Selain itu penemuan-penemuan baru partikel materi memungkinkan luasnya penerapan penemuan tsb.

Dewasa ini penerapan hasil-hasil pemikiran dan penemuan di sekitar konsep atom merambah ke segala bidang, selain mempunyai manfaat positif bagi kesejahteraan umat manusia, juga berdampak negatif dan berpotensi untuk membawa kesengsaraan bagi masyarakat seperti penemuan bom atom.

Pembahasan konsep atom dalam tulisan ini, ditujukan untuk menganalisis dan menginterpretasi fakta-fakta sejarah perkembangan teori atom berdasarkan kerangka berpikir sebagaimana yang dikemukakan Kuhn (1993) dalam karyanya *The Structure of Scientific Revolutions*.

Thomas Kuhn (1993) menjelaskan bahwa sains tidak selalu bersifat akumulatif. Hal ini karena terjadi suatu revolusi sains yang mengubah paradigma sains normal. Pada periode sains normal, para ilmuwan bekerja memverifikasi atau menguji teori-teori berdasarkan paradigma yang berlaku. Pada periode ini adanya anomali atau penyimpangan hasil diabaikan. Namun akumulasi *anomali-anomali* dapat memungkinkan terjadinya krisis paradigma, sehingga sains normal tidak dapat berlanjut. Pada saat itulah terjadi *revolusi sains* dan muncul paradigma baru. Paradigma baru yang timbul setelah anomali itu, akan tetap bertahan, jika hasil verifikasi atau fakta-fakta dapat mendukungnya. Semakin banyak verifikasi yang mendukung paradigma, semakin kuat pula kedudukannya, sehingga pada suatu waktu dapat menjadi sains yang normal. Selanjutnya bila terjadi akumulasi anomali, maka terjadi lagi krisis paradigma yang mengakibatkan revolusi sains.

Berdasarkan kerangka berpikir Kuhn mengenai Revolusi Sains, maka dalam tulisan ini disajikan analisis sejarah perkembangan pemikiran konsep atom. Adapun rumusan masalahnya adalah :

- Pada periode mana konsep atom merupakan suatu mitos kemudian menjadi sains normal ?
- Penemuan-penemuan apa sajakah yang dianggap sebagai anomali dan menyebabkan terjadinya revolusi?
- Kapankah terjadi revolusi pemikiran konsep atom?

KAJIAN SEJARAH PERKEMBANGAN MODEL ATOM

A. PEMIKIRAN KONSEP ATOM ZAMAN YUNANI DAN PERKEMBANGANNYA

Dalam memikirkan alam semesta, Sebagian besar para ahli filsafat Yunani meninjaunya dalam skala makro, yaitu berdasarkan apa yang mereka lihat secara kasat mata saja. Namun ada pula beberapa ahli filsafat yang memikirkan lebih jauh makna terdalam dari jagat raya ini dalam konsep berskala mikro, artinya berpikir secara abstrak hal-hal yang tidak dapat mereka lihat namun mereka yakini keberadaannya, mereka disebut para *atomist*.

Atomist pertama adalah **Leucippus** dari Miletus-Yunani (440 SM) dan **Democritus** dari Abdera (420 SM). Mereka menyumbangkan pemikirannya secara terpisah, namun saling bersesuaian (Mason, 1962). Pada hakekatnya gagasan **Leucippus** dan **Democritus** mengenai materi bersifat *diskontinu*. Materi tersusun dari *partikel-partikel kecil yang tidak dapat dibagi-bagi lagi yang diketahui sebagai atom. Atom-atom penyusun materi itu senantiasa bergerak di dalam kehampaan* (ruang vakum= ruangan yang mengandung ketiadaan absolut). Istilah *atomos* (a=tidak, tomos=dapat dibagi) diberikan untuk partikel materi itu, karena atom-atom sangat halus dan tidak dapat dibagi-bagi lagi. (Bruton, 1966). **Lucretius**, salah satu penyair terbaik dari Roma pada abad itu, mempercayai konsep atom tersebut. Ia meninggalkan sebuah deskripsi mengenai hal itu dalam puisi yang panjang, yaitu *De Rerum Natura* ('*On the nature thing*'). Ia meyakini bahwa suatu kesatuan tubuh yang tampaknya tidak terpecah-pecah sebenarnya dihasilkan dari kumpulan atom yang berukuran sangat kecil. (Bruton, 1966)

Para ahli filsafat alam pada zaman ini seperti **Aristoteles** (384-322 SM) dari Staigera Yunani, **Plato** dan **Galen** (130-200 SM) menolak konsep atom tersebut. Umumnya mereka memandang materi merupakan *satu kesatuan yang utuh (kontinu) dapat dibagi terus-menerus menjadi bagian sekecil-kecilnya tanpa batas dan dalam alam semesta tidak ada kehampaan (ruang hampa)*. Alam semesta terdiri dari 4 elemen, yaitu *tanah, api, udara dan air* karena masing-masing cenderung ditemukan di alam. Pandangan itu diperkuat oleh **Thales** dari Miletus (sekitar 580 tahun SM), **Anaximenes** (550-475 SM) dan **Anaximander** (tahun 610-545 SM) menyatakan dunia terdiri atas *tanah, air, udara dan api*. (Poedjiadi, 1987)

Pandangan para ahli filsafat alam itu, terutama Aristoteles lebih diyakini di masyarakat, karena popularitas dan kredibilitasnya. Hal ini berlangsung, terutama sampai abad pertengahan (27 SM-476 M) atau abad kegelapan (di Eropa). Sedangkan konsep atom **Leucippus** dan Democritus tidak dihiraukan orang. Aristoteles dianggap sebagai ahli filsafat Yunani yang terbaik saat itu. Gagasannya sangat luas dalam berbagai bidang dan dituliskannya dalam bentuk buku yang berkaitan dengan perkembangan pengetahuan seperti *astronomi, biologi, metafisika, hukum, politik, logika, etika dan estetika*. Buku-bukunya dijadikan bahan acuan dalam waktu yang lama (bahkan konsep logika masih dianut hingga sekarang).

Pada Abad kegelapan di Eropa, umumnya perkembangan sains dan teknologi mengalami hambatan. Hal ini, karena saat itu pemikiran para ilmuwan, terkungkung oleh ajaran agama Katolik ortodoks, yang mengikat kebebasan berpikir tentang keduniawian, terutama ilmu pengetahuan. Pemikiran yang nampaknya bertentangan dengan “ajaran” agama, dianggap sebagai kesalahan dan dosa yang harus ditebus dengan hukuman fisik bahkan dengan nyawa. Paradigma **Aristotelian** masih diakui, karena dianggap tidak bertentangan dengan “ajaran” agama. Selain konsep atom yang mendapat pembenaran dari ajaran agama, gagasan lainnya adalah mengenai konsep *geosentris* dan penolakan terhadap konsep ruang vakum.

Berlainan dengan keadaan di Eropa, perkembangan ilmu pengetahuan di Arab (Timur Tengah) tumbuh dengan pesat. Salah satu ilmuwan muslim yang menyinggung masalah atom adalah **Abul Hasan Al Asy'ari** (873-935 M). Namun ia mengkaitkannya dengan masalah kejadian alam semesta. Ia berpendapat bahwa *alam semesta ini maujud karena adanya atom-atom yang menyusunnya*. Atom-atom itu sudah mempunyai sifat sendiri (*eigen natuur*) dan tidak padat berkembang (*zich uitdijen*), serta tidak bisa saling mempengaruhi. Jadi menurutnya, atom-atom yang menyusun alam semesta tidak dapat berubah. Atom-atom dipisahkan satu sama lain oleh ruang antara dan satu sama lain tidak dapat saling mempengaruhi. Perubahan yang terjadi di alam semesta, terjadi karena atom-atom senantiasa “keluar-masuk” dari eksistensi (*alam 'ada'*). Berdasarkan keyakinannya terhadap Allah SWT, ia meyakini bahwa “masuk” artinya diciptakan Tuhan dan “keluar” berarti ditiadakan Tuhan. Jadi menurutnya, *atom-atom itu selalu harus diciptakan Tuhan setiap saat untuk menggantikan atom-atom yang sudah ditiadakannya* (Musthafa, 1980).

Pandangan tersebut hampir bersesuaian dengan Leucippus maupun Democritus karena mengakui adanya sifat diskontinu dari materi. Namun tampak Abul Hasan Al-Asy'ari ini menolak anggapan bahwa perubahan alam semesta disebabkan oleh hukum alam yang pasti serta tunduk pada hukum "sebab-akibat" yang melekat pada perilaku atom-atom itu sendiri.

