

PENGETAHUAN DASAR UNTUK MEMBACA DAN MEMANFAATKAN PETA NUKLIDA

Mukhlis Akhadi

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN

- Jalan Lebak Bulus Raya 49, Jakarta – 12440
- PO Box 7043 JKSKL, Jakarta – 12070
- mukhlis_ak@batan.go.id

PENDAHULUAN

Banyak usaha telah dilakukan umat manusia untuk menggambarkan sekaligus memahami atom. Istilah atom berasal dari kata *atomos* yang dalam terminologi filsafat Yunani Kuno berarti tidak dapat dibagi-bagi lagi. Dalam perkembangan berikutnya, istilah atom digunakan untuk menerangkan bagian terkecil dari suatu benda, sedemikian kecilnya sehingga benda tersebut tidak dapat dibagi-bagi lagi. Namun pengetahuan manusia mengenai ukuran dan sifat-sifat alamiah dari atom tersebut berkembang sangat lambat selama berabad-abad. Oleh sebab itu, konsep tentang atom tidak terdefinisikan secara pasti. Pada saat itu manusia hanya berspekulasi mengenai keberadaan suatu atom.

Sebagian besar penelitian mengenai atom melibatkan analisa partikel bermuatan positif dari bahan-bahan yang berbeda. Dari semua penelitian itu, partikel bermuatan positif yang paling ringan yang pernah ditemukan mempunyai massa sama dengan atom hidrogen. Kenyataan ini mendorong timbulnya asumsi bahwa inti atom suatu materi tersusun atas inti-inti atom hidrogen. Inti atom hidrogen itu selanjutnya diberi nama proton untuk menunjukkan pentingnya partikel tersebut sebagai penyusun dasar semua atom. Proton pertama kali ditemukan secara eksperimental oleh CD. Anderson pada tahun 1932. Dari penelitian itu diketahui bahwa proton merupakan partikel bermuatan listrik positif (+) yang sama besarnya dengan muatan sebuah elektron, hanya tandanya saja yang berbeda.

Keberadaan neutron yang tidak memiliki muatan listrik akan sangat sulit untuk dideteksi,

sementara beberapa usaha yang telah dilakukan gagal untuk menemukan neutron tersebut. Namun pada tahun 1932, sebagai salah satu hasil riset dalam disintegrasi atau transmutasi inti oleh partikel alfa, Sir James Chadwick berhasil memperlihatkan keberadaan dari neutron itu. Penemuan neutron oleh Chadwick telah membuka cakrawala baru untuk penelitian berikutnya. Partikel neutron ternyata sangat berbeda dengan proton, karena neutron tidak menghasilkan jejak di dalam detektor kamar kabut, juga tidak menghasilkan pengionan di dalam detektor kamar pengion. Karena tidak menimbulkan efek apapun pada kedua detektor tadi, Chadwick menyimpulkan bahwa muatan partikel neutron yang ditemukannya adalah nol. Di samping itu, Chadwick juga mengamati bahwa massa dari neutron ternyata hampir sama dengan massa proton.

Penemuan partikel neutron mendorong munculnya hipotesa bahwa setiap inti atom tersusun atas proton dan neutron. Hipotesa ini digunakan untuk pertama kalinya sebagai dasar teori inti atom yang detil oleