

PEKI4313  
Edisi 2

MODUL 01

# Perkembangan Pengetahuan Radioaktif dan Partikel-Partikel Dasar

Dr. Asep Wahyu Nugraha, M.Si

# Daftar Isi

<b>Modul 01</b>	<b>1.1</b>
Perkembangan Pengetahuan Radioaktif dan Partikel-Partikel Dasar	
<b>Kegiatan Belajar 1</b>	1.6
Perkembangan Pengetahuan dan Penemuan Zat Radioaktif	
<b>Latihan</b>	1.18
<b>Rangkuman</b>	1.19
<b>Tes Formatif 1</b>	1.20
<b>Kegiatan Belajar 2</b>	1.23
Partikel-partikel Dasar Penyusun Atom	
<b>Latihan</b>	1.33
<b>Rangkuman</b>	1.35
<b>Tes Formatif 2</b>	1.35
<b>Kunci Jawaban Tes Formatif</b>	1.38
<b>Daftar Pustaka</b>	1.39



## Pendahuluan

S elamat kepada para mahasiswa Program Studi Pendidikan Kimia FKIP Universitas Terbuka (UT) yang telah bergabung pada Modul 1 tentang perkembangan pengetahuan radioaktif dan partikel-partikel dasar. Ada banyak pertanyaan yang harus dijawab setelah mempelajari modul 1 ini, di antaranya:

1. Siapakah orang yang pertama menemukan sifat radioaktif?
2. Bagaimana perkembangan pengetahuan sifat radioaktif?
3. Bagaimana dan siapa yang menemukan sifat radioaktif?
4. Bagaimana struktur inti atom?
5. Partikel-partikel dasar apakah yang menjadi penyusun suatu atom?

Kami berharap, Anda dapat menjawab pertanyaan-pertanyaan di atas setelah Anda mengikuti pembelajaran modul 1 tentang perkembangan pengetahuan radioaktif dan partikel-partikel dasar.

Perkembangan penemuan dan pengetahuan tentang zat radioaktif serta sifat-sifat radioaktif dapat dibagi dalam dua periode. Pada **periode pertama** meliputi penemuan elektron, penemuan sinar-x, penemuan radioaktivitas, dan teori relativitas Einstein. Awal perkembangan penemuan zat radioaktif diawali dari penemuan elektron oleh J. J. Thomson melalui percobaan tabung sinar katoda dan penemuan sinar-x oleh Wilhelm Röntgen. Penemuan-penemuan tersebut menjadi inspirasi penemuan sifat radioaktif oleh Henri Becquerel, selanjutnya penelitian dilanjutkan oleh pasangan suami istri Marie dan Piere Curie dan peneliti-peneliti lainnya. Selanjutnya Albert Einstein mengemukakan adanya kesebandingan antara massa dengan energi melalui persamaan  $E = m \cdot c^2$ . Kemudian pada **periode kedua**, perkembangan pengetahuan dan penemuan zat radioaktif diawali dari laporan hasil penelitian tentang transformasi nitrogen oleh sinar alfa yang dikemukakan oleh Ernest Rutherford. Selanjutnya penemuan spektrograf massa oleh Aston yang mengemukakan adanya fenomena isotop pada suatu unsur. Berdasarkan temuan ini diprediksikan ada partikel lain yang tidak bermuatan, partikel ini kemudian disebut sebagai neutron yang dikemukakan oleh Chadwick. Selanjutnya ditemukannya foton gamma yang memiliki energi yang tinggi serta temuan-temuan lainnya terkait sifat radioaktif. Materi-materi tersebut akan dibahas pada Kegiatan Belajar 1.

Selama ini, kita mengetahui bahwa atom tersusun atas partikel-partikel di antaranya elektron, proton, dan neutron. Ketiga partikel dasar tersebut memiliki sifat dan menempati posisi yang berbeda. Elektron merupakan partikel yang bermuatan listrik negatif dan berada di luar inti bergerak mengelilingi inti atom. Proton merupakan partikel yang bermuatan listrik positif dan berada di inti atom bersama neutron yang bermuatan listrik netral. Sampai saat ini, selain ketiga partikel dasar tersebut telah ditemukan beberapa partikel dasar lainnya, seperti: positron, neutrino, meson, dan

lepton. Penjelasan terkait partikel-partikel dasar tersebut dikemukakan pada modul ini. Materi tersebut akan dibahas pada Kegiatan Belajar 2.

Modul ini terdiri dari dua kegiatan belajar dengan Kegiatan Belajar 1 yang membahas mengenai perkembangan pengetahuan zat radioaktif dan Kegiatan Belajar 2 yang membahas mengenai partikel-partikel dasar.

Pada Modul 1 ini mahasiswa diharapkan dapat memenuhi Capaian pembelajaran umum (CPU), yakni mampu memahami dan mengembangkan wawasan mengenai:

1. perkembangan pengetahuan dan penemuan zat radioaktif;
2. partikel-partikel dasar penyusun atom.

Selain itu, pada Modul 1 ini mahasiswa juga diharapkan dapat memenuhi capaian pembelajaran khusus (CPK), yakni sebagai berikut:

1. mengidentifikasi dan mendeskripsikan tentang perkembangan penemuan zat radioaktif;
2. mengidentifikasi dan mendeskripsikan tentang penemuan elektron;
3. mengidentifikasi dan mendeskripsikan tentang penemuan sinar-x;
4. mengidentifikasi dan mendeskripsikan tentang penemuan sifat radioaktif;
5. mengidentifikasi dan mendeskripsikan tentang teori relativitas dari Albert Einstein;
6. mengidentifikasi beberapa partikel dasar yang diperlukan untuk memahami struktur atom;
7. mendeskripsikan tentang sifat-sifat partikel dasar penyusun struktur atom;
8. menjelaskan proses penemuan elektron, proton, neutron, positron, neutrino, meson, dan lepton.

Sebelum mempelajari modul 1, mahasiswa harus memiliki kompetensi dari matakuliah Kimia Umum terutama terkait materi struktur atom, sistem periodik unsur, kimia unsur, stoikiometri, dan reaksi kimia. Kegunaan modul ini bagi mahasiswa adalah menjelaskan perkembangan penemuan dan pengetahuan perkembangan pengetahuan dan penemuan zat radioaktif, partikel-partikel dasar penyusun suatu atom, dan struktur inti atom. Konsep-konsep tersebut sangat berguna terutama dalam pengajaran kimia inti di SMA/ MA dan SMK, selain itu konsep-konsep tersebut sangat berguna dalam mempelajari kimia inti pada bagian selanjutnya.

Selain membahas mengenai perkembangan penemuan dan pengetahuan sifat radioaktif, partikel-partikel dasar penyusun suatu atom, dan struktur inti atom, modul ini juga dilengkapi dengan rangkuman, latihan, tes formatif beserta kunci jawabannya. Untuk dapat menguasai materi dalam modul ini, maka baca dan cermati isi Modul ini secara rinci dan teliti kemudian kerjakan latihan soal serta tes formatif yang ada di dalamnya. Selain itu modul ini disertai dengan link youtube yang bisa dijadikan sumber belajar tambahan untuk memperkuat pemahaman tentang materi yang dipelajari. Kerjakan soal-soal pada tes formatif dan cocokkan jawaban Anda dengan kunci

jawaban. Apabila nilai Anda belum mencapai nilai 80% maka pelajari kembali modulnya terutama bagian yang belum dikuasai. Setelah itu, kerjakan kembali tes formatif sampai mencapai nilai minimal sebesar 80%. Setelah mencapai nilai 80% atau lebih maka dapat dilanjutkan untuk mempelajari modul 2. Untuk menambah wawasan, coba membaca buku dan artikel yang tercantum dalam daftar pustaka atau sumber lainnya yang berkaitan.

# Perkembangan Pengetahuan dan Penemuan Zat Radioaktif

Pada awal perkembangan ilmu pengetahuan alam, para filsuf dan para ilmuwan mencoba untuk mendefinisikan sifat materi. Pada akhir abad kesembilan belas, penemuan-penemuan oleh Lavoisier, Dalton, dan Avogadro (yaitu, hukum kekekalan massa, teori atom, dan definisi satuan kuantitas kimia) menyebabkan dibuatnya model atom. Model ini dibangun pada prinsip-prinsip teori atom Dalton, yang menyatakan bahwa: semua materi terdiri dari partikel-partikel kecil yang disebut atom, setiap unsur hanya terdiri dari satu jenis atom yang berbeda secara kimia, semua atom dari suatu unsur adalah identik, dengan massa, ukuran, dan sifat kimia yang sama, dan atom adalah partikel terkecil, tak terpisahkan, dan tidak bisa dihancurkan.

Secara garis besar, perkembangan pengetahuan dan penemuan zat radioaktif dan sifat-sifat radioaktif dapat dibagi dalam dua periode. **Periode pertama** meliputi periode dari awal penemuan radioaktivitas sampai perang dunia pertama. Dalam kurun waktu ini diperoleh berbagai temuan tentang konsep-konsep awal tentang struktur atom dan model atom. **Periode kedua** adalah kurun waktu antara perang dunia pertama sampai saat ini terutama menjelang perang dunia kedua. Pada periode kedua, pengetahuan tentang struktur atom telah cukup berkembang dan diperoleh berbagai temuan terkait sifat-sifat inti atom.

## A. PERIODE PERTAMA PERKEMBANGAN PENGETAHUAN DAN PENEMUAN ZAT RADIOAKTIF

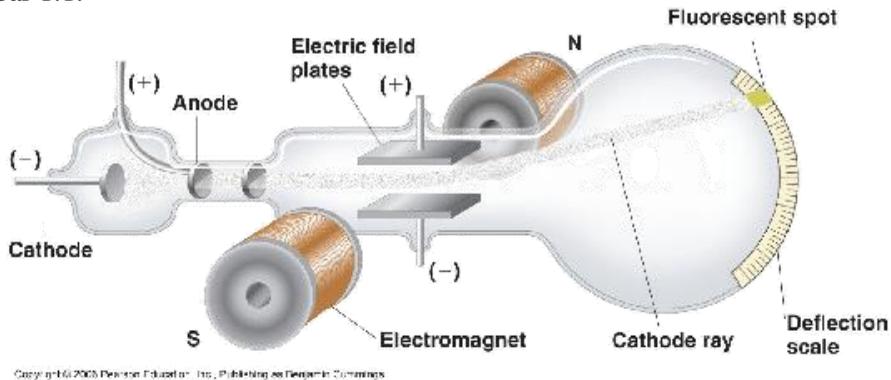
Pada tahap awal perkembangan pengetahuan dan penemuan zat radioaktif dimulai pada periode pergantian abad ke-19 menuju abad ke-20, yaitu ditandai dengan berbagai temuan, sebagai berikut.

1. Penemuan elektron.
2. Penemuan sinar-x.
3. Penemuan radioaktivitas.
4. Teori relativitas Einstein.

Pembahasan temuan-temuan tersebut dibahas secara ringkas sebagai berikut:

## 1. Penemuan Elektron

Kurang lebih 100 tahun yang lalu, beberapa orang ahli melakukan eksperimen untuk menentukan efek perlucutan muatan listrik pada gas bertekanan rendah. William Crookes memperlihatkan bahwa jika tekanan gas tersebut sangat rendah (sekitar 0,1 mmHg) dari katoda akan terpancar seberkas sinar, yang disebut sebagai sinar katoda. Pada tahun 1897 J. J. Thomson membuktikan bahwa sinar katoda ini terdiri atas partikel-partikel bermuatan negatif yang pada perkembangan berikutnya disebut elektron. Skematik dari peralatan yang digunakan oleh J. J. Thomson dikemukakan pada Gambar 1.1.

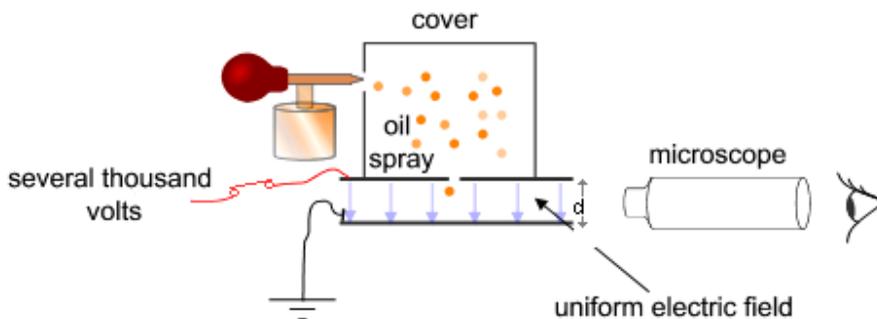


Copyright © 2003 Pearson Education, Inc. Publishing as Benjamin Cummings

Sumber: [https://www.nyu.edu/classes/tuckerman/adv.chem/lectures/lecture\\_3/node1.html](https://www.nyu.edu/classes/tuckerman/adv.chem/lectures/lecture_3/node1.html)

Gambar 1.1  
Skema Eksperimen dari J.J. Thomson

Berdasarkan harga  $e/m$  yang telah diperoleh Thomson dan besarnya muatan elektron yang telah ditentukan oleh Millikan pada tahun 1911, maka besarnya massa elektron dapat dihitung. Skema sederhana dari peralatan yang digunakan oleh Millikan dikemukakan pada Gambar 1.2.



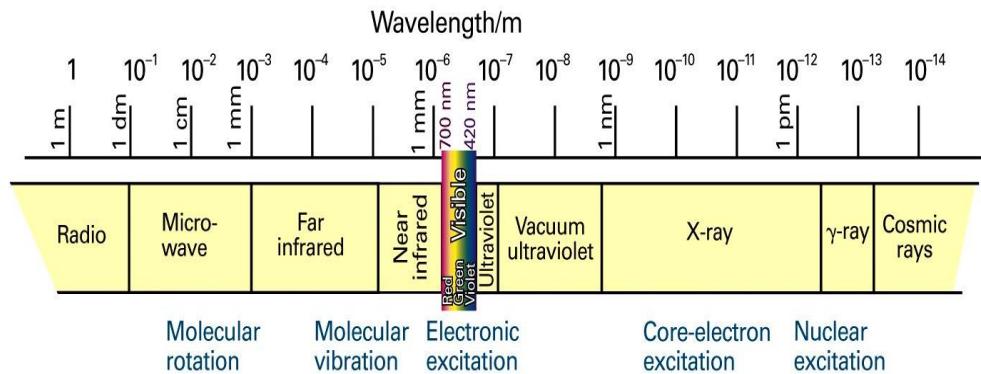
Sumber: <https://courses.lumenlearning.com/introchem/chapter/millikans-oil-drop-experiment/>

Gambar 1.2  
Skema Peralatan Eksperimen dari Millikan

Terjadinya sinar katoda yang terdiri atas elektron-elektron tersebut tidak tergantung pada macam gas yang terdapat dalam sinar tabung katoda dan jenis logam yang digunakan sebagai katoda. Fakta ini menunjukkan bahwa partikel ini berasal dari berbagai jenis material, sehingga dapat disimpulkan bahwa elektron tersebut merupakan pembentuk semua jenis atom.

## 2. Penemuan Sinar-x

Sinar-x merupakan cahaya yang sudah dikenal cukup lama dan dalam beberapa bidang telah diaplikasikan terutama dalam bidang kedokteran dan analisis material padat. Sinar-x ditemukan oleh Wilhelm Röntgen, sehingga sinar-x biasa disebut sinar Rontgen. Sinar-x berada dalam rentang panjang gelombang  $10^{-9}$  m –  $10^{-11}$  m. Sinar-x merupakan sinar yang memiliki energi yang tinggi, lebih tinggi dibanding sinar ultra violet dan lebih rendah dibanding sinar gamma seperti dikemukakan pada Gambar 1.3.

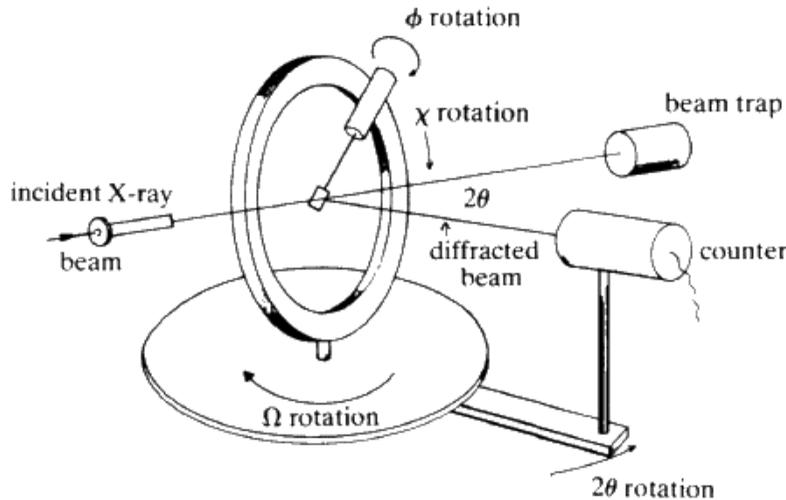


Sumber: Atkins dan Paula, 2006

Gambar 1.3  
Pengelompokan Cahaya Berdasar Panjang Gelombangnya

Pada saat melakukan eksperimen dengan menggunakan tabung sinar katoda, seorang ahli fisika Jerman Wilhelm Röntgen mengamati bahwa dari anti katoda tabung Crookes dipancarkan radiasi berdaya tembus besar, radiasi ini dapat menyebabkan fluoresensi, dan dapat menyebabkan perubahan film fotografi. Pada perkembangan berikutnya sinar ini disebut sinar-x.

Proses pembentukan sinar-x diawali dari diberikannya beda potensial yang mengakibatkan pergerakan elektron dari elektroda yang bermuatan negatif ke arah elektroda yang bermuatan positif. Akibat tumbukan elektron dengan permukaan logam yang mengakibatkan dipancarkannya cahaya berdaya tembus tinggi dari logam tersebut. Logam yang digunakan biasanya logam molibdenum atau tungsten. Skema difraktometer 4 putaran; sudut antara sinar datang, detektor dan sampel dikemukakan pada Gambar 1.4.



Sumber: [https://serc.carleton.edu/research\\_education/geochemsheets/techniques/SXD.html](https://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/SXD.html)

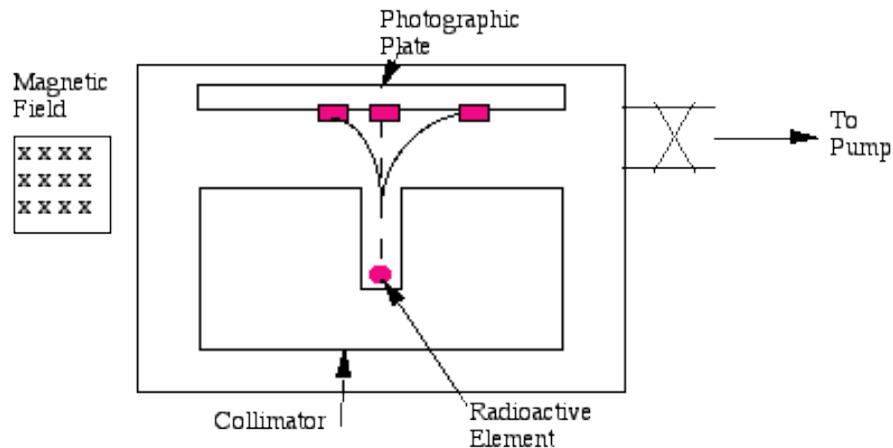
Gambar 1.4  
Skema Difraktometer 4 Putaran

### 3. Penemuan Radioaktivitas

Para ahli fisika sangat tertarik terhadap penemuan sinar-x tersebut, salah satunya adalah seorang ahli fisika Prancis Henri Becquerel (1852-1908). Pada tahun 1896, pada saat melakukan penelitian tentang fluoresensi pada garam uranium nitrat. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa dari garam uranium itu dipancarkan radiasi yang berdaya tembus besar, sehingga dapat mengakibatkan perubahan pada lempeng fotografi seperti sinar-x. Becquerel menemukan bahwa plat foto menghitam tanpa adanya cahaya, jika bersentuhan dengan mineral. Pada waktu itu, Henri Becquerel menggunakan mineral fluoresen alami untuk mempelajari sifat-sifat sinar-x. Becquerel memaparkan kalium uranyl sulfat pada sinar matahari dan kemudian meletakkannya di piring foto yang dibungkus kertas hitam, uranium menyerap energi matahari dan kemudian memancarkannya sebagai sinar-x. Hipotesis ini dibantah pada percobaan berikutnya, ketika eksperimennya "gagal" karena mendung di Paris. Entah mengapa, Becquerel memutuskan untuk mengembangkan pelat fotografinya. Hasil yang diperoleh sangat mengejutkan yaitu gambar-gambar itu kuat dan jelas. Hal ini membuktikan bahwa uranium memancarkan radiasi tanpa sumber energi eksternal seperti matahari dengan demikian Becquerel telah menemukan adanya sifat radioaktif.

Becquerel menggunakan alat yang mirip dengan alat pada Gambar 1.5 untuk menunjukkan bahwa radiasi yang ditemukan berbeda dengan sinar-x. Sinar-x bersifat netral dan tidak dapat dibelokkan dalam medan magnet. Radiasi yang ditemukan Becquerel ini dibelokkan oleh medan magnet sehingga radiasi ini berbeda dari sinar-x. Ketika zat radioaktif yang berbeda ditempatkan pada medan magnet, sinar tersebut

dapat membelokkan arah yang berbeda atau tidak sama sekali. Hal ini menunjukkan bahwa ada tiga kelas radioaktivitas, yaitu: bermuatan negatif, positif, atau netral.

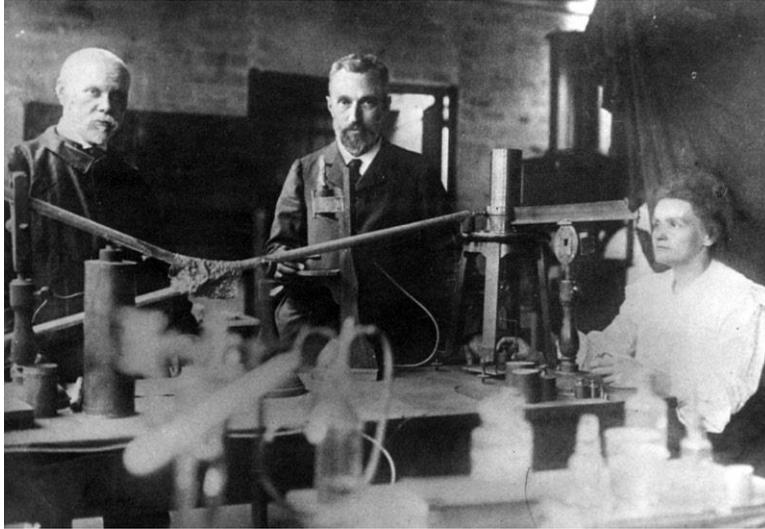


Sumber: <https://www2.lbl.gov/abc/wallchart/chapters/03/6.html>

Gambar 1.5  
Alat Pendeteksi Radioaktivitas

Peristiwa yang diamati oleh Becquerel itu baru dapat diterangkan dengan baik setelah Marie dan Piere Curie melakukan penelitian secara sistematis dengan “radiasi Becquerel” ini. Kedua ahli ini menarik kesimpulan bahwa pemancaran radiasi oleh senyawa uranium bukan sifat keseluruhan senyawaan tersebut, melainkan ini merupakan sifat khas dari atom uranium, dan peristiwa ini disebut radioaktivitas.

Dua tahun kemudian (1898) sifat serupa ditemukan untuk unsur Thorium yang memiliki sifat seperti uranium oleh Marie Curie di Perancis dan oleh G. C. Schmidt di Jerman. Sifat radioaktif belum ditemukan oleh orang sebelumnya karena manusia tidak memiliki organ yang dapat mendeteksi sifat tersebut. Marie Curie menemukan perbedaan dalam sifat radioaktivitas mineral uranium dan uranium dan menyimpulkan bahwa mineral tersebut masih mengandung unsur radioaktif lainnya. Bersama suaminya, Pierre Curie, Marie Curie menemukan sifat unsur Polonium pada tahun 1898, dan sifat unsur Radium kemudian pada tahun yang sama. Butuh empat tahun lagi pemrosesan bijih untuk mengisolasi cukup setiap elemen untuk menentukan sifat kimianya.



Sumber: <https://www.mirion.com/learning-center/radiation-safety-basics/the-history-of-radiation>

Gambar 1.6  
Marie and Pierre Curie with Henri Becquerel

Meskipun Henri Becquerel-lah yang menemukan fenomena radioaktivitas tersebut, tetapi mahasiswa doktoralnya yang bernama Marie Curie yang menemukannya radioaktivitas. Marie Curie melakukan pekerjaan perintis dengan bahan radioaktif lain, termasuk penemuan unsur radioaktif tambahan seperti Thorium, Polonium, dan Radium. Marie Curie dianugerahi Hadiah Nobel dua kali, sekali bersama Henri Becquerel dan suaminya Pierre dalam Fisika untuk penemuan tentang sifat radioaktif, dan selanjutnya dalam bidang kimia untuk penemuan unsur Radium dan Polonium. Dia juga melakukan pekerjaan perintis di bidang radiologi, mengembangkan dan menggunakan mesin sinar-x seluler untuk medan perang Perang Dunia I.

“Kita tidak boleh lupa bahwa ketika radium ditemukan, tidak ada yang tahu bahwa itu akan berguna di rumah sakit. Karya itu adalah salah satu dari ilmu murni. Hal ini merupakan bukti bahwa karya ilmiah tidak harus dipertimbangkan dari sudut pandang manfaat langsungnya. Itu harus dilakukan untuk dirinya sendiri, untuk keindahan sains, dan kemudian selalu ada kemungkinan bahwa penemuan ilmiah dapat menjadi seperti radium, manfaat bagi umat manusia.” -  
MARIE CURIE

Dia meninggal pada tahun 1934 karena anemia aplastik, mungkin berkembang dari paparan yang luas terhadap berbagai bahan radioaktif. Faktanya, surat-suratnya dan bahkan buku masaknya masih sangat radioaktif dan banyak yang dianggap tidak aman untuk dipegang, disimpan dalam kotak yang dilengkapi pelindung dan membutuhkan peralatan pelindung untuk dilihat dengan aman. Sebagai penambah wawasan tentang sejarah penemuan zat radioaktif dikemukakan pada link <https://www.youtube>.

[com/watch?v=13n6\\_meKsFI](https://www.youtube.com/watch?v=13n6_meKsFI) dan pada link <https://www.youtube.com/watch?v=azwesgfZ1b8>.

Proyek Manhattan, studi yang dilakukan selama Perang Dunia II untuk mengembangkan bom atom pertama, memimpin secara langsung studi jangka panjang kedua tentang efek paparan radiasi jangka panjang, yaitu studi para korban bom di Hiroshima dan Nagasaki. Bom yang menewaskan lebih dari 150.000 orang dengan beberapa perkiraan menempatkan total mendekati 245.000 atau lebih, juga meninggalkan lebih dari 600.000 selamat (orang yang terkena dampak ledakan). Di antara temuan yang diperoleh adalah tidak ada peningkatan cacat lahir pada mereka yang selamat dari ledakan. Namun, ada sekitar 1900 kematian akibat kanker yang dapat secara langsung disebabkan oleh pemboman.



Sumber: <https://www.mirion.com/learning-center/radiation-safety-basics/the-history-of-radiation>

Gambar 1.7  
Tes Trinity (Tes Pertama Senjata Atom)

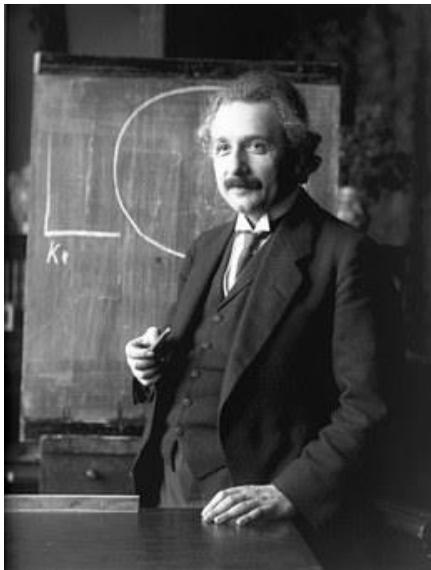
Sejak penemuan dan peledakan bom atom yang mengantarkan pada "Zaman Atom" banyak yang telah berubah dalam pemahaman dan implementasi kita terhadap radiasi dan bahan radioaktif. Selama Perang Dingin, ada eksperimen pada kedua blok dalam sifat dan penggunaan bahan radioaktif pada berbagai reaktor uji dan situs terkait, mencari berbagai cara untuk memanfaatkan kekuatan ofensif dari bahan radioaktif untuk senjata nuklir serta mencari potensi penggunaan berharga di bidang lain, seperti kedokteran, radiografi, dan lainnya.

Radioaktivitas adalah sifat materi dan untuk mendeteksi zat radioaktif tersebut diperlukan alat seperti Pencacah Geiger-Muller atau emulsi fotografi. Ditemukan juga

bahwa detektor ini dapat menunjukkan adanya radiasi tanpa keberadaan zat radioaktif. Jika pengamatan yang dilakukan dilindungi oleh dinding tebal timbal atau bahan lainnya, tingkat penghitungan menurun secara berarti. Di sisi lain, jika detektor dinaikkan ke ketinggian yang lebih besar/tinggi di atmosfer, laju penghitungan meningkat ke nilai yang lebih tinggi dengan faktor sekitar 12 pada ketinggian 9000 m di atas tanah. Fakta ini membuktikan adanya jenis radiasi lain yang memasuki atmosfer dari luar, yang disebut radiasi kosmik. Dengan adanya interaksi dengan molekul gas di atmosfer, radiasi kosmik menghasilkan beragam partikel elementer (proton, neutron, foton, elektron, positron, meson) dan atom radioaktif.

#### 4. Teori Relativitas Einstein

Teori relativitas khusus menjelaskan bagaimana ruang dan waktu dihubungkan untuk objek yang bergerak dengan kecepatan yang konsisten dalam garis lurus. Salah satu aspek yang paling terkenal adalah benda yang bergerak dengan kecepatan cahaya. Sederhananya, ketika sebuah benda mendekati kecepatan cahaya, massanya menjadi tak terbatas dan tidak dapat bergerak lebih cepat dari perjalanan cahaya. Batas kecepatan kosmik ini telah menjadi bahan diskusi dalam fisika, dan bahkan dalam fiksi ilmiah, ketika orang berpikir tentang bagaimana melakukan perjalanan melintasi jarak yang sangat jauh.



Pada tahun 1905 telah ditemukan teori relativitas dari Albert Einstein. Penemuan teori relativitas tersebut merupakan penemuan yang sangat penting dalam pengembangan ilmu pengetahuan tentang nuklir. Einstein menunjukkan adanya ekuivalensi antara massa  $m$  dan energi, yang dinyatakan pada persamaan:

$$E = m \cdot c^2$$

dimana:  $c$  = kecepatan cahaya ( $3 \times 10^{10}$  cm/det)

Persamaan di atas menunjukkan bahwa satu satuan massa atom ( $1 \text{ sma} = 1,66 \times 10^{-24}$  gram) sama dengan 931 Mev (Million elektron volt) dan satu massa diam elektron 0,51 Mev).

Sumber :  
<https://pixabay.com/id/images/search/einstein/>

Gambar 1.8  
 Albert Einstein

Teori relativitas khusus dikembangkan oleh Albert Einstein pada tahun 1905, dan merupakan dasar dari fisika modern. Setelah menyelesaikan karyanya dalam relativitas khusus, Einstein menghabiskan satu dekade merenungkan apa yang akan terjadi jika

seseorang memperkenalkan percepatan. Ini membentuk dasar dari relativitas umumnya, yang diterbitkan pada tahun 1915. Penjelasan sederhana tentang teori relativitas dikemukakan pada link <https://www.youtube.com/watch?v=yuD34tEpRFw> dan penjelasan tentang hubungan energi, massa, dan kecepatan cahaya dikemukakan pada link <https://www.youtube.com/watch?v=Xo232kyTsO0>.

Salah satu persamaan paling terkenal dalam matematika berasal dari relativitas khusus. Persamaan  $E = m \cdot c^2$  menunjukkan bahwa "energi sama dengan massa kali kecepatan cahaya dikuadratkan." Hal ini menunjukkan bahwa energi (E) dan massa (m) dapat dipertukarkan. Jika massa diubah menjadi energi, itu juga menunjukkan berapa banyak energi yang akan berada di dalam massa itu (persamaan ini dapat menunjukkan alasan mengapa bom atom begitu kuat ledakannya, begitu massanya diubah menjadi ledakan). Persamaan ini juga menunjukkan bahwa massa meningkat dengan kecepatan yang secara efektif menempatkan batas kecepatan pada seberapa cepat benda dapat bergerak di alam semesta. Secara sederhana dapat dikemukakan bahwa kecepatan cahaya (c) merupakan kecepatan yang paling tinggi di mana suatu benda dapat berjalan dalam ruang hampa. Saat suatu benda bergerak, massanya juga bertambah dan pada saat mendekati kecepatan cahaya. Massa begitu tinggi sehingga mencapai tak terhingga dan akan membutuhkan energi tak terbatas untuk memindahkannya, sehingga dapat membatasi seberapa cepat suatu objek dapat bergerak. Satu-satunya alasan cahaya bergerak dengan kecepatan yang dilakukannya adalah karena foton, partikel kuantum yang membentuk cahaya memiliki massa nol.

## **B. PERIODE KEDUA PERKEMBANGAN PENGETAHUAN ZAT RADIOAKTIF**

Periode kedua perkembangan pengetahuan zat radioaktif berlangsung dari tahun 1914 sampai saat ini. Pada saat perang dunia berkobar hampir tidak ada penelitian-penelitian yang dilaporkan. Pada tahun 1919 Ernest Rutherford melaporkan transformasi nitrogen oleh sinar alfa. Transformasi buatan yang pertama ini dilakukan dengan menggunakan peralatan yang sangat sederhana. Rutherford melanjutkan penelitiannya dengan menggunakan sasaran yang terbuat dari boron, fluor, natrium, aluminium, dan fosfor. Eksperimen foil emas terkenal Ernest Rutherford melibatkan hamburan partikel alfa saat mereka melewati foil emas tipis dikemukakan pada link <https://www.youtube.com/watch?v=XBqHkraf8iE> sedangkan penjelasan tentang penemuan inti pada percobaan Rutherford dapat disaksikan pada link youtube <https://www.youtube.com/watch?v=dNp-vP17asI>. Selanjutnya, Kirsch dan Petterson melakukan transformasi pada barium, magnesium, dan silikon. Pada tahun 1919, Aston yang bekerja bersama Thomson telah mengembangkan spektrograf massa yang pertama, sedangkan Dempster di Amerika Serikat telah mengembangkan spectrometer massa.

Pada akhir tahun 1920, Aston mempelajari 19 unsur dan diperoleh hasil bahwa sembilan di antara unsur-unsur tersebut terdiri atas dua atau lebih isotop, yaitu atom-atom dengan muatan inti yang sama tetapi massa intinya berbeda. Berdasarkan hasil penelitiannya, Aston mengemukakan bahwa kegunaan spektrograf massa yang terpenting adalah untuk mengidentifikasi isotop-isotop dan menentukan dengan tepat massa dari isotop-isotop tersebut. Aston telah memberikan inspirasi kepada Rutherford untuk mempostulatkan adanya neutron. Keberadaan neutron tersebut baru mendapat kepastian berdasarkan hasil eksperimen 12 tahun kemudian.