Sejauh ini sumbangan pemikiran mengenai konsep atom dari ilmuwan dunia Arab atau muslim tidak banyak ditemukan, karena keterbatasan pencarian literatur yang relevan. Mungkin saja terdapat pemikiran yang lebih maju mengenai konsep atom dan hal-hal yang berkaitan dengan itu. Mengingat pada ahir abad pertengahan literatur dari dunia Arab banyak yang dimusnahkan, akibat serangan pasukan Hulagu Khan dari Mongol pada tahun 1258 yang menghancurkan-leburkan Bagdad yang menjadi pusat kebudayaan Islam.

Namun demikian, tinjauan konsep atom menurut Islam (dalam hal ini Al-Qur'an) ternyata memperkuat keberadaan gagasan konsep Atom Leucippus dan Democritus – seperti pula membenaran terhadap konsep heliosentris yang dikemukakan oleh beberapa ilmuwan utama abad ke-17, seperti Galileo, Newton dan ilmuwan abad sebelumnya-. Konsep atom semakin kuat kedudukannya pada permulaan abad-19 setelah pemikiran ini didukung hasil temuan melalui pengamatan dan eksperimen yang dilakukan para ilmuwan. Terutama setelah John Dalton merekonseptualisasikan kembali gagasan atom tersebut berdasarkan fakta-fakta empiris yang ditemukan para ilmuwan.

B. REKONSEPTUALISASI ATOM OLEH JOHN DALTON

Berdasarkan gagasan atom Leucippus dan Democritus dan fakta-fakta empiris yang ditemukan oleh ilmuwan berikutnya Dalton merekonseptualisasikan kembali menjadi suatu teori yang dikenal sebagai **teori atom Dalton**. Pada periode abad 17 sampai permulaan abad ke-19, telah diletakkan suatu pandangan baru untuk menjelaskan sifat-sifat fisika dari keadaan zat padat, gas dan cair serta mengidentifikasi fakta-fakta penggabungan kimiawi secara kuantitatif.

Sebelum permulaan abad ke-19, tidak semua ilmuwan meyakini gagasan atom, karena belum diperoleh kejelasan mengenai fakta-fakta yang dapat mendukungnya. Dengan demikian gagasan konsep atom yang dikemukakan Dalton (1766-1844), dipandang sebagai kelanjutan pandangan filosof atomik, meskipun terdapat sedikit perbedaan dalam landasan berpikirnya. Beberapa gagasan yang dituangkan Dalton dilandasi oleh fakta-fakta empiris berlandaskan eksperimen yang dilakukan oleh ilmuwan lain, sedangkan pandangan filosof tentang atom seluruhnya berupa refleksi kritis terhadap fenomena alam (Dampier, 1983 ; Mason, 1962)

Pokok-pokok pikiran yang dipaparkan Dalton dalam tulisannya *New System of Chemical Philosophy* yang dipublikasikannya pada tahun 1808. itu adalah sebagai berikut :

- 1) semua zat terdiri dari sejumlah partikel yang sangat kecil atau atom-atom materi yang terikat bersama-sama melalui suatu gaya atraksi yang kekuatannya sesuai dengan keadaannya.

2) Atom-atom setiap zat murni adalah identik, artinya mempunyai bentuk dan ukuran yang sama. Namun, atom suatu zat murni berbeda sifat dan ukurannya dengan atom zat lain..

3) Analisis dan sintesis zat kimia atau suatu reaksi kimia merupakan suatu proses yang berlangsung tidak lebih daripada penyusunan ulang atom-atom dari suatu senyawa yang akan menghasilkan senyawa baru dengan sifat-sifat yang berlainan dengan asalnya.. Namun tidak ada penciptaan/kreasi partikel-partikel atau atom-atom yang jenisnya baru ataupun proses pemusnahan yang terkait di dalamnya. (dikenal dengan Hukum Kekekalan Materi). Oleh karena jumlah total atom tidak berubah, maka tidak akan terjadi perubahan massa (pembenaran terhadap Hukum Kekekalan Massa – Lavoisier).

4) Dalam reaksi kimia ada suatu keteraturan dalam segi kuantitatif, yaitu bila 2 unsur A dan B membentuk 2 senyawa atau lebih, dan salah satu unsur yang dikandung tiap senyawa beratnya sama, maka berat unsur kedua pada tiap senyawa akan berbanding dengan bilangan bulat dan sederhana (*Hukum Perbandingan Berganda Dalton*). Aturan-aturan ini selanjutnya diadopsi sebagai penuntun dalam semua penyelidikan kimia sintesis.

Selain hal-hal yang telah dijelaskan di atas, Dalton juga mencoba menggambarkan simbol dasar atom-atom dengan titik, silang dan bintang di dalam lingkaran kecil. Metode ini kemudian diperbaiki oleh John Jakob Berzelius (1779-1848) yang memperkenalkan sistem yang sampai sekarang kita gunakan.

Kuhn (1993) memandang bahwa situasi dalam tahun-tahun terakhir yang membawa Dalton melakukan penyelidikan yang akhirnya membawanya kepada teori atom kimiawinya yang terkenal adalah situasi ketika terjadinya pertentangan pendapat antara Berthollet dan Proust. Dinyatakannya bahwa Dalton bukan ahli kimia dan tidak berminat terhadap kimia. Sebenarnya Dalton adalah seorang meteorolog yang sedang menyelidiki masalah fisika yaitu bagaimana penyerapan gas-gas oleh air dan penyerapan air oleh atmosfer. Dia mendekati masalah ini dengan paradigma yang berbeda dari paradigma ahli kimia kontemporer. Terutama dalam memandang bahwa terjadinya pencampuran gas-gas sebagai masalah fisika saja, karenanya gaya tarik-menarik tidak memainkan peran. Justru yang menjadi masalah baginya adalah adanya fakta mengenai homogenitas campuran udara. Ia mengira dapat memecahkan masalah ini dengan menetapkan ukuran dan berat relatif dari berbagai partikel atom dalam campuran-campuran eksperimentalnya. Karena itulah kemudian ia beralih pada kimia dan terdorong melakukan analisis terhadap data-data kimiawi yang dilakukan ahli kimia eksperimental. Ia kemudian mengasumsikan bahwa dalam serangkaian reaksi yang terbatas (yang dianggapnya kimiawi), atom-atom hanya dapat bergabung dengan bilangan bulat sederhana. Dengan asumsi itu, ia kemudian menetapkan ukuran dan berat beberapa unsur dan menyatakannya dalam suatu aturan (*Hukum Perbandingan Berganda*). Jadi menurutnya, setiap reaksi yang unsur-unsurnya tidak termasuk proposi yang tetap, maka bukanlah proses kimia yang murni serta terdapat perbedaan yang nyata antara pencampuran secara kimiawi (reaksi kimia) dengan pencampuran fisikalis. Hukum seperti ini tidak dapat diciptakan oleh hasil eksperimen sebelum karya Dalton ini. Karya ini dapat diterima menjadi prinsip esensial saat itu setelah tidak dapat diganggu gugat oleh perangkat kimiawi manapun.

Tentu saja ketika pertama kali kesimpulan-kesimpulan Dalton itu diumumkan mendapat serangan di mana-mana, terutama bagi Berthollet. Namun kebanyakan ahli kimia lebih meyakini paradigma Dalton, ketimbang Proust ataupun Berthollet, karena cakupannya jauh lebih luas. Bukan saja memberikan kriteria baru untuk membedakan campuran dengan senyawa, namun dengan penelitian ulang data-data kimiawi, yang ternyata dapat menyingkap contoh-contoh perbandingan penggabungan atom-atom secara kimiawi dalam perbandingan berganda secara tetap dan berupa bilangan bulat sederhana.

Menurut Proust atom-atom hanya bisa bergabung secara kimiawi dalam perbandingan bulat yang sederhana. Penelitian ulang terhadap data-data kimiawi yang telah ada oleh Dalton serta ilmuwan lain yang bekerja atas dasar paradigma ini, ternyata dapat menyingkapkan contoh-contoh perbandingan yang berganda maupun tetap. Manfaat dari penemuan itu, para ahli kimia tidak lagi menulis bahwa karbondioksida, katakanlah misalnya mengandung 56 % karbon dan 72 % oksigen menurut beratnya masing-masing; tetapi mereka menuliskan bahwa satu berat karbon akan bergabung dengan 1,3 atau dengan 2,6 berat oksigen. Jika dikerjakan berulang kali akan menghasilkan nisbah mendekati 1 : 2.

Selain itu, paradigma Dalton dijadikan kerangka pemikiran untuk eksperimen-eksperimen baru, terutama eksperimen Gay-Lussac dalam penggabungan volume. Hasil eksperimen itu ternyata menghasilkan suatu keteraturan-keteraturan yang lain lagi yang oleh para ahli kimia tidak terbayangkan sebelumnya. Misalnya dalam memecahkan permasalahan berat atom dan memberikan informasi mengenai apa yang disebut atom, molekul, senyawa, campuran dan larutan.

Yang perlu digarisbawahi dari gagasan-gagasan Dalton adalah bahwa apa yang dapat diperoleh para ahli kimia dari gagasan Dalton, bukanlah hukum-hukum eksperimental yang baru, melainkan sistem baru dalam mempraktekan kimia. Oleh karena itu Dalton menyebutnya sebagai '*sistem baru dari filsafat kimia*' (*New System of Chemical Philosophy*). (Kuhn : 1993).

Anomali konsep atom Dalton mulai tampak ketika dilakukan studi yang lebih intensif mengenai fenomena penggabungan gas-gas. Gay Lussac (1778-1850) menemukan pada tahun 1808 bahwa jika dua gas bereaksi membentuk suatu senyawa, maka perbandingan volume gas yang satu dan lainnya akan menghasilkan angka perbandingan yang sederhana dan demikian pula halnya apabila hasil reaksinya juga berupa gas. Sebagai contoh, satu volume gas nitrogen dan satu volume oksigen akan menghasilkan dua volume gas nitrogen oksida; dua volume gas hidrogen dan satu volume gas oksigen menghasilkan dua volume uap air. Namun Dalton menganggap dalam penggabungan gas-gas, tidak terjadi reaksi kimia, hal ini hanyalah masalah fisika saja, sehingga hukum perbandingan berganda tidak berlaku untuk keadaan gas.

Pokok-pokok pemikiran Dalton yang dianggap mengandung kekeliruan pada saat itu antara lain ; 1) Dalton memandang panas sebagai '*subtle fluid*'. ; 2) Kombinasi berat oksigen dengan hidrogennya tidak akurat. Seharusnya 1 : 8, bukan 1 : 7 ; 3) Asumsi Dalton, jika hanya satu senyawa dari dua unsur yang diketahui, maka harus merupakan penggabungan atom dengan atom. Hal ini bukan kebenaran universal. ; 4) Dalton tidak membedakan satuan unsur dengan

satuan senyawa ; satuan senyawa juga disebutnya atom ; 5) Gagasan Dalton untuk menetapkan perbandingan air dengan amonia mengandung kekeliruan.(Dampier, 1983).

Kekeliruan pada teori Dalton ini kemudian ditunjukkan oleh Avogadro (1776-1856) pada tahun 1811. Avogadro melanjutkan observasi Gay-Lussac dan menyatakan bahwa semua gas yang volumenya sama harus mengandung angka perbandingan atom yang sederhana dengan yang lainnya. Pada volume yang sama, gas-gas yang berbeda jenisnya akan mengandung jumlah partikel yang sama apabila diukur pada suhu dan tekanan yang sama. Avogadro mengoreksi pendapat Dalton dengan membedakan pengertian antara atom dengan molekul. Atom didefinisikan sebagai partikel terkecil unsur ; yang dapat mengambil bagian dalam reaksi kimia. Sedangkan pengertian molekul digunakan untuk menyatakan satuan terkecil suatu zat murni atau senyawa. Ia juga meletakkan gagasan bahwa partikel-partikel yang membentuk gas adalah apa yang kita sebut sekarang dengan molekul, dimana pada pembentukannya dua molekul bergabung bersama-sama..

Andrea Marie Ampere (1775-1836) juga mengemukakan hipotesis yang serupa secara terpisah pada tahun 1814. Cannizzaro pada tahun 1858 menggunakan . metoda sederhana untuk mengekspresikan hipotesis Avogadro yaitu dengan menyarankan gas-gas yang volumenya sama mengandung jumlah partikel yang sama pula. Hasil ini diperoleh secara deduktif-matematis dari teori fisika yang menyarankan bahwa adanya pengaruh tekanan terhadap gas mengakibatkan terjadinya keadaan pergerakan dan tumbukan yang terus-menerus. Cannizzaro menggunakan hipotesis Avogadro untuk menghitung berat atom dari sejumlah unsur. Ia menentukan berat volume dari sejumlah gas dan membandingkannya dengan berat hidrogen yang volumenya sama. Kemudian melalui analisis eksperimental ia menemukan berat unsur tertentu dalam setiap senyawa. Pendekatan yang digunakannya untuk menetapkan berat molekul adalah massa jenis gas-gas. (Bruton, 1966; Dampier ; 1984; Mason,1962).

C. PENEMUAN-PENEMUAN PENYEBAB REVOLUSI PEMIKIRAN ATOM

Penemuan gejala kelistrikan mengubah pandangan bahwa atom merupakan partikel bagian terkecil dari materi, karena telah dapat dibuktikan adanya partikel sub atom seperti proton, elektron dan netron. Beberapa studi yang intensif yang dilakukan membawa ke dalam suatu babak baru penyelidikan mengenai atom yang membawa pemahaman yang sangat berbeda dengan pandangan filosofi Dalton Berikut ini beberapa penemuan yang menyebabkan terjadinya revolusi pemikiran atom :

1.Elektrolisis

Dari penyelidikan Michael Faraday (1791-1867) pada tahun 1832 mengenai elektrolisa ditemukan bahwa arus listrik dapat menyebabkan pemisahan zat-zat kimia. Dibuktikannya pula bahwa jumlah zat yang diuraikan pada elektrolisis sebanding dengan besarnya kuat arus dan lamanya waktu elektrolisis berlangsung. Penemuan Faraday ini merupakan kelanjutan dari ilmuwan sebelumnya yang telah menemukan dasar-dasar arus listrik, diantaranya adalah : Luigi Galvani (1737-1798), Alessandro Volta (1745-1827), Grotihuss (1805), Anthony Carlisle (1768-

1840), William Nicholson (1753-1815), Sir Humphry Davy (1778-1829) , Helmholtz (1881) dan Johnstone Stoney (1891). Namun demikian, sebegitu jauh dari penemuan-penemuan tersebut belum ada ilmuwan yang menghubungkan gejala kelistrikan ini dengan struktur atom. (Mason,1962 ; Dampier, 1983).

2. SIFAT KELISTRIKAN ATOM DAN PENEMUAN PARTIKEL SUB-ATOM

Pada tekanan biasa, gas tidak menghantarkan listrik, kecuali dengan voltage listrik yang sangat tinggi. Akan tetapi percobaan yang dilakukan sekitar tahun 1859 antara lain oleh J. Plucker, mengungkapkan bahwa gas dapat menghantarkan listrik pada voltage yang relatif rendah asalkan tekanannya cukup kecil. Untuk percobaan itu digunakan sebuah tabung kaca yang berisi udara dengan tekanan yang amat rendah kira-kira $1/1000$ tekanan atmosfer. Pada bagian tabung terpasang dua elektroda yang masing-masing dihubungkan dengan sumber arus searah . Apabila tabung itu dihubungkan dengan sumber arus bertegangan tinggi (1000 volt) ternyata menghasilkan suatu cahaya yang dapat terlihat jelas disepanjang tabung itu. Kemudian apabila tekanan gas terus-menerus dikurangi hingga kira-kira $1/100.000$ tekanan atmosfer, semua cahaya itu menghilang, gasnya menjadi gelap, namun muncul samar-samar sinar kehijau-hijauan yang tampak berpendar (fluoresens). Tampaknya pada bagian katodalah yang memberikan sinar itu, sehingga Goldstein pada tahun 1876 memberi nama sinar tersebut *sinar katoda*.

Para ilmuwan banyak yang tertarik dengan gejala tersebut dan dari penyelidikan intensif yang mereka lakukan masing-masing mengenai sinar ini diperoleh kesimpulan , bahwa ada tiga jenis sinar yang dapat diamati dari percobaan dengan tabung itu, yaitu sinar yang bergerak lurus dari katoda menuju anoda; sinar yang berjalan ke arah yang berlawanan dari sinar katoda dan sinar yang terbentuk dan tak sengaja ditemukan ketika sinar katode dihalangi suatu logam.

Adanya sinar yang bergerak berlawanan dengan sinar katoda ditemukan oleh Goldstein pada tahun 1886. Sinar ini diidentifikasi bermuatan *listrik positif*. Goldstein menemukan sinar positif ini dengan cara melubangi katoda tabung dan mengisinya dengan gas hidrogen yang bertekanan rendah. Dari bermacam-macam gas yang dipergunakan, ternyata sinar positif yang paling ringan berasal dari gas hidrogen. Setelah dilakukan penyelidikan oleh Rutherford (1914) barulah diketahui bahwa partikel sinar positif adalah bagian dari atom (terdapat di dalam atom) atau partikel sub-atom yang kemudian diberi nama **proton**.