Aston dengan menggunakan spektrograf massa dengan resolusi tinggi mengemukakan bahwa hampir semua unsur yang terdapat di alam terdiri atas beberapa isotop dan massa atom tidak merupakan bilangan bulat. Penemuan terakhir ini bersama dengan persamaan Einstein  $E = m \cdot c^2$  memberikan pengertian tentang energi ikatan nuklir dan energi yang tersedia dari sumber-sumber nuklir.

Partikel-partikel alfa yang berasal dari alam selalu memiliki energi di bawah 10 Mev, penelitian tentang transmutasi terbatas pada unsur-unsur ringan dan hanya partikel alfa yang dapat digunakan sebagai penembak. Hal inilah yang menyebabkan pada tahun 1930-an banyak dilakukan penelitian, sehingga diperoleh empat pemercepat, yaitu generator van de Graaf, pemercepat ion positif yang dikonstruksi oleh Cockroft dan Walton pada tahun 1932, pemercepat linier, dan siklontron.

Pada tahun 1932 ditemukan neutron oleh Sir James Chadwick, seorang ahli fisika Inggris. Sampai tahun 1932, para ahli menyakini bahwa atom terdiri dari inti bermuatan positif yang dikelilingi oleh elektron bermuatan negatif sehingga atom bermuatan netral. Sebagian besar atom merupakan ruang kosong, dengan massa terkonsentrasi pada inti atom yang kecil. Inti atom diprediksi mengandung proton dan elektron karena proton (atau dikenal sebagai ion hidrogen,  $H^+$ ) merupakan inti atom yang paling ringan yang diketahui dan karena elektron dipancarkan oleh inti atom pada proses peluruhan beta. Selain partikel beta, inti atom zat radioaktif tertentu dapat memancarkan partikel alfa bermuatan positif dan radiasi sinar gamma yang bermuatan netral. Simbol untuk emisi ini adalah  $\beta^-$  atau  ${}_{-1}e^0$ ,  $\alpha$  atau  ${}^4_2He^{2+}$ , dan  ${}^0_0\gamma$ .



Sumber:

[https://chem.libretexts.org/Ancillary\\_Materials/Exemplars\\_and\\_Case\\_Studies/Case\\_Studies/Nuclear\\_Energy\\_for\\_Today's\\_World/02\\_Discovery\\_of\\_the\\_Neutron\\_\(1932\)](https://chem.libretexts.org/Ancillary_Materials/Exemplars_and_Case_Studies/Case_Studies/Nuclear_Energy_for_Today's_World/02_Discovery_of_the_Neutron_(1932))

Gambar 1.9  
James Chadwick. (kiri) dan Lord Rutherford di Cambridge (kanan)

Dua belas tahun sebelumnya, Lord Ernest Rutherford telah mendalilkan tentang keberadaan partikel netral, dengan perkiraan massa proton, yang dapat dihasilkan dari penangkapan elektron oleh proton. Kesimpulan sementara ini menstimulasi pencarian partikel tersebut, namun muatan netralnya yang mempersulit pencarian karena hampir semua teknik eksperimental periode ini mengukur partikel bermuatan.

Pada 1928, seorang fisikawan Jerman Walter Bothe dan mahasiswanya Herbert Becker mengambil langkah awal dalam proses pencarian partikel tersebut. Mereka membombardir Berilium dengan partikel alfa yang dipancarkan dari Polonium dan menemukan bahwa proses tersebut mengeluarkan radiasi yang bermuatan netral yang ditafsirkan sebagai foton gamma berenergi tinggi.



*Sumber:*

[https://chem.libretexts.org/Ancillary\\_Materials/Exemplars\\_and\\_Case\\_Studies/Case\\_Studies/Nuclear\\_Energy\\_for\\_Today's\\_World/02.\\_Discovery\\_of\\_the\\_Neutron\\_\(1932\)](https://chem.libretexts.org/Ancillary_Materials/Exemplars_and_Case_Studies/Case_Studies/Nuclear_Energy_for_Today's_World/02._Discovery_of_the_Neutron_(1932))

Gambar 1.10  
Irene dan Frederic Joliot-Curie

Pada tahun 1932, Irene Joliot-Curie yang merupakan salah satu anak perempuan Madame Curie bersama suaminya Frederic Joliot-Curie memutuskan untuk menggunakan sumber alfa Polonium yang kuat untuk menyelidiki lebih lanjut tentang radiasi penetrasi Bothe. Mereka menemukan bahwa radiasi ini mengeluarkan proton dari target parafin. Penemuan ini luar biasa karena foton tidak memiliki massa. Namun, mereka menafsirkan adanya aksi foton pada atom hidrogen dalam parafin. Mereka menggunakan analogi Efek Compton, di mana foton menabrak elektron dan mengeluarkannya dari permukaan logam. Masalahnya adalah bahwa elektron 1,836 kali lebih ringan dari proton, oleh karena itu lebih mudah mundur daripada proton yang lebih berat setelah bertabrakan dengan foton  $\gamma$ . Berdasarkan temuan tersebut, kita mengetahui bahwa foton gamma tidak memiliki energi yang cukup untuk mengeluarkan proton dari paraffin.

Pada tahun 1933 dalam pertemuan Royal Society, Rutherford mengatakan bahwa "setiap pembicaraan tentang energi atom" adalah "minuman keras". Pernyataan Rutherford menginspirasi Leo Szilard untuk merancang prinsip reaksi berantai nuklir, yang secara eksperimen ditemukan oleh Otto Hahn pada tahun 1938. Reaksi fisi berantai dari Uranium menyebabkan dihasilkannya pembangkit listrik tenaga nuklir dan senjata nuklir juga. Namun, di masa depan produksi energi atom yang murah dan aman dapat memainkan peran penting dalam memasok energi.



## Latihan

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

- 1) Sebutkan berbagai temuan yang menandai periode pertama perkembangan pengetahuan zat radioaktif! Berikan penjelasan untuk masing-masing temuan tersebut!.
- 2) Jelaskan proses penemuan elektron berdasarkan percobaan yang dilakukan oleh J.J. Thomson dan Millikan!.
- 3) Bagaimana Becquerel, Piere Curie, dan Marie Curie menemukan unsur dengan sifat radioaktivitas. Berikan penjelasan singkat!
- 4) Jelaskan perbedaan sinar-x yang ditemukan oleh Wilhelm Rontgent dengan sinar radioaktif yang ditemukan Becquerel!
- 5) Bagaimana Ernest Rutherford menemukan partikel alfa, beta, dan gamma?
- 6) Jelaskan dasar pemikiran Rutherford sehingga dapat mempostulatkan tentang keberadaan neutron!
- 7) Jelaskan penemuan neutron berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukan oleh Chadwick!.

### *Petunjuk Jawaban Latihan*

- 1) Temuan-temuan yang menandai periode pertama pengetahuan zat radioaktif, adalah:
  - a) penemuan elektron yang melibatkan eksperimen J. J. Thomson dan Millikan;
  - b) penemuan sinar-x yang melibatkan percobaan Willem Rontgen;
  - c) penemuan radioaktivitas yang melibatkan Henri Becquerel, Piere Curie, dan Marie Curie;
  - d) penemuan teori relativitas Einstein yang membahas tentang hubungan energi dengan massa dan kecepatan cahaya.
- 2) Penemuan elektron dapat dijelaskan berdasarkan eksperimen yang dilakukan oleh J. J. Thomson dan Millikan.
- 3) Becquerel membuktikan bahwa uranium memancarkan radiasi tanpa sumber energi eksternal seperti matahari dengan demikian Becquerel telah menemukan radioaktivitas. Radiasi Becquerel dapat diterangkan dengan baik setelah setelah Marie dan Piere Curie melakukan penelitian lanjutan terhadap atom uranium.
- 4) Sinar-X adalah netral dan tidak dapat dibelokkan dalam medan magnet, sedangkan zat radioaktif dapat dibelokkan oleh medan magnet.
- 5) Partikel alfa membawa lebih banyak muatan listrik, lebih besar, dan bergerak lambat dibandingkan dengan partikel beta dan gamma, mereka berinteraksi lebih

mudah dengan materi. Partikel beta jauh lebih kecil dan bergerak lebih cepat, tetapi masih bermuatan listrik. Sinar gamma tidak membawa muatan listrik, mereka dapat menembus jarak besar melalui material sebelum berinteraksi - beberapa sentimeter timah atau satu meter beton diperlukan untuk menghentikan sebagian besar sinar gamma.

- 6) Hasil eksperimen Aston tentang keberadaan isotop-isotop yang memberikan inspirasi kepada Rutherford untuk mempostulatkan adanya neutron.
- 7) Hasil eksperimen James Chadwick menunjukkan bahwa inti radioaktif tertentu memancarkan partikel alfa bermuatan positif dan radiasi gamma netral.



## Rangkuman

Perkembangan pengetahuan tentang zat radioaktif dan sifat-sifat radioaktif dapat dibagi dalam dua periode. **Periode pertama** meliputi periode dari awal penemuan radioaktivitas sampai perang dunia pertama. Dalam periode waktu ini diperoleh berbagai temuan tentang konsep-konsep awal tentang struktur atom dan model atom. Temuan-temuan yang dihasilkan pada periode ini, adalah . Penemuan Elektron, Penemuan sinar-x, Penemuan radioaktivitas, dan Teori Relativitas Einstein. Pembahasan tentang radiasi cahaya diawali dari penemuan sinar-X oleh Wilhelm Rontgen yang pada awalnya digunakan dalam dunia kedokteran. Radioaktivitas ditemukan pada tahun 1896 di Paris oleh Henri Becquerel, yang menyelidiki radiasi yang dipancarkan oleh mineral uranium. Hasil percobaannya membuktikan bahwa uranium memancarkan radiasi tanpa sumber energi eksternal seperti matahari dengan demikian Becquerel telah menemukan radioaktivitas. Dua tahun kemudian sifat serupa ditemukan untuk Thorium oleh Marie Curie di Perancis dan oleh G. C. Schmidt di Jerman. Bersama suaminya, Pierre Curie, ia menemukan polonium pada tahun 1898, dan radium kemudian pada tahun yang sama. Butuh empat tahun lagi pemrosesan ton bijih untuk mengisolasi cukup setiap elemen untuk menentukan sifat kimianya. **Periode kedua** adalah periode waktu antara perang dunia pertama sampai saat ini terutama menjelang perang dunia kedua. Pada periode kedua, pengetahuan tentang struktur atom telah cukup berkembang dan diperoleh berbagai temuan terkait sifat-sifat inti atom. Ernest Rutherford, yang melakukan banyak percobaan mempelajari sifat peluruhan radioaktif, menamai partikel alfa, beta, dan gamma ini, dan mengklasifikasikannya berdasarkan kemampuannya untuk menembus materi. Pernyataan Rutherford menginspirasi Leo Szilard untuk merancang prinsip reaksi berantai nuklir, yang secara eksperimen ditemukan oleh Otto Hahn pada tahun 1938. Reaksi berantai fisi uranium menyebabkan produksi pembangkit listrik tenaga nuklir, dan, sayangnya, senjata nuklir juga.

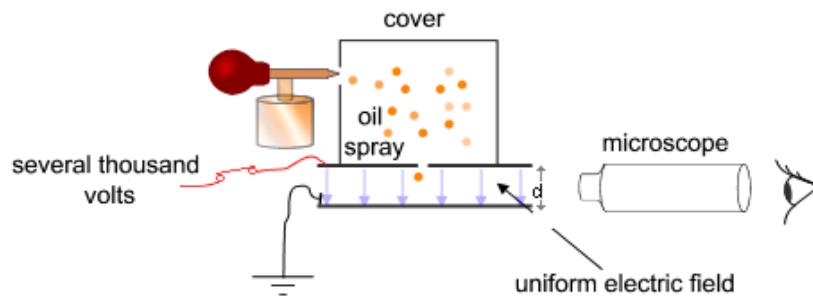


## Tes Formatif 1

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Eksperimen yang dapat memperlihatkan bahwa jika tekanan gas tersebut sangat rendah (sekitar 0,1 mmHg) dari katoda akan terpancar seberkas sinar, yang disebut sebagai sinar katoda. Eksperimen tersebut dilakukan oleh ....
  - A. J. J. Thomson
  - B. Millikan
  - C. William Crookes
  - D. Ernest Rutherford

- 2) Skema peralatan di bawah ini merupakan skema peralatan yang digunakan oleh ....