Sifat-sifat sinar katoda pertama kali dipelajari secara intensif, terutama oleh J.J. Thomson (1856-1940) dan timnya pada laboratorium Cavendish di Cambridge-Britain pada tahun 1897 yang menyelidiki sifat-sifat alami sinar katoda. Penyelidikan sifat-sifat sinar katoda yang dilakukan Thomson adalah dengan mendekati medan listrik ke tabung kaca bermuatan. Ternyata sinar yang mulanya bergerak lurus menjadi berbelok mendekati medan listrik yang bermuatan positif. Kenyataan ini membuatnya berkesimpulan bahwa sinar katoda itu bermuatan listrik negatif. Ia juga menyimpulkan bahwa sinar katoda itu suatu materi setelah mengamati sinar katoda dapat memutar baling-baling yang ditaruh di dalam tabung.

Penyelidikan serupa juga dilakukan oleh W. Crookes (1879), namun ia menggunakan medan magnet pada percobaannya. Untuk mendapat penjelasan yang lebih baik J.J. Thomson selanjutnya menyelidiki pengaruh sinar-X terhadap konduktivitas gas dan menemukan bahwa inilah yang menyebabkan suatu gas pada tekanan atmosfer yang luar biasa menjadi suatu penghantar listrik. Ia juga menemukan bahwa daya hantar listrik dapat dihalangi dengan melewati gas melalui serat kaca, karenanya ia menyarankan daya hantar listrik merupakan sifat suatu partikel, jadi ini menunjukkan partikel-partikel yang sebenarnya mempunyai muatan. Telah diketahui sebelumnya melalui percobaan elektrolisis bahwa partikel dapat bermuatan positif dan negatif yang arah alirannya saling berlawanan. Partikel-partikel bermuatan itu disebut ion. Ion-ion ini dihasilkan dari penguraian molekul-molekul larutan yang prosesnya dinamakan ionisasi. Proses yang sama tampaknya terjadi juga pada gas.

Thomson dan Rutherford menemukan bahwa bahwa arus yang melalui gas, diberi perlakuan dengan sinar-X di antara dua lempeng logam tidak dapat bertambah melebihi suatu titik tertentu. Mereka berpikir lempeng-lempeng logamlah yang kemudian mengumpulkan ion-ion secepat yang dihasilkan melalui sinar-X. Thomas yakin sinar katoda di dalam tabung muatan itu adalah ion-ion negatif dari gas-gas. Hasil eksperimen menunjukkan ion-ion tersebut lebih ringan daripada atom dan bergerak dengan kecepatan sangat tinggi serta 1000 kali lebih ringan daripada atom hidrogen. Mengenai besar muatan elektron ini dikonfirmasi oleh R.A. Millikan di Amerika antara tahun 1913-1914 melalui pengamatan gerakan muatan tetesan minyak dibawah pengaruh medan listrik dan gravitasi yang berlawanan. Diperolehnya hasil bahwa hidrogen 1836 kali lebih berat dibanding dengan sebuah elektron di mana massa elektron adalah $9,11 \times 10^{-28}$ gram.

Penemuan Thomson berikutnya dikuatkan oleh hasil eksperimen Hertz dan Lenard yang menunjukkan bahwa partikel sinar katoda dapat menembus lempengan aluminium atau emas, sedangkan atom tak dapat melakukannya. Oleh karena itu mereka berkesimpulan partikel-partikel harus lebih kecil daripada atom-atom. Pada 30 April 1897, Thomson menyiarkan penemuannya bahwa terdapat partikel-partikel yang lebih ringan daripada atom dan disebutnya sebagai korpuskular (sekarang disebut elektron). Dalam eksperimen-eksperimen selanjutnya ia menemukan lebih banyak pengetahuan tentang elektron dan memutuskan bahwa elektron senantiasa ada di dalam atom-atom.

Berdasarkan rangkaian penemuannya itu Thomson mengkaji struktur atom dan menyimpulkan pada tahun 1904 bahwa *atom merupakan sebuah bola yang kompak yang bermuatan listrik positif dan elektron tersebar di antara muatan positif tersebut dalam jumlah yang sama, seluruh massa atom ditentukan oleh jumlah massa elektron*. Konsep atom Thomson ini dinamakan juga Model Atom Roti Kismis. Namun Model atom yang disarankan Thomson ini digugurkan oleh kajian tentang keradioaktifan pada tahun-tahun berikutnya (Keenan, 1980)

Demikianlah, pada masa itu (sampai tahun 1913) para ilmuwan mempercayai bahwa atom mengandung dua partikel dasar yaitu elektron dengan muatan listrik positif dan proton yang bermuatan listrik positif dan massanya 1836 kali lebih besar dari pada elektron. Sedangkan partikel inti atom lainnya, yaitu neutron baru ditemukan tahun 1932 oleh J.Chadwick. (Bruton ; 1966) berdasarkan percobaan penembakan unsur berilium dengan partikel alfa. Dari percobaan

itu dihasilkan suatu radiasi yang ternyata terdiri dari partikel netral. Partikel ini mempunyai massa yang sedikit lebih besar dari massa proton (1839 kali massa elektron) dan disebutnya sebagai neutron.

3. GEJALA KERADIOAKTIFAN

Gejala keradioaktifan pertama kali ditemukan pada bulan Februari 1896 oleh Henri Becquerel. Ia mencatat bahwa sinar-X yang tampak berasal dari suatu potongan kecil fosforesensi pada tabung kaca di mana sinar katoda menabraknya. Becquerel memutuskan untuk menyelidiki semua zat fosforesens dan ternyata dihasilkan sinar yang serupa.. Dalam sejumlah eksperimennya ditemukan bahwa garam uranium juga menghasilkan sinar-sinar. Marie Curie (1867-1934) menamai gejala ini sebagai radioaktifitas. Berdasarkan penyelidikannya ketika mengisolasi radium pada tahun 1900, ia sampai pada kesimpulan bahwa radioaktifitas merupakan sifat dari suatu atom. Unsur-unsur radioaktif yang ditemukan mengeluarkan tiga jenis sinar yang serupa dengan yang dihasilkan dalam tabung bermuatan ; pertama sinar alfa yang bermuatan positif, yang serupa dengan helium ; kedua, sinar beta yang mengandung elektron seperti sinar katode, dan ketiga sinar gamma yang tidak bermuatan seperti sinar-X, namun panjang gelombangnya lebih pendek. .

4. EKSPERIMEN RUTHERFORD

Pada tahun 1911, Rutherford melakukan eksperimen penembakan sinar alfa terhadap sebuah sasaran sebuah lempeng emas yang amat tipis. Ditunjukkannya ada sebagian kecil sinar alfa dipantulkan dan dibelokkan serta sebagian besar diteruskan. Setelah mengkaji lagi fenomena refleksi dari Geiger dan Marsden (pada tahun yang sama), Rutherford mencoba menerangkan fakta-fakta itu, yakni apabila sebagian besar sinar diteruskan, artinya sebagian besar atom-atom terdiri dari ruang kosong. Ada sebagian sinar yang dipantulkan , ini berarti di dalam atom terdapat bagian yang rapat dan padat. Sedangkan sinar dibelokkan, artinya sinar a melewati bagian dari lempeng logam yang bermuatan positif dan dibelokkan arahnya, karena tertolak muatan yang sama.

Dari eksperimen itu akhirnya Rutherford menyusun model atom, yaitu ; *Atom tersusun dari inti atom yang pusat massanya bermuatan positif dan kulit yang tersusun dari elektron dan bergerak mengelilingi atom.* Model atom ini sejalan dengan gagasan umum yang berlaku saat itu, dimana atom diserupakan dengan miniatur sistem tata surya dimana elektron sebagai planet dan ruang kosong di dalam atom harus sebanding dengan besarnya ruang kosong di angkasa. suatu inti yang berat atau matahari berada di pusat dengan planet-planet elektron yang lebih ringan berputar mengelilinginya. Rutherford juga dapat memperkirakan ukuran inti atom yaitu kurang lebih 10^{-13} cm dan ukuran atom kurang lebih 10^{-8} cm. Dalam teori planet elektron ini, preconsepsi yang ditanamkan dalam pikiran adalah fisika Newtonian. Karenanya penjelasan atas fakta-fakta dengan model atom ini dilakukan dengan pendekatan fisika klasik Newtonian pula. (Dampier, 1983 ; Keenan , 1980)

5. NOMOR ATOM DAN ISOTOP

Pada tahun 1913 Henry Moseley (1887-1915) dalam serangkaian eksperimennya menyelidiki sinar-X yang dipancarkan dari berbagai logam. Logam itu dipasang sebagai anoda dalam tabung sinar-X. Panjang gelombang yang dipancarkan diukur. Ternyata ia menemukan keteraturan naiknya panjang gelombang dengan naiknya berat atom dari unsur logam yang diselidiki. Panjang gelombang sinar-X bertambah apabila bila berat atom unsur-unsur yang diselidiki bertambah, hanya beberapa unsur saja yang tidak mengikuti keteraturan itu.