- A. J. J. Thomson
  - B. Millikan
  - C. William Crookes
  - D. Ernest Rutherford
- 3) Fakta yang ditemukan oleh J. J. Thomson berdasarkan eksperimennya yang menjadi dasar ditemukannya elektron adalah ....
    - A. sinar katoda bermuatan negatif
    - B. sinar katoda bermuatan listrik
    - C. sinar dengan daya tembus yang besar
    - D. perlucutan muatan listrik
  - 4) Sinar-x merupakan sinar yang memiliki daya tembus yang besar memiliki panjang gelombang pada rentang ....
    - A.  $10^{-12} - 10^{-14}$
    - B.  $10^{-14} - 10^{-16}$

- C.  $10^{-7} - 10^{-9}$   
D.  $10^{-9} - 10^{-11}$
- 5) Becquerel menemukan sifat radioaktif setelah melakukan pengamatan terhadap garam yang mengandung unsur ....  
A. plutonium  
B. radium  
C. uranium  
D. thorium
- 6) Marie Curie dan Piere Curie memperoleh hadiah nobel untuk bidang kimia setelah menemukan unsur-unsur ....  
A. radium dan polonium  
B. thorium dan polonium  
C. uranium dan thorium  
D. radium dan uranium
- 7) Temuan teori relativitas oleh Albert Einstein merupakan temuan yang sangat penting dalam pengembangan ilmu pengetahuan tentang nuklir, temuan tersebut menunjukkan bahwa ....  
A. uranium bersifat radioaktif  
B. adanya ekivalensi antara massa dan energi  
C. massa benda bersifat relatif  
D. radiasi zat radioaktif memiliki energi yang besar
- 8) Pada tahun 1919 Ernest Rutherford melaporkan proses transformasi buatan yang pertama, yaitu ....  
A. transformasi nitrogen oleh sinar alfa  
B. transformasi boron oleh sinar alfa  
C. transformasi fluor oleh sinar alfa  
D. transformasi natrium oleh sinar alfa
- 9) Pengamatan spektrograf massa terhadap unsur-unsur mendapatkan adanya isotop dari unsur-unsur tersebut, spektrograf massa pada awalnya dikembangkan oleh ....  
A. Dempster  
B. Aston  
C. Rutherford  
D. J J Thomson

- 10) Ilmuwan yang menemukan neutron pada inti atom sebagai partikel yang tak bermuatan listrik, adalah ....
- A. Chadwick
  - B. Cavendish
  - C. Rutherford
  - D. Einstein

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



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.

# Partikel-partikel Dasar Penyusun Atom

**P**enemuan partikel-partikel dasar seperti elektron, proton, dan neutron memberikan kontribusi yang besar dalam menjelaskan karakteristik suatu atom. Pada dasarnya perbedaan sifat antara atom disebabkan perbedaan struktur dari atom tersebut yang ditandai dengan adanya perbedaan jumlah elektron, proton, dan neutron. Secara ringkas keberadaan ketiga partikel dasar tersebut memberikan kemudahan dalam menjelaskan pengertian berbagai teori dalam ilmu kimia terutama yang melibatkan sifat atom.

Penemuan-penemuan mutakhir menunjukkan bahwa jumlah partikel yang telah ditemukan sudah cukup banyak. Dikarenakan banyaknya partikel yang telah ditemukan menimbulkan dugaan bahwa partikel dasar memiliki struktur dalam atau beberapa partikel merupakan keadaan tereksitasi dari partikel-partikel tertentu. Ada juga hasil eksperimen yang mengemukakan bahwa distribusi muatan dalam proton tidak seragam. Dengan tidak mengesampingkan berbagai temuan dan pendapat di atas, dalam kajian ini kita menganggap bahwa ketiga partikel dasar proton, elektron, dan neutron sungguh-sungguh merupakan partikel dasar. Walaupun telah banyak ditemukan partikel-partikel dasar, tetapi untuk menjelaskan struktur atom dan sifat-sifat inti hanya diperlukan pengertian dari sejumlah kecil partikel-partikel ini. Adapun sifat-sifat partikel yang penting adalah muatan, massa, dan spin.

## A. ELEKTRON

Elektron merupakan partikel penyusun atom yang pertama ditemukan dan partikel tersebut merupakan partikel yang terpenting. Elektron merupakan partikel pembentuk sinar katoda dalam tabung sinar katoda dan elektron merupakan partikel beta ( $\beta$ ) pada proses peluruhan radioaktif. J. J. Thomson yang pertama kali menunjukkan bahwa atom terdiri dari gabungan partikel-partikel yang bermuatan. Sebelumnya penemuan J. J. Thomson, orang meyakini bahwa atom merupakan partikel dasar pembangun suatu materi. Bukti pertama yang bertentangan dengan pendapat tersebut ketika orang sudah mulai mempelajari sifat-sifat atom dalam medan listrik yang besar. Jika suatu sampel gas dimasukkan dalam daerah di antara dua lempeng bermuatan dan aliran arus dapat diamati, hal ini menunjukkan bahwa atom telah dipecah menjadi bagian-bagian yang bermuatan. Sumber partikel bermuatan ini adalah katoda yang

dipanaskan yang mengakibatkan sampel atom-atom terionisasi yang dikenal sebagai sinar katoda.

Pada tahun 1897, Thomson dapat membuktikan bahwa sinar katoda yang dihasilkan dari katoda sebenarnya adalah aliran partikel bermuatan negatif yang disebut elektron. Dengan demikian, menggunakan peralatan eksperimennya, Thomson dapat menentukan rasio muatan terhadap massa elektron ( $e/m$ ) sebesar  $1,7588196 \cdot 10^{11} \text{ Ckg}^{-1}$ . Skematik peralatan eksperimen yang telah dilakukan oleh J. J. Thomson telah dikemukakan pada Gambar 1 (dalam kegiatan Belajar 1 modul 1).

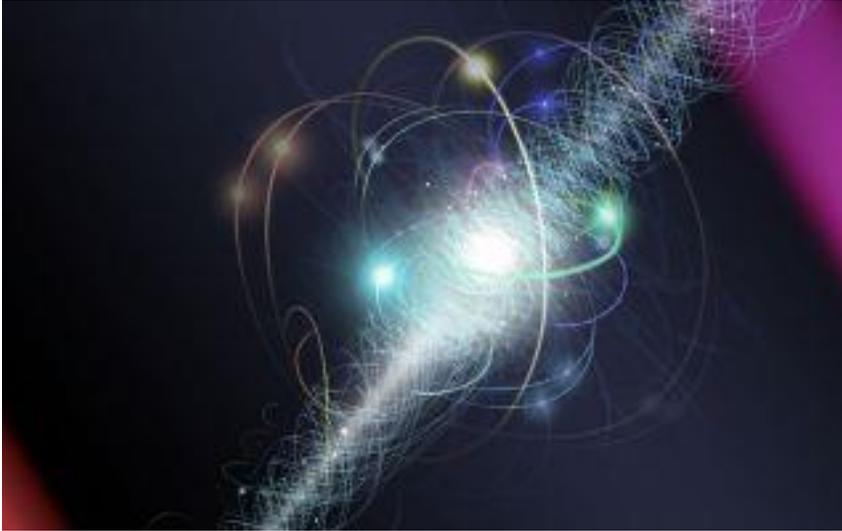
Pada tahun 1906, Robert Millikan mampu menentukan besarnya muatan pada elektron dalam percobaan "oil drop"-nya. Skema eksperimennya ditampilkan pada Gambar 2 (dalam kegiatan Belajar 1 modul 1). Kemudian menggunakan nilai  $e/m$  dari Thomson maka Millikan dapat menghitung nilai  $m$ . Dalam eksperimennya, Millikan menggunakan semprotan halus tetesan minyak terionisasi, yang dipengaruhi dengan gravitasi tetapi juga menggunakan medan listrik ke arah berlawanan gravitasi, mis. ke atas. Dengan mengatur kekuatan medan listrik, gaya akibat tarikan gravitasi dan gaya medan listrik diseimbangkan, sehingga tetesan tetap menggantung dalam wadah. Jadi, jika setetes memiliki muatan positif  $q$  dan massa  $m$  memiliki keseimbangan gaya sebesar  $M \cdot g = q \cdot E$  dimana  $E$  merupakan besarnya medan listrik.

Memecahkan untuk rasio muatan terhadap massa diperoleh persamaan  $q/M = g/E$ . Untuk menentukan massa, tetesan dibiarkan jatuh di medan gravitasi tanpa pengaruh medan listrik. Dalam hal ini, masih ada dua kekuatan yang bekerja pada tetesan. Satu adalah gaya gravitasi dan yang lainnya adalah gaya gesekan karena hambatan udara. Karena gaya ini sebanding dengan kecepatan, maka akan lenyap ketika tetesannya diam, itulah sebabnya ia tidak perlu diperhitungkan saat medan listrik bekerja. Namun, ketika tetesan dibiarkan jatuh, gaya totalnya adalah  $F = Mg - \gamma v$ , karena gesekan menentang gaya gravitasi. Berdasarkan hasil percobaan diperoleh data  $e$  dan  $m$  sebesar:

$$e = 1,6021773 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$m = 9,109390 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

Beberapa penelitian terbaru yang membahas elektron telah dilakukan oleh beberapa peneliti dan dapat menjadikan tambahan wawasan mahasiswa terkait perkembangan terkini tentang partikel elektron. Eksperimen terbaru mendeskripsikan sifat terinci dari elektron menggunakan laser untuk mengungkap bukti partikel yang mengelilingi partikel lainnya. Dengan memberikan cahaya terhadap molekul, para ilmuwan dapat menafsirkan bagaimana partikel subatomik lainnya mengubah distribusi muatan elektron. Bulatan simetris elektron menunjukkan bahwa partikel yang tidak terlihat tidak cukup besar untuk memiringkan elektron menjadi bentuk lonjong, atau oval. Temuan ini sekali lagi mengkonfirmasi teori fisika lama yang dikenal sebagai Model Standar yang menggambarkan bagaimana partikel dan kekuatan di alam semesta berperilaku.



Sumber: <https://www.space.com/42187-subatomic-particle-size-limit.html>

Gambar 1.11

Sebuah Elektron Bergerak di antara Dua Laser Selama Percobaan. Elektron Berputar pada Sumbunya, karena Awan Partikel Subatomik Lainnya Terus-menerus Dipancarkan dan Diserap Kembali

Karena partikel subatomik belum dapat diamati secara langsung, para ilmuwan belajar tentang benda-benda melalui bukti tidak langsung. Dengan mengamati apa yang terjadi dalam ruang hampa di sekitar elektron bermuatan negatif - diperkirakan dipenuhi dengan awan partikel yang belum terlihat - peneliti dapat membuat model perilaku partikel, kata DeMille. Model Standar menggambarkan sebagian besar interaksi antara semua blok bangunan materi, serta gaya yang bekerja pada partikel-partikel itu. Selama beberapa dekade, teori ini telah berhasil memprediksi bagaimana materi berperilaku. Ada beberapa pengecualian yang mengganggu keberhasilan model tersebut. Model Standar tidak menjelaskan materi gelap, zat misterius dan tak terlihat yang memberikan gaya gravitasi, namun tidak memancarkan cahaya. Model tersebut tidak memperhitungkan gravitasi di samping kekuatan fundamental lain yang mempengaruhi materi, menurut Organisasi Eropa untuk Riset Nuklir (CERN).

Teori fisika alternatif menawarkan jawaban ketika Model Standar gagal. Model Standar memprediksi bahwa partikel di sekitar elektron memang memengaruhi bentuk elektron, tetapi pada skala yang sangat kecil sehingga tidak terdeteksi dengan menggunakan teknologi yang ada. Tetapi teori-teori lain mengisyaratkan bahwa ada partikel-partikel berat yang belum ditemukan. Sebagai contoh, Model Standar Supersymmetric menyatakan bahwa setiap partikel dalam Model Standar memiliki mitra antimateri. Partikel-partikel kelas berat hipotetis itu akan merusak elektron hingga tingkat yang seharusnya bisa diamati oleh para peneliti. Pembahasan ini dapat Anda pelajari lebih lanjut pada link <https://www.space.com/42187-subatomic-particle-size-limit.html>.