Berdasarkan perhitungan secara sistematis ditemukan suatu faktor bilangan yang menunjukkan jumlah muatan positif dari inti atom. Faktor bilangan ini dilambangkan dengan Z , yang kemudian dikenal dengan nomor atom. Nomor atom ini sama dengan muatan positif inti atom dan juga jumlah elektron yang bergerak berputar mengelilingi inti atom. Penemuan Moseley ini memungkinkan untuk mengklasifikasikan unsur dengan cara baru yang lebih memuaskan. Nomor atom lebih penting daripada berat atom, karena nomor atom menyatakan suatu sifat tertentu dari atom. Selanjutnya Soddy menemukan adanya atom-atom yang mempunyai nomor atom sama tetapi berbeda massanya, ia menyebutnya isotop. Penemuan ini didukung oleh J.J Thomson dan Aston (1913) yang menyatakan bahwa hampir semua unsur terdapat sebagai campuran isotop. Penemuan alat spektograf massa memperkuat dugaan mengenai isotop tersebut.

Dari penjelasan di atas, terdapat dua ilmuwan yang mengemukakan model atom, yaitu Thomson dan Rutherford. Kedua model atom tersebut sudah berbeda dari gagasan Dalton terutama dalam menyatakan adanya partikel sub atom, yaitu proton dan elektron. Namun keduanya masih mengikuti paradigma mekanika klasik yang berlaku saat itu. Model atom Rutherford sudah lebih maju dari model atom Thomson. Dari model ini diperoleh gambaran bahwa sebagian besar volume atom terdiri dari ruang kosong yang berisi elektron dan massa bermuatan positif pada bagian intinya. (Petrucci, 1985 ; Keenan, 1980).

Berdasarkan pemaparan di atas, yang kemudian menjadi pertanyaan adalah ; apakah model atom Thomson ataupun model atom Rutherford sudah merupakan revolusi yang menghasilkan paradigma baru ?. Untuk menjawab hal ini ada dua hal yang harus dipertimbangkan;

- 1) Apa yang dikemukakan oleh Thomson dan Rutherford belum merupakan suatu paradigma yang berlaku saat itu, karena banyak hal yang menjadi kelemahan dari pandangan itu dan pandangan mereka tampaknya belum banyak diikuti oleh ilmuwan lain untuk menerangkan gejala-gejala fisik ataupun kimiawi. Antara lain kegagalan dalam menerangkan gejala spektra atom hidrogen yang ditemukan Balmer, dan dalam model atom itu sendiri melekat suatu "cacat inherent".
- 2) Belum diterimanya konsep Rutherford juga sangat berkaitan erat dengan paradigma mekanika klasik Newtonian dan teori gelombang elektromagnetiknya Maxwell yang masih bertahan hingga ahir abad-19.

Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa pandangan Rutherford serta ilmuwan lain yang menemukan gejala kelistrikan, partikel sub-atom dan keradioaktifan merupakan serangkaian fakta yang menyebabkan krisis terhadap paradigma sebelumnya. Dikatakan krisis, karena paradigma sebelumnya (teori atom Dalton) tidak mampu menerangkan gejala-gejala tersebut.

D. TEORI ATOM BOHR DAN KONSEP-KONSEP YANG MENDUKUNGNYA

Aplikasi dari teori kuantum Planck untuk memecahkan masalah struktur atom pertama kali dilakukan oleh Niels Bohr (1885-1962) pada tahun 1913 ilmuwan dari Copenhagen yang ketika itu bekerja di Rutherford's Laboratory di Manchester. Ia bekerja berdasarkan teori planet elektron yang mendapat banyak penolakan oleh ilmuwan fisika. (Dampier, 1983). Tujuan pekerjaan Bohr ini adalah mencari keterangan baru bagaimana posisi elektron di sekeliling atom. Niels Bohr memulainya dengan mempelajari secara intensif spektrum atom (khususnya spektrum atom hidrogen) dan menerapkan teori kuantum Max Planck untuk menjelaskannya.

Berikut ini terlebih dahulu akan dibahas konsep-konsep yang mendukung teori atom Bohr :

1. Spektrum Atom

Gejala spektrum atau pembiasan sinar dapat diamati secara langsung dengan melewatkan seberkas sinar matahari melalui sebuah prisma. Keluar dari prisma terjadi penguraian sinar matahari menjadi berbagai panjang gelombang sinar, yaitu sinar merah, oranye, kuning, hijau, biru dan violet. Percobaan pembiasan cahaya ini telah dilakukan sejak zaman Newton.

Dalam perkembangan selanjutnya, untuk dapat mengetahui terdapatnya sinar dengan panjang gelombang yang tidak kelihatan, maka spektrum tersebut harus direkam di atas pelat foto atau direkam dengan sajian grafik. Pada masa itu sejak tahun 1859 alat spektroskop telah digunakan untuk analisis kimia, namun tidak ada seorangpun yang dapat menjelaskan atas adanya garis-garis spektrum yang mempunyai ciri khas. Dalam analisis kimia dengan menggunakan spektroskop, contoh yang dianalisis dipanaskan sampai berpijar. Cahaya yang dihasilkan dengan cara ini dilewatkan melalui suatu prisma dan dihasilkan suatu pola garis atau spektrum atom yang terekam dalam foto. Kemudian foto tersebut dicocokkan dengan spektrum dari unsur yang sebelumnya telah dikenal, –persis seperti sidik jari orang yang belum dikenal dicocokkan dengan sidik jari orang-orang yang sudah diidentifikasi di dalam arsip–.

Dari analisis dengan spektroskopi, spektrum yang terdiri dari garis-garis warna disebut spektrum garis. Setiap atom dari suatu unsur selalu menghasilkan garis-garis spektrum yang sama, baik atom unsur tersebut dalam keadaan bebas, maupun sebagai senyawa atau tercampur dengan senyawa lain. Demikian pula ternyata atom dari unsur berbeda menghasilkan spektrum garis yang berbeda pula. Oleh karena spektrum garis bersifat sangat spesifik (khas), maka disebut spektrum atom. Apabila contoh yang dimunculkan lebih dari satu, seperti yang terlihat pada spektrum sinar matahari, maka spektrum yang diperoleh menunjukkan gabungan spektrum yang terpisah dari semua unsur yang ada, spektrum seperti ini disebut juga spektrum kontinu atau spektrum pita. (Lilian, 1990).

Penyelidikan terhadap spektrum hidrogen penting sekali dalam kaitannya dengan struktur atom. Spektrum hidrogen ini terdiri dari beberapa garis spektrum yang dapat digolongkan dalam kelompok tertentu. Terdapat 5 seri spektrum yang diberi nama sesuai dengan nama penemunya, yaitu ; seri Balmer pada daerah spektrum terlihat yang ditemukan oleh J.J Balmer (1885) ; seri Lyman pada daerah spektrum ultra violet yang ditemukan oleh T. Lyman (1906) ; seri Paschen oleh F. Paschen (1908) ; seri Bracket oleh F.S.Bracket (1922) dan seri Pfund oleh A.H.Pfund (1924) ; ketiga seri ini berada di daerah spektrum infra red.

Bilangan gelombang dari kelima deret tersebut meskipun dihitung dengan persamaan yang berlainan dan kelihatannya sejumlah garis-garis spektrum yang ditemukan tidak ada sangkut pautnya satu sama lain, ternyata dapat dihubungkan satu dengan lainnya dengan satu persamaan saja dengan hubungan yang serba sederhana. Fakta ini menunjukkan adanya hubungan yang erat antara garis-garis spektrum dengan struktur atom. Namun demikian teori atom yang ada pada masa itu (sebelum teori Bohr) belum dapat memberikan penjelasan (Keenan, 1980 ; Petrucci, 1985)

2. TEORI KUANTUM RADIASI PLANCK DAN EINSTEIN

Teori kuantum yang dikemukakan Max Planck (1900) pada dasarnya menyatakan, bahwa energi suatu materi hanya dapat berubah (bertambah atau berkurang) dengan suatu kelipatan satuan energi yang disebut kuantum. Jadi menurut teori ini energi suatu materi hanya dapat berubah dengan 1, 2, 3, ...n kuantum dan tak mungkin dengan, misalnya 11/2, 31/2 atau 175,4 kuantum. Energi satu kuantum tidak tetap, melainkan bergantung pada frekuensi radiasi yang karena dipancarkan atau diabsorpsi menyebabkan perubahan energi. Hubungan ini dinyatakan dalam persamaan : $E = h \cdot n$; di mana E adalah energi kuantum, h ialah tetapan Planck ($= 6,625 \times 10^{-27}$ erg.detik) n menunjukkan frekuensi dari radiasi. Oleh karena frekuensi n dan panjang gelombang l suatu radiasi dihubungkan dengan persamaan : $n = c / l$,maka persamaan tersebut dapat dituliskan : $E = h.c / l$.