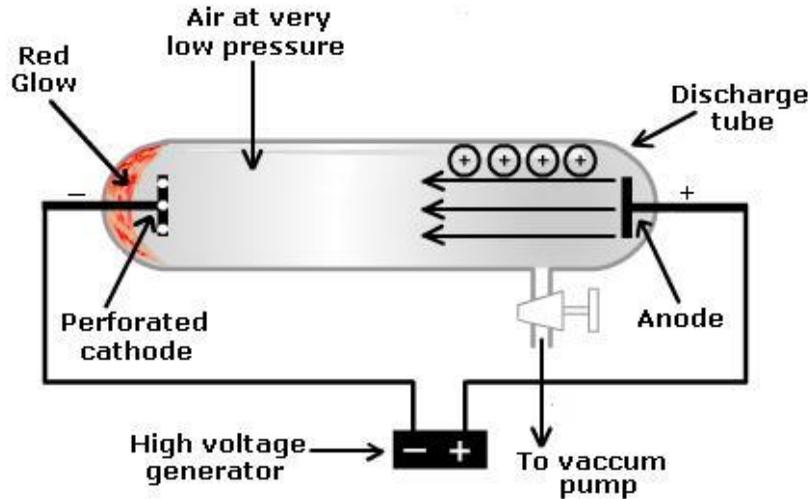
## B. PROTON

Proton merupakan partikel subatomik yang stabil dengan muatan positif sama besarnya dengan satuan muatan elektron. Proton memiliki massa diam  $1,67262 \times 10^{-27}$  kg, sehingga memiliki massa diam sebesar 1.836 kali massa diam elektron. Proton, bersama dengan partikel netral yang disebut neutron, membentuk semua inti atom kecuali untuk inti hidrogen (yang terdiri dari satu proton). Setiap nukleus unsur kimia tertentu memiliki jumlah proton yang sama. Angka ini mendefinisikan nomor atom suatu unsur dan menentukan posisi unsur tersebut dalam tabel periodik. Ketika jumlah proton dalam inti atom sama dengan jumlah elektron yang mengorbit inti maka atom tersebut bermuatan netral.

Penemuan proton berasal dari investigasi awal struktur atom. Saat mempelajari aliran atom gas dan molekul gas terionisasi dari mana elektron telah dilucuti, Wien (1898) dan Thomson (1910) mengidentifikasi partikel positif yang memiliki massa sama dengan atom hidrogen. Rutherford (1919) menunjukkan bahwa Nitrogen di bawah penembakan partikel alfa mengeluarkan apa yang tampak sebagai inti hidrogen. Pada tahun 1920, Rutherford mengemukakan bahwa inti hidrogen sebagai partikel dasar dan dinamakan proton.

Studi fisika partikel energi tinggi pada akhir abad ke-20 menyempurnakan pemahaman struktural sifat proton dalam kelompok partikel subatomik. Proton dan neutron telah terbukti terdiri dari partikel yang lebih kecil dan diklasifikasikan sebagai baryon - partikel yang terdiri dari tiga unit unsur yang dikenal sebagai quark. Proton dari hidrogen terionisasi diberikan kecepatan tinggi dalam akselerator partikel dan umumnya digunakan sebagai proyektil untuk menghasilkan dan mempelajari reaksi nuklir.

Penemuan proton diawali dari produksi sinar anoda, karena atom netral secara elektris, pasti akan ada partikel bermuatan positif yang ada dalam atom untuk menetralkan muatan negatif dari elektron. Goldstein secara eksperimental membuktikan tentang keberadaan proton dalam atom.



Sumber: <https://chem-guide.blogspot.com/2010/04/discovery-of-proton.html>

Gambar 1.12  
Produksi Sinar Anoda

Dalam penelitian ini digunakan tabung pelepasan memiliki lempeng katoda yang berlubang. Ketika tegangan tinggi sekitar 10.000 Volt digunakan pada tabung pelepasan yang memiliki katoda berlubang dan berisi udara pada tekanan sangat rendah sekitar 0,001 mm Hg, maka cahaya merah redup diamati di belakang lempeng katoda tersebut. Sinar-sinar ini terbentuk di anoda dan ketika sinar-sinar ini menabrak dinding tabung dapat menghasilkan cahaya merah redup. Karena cahaya terbentuk di anoda (elektroda positif) maka sinar tersebut dikenal sebagai sinar anoda atau sinar positif.

Sifat-sifat sinar anoda:

1. bergerak dalam garis lurus: Sinar tersebut membuyarkan bayangan benda yang ditempatkan pada jalannya;
2. menghasilkan efek mekanis: Roda dayung yang diletakkan di jalurnya mulai berputar;
3. sinar bermuatan positif: Sinar anoda dibelokkan ke arah pelat negatif medan listrik;
4. sifat sinar anoda tergantung pada gas yang diambil dalam tabung pembuangan.

Gas yang berbeda menghasilkan berbagai jenis sinar positif, yang mengandung partikel yang memiliki massa dan muatan berbeda. Oleh karena itu rasio  $e/m$  tidak konstan untuk partikel sinar positif yang diperoleh dari gas yang berbeda. Dalam kasus hidrogen, rasio  $e/m$  adalah yang tertinggi karena partikel positif yang diperoleh dari hidrogen adalah yang paling ringan. Partikel positif yang diperoleh dari gas hidrogen disebut 'proton'. Itu berasal dari kata Yunani 'Proteios' yang berarti 'yang paling penting'. Sinar positif terbentuk ketika tegangan listrik tinggi diterapkan pada gas, atom-atomnya pecah menjadi partikel bermuatan negatif (elektron) dan partikel bermuatan positif.

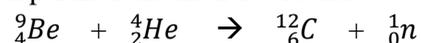
Partikel-partikel bermuatan positif ini dibentuk oleh pelepasan elektron dari atom gas yang disebut sinar positif.

### C. NEUTRON

Neutron merupakan partikel subatomik netral yang merupakan konstituen dari setiap inti atom kecuali hidrogen biasa. Neutron memiliki muatan listrik netral dengan massa diam sama dengan  $1,67493 \times 10^{-27}$ kg, sedikit lebih besar dibandingkan proton tetapi hampir 1,839 kali lebih besar dari elektron. Neutron dan proton, yang biasa disebut nukleon, terikat bersama dalam inti bagian dalam yang padat dari sebuah atom, yaitu inti atom, di mana kedua partikel tersebut menghasilkan 99,9 persen massa atom. Perkembangan fisika partikel berenergi tinggi pada abad ke-20 mengungkapkan bahwa baik neutron maupun proton bukanlah partikel dasar sejati; melainkan merupakan campuran/ gabungan dari partikel-partikel dasar yang sangat kecil yang disebut quark. Inti atom terikat bersama oleh efek residual dari gaya kuat, interaksi mendasar yang mengatur perilaku quark yang membentuk proton dan neutron individu.

Perkembangan spektrograf massa oleh Aston pada tahun 1919 membuktikan adanya isotop-isotop dari beberapa unsur, yaitu atom-atom dari suatu unsur dengan sifat-sifat kimia yang identik yaitu dengan jumlah elektron dan proton yang sama tetapi memiliki massa yang berbeda. Hal ini menyebabkan Rutherford mempostulatkan kemungkinan adanya partikel netral dengan massa yang sama dengan massa proton. Sifat partikel neutron ini tidak bermuatan sehingga tidak dapat menghasilkan ionisasi secara langsung, maka keberadaan partikel ini tidak dapat dibuktikan selama hampir satu dasawarsa.

Berdasarkan hasil eksperimennya, Bothe dan Becker (1930) mengemukakan bahwa pada penembakan unsur-unsur ringan, yaitu Berilium dengan partikel alfa yang berasal dari Polonium dihasilkan radiasi dengan daya tembus yang lebih besar dari pada radiasi gamma. Selanjutnya, Curie dan suaminya Joliot (1931) mengemukakan bahwa dengan menempatkan malam paraffin di antara sumber radiasi dengan sebuah detektor ionisasi, maka terlihat bahwa proton berenergi tinggi dilemparkan dari malam itu. Berdasarkan percobaan-percobaan yang telah dilakukan, Chadwick (1932) mengemukakan peristiwa dilepaskannya neutron dari Berilium karena penembakan dengan partikel alfa menurut reaksi:



(bilangan kiri atas menunjukkan bilangan massa dan bilangan kiri bawah menunjukkan nomor atom)

Dalam massa praneutron, inti dianggap terdiri atas proton dengan jumlah yang ditunjukkan oleh nomor atom ditambah dengan sejumlah elektron yang sama, untuk mencocokkan massa tanpa menambah muatan.

Neutron ditemukan pada tahun 1932 oleh fisikawan Inggris James Chadwick. Dalam beberapa tahun setelah penemuan ini, banyak peneliti di seluruh dunia mempelajari sifat dan interaksi partikel tersebut. Dari berbagai penelitian ditemukan bahwa pada berbagai unsur, ketika dibombardir oleh neutron, mengalami fisi — sejenis reaksi nuklir yang terjadi ketika inti dari unsur berat terbelah menjadi dua fragmen yang hampir sama kecil. Selama reaksi ini berlangsung setiap inti yang terbelah menghasilkan neutron bebas tambahan, serta yang terikat pada fragmen fisi. Pada tahun 1942, sekelompok peneliti Amerika, di bawah pimpinan fisikawan Enrico Fermi, menunjukkan bahwa cukup banyak neutron bebas yang dihasilkan selama proses fisi untuk mempertahankan reaksi berantai. Perkembangan ini mengarah pada pengembangan bom atom. Terobosan teknologi berikutnya menghasilkan produksi skala besar tenaga listrik dari energi nuklir. Penyerapan neutron oleh inti yang terpapar dengan intensitas neutron tinggi yang tersedia di reaktor nuklir juga memungkinkan untuk menghasilkan sejumlah besar isotop radioaktif yang berguna untuk berbagai keperluan. Selanjutnya, neutron telah menjadi alat penting dalam penelitian sains. Pengetahuan tentang sifat-sifat dan strukturnya sangat penting untuk memahami struktur materi secara umum.

Neutron bebas yang tidak dimasukkan ke dalam inti mengikuti peluruhan radioaktif dari jenis yang disebut peluruhan beta. Proses ini terurai menjadi proton, elektron, dan antineutrino (lawan anti materi neutrino, sebuah partikel tanpa muatan dan kecil atau tanpa massa); waktu paruh untuk proses peluruhan ini adalah 614 detik. Karena partikel neutron mudah hancur dengan cara ini, neutron tidak ada di alam dalam keadaan bebas kecuali di antara partikel-partikel yang sangat energik dalam sinar kosmik. Karena neutron bebas tidak bermuatan listrik, mereka melewati tanpa hambatan melalui medan listrik dalam atom dan karenanya membentuk radiasi yang dapat menembus, berinteraksi dengan materi hampir secara eksklusif melalui tabrakan yang relatif jarang dengan inti atom.

Neutron dan proton diklasifikasikan sebagai hadron, partikel subatomik yang tunduk pada gaya yang kuat. Hadron, telah terbukti memiliki struktur internal dalam bentuk quark, partikel subatom bermuatan fraksional yang dianggap sebagai salah satu komponen dasar materi. Seperti proton dan partikel baryon lainnya, neutron terdiri dari tiga quark; pada kenyataannya, neutron memiliki momen dipol magnetik yaitu berperilaku seperti magnet kecil dengan cara yang menunjukkan bahwa neutron merupakan entitas muatan listrik yang bergerak.