Kesimpulan ini dirumuskan Planck berdasarkan kenyataan bahwa benda yang bergetar mengalami perubahan energi dengan cara pemancaran atau absorpsi radiasi dengan frekuensi yang sama dengan frekuensi benda yang bergetar. Albert Einstein (1905) kemudian menunjukkan bahwa persamaan Planck tersebut dapat dirumuskan secara lebih umum. Menurut Einstein, bila energi suatu benda berubah dari harga E_1 menjadi harga E_2 , dengan cara pemancaran atau absorpsi radiasi dengan frekuensi n , maka : $E_1 - E_2 = n h n = n h c / l$; dengan n ialah bilangan bulat 1,2,3,... (Keenan, 1980 ; Petrucci, 1985). Teori kuantum seperti yang telah dijelaskan di atas itulah yang kemudian digunakan oleh Bohr dalam menginterpretasikan spektrum unsur hidrogen.

3. RADIASI ELEKTROMAGNETIK

Radiasi elektromagnetik adalah salah satu bentuk energi yang dipancarkan oleh sumbernya dalam bentuk gelombang elektromagnetik melalui ruangan hampa tanpa medium penghantar. Contoh energi radiasi adalah cahaya di alam sekitar, gelombang radio, radar, sinar infra merah,

sinar ultra violet, sinar X, sinar gamma, dll. Semua energi radiasi elektromagnetik bergerak dengan kecepatan cahaya yaitu 300.000 km/detik. Setiap radiasi dibedakan satu sama lain oleh panjang gelombang dan frekuensinya yang satu sama lain hubungannya merupakan kebalikannya (berbanding terbalik). Oleh karena itu semakin besar panjang gelombang, makin kecil pula frekuensinya dan sebaliknya. Tingkat kekuatan energi radiasi ditentukan oleh frekuensinya. Makin besar frekuensi, makin kuat energi radiasi tersebut, sehingga bisa menembus bermacam-macam benda.

Ilmuwan yang mengembangkan konsep perambatan gelombang elektromagnetik diantaranya adalah Clerk Maxwell (1862), Fitzgerald (1883) dan Heinrich Hertz (1886). Namun konsep ini menjelang akhir abad ke-20 tidak mampu lagi menerangkan penemuan-penemuan energi radiasi selanjutnya, terutama untuk menerangkan eksperimen radiasi yang berasal dari benda hitam seperti yang ditunjukkan oleh Raleigh dan Jeans (1900) dan tentang adanya spektrum atom, serta fenomena efek foto listrik (Mason, 1963 ; Petrucci, 1985).

Teori Kuantum Max Planck seperti yang telah dipaparkan sebelumnya dapat mengatasi hal ini. Menurut teori ini energi radiasi juga merambat dalam bentuk gelombang elektromagnetik, tetapi terdapat dalam bentuk paket-paket energi senilai $E = h \cdot \nu$ = foton. Semua benda menyerap dan memancarkan energi per paket energi ini. Sehingga bila diberikan ilustratif menurut teori kuantum, energi radiasi merambat seperti tetesan hujan jatuh ke bumi. Hal ini tentu sangat berlainan dengan konsepnya Maxwell mengenai energi radiasi. Menurutnya energi radiasi merupakan gelombang elektromagnetik yang merambat seperti air mengalir. Sedangkan benda yang memancarkan energi radiasi ibarat mata air mengeluarkan air dan benda yang menyerap energi ibarat ember atau gelas menampung air dari kran air.

4. Model Atom Bohr

Teori atom yang dikemukakan oleh Niels Bohr (1885-1962) pada tahun 1913 bertitik tolak pada anggapan sebagai berikut : 1) Elektron tidak dapat bergerak mengelilingi inti atom dalam setiap lintasan atau orbit, akan tetapi hanya dalam lintasan yang memenuhi persyaratan tertentu menurut teori kuantum. Yang diperbolehkan hanya lintasan di mana elektron mempunyai momentum sudut yang merupakan kelipatan dari harga $h/2\pi$, sehingga lintasannya disebut lintasan kuantum ; 2) Bila elektron bergerak dalam salah satu lintasan kuantumnya, maka elektron tidak akan memancarkan energi. Elektron dalam lintasan ini berada dalam keadaan stasioner dan dalam tingkat energi tertentu. 3) Bila elektron pindah dari tingkat energi E_1 ke tingkat energi E_2 yang energinya lebih kecil dari E_1 , maka akan terjadi radiasi energi dengan frekuensi yang dapat dihitung dengan teori kuantum : $E_1 - E_2 = E_{\text{foton}} = h \cdot \nu$. Bila energi E_2 lebih besar dari E_1 , maka elektron akan mengabsorpsi energi radiasi.

Dengan meramu ketiga postulat dengan perhitungan mekanika klasik itu, Bohr akhirnya dengan mudah dapat menghitung jari-jari lintasan dari kuantum pertama, kedua dan seterusnya serta masing-masing energi total orbit dengan rumus mekanika klasik. Bohr masih menggunakan model tata surya untuk merumuskan energi orbit tersebut. Kemudian dengan menggunakan cara perhitungan yang serupa, Bohr dapat menginterpretasikan spektrum atom hidrogen dan dari

partikel-partikel lainnya yang serupa dengan atom hidrogen, yaitu yang hanya memiliki satu elektron, seperti ion Li^{2+} dan ion Be^{3+} .

Perhitungan Bohr dengan memadukan pendekatan teori kuantum dengan mekanika klasik telah menguak rahasia terjadinya berbagai deret spektrum sehingga diperoleh gambaran mengenai diagram tingkat energi.

Berdasarkan hal itu, Bohr menyatakan bahwa elektron bergerak mengelilingi inti atom dalam lintasan yang berbentuk lingkaran. Energi elektron di dalam atom adalah terkuanta pada beberapa bilangan jumlah energi saja, sehingga energi elektron dalam suatu lintasan ditentukan oleh bilangan kuantum, n . Bilangan ini juga menentukan jari-jari lintasan. Lintasan elektron seringkali dinyatakan sebagai lintasan-K ($n=1$), lintasan-L ($n=2$), lintasan-M ($n=3$) dan sebagainya. Elektron dapat loncat dari lintasan kedua ke lintasan pertama sesuai dengan bilangan kuantumnya dengan memberikan satu garis spektrum (Keenan, 1980).

D. TEORI ATOM MEKANIKA GELOMBANG

Salah satu keberatan terhadap model atom Bohr ialah bahwa model ini didasarkan atas beberapa anggapan yang bertentangan dengan aturan-aturan yang berlaku pada waktu itu. Oleh karena itu sulit sekali menerimanya tanpa disertai dengan suatu penjelasan mengenai keterbatasan-keterbatasannya. Menurut model atom Bohr, elektron digambarkan sebagai suatu partikel yang bergerak dengan lintasan yang mengikuti aturan-aturan mekanika sederhana. Padahal sebenarnya gerakan elektron jauh lebih rumit dan sama sekali tidak dapat digambarkan bentuk lintasannya berupa lingkaran atau elips.

Pada tahun 1924, Louis de Broglie mengemukakan, bahwa materi yang bergerak mempunyai sifat-sifat gelombang ; artinya elektronpun mempunyai sifat gelombang seperti halnya cahaya, sehingga panjang gelombang dari elektron dinyatakan dengan $\lambda = h / mv$.

Pendapat ini sesuai dengan apa yang pernah dikemukakan sebelumnya oleh Einstein (1909) ketika menerapkan metode fluktuasi statistik pada aturan baru radiasi benda hitam Planck, yaitu adanya dualisme partikel gelombang. Gagasan ini, kemudian semakin diperkuat kebenarannya oleh Davisson dan Germer (1927) yang menemukan bahwa seberkas sinar elektron dapat didifraksikan melalui sebuah kristal. Peristiwa difraksi ini hanya dapat diterangkan dengan teori gelombang, karenanya dapat ditarik kesimpulan bahwa elektron bersifat sebagai gelombang. Persyaratan kuantum untuk gerakan elektron yang sebelumnya oleh Bohr dianggap sebagai postulat ternyata dapat dibuktikan kebenarannya dengan teori de Broglie.

Keberatan lain menurut Dampier (1983), adalah adanya suatu spekulasi terhadap model atom yang digambarkan oleh Bohr ; karena kita hanya dapat memeriksa dari luar, membuat suatu catatan mengenai apa yang 'ke luar' dari dalam atom, yaitu apa yang diradiasikannya dan dari partikel-partikel radioaktif yang dapat dideteksi. Apa yang sebetulnya 'di dalam' atom bahkan wujud atom sendiri tak pernah diketahui. Sementara Bohr begitu pasti menguraikannya menjadi satu mekanisme yang dapat menghasilkan sesuatu, pada semua kejadian yang

memerikan sifat-sifat atom. Padahal ada kemungkinan terdapatnya tipe mekanisme lain yang bisa berjalan sama baiknya.