#### **D. POSITRON**

Positron biasa disebut elektron positif merupakan partikel subatomik bermuatan positif memiliki massa dan besaran muatan yang sama dengan elektron dan merupakan antipartikel dari elektron negatif. Antipartikel pertama yang terdeteksi, positron ditemukan oleh Carl David Anderson dalam studi kamar awan tentang komposisi sinar

kosmik pada tahun 1932. Penemuan positron memberikan penjelasan untuk aspek teoritis elektron yang diprediksi oleh P.A.M. Dirac. Persamaan gelombang Dirac (1928), yang memasukkan relativitas ke dalam deskripsi mekanika kuantum untuk keadaan energi elektron yang diijinkan, menghasilkan keadaan energi negatif. Pada tahun 1931 Dirac mempostulatkan bahwa keadaan ini dapat terkait dengan jenis partikel baru, antielektron.

Positron memiliki sifat stabil dalam ruang hampa dan positron cepat bereaksi dengan elektron-elektron materi biasa dengan penghancuran untuk menghasilkan radiasi gamma. Positron dipancarkan dalam peluruhan sinar beta positif dari inti radioaktif yang kaya proton (kurang-neutron) dan terbentuk dalam produksi berpasangan, di mana energi sinar gamma pada inti diubah menjadi pasangan elektron-positron. Mereka juga diproduksi dalam peluruhan partikel berumur pendek tertentu, seperti muon positif. Positron yang dipancarkan dari sumber radioaktif buatan digunakan dalam diagnosis medis dalam teknik yang dikenal sebagai positron emission tomography (PET).

## E. NEUTRINO

Neutrino merupakan partikel subatomik dasar tanpa muatan listrik memiliki massa sangat kecil dan  $\frac{1}{2}$  satuan spin. Neutrino milik keluarga partikel yang disebut lepton, yang tidak tunduk pada kekuatan yang kuat. Sebaliknya, neutrino tunduk pada kekuatan lemah yang mendasari proses peluruhan radioaktif tertentu. Ada tiga jenis neutrino, masing-masing terkait dengan lepton bermuatan, yaitu: elektron, muon, dan tau dan karenanya diberi nama yang sesuai elektron-neutrino, muon-neutrino, dan tau-neutrino. Setiap jenis neutrino juga memiliki komponen antimateri, yang disebut antineutrino; istilah neutrino kadang-kadang digunakan dalam pengertian umum untuk merujuk pada neutrino dan antipartikelnya.

Sifat dasar elektron-neutrino tanpa muatan listrik dan massa kecil yang diperkirakan pada tahun 1930 oleh fisikawan Austria Wolfgang Pauli untuk menjelaskan hilangnya energi yang tampak dalam proses peluruhan beta radioaktif. Fisikawan kelahiran Italia Fermi (1934) lebih jauh menguraikan teori peluruhan beta dan memberikan partikel "hantu" namanya. Elektron-neutrino dipancarkan bersama dengan positron dalam peluruhan beta positif, sedangkan elektron-antineutrino dipancarkan dengan elektron dalam peluruhan beta negatif.

Meskipun adanya berbagai prediksi tersebut, neutrino tidak terdeteksi secara eksperimental selama 20 tahun, karena kelemahan interaksinya dengan materi. Karena neutrino tidak bermuatan listrik, neutrino tidak mengalami gaya elektromagnetik dan karenanya tidak menyebabkan ionisasi materi. Lebih jauh, neutrino bereaksi dengan materi hanya melalui interaksi yang sangat lemah dari gaya yang lemah. Neutrino adalah partikel subatomik dengan daya tembus yang besar, yang mampu melewati sejumlah besar atom tanpa menyebabkan reaksi apa pun. Hanya 1 dari 10 miliar partikel

ini, yang melakukan perjalanan melalui materi dengan jarak yang sama dengan diameter Bumi, bereaksi dengan proton atau neutron. Akhirnya, pada tahun 1956 tim fisikawan Amerika yang dipimpin oleh Frederick Reines melaporkan penemuan electron-antineutrino. Dalam percobaannya, antineutrino yang dipancarkan dalam reaktor nuklir diizinkan bereaksi dengan proton untuk menghasilkan neutron dan positron. Tanda yang unik dan langka dari energi produk sampingan yang terakhir ini memberikan bukti keberadaan elektron-antineutrino.

Penemuan tipe kedua dari lepton bermuatan yang disebut muon menjadi titik awal untuk identifikasi jenis neutrino kedua yaitu muon-neutrino. Identifikasi muon-neutrino yang berbeda dari elektron-neutrino dilakukan pada tahun 1962 berdasarkan hasil dari percobaan akselerator partikel. Muon-neutrino berenergi tinggi diproduksi oleh peluruhan pi-meson dan diarahkan ke detektor sehingga reaksi mereka dengan materi dapat dipelajari. Meskipun partikel tersebut tidak reaktif seperti neutrino lainnya. Muon-neutrino yang ditemukan menghasilkan muon tetapi bukan elektron ketika partikel tersebut bereaksi dengan proton atau neutron. Fisikawan Amerika Leon Lederman, Melvin Schwartz, dan Jack Steinberger menerima Hadiah Nobel 1988 untuk Fisika karena telah menetapkan identitas muon-neutrino.

## F. MESON

Meson merupakan bagian dari partikel subatomik yang terdiri dari quark dan antiquark. Meson peka terhadap kekuatan yang besar memiliki interaksi mendasar yang mengikat komponen-komponen inti dengan mengatur perilaku quark dan bagian-bagiannya. Partikel meson diprediksi secara teoritis pada tahun 1935 oleh fisikawan Jepang Yukawa Hideki, keberadaan Meson dikonfirmasi pada tahun 1947 oleh tim yang dipimpin oleh fisikawan Inggris Cecil Frank Powell dengan penemuan pi-meson (pion) dalam interaksi partikel sinar kosmik. Lebih dari 200 meson telah diproduksi dan dikarakterisasi pada tahun-tahun berikutnya yang sebagian besar dikerjakan dalam eksperimen akselerator partikel berenergi tinggi. Semua meson tidak stabil, dengan masa hidup mulai dari  $10^{-8}$  detik hingga kurang dari  $10^{-22}$  detik. Mereka juga sangat bervariasi dalam massa, dari 140 megaelektron volt (MeV;  $10^6$  eV) hingga hampir 10 gigaelektron volt (GeV;  $10^9$  eV). Meson berfungsi sebagai alat yang berguna untuk mempelajari sifat dan interaksi quark.

Terlepas dari ketidakstabilannya, banyak meson bertahan cukup lama (beberapa milyar per detik) untuk diamati dengan detektor partikel, sehingga memungkinkan para peneliti untuk merekonstruksi gerakan quark. Model apa pun yang mencoba menjelaskan quark harus dapat menjelaskan perilaku meson. Salah satu keberhasilan awal dari Eightfold Way yang merupakan pelopor model quark modern yang dirancang oleh fisikawan Murray Gell-Mann dan Yuval Ne'eman untuk prediksi dan penemuan eta-meson berikutnya (1962). Beberapa tahun kemudian laju peluruhan pi-meson

menjadi dua foton digunakan untuk mendukung hipotesis bahwa quark dapat mengambil satu dari tiga "warna".

Meson juga menyediakan sarana untuk mengidentifikasi quark baru. Partikel  $J/\psi$ , ditemukan secara independen oleh tim yang dipimpin oleh fisikawan Amerika Samuel C.C. Ting dan Burton Richter pada tahun 1974, terbukti menjadi meson yang terbuat dari sebuah quark dan antiquark. (Hingga saat ini, tiga jenis quark telah dipostulatkan). Hal ini merupakan manifestasi pertama dari pesona, angka kuantum baru yang keberadaannya menyiratkan bahwa quark saling berhubungan berpasangan. Penemuan berikutnya dari meson berat lainnya, yang disebut  $\psi$ , mengungkapkan keberadaan quark bawah dan antiquark yang menyertainya dan menimbulkan spekulasi tentang keberadaan partikel pendamping, quark atas. Jenis quark keenam ini ditemukan pada tahun 1995 dengan bukti keberadaannya yang meyakinkan memuncak pada pencarian salah satu bagian terakhir yang hilang dalam model Standar fisika partikel, yang menggambarkan partikel fundamental dan interaksinya.

## G. LEPTON

Lepton merupakan anggota kelompok partikel subatomik yang hanya merespons gaya elektromagnetik, gaya lemah, dan gaya gravitasi dan tidak terpengaruh oleh gaya kuat. Lepton dikatakan partikel dasar karena tidak terdiri dari satuan materi yang lebih kecil. Lepton dapat membawa satu unit muatan listrik atau netral. Muatan lepton adalah elektron, muon, dan tau. Masing-masing jenis ini memiliki muatan negatif dan massa yang berbeda. Elektron merupakan lepton paling ringan, memiliki massa hanya  $1/1840$  dari proton. Muon lebih berat, memiliki massa lebih dari 200 kali lebih berat dibandingkan elektron. Tau, pada gilirannya, sekitar 3.700 kali lebih masif dibandingkan elektron. Setiap muatan lepton memiliki partner netral yang terkait atau neutrino (misalnya elektron, muon, dan tau-neutrino) yang tidak memiliki muatan listrik dan tidak memiliki massa yang signifikan. Terlebih lagi, semua lepton, termasuk neutrino, memiliki antipartikel yang disebut antilepton. Massa antilepton identik dengan massa lepton, tetapi semua sifat lainnya terbalik.

Ciri khas ketiga lepton, di samping muatan dan sifat massanya adalah momentum sudut internalnya atau spin. Lepton diklasifikasikan dalam kelompok partikel subatomik yang lebih besar yaitu fermion yang ditandai dengan nilai setengah bilangan bulat dari spinnya. Jumlah total lepton muncul kembali pada setiap reaksi partikel. Secara matematis, jumlah lepton total  $L$  adalah jumlah lepton dikurangi jumlah antilepton yang konstan.



## Latihan

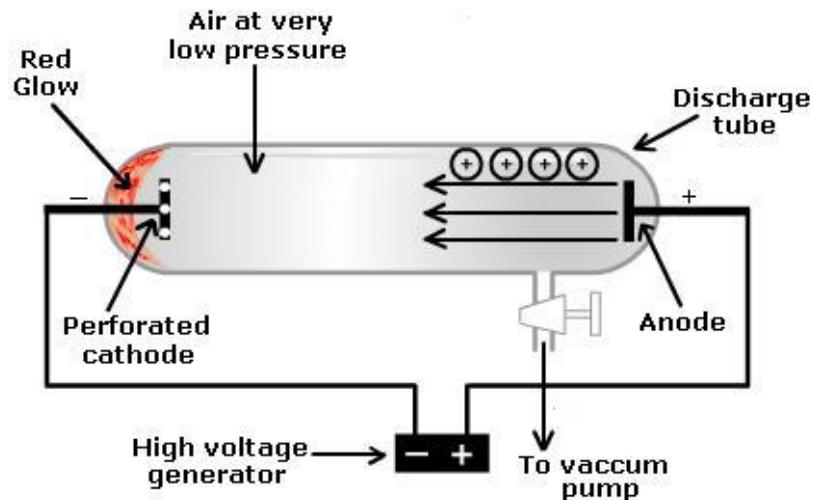
Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai materi di atas, kerjakanlah latihan berikut!

- 1) Sebutkan partikel-partikel dasar penyusun atom (minimal 3 partikel)! Berikan penjelasan singkat terkait sifat-sifat partikel-partikel dasar tersebut!
- 2) Jelaskan secara singkat penemuan elektron!
- 3) Jelaskan sifat-sifat partikel neutron dan jelaskan proses penemuan neutron tersebut!
- 4) Jelaskan perbedaan sifat-sifat antara partikel positron dengan neutrino!
- 5) Jelaskan perbedaan sifat-sifat antara partikel meson, dengan lepton!
- 6) Jelaskan secara singkat tentang penemuan proton!
- 7) Penemuan proton tidak bisa dilepaskan dari produksi sinar anoda. Gambarkan tabung yang menghasilkan sinar anoda dan sebutkan sifat-sifat sinar anoda!

### *Petunjuk Jawaban Latihan*

- 1) Partikel dasar penyusun atom adalah elektron, proton, dan neutron.  
**Elektron** bermuatan negatif dengan muatan sebesar  $1,6021773 \times 10^{-19}$  C dan massa  $9,109390 \times 10^{-31}$  kg. **Proton** merupakan partikel bermuatan positif dan massa diam  $1,67262 \times 10^{-27}$  kg. **Neutron** merupakan partikel dasar yang tidak bermuatan listrik dengan massa diam sama dengan  $1,67493 \times 10^{-27}$ kg.
- 2) Penemuan elektron:  
J. J. Thomson tentang sinar katoda yang merupakan partikel bermuatan negatif. Robert Millikan mampu menentukan nilai muatan pada elektron.  
Eksperimen baru menangkap pandangan terinci dari elektron menggunakan laser untuk mengungkap bukti partikel yang mengelilingi partikel.
- 3) Neutron merupakan partikel dasar yang tidak bermuatan listrik dan massa diam sama dengan  $1,67493 \times 10^{-27}$ kg, sedikit lebih besar dibandingkan proton tetapi hampir 1,839 kali lebih besar dari elektron.  
Perkembangan spektrograf massa oleh Aston membuktikan adanya isotop-isotop dari beberapa unsur.  
Rutherford mempostulatkan kemungkinan adanya partikel netral dengan massa yang sama dengan massa proton.  
Chadwick (1932) mengemukakan peristiwa dilepaskannya neutron dari Berilium karena penembakan dengan partikel alfa
- 4) Positron, juga disebut elektron positif, partikel subatomik bermuatan positif memiliki massa dan besaran muatan yang sama dengan elektron dan merupakan antipartikel dari elektron negatif, sedangkan Neutrino milik keluarga partikel yang disebut lepton, yang tidak tunduk pada kekuatan yang kuat.

- 5) Meson, setiap anggota keluarga partikel subatomik yang terdiri dari quark dan antiquark, sedangkan lepton merupakan anggota kelompok partikel subatomik yang merespons hanya gaya elektromagnetik, gaya lemah, dan gaya gravitasi dan tidak terpengaruh oleh gaya kuat.
- 6) Penemuan proton berasal dari investigasi awal struktur atom. Saat mempelajari aliran atom gas dan molekul gas terionisasi dari mana elektron telah dilucuti, Wien (1898) dan Thomson (1910) mengidentifikasi partikel positif yang memiliki massa sama dengan atom hidrogen. Rutherford (1919) menunjukkan bahwa Nitrogen di bawah penembakan partikel alfa mengeluarkan apa yang tampak sebagai inti hidrogen. Pada tahun 1920, Rutherford mengemukakan bahwa inti hidrogen sebagai partikel dasar dan dinamakan proton. Penemuan proton diawali dari produksi sinar anoda, karena atom netral secara elektris, pasti akan ada partikel bermuatan positif yang ada dalam atom untuk menetralkan muatan negatif dari elektron. Goldstein secara eksperimental membuktikan tentang keberadaan proton dalam atom.
- 7) Tabung penghasil sinar anoda



Sifat-sifat sinar anoda:

- a) Bergerak dalam garis lurus: Sinar tersebut membuyarkan bayangan benda yang ditempatkan pada jalannya.
- b) Menghasilkan efek mekanis: Roda dayung yang diletakkan di jalurnya mulai berputar.
- c) Sinar bermuatan positif: Sinar anoda dibelokkan ke arah pelat negatif medan listrik.
- d) Sifat sinar anoda tergantung pada gas yang diambil dalam tabung pembuangan.



## Rangkuman

Penemuan partikel-partikel dasar seperti elektron, proton, dan neutron memberikan kontribusi yang besar dalam menjelaskan karakteristik suatu atom. Pada dasarnya perbedaan sifat antara atom disebabkan perbedaan struktur dari atom tersebut yang ditandai dengan perbedaan jumlah elektron, proton, dan neutron. Secara ringkas keberadaan ketiga partikel dasar tersebut memberikan kemudahan dalam menjelaskan pengertian berbagai teori dalam ilmu kimia terutama yang melibatkan sifat atom. Penemuan-penemuan mutakhir menunjukkan bahwa jumlah partikel yang telah ditemukan sudah cukup banyak. Dikarenakan banyaknya partikel yang telah ditemukan menimbulkan dugaan bahwa partikel dasar memiliki struktur dalam atau beberapa partikel merupakan keadaan tereksitasi dari partikel-partikel tertentu. Ada juga hasil eksperimen yang mengemukakan bahwa distribusi muatan dalam proton tidak seragam. Partikel-partikel dasar lainnya yang telah ditemukan diantaranya: positron, neutrino, meson, lepton, dan lain-lain. Peta nuklida merupakan grafik dua dimensi di mana satu sumbu mewakili jumlah neutron dan yang lainnya mewakili jumlah proton dalam inti atom. Setiap titik yang diplot pada grafik dengan demikian mewakili nuklida dari unsur kimia nyata atau hipotetis. Sistem nuklida ini dapat memberikan gambaran tentang karakteristik isotop. Tolakan elektrostatik biasanya akan menyebabkan proton bermuatan positif saling tolak, tetapi inti atom tidak pecah karena kekuatan inti yang kuat, gaya tarik yang sangat kuat tetapi sangat pendek di antara nukleon. Semua inti stabil kecuali inti Hidrogen-1 ( $^1\text{H}$ ) mengandung setidaknya satu neutron untuk mengatasi tolakan elektrostatik di antara proton.



## Tes Formatif 2

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat!

- 1) Partikel penyusun atom yang pertama ditemukan dan partikel tersebut merupakan partikel yang terpenting adalah ....
  - A. proton
  - B. neutron
  - C. nukleon
  - D. elektron
- 2) Salah satu sifat dari partikel neutron, adalah ....
  - A. bermuatan positif
  - B. bermuatan negatif
  - C. tidak bermuatan
  - D. massanya yang sama dengan elektron

- 3) Elektron merupakan partikel pembentuk sinar katoda dalam tabung sinar katoda dan elektron merupakan ....
  - A. partikel alfa
  - B. partikel beta
  - C. partikel gamma
  - D. foton
  
- 4) Seorang ahli yang berhasil membuktikan bahwa sinar katoda yang dihasilkan dari katoda sebenarnya adalah aliran partikel bermuatan negatif adalah .....
  - A. J J Thomson
  - B. Rutherford
  - C. Albert Einstein
  - D. Henri Becquerel
  
- 5) Berikut ini dikemukakan sifat-sifat sinar anoda, *kecuali* .....
  - A. bergerak dalam garis lurus
  - B. bermuatan negatif
  - C. tergantung pada gas yang diambil
  - D. menghasilkan efek mekanis
  
- 6) Partikel subatomik netral yang merupakan konstituen dari setiap inti atom kecuali hidrogen biasa adalah ....
  - A. proton
  - B. neutron
  - C. nukleon
  - D. elektron
  
- 7) Gas yang berbeda menghasilkan berbagai jenis sinar positif yang mengandung partikel yang memiliki sifat ....
  - A. massa dan muatan yang sama
  - B. massa sama dan muatan yang berbeda
  - C. massa dan muatan yang berbeda
  - D. massa yang berbeda dan muatan yang sama
  
- 8) Partikel yang digunakan untuk menembak radioisotop Uranium-235 yang menghasilkan reaksi fisi adalah .....
  - A. proton
  - B. neutron
  - C. nukleon
  - D. elektron

- 9) Neutron merupakan partikel atom yang bermuatan netral, asal mula penemuan neutron adalah ....
- A. percobaan Aston
  - B. percobaan Rutherford
  - C. percobaan Millikan
  - D. percobaan J J Thomson
- 10) Partikel yang peka terhadap kekuatan yang kuat, interaksi mendasar yang mengikat komponen-komponen inti dengan mengatur perilaku quark konstituennya, adalah ....
- A. lepton
  - B. positron
  - C. neutron
  - D. meson

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



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 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

## Kunci Jawaban Tes Formatif

### *Tes Formatif 1*

- 1) D Ernest Rutherford
- 2) B Millikan
- 3) B Sinar katoda bermuatan listrik
- 4) A  $10^{-12} - 10^{-14}$
- 5) B Radium
- 6) B Thorium dan Polonium
- 7) C Massa benda bersifat relatif
- 8) B Transformasi Boron oleh sinar alfa
- 9) B Aston
- 10) A Chadwick

### *Tes Formatif 2*

- 1) B Neutron
- 2) C Tidak bermuatan
- 3) A Partikel alfa
- 4) C Albert Einstein
- 5) B Bermuatan negatif
- 6) A Proton
- 7) B Massa sama dan muatan yang berbeda
- 8) C Nukleon
- 9) A Percobaan Aston
- 10) D Meson

## Daftar Pustaka

Atkins, P., & Paula, J. d. (2006). *Physical chemistry* (edisi 8). New York: WH Freeman and Company.

Brown, T.L., LeMay, H. E., Bursten, B. E., Murphy, C. J., & Woodward, P. (2009). *Chemistry the central science* (edisi kesebelas). London: Pearson Prentice Hall.

Choppin, G. R., Liljenzin, J. O., & Rydberg, J. (2002). *Radiochemistry and nuclear chemistry* (edisi ketiga). Wildwood Avenue Woburn: Butterworth-Heinemann.

Konya, J., & Nagy, N. M. (2012). *Nuclear and radiochemistry* (edisi pertama). London: Elsevier Insight.

Lieser, K. H. (2001). *Nuclear and radiochemistry fundamentals and applications* (edisi kedua). Berlin: Willey-VCH.

### Sumber Internet:

<https://www.nyu.edu/classes/tuckerman/adv.chem/lectures/lecture3/nodel.html>

<https://courses.lumenlearning.com/introchem/chapter/millikans-oil-drop-experiment/>

[https://serc.carleton.edu/research\\_education/geochemsheets/techniques/SXD.html](https://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/SXD.html)

<https://www2.lbl.gov/abc/wallchart/chapters/03/6.html>

<https://www.mirion.com/learning-center/radiation-safety-basics/the-history-of-radiation>

[https://www.youtube.com/watch?v=13n6\\_meKsFI](https://www.youtube.com/watch?v=13n6_meKsFI)

<https://www.youtube.com/watch?v=azwesgfZ1b8>

<https://pixabay.com/id/images/search/einstein/>

<https://www.youtube.com/watch?v=yuD34tEpRFw>

<https://www.youtube.com/watch?v=Xo232kyTsO0>

<https://www.youtube.com/watch?v=XBqHkraf8iE>

<https://www.youtube.com/watch?v=dNp-vP17asI>

[https://chem.libretexts.org/Ancillary\\_Materials/Exemplars\\_and\\_Case\\_Studies/Case\\_Studies/Nuclear\\_Energy\\_for\\_Today's\\_World/02.\\_Discovery\\_of\\_the\\_Neutron\\_\(1932\)](https://chem.libretexts.org/Ancillary_Materials/Exemplars_and_Case_Studies/Case_Studies/Nuclear_Energy_for_Today's_World/02._Discovery_of_the_Neutron_(1932))

[https://chem.libretexts.org/AncillaryMaterials/Exemplars\\_and\\_Case\\_Studies/Case\\_Studies/Nuclear\\_Energy\\_for\\_Today's\\_World/02.\\_Discovery\\_of\\_the\\_Neutron\\_\(1932\)](https://chem.libretexts.org/AncillaryMaterials/Exemplars_and_Case_Studies/Case_Studies/Nuclear_Energy_for_Today's_World/02._Discovery_of_the_Neutron_(1932))

[https://www.nyu.edu/classes/tuckerman/adv.chem/lectures/lecture\\_3/node1.html](https://www.nyu.edu/classes/tuckerman/adv.chem/lectures/lecture_3/node1.html)

<https://www.space.com/42187-subatomic-particle-size-limit.html>

<https://www.britannica.com/science/proton-subatomic-particle>

<https://chem-guide.blogspot.com/2010/04/discovery-of-proton.html>

<https://www.britannica.com/science/neutron>

<https://www.britannica.com/science/positron>

<https://www.britannica.com/science/neutino>

<https://www.britannica.com/science/meson>

<https://www.britannica.com/science/lepton>