Faham deterministik seperti ini sangat sukar diterima, terutama oleh Heisenberg, Schrodinger dan Dirac. Mereka pada tahun 1925 memberikan suatu kerangka pemikiran baru mengenai atom dilandasi teori kuantum baru yang dikenal dengan mekanika gelombang. Dampier (1983) menyebutkan teori mekanika kuantum baru itu sebagai revolusi dalam ilmu fisika.

Penolakan terhadap model atom Bohr dilandasi pemikiran de Broglie dan teori mekanika gelombang yang masing-masing dinyatakan ilmuwan yang berbeda dan dikerjakan secara terpisah, yaitu Mekanika Matriks Heisenberg, Mekanika Gelombang Schrodinger dan Aljabar Kuantum oleh Dirac (Dampier,1983).

Pada prinsipnya mekanika gelombang menerangkan model atom adalah sebagai berikut berikut ini :

1) Elektron tidak mungkin mempunyai kedudukan yang pasti di dalam mengelilingi inti atom, yang mungkin bisa ditentukan dan dihitung hanyalah kebolehjadian menemukan elektron di dalam suatu daerah tertentu di dalam atom. Daerah ruang di mana dapat ditemukan elektron disebut orbital. Ini disebut juga ***Prinsip ketidakpastian Heisenberg***

2) Gerakan gelombang dari elektron di dalam atom merupakan gerak harmonis, di mana setiap orbit elektron merupakan kelipatan bilangan bulat terhadap panjang gelombang (seperti yang dinyatakan de Broglie).

3) Elektron hanya menempati orbit yang harmonis saja dan tidak bisa menempati orbit yang tidak harmonis. Bila elektron mendapat tambahan energi dari luar, maka panjang gelombang elektron berubah dan orbit semula menjadi tidak harmonis lagi. Oleh karena itu elektron harus melompat ke orbit baru yang merupakan kelipatan panjang gelombang baru.

4) Dengan persamaan Schrodinger hanya dapat ditentukan besarnya daerah kebolehjadian menentukan elektron di tempat-tempat tertentu di dalam atom, yaitu yang disebut dengan orbital. Dari persamaan Schrodinger diketahui dalam sub-kulit (sub-tingkat energi) s mempunyai 1 orbital berbentuk bola, sub-kulit p mempunyai 3 orbital dengan bentuk balon terpilin dengan tiga salib sumbu, sub-kulit d mempunyai 5 orbital dan sub-kulit f dengan 7 orbital. Setiap orbital masing-masing ditempati maksimum 2 buah elektron dengan arah spin yang berlawanan.

(Keenan, 1980 ; Mc,Avoy, 1996 ; Dampier, 1983)

E. MODEL ATOM MUTAKHIR

Sejak tahun 1930-an telah ditemukan ratusan partikel elementer lainnya, selain dari tiga partikel subatom yang merupakan komponen utama sebuah atom. yaitu proton, neutron dan elektron Beberapa partikel elementer yang paling penting dikelompokkan ke dalam 5 kelompok

berdasarkan kekuatan interaksinya, yaitu ; 1) Kelompok hadron, yaitu kelompok partikel yang saling berinteraksi sangat kuat dan mengambil bagian dalam interaksi nuklir yang kuat. Gaya kuat ini berfungsi sebagai pengikat proton dan neutron di dalam inti. Contohnya ; proton, neutron, hiperon dan meson ;2) Kelompok lepton, kelompok yang gaya interaksinya lemah dan bertanggung jawab terhadap disintegrasi beberapa partikel dan disintegrasi radioaktif tempat dipancarkan elektron dari inti, contohnya ; neutrino, elektron, muon dan tau. Partikel elementer lain yang diketahui keberadaannya melalui efek tidak langsung terhadap sifat-sifat partikel lain, antara lain boson, takhion dan resonan.

Umur rata-rata partikel tersebut sebagian besar hanya dalam ukuran lebih kecil dari 10^{-6} detik, kecuali beberapa partikel dasar yang dikenal stabil seperti elektron, proton, kelompok neutrino, foton dan graviton. Sedangkan neutron umur rata-ratanya hanya 1,010 detik. Umumnya perilaku partikel elementer mengikuti keteraturan tertentu sesuai dengan aturan-aturan fisika yang berlaku, seperti teori kuantum, kaidah invarian, hukum kekekalan.

Partikel-partikel elementer dapat diamati dengan peralatan seperti mikroskop elektron berdasarkan jejak keberadaannya dan pergerakannya. Sebelum penemuan mikroskop elektron yang dilengkapi peralatan khusus, jejak-jejak perilaku partikel dapat diamati melalui bantuan peralatan seperti *Cloud Chamber*, tabung Cockcroft-Walton, cyclotron dan lain-lain

Selanjutnya kemajuan pengetahuan di bidang fisika partikel menghasilkan suatu teori tentang **quark**. Teori ini masing-masing secara terpisah dikembangkan oleh ahli fisika Amerika Serikat Murray Gell-Mann dari Institut Teknologi California dan George Zweig dari Pusat Riset Nuklir Eropa di Genewa sekitar tahun 1960-an. Mereka menyatakan ratusan partikel elementer yang telah diketemukan sampai saat itu, baru dimengerti perilakunya kalau penemuan itu tidak dianggap sebagai partikel dasar. Mereka mengatakan bahwa partikel masih terdiri dari sesuatu dasar yang lain yang diberi nama "**Quark**". Dalam hipotesis asli terdapat 3 jenis quark. Nama quark diadopsi dari suatu kalimat dalam novel James Joyce, yaitu *Finnegans Wake* yang berbunyi "*Three quarks for Muster Mark*". (Feinberg, 1990)

Model quark ini menyatakan bahwa setiap barion terdiri dari 3 quark, sementara setiap meson terdiri dari satu quark dan satu anti quark. Ketiga jenis quark itu dinamai 'up' (u), 'down' (d) dan 'strange' (ganjil). Muatan partikel ini sangat berbeda dengan partikel yang telah diketahui, yaitu muatannya berturut-turut ; $2/3$, $-1/3$, dan $-1/3$ dari satuan muatan dasar. Untuk menjelaskan bagaimana kemungkinan partikel dasar tersusun digunakan sifat-sifat quark itu. Hingga sekarang dinyatakan jumlah quark yang ditemukan ada 18 macam.

Adanya sifat quark di sebelah dalam suatu partikel merupakan hasil kesimpulan dari perilaku partikel yang dapat diamati dengan bantuan peralatan. Apa yang sebenarnya terlihat dalam eksperimen adalah suatu partikel bukan quark itu sendiri. Jadi salah satu masalah utama dari model quark ini adalah kenyataannya sampai kini belum ada hasil eksperimen yang diterima oleh para ilmuwan sebagai bukti yang pasti mengenai quark. Gagasan quark dimulai dari abstraksi teoritis murni, yang di verifikasi melalui eksperimen. Tentu saja hal ini juga merupakan persoalan yang sama dengan pengetahuan kita tentang inti, di mana tidak pernah satu orangpun dapat

melihat proton, neutron maupun elektron dalam peralatan eksperimen. (Trefil, 1990 ; Andi H.N ; 1999).

PEMBAHASAN BERDASARKAN PARADIGMA KUHN

Gagasan konsep atom yang dikemukakan Dalton dipandang sebagai kelanjutan pandangan filosof atomik, meskipun terdapat sedikit perbedaan dalam landasan berpikirnya. Beberapa gagasan yang dituangkan Dalton dilandasi oleh fakta-fakta empiris berlandaskan eksperimen yang dilakukan oleh ilmuwan lain sedangkan pandangan filosof tentang atom seluruhnya berupa refleksi kritis terhadap fenomena alam. Revolusi pemikiran konsep atom, terjadi karena teori atom Dalton tidak dapat diverifikasi, banyak anomali yang berkenaan dengan hal itu, sehingga menimbulkan serangkaian krisis, terutama akibat penemuan-penemuan di bidang kelistrikan dan gejala radiaktivitas.

Penemuan gejala kelistrikan mengubah pandangan bahwa atom merupakan partikel bagian terkecil dari materi, karena telah dapat dibuktikan adanya partikel sub atom seperti proton, elektron dan neutron. Beberapa studi yang intensif yang dilakukan membawa ke dalam suatu babak baru penyelidikan mengenai atom yang membawa pemahaman yang sangat berbeda dengan pandangan filosofi Dalton

Dari rangkaian penemuan gejala kelistrikan dan radioaktivitas, terdapat dua ilmuwan yang mengemukakan model atom, yaitu model atom Thomson dan model atom Rutherford. Kedua model ini tidak dapat diterima sebagai paradigma baru, karena secara internal konsepnya sendiri mengandung hal yang tidak logis dipandang dari aturan-aturan fisika yang berlaku serta tidak dapat menerangkan fenomena-fenomena yang diamati, seperti fenomena spektrum.

Paradigma baru dianggap terjadi ketika Bohr mengemukakan teori atom atau model atomnya sebagai perbaikan terhadap model atom Rutherford. Anggapan ini berdasarkan dari adanya perubahan paradigma dalam ilmu fisika yaitu dari paradigma Newtonian (fisika klasik) ke paradigma teori kuantum (fisika modern) yang dirintis oleh Max Plank pada tahun 1900. Namun apabila merujuk pada kenyataan, bahwa Bohr sebenarnya bekerja atas dasar teori planet elektronnya Rutherford yang banyak ditolak ilmuwan fisika masa itu (–bahkan ia bekerja sama dengan Rutherford untuk memperbaiki teorinya–), maka dianggap teori atom Bohr dianggap sebagai penyempurnaan terhadap teori atom Rutherford. Hal itu karena masalah yang dihadapi adalah bagaimana sebenarnya posisi elektron di dalam atom. Sedangkan adanya partikel sub-atom yang mendasari teori atom Rutherford sudah dapat diterima secara luas.

Dengan terjadinya revolusi dari fisika klasik ke fisika modern, yaitu berubahnya pandangan mekanika Newtonian dan teori gelombang Maxwell menjadi paradigma teori kuantum Max Planck, memberikan sumbangan pemikiran yang menghasilkan paradigma baru teori atom, yaitu teori atom Bohr. Teori ini mendapat perluasan pemikiran dari Sommerfield untuk menerangkan fakta-fakta yang tidak dapat dijelaskan dengan baik oleh Bohr.

Keberatan terhadap model atom Bohr-Sommerfield lebih banyak dilakukan oleh ilmuwan fisika, bagi kebanyakan ilmuwan kimia model atom ini cukup handal untuk menerangkan gejala-gejala kimiawi, seperti sifat-sifat ikatan kimia, penggabungan atom-atom dan sistem periodik unsur. Yang menjadi keberatan, sehingga timbul baru teori atom mekanika kuantum (mekanika gelombang) adalah paham determinisme yang melandasi pemikiran model atom Bohr dan juga perluasannya oleh Sommerfield (Teori atom Bohr-Sommerfield).

Secara esensi bagaimana kedudukan elektron di dalam atom yang digambarkan dengan keempat bilangan kuantum dapat diterima, namun yang harus digaris bawahi untuk mendapatkan koreksi dari model itu adalah bahwa konsep orbit yang dikemukakan Bohr diganti menjadi orbital dengan pengertian yang sesuai dengan *Prinsip Ketidakpastian Heisenberg*.

Dengan demikian apabila ditinjau dari konsep atom sendiri yang sampai saat ini dianut, terutama oleh ilmuwan kimia, maka pemaparan teori atom berdasarkan mekanika kuantum bukan suatu revolusi, tetapi rangkaian penemuan yang sifatnya akumulatif dalam kajian sains yang normal. Hal ini mengingat paradigma teori Bohr dan perluasannya oleh Sommerfield hingga sekarang tetap dipergunakan. Jadi paradigma mekanika kuantum memberikan sumbangan terhadap penyempurnaan teori atom Bohr dan bukan merupakan penolakan, karena dalam hal ini digunakan prinsip korespondensi.

Yang dianggap sebagai paradigma baru alasannya lebih bersifat filosofis, karena berkaitan dengan perubahan paham dari determinisme menjadi indeterminisme dalam memandang dunia mikroskopik yang terletak di luar jangkauan indera kita. Secara keseluruhan hal ini memberi gambaran, bahwa ilmu pengetahuan alam, khususnya fisika tidak lagi dianggap sebagai ilmu pengetahuan yang mengandung kebenaran yang mutlak dan dapat menetapkan suatu kejadian dengan pasti (eksak). Paham indeterministik ini pun diungkap pula dalam teori relativitasnya Einstein.

Penemuan-penemuan partikel dasar quark mengubah pandangan mengenai inti atom yang hanya terdiri dari partikel dasar proton dan neutron sehingga menghantarkan pada penggambaran struktur atom yang sangat kompleks dan sangat jauh dari konseptualisasi Daltonian. Manfaat yang diperoleh dari model quark adalah dapat menggambarkan bahwa struktur inti atom begitu rumit dan dinamis dimana proton dan neutron tidak begitu saja bertumpuk dalam inti atom – seperti jeruk dalam peti. Oleh karena itu model atom Murray-Zweig menjadi paradigma baru dalam menerangkan struktur atom, terutama dalam kaitannya dengan susunan inti atom. Namun bukan berarti paradigma sebelumnya tidak berlaku, karena untuk menerangkan bagaimana kedudukan elektron serta gerakan elektron sampai saat ini masih digunakan paradigma teori atom mekanika gelombang.

KESIMPULAN

1. Sebelum permulaan abad 19, konsep atom dianggap sebagai 'mitos', karena gagasan yang diajukan oleh para filosof Yunani hanya dilandasi pemikiran tentang fenomena alam.

Perkembangannya menjadi 'sains' normal' setelah Dalton mengkonseptualisasikan kembali berdasarkan kajian-kajian empirik. Periode 'sains normal' di bawah paradigma Dalton berlangsung hampir satu abad lamanya (ahir abad 19).

2. Akumulasi anomali yang menggugurkan paradigma Dalton antara lain gejala kelistrikan dan radoaktifitas.
3. Perubahan model atom Thompson, Rutherford, Bohr hingga model atom mekanika kuantum masih berada dalam satu paradigma yang meyakini bahwa atom memiliki sub partikel ; inti atom dan elektron. Perubahan model difokuskan pada penentuan susunan elektron dalam atom
4. Namun ditinjau dari landasan filosofisnya, perubahan Model Atom Bohr ke Model atom mekanika Kuantum dianggap sebagai perubahan paradigma deterministik menjadi *Uncertainty Principle*
5. Penemuan partikel elementer *quark* , belum dapat dianggap suatu anomali , karena model *quark* tidak mengubah paradigma namun melengkapinya,
6. Adanya perkembangan pemikiran konsep atom menunjukkan bahwa tidak ada kebenaran yang mutlak dalam IPA, bahkan melalui konsep atom faham determinisme dapat dibantah dengan argumentasi mekanika kuantum. Kemunculan model quark tidak lagi dianggap sesuatu guncangan bagi kebenaran ilmiah, namun dianggap dapat melengkapi khazanah ilmu pengetahuan. Hal ini karena para ilmuwan kini mempunyai pandangan bahwa kebenaran sains bersifat tentatif dan relatif.

DAFTAR RUJUKAN

Anna Poedjiadi. 1987. *Sejarah Dan Filsafat Sains*. Bandung. Yayasan Cendrawasih.

Bernal.J.D. 1981.*The Natural Sciences In Our Time*. Vol : 3. Massachusets. The MIT Press Cambridge.

Bruton, J.G. 1966. *The Story of Western Science*. New York Cambridge. University Press.

Dampier,W.C. 1984. *A History of Science*. 4 th .ed. Cambridge. University Press.

Feinberg, Gerald. 1990. **Partikel Elementer**. *Ilmu pengetahuan Populer Vol.5*. Jakarta. PT Widya Dara. Hal 116-125.

Hodeson, Lilian. 1990. **Teori Kuantum**. *Ilmu Pengetahuan Populer Vol.5*. Jakarta. PT. Widya Dara. Hal. 136-148.

Keenan, Charles W. et all. 1980. *General College Chemistry*. Sixth Ed. NY. Harper & Row Publishers, Inc.

Kuhn, Thomas.S. 1993. *Peran Paradigma Dalam Revolusi Sains*. Ed. Kedua. (terj. Tjun Surjaman). Bandung. PT. Remaja Rosda Karya.

Mason, Stephen F. 1962. *A History of The Sciences*. New Revised Edition. Abelard-Schuman Ltd.

Mc Avoy, J.P dan Zarate Oscar. 1996. *Mengenal Teori Kuantum Untuk Pemula*. (Terj. Ahmad Baiquni). Jakarta.

Musthafa,KS. 1980. *Alam Semesta Dan Kehancurannya Menurut Al-Qur'an Dan Ilmu Pengetahuan*. Bandung. Al-Ma'arif.

Petrucci, Ralph. H.1985. *General Chemistry. Principles And Modern Applications*. Fourth Ed. NY. Collier Nac millan.Inc.

Trefil, James. 1990. **Kuarka**. *Ilmu Pengetahuan Populer Vol.5*. Jakarta. Pt. Widya Dara. Hal 126-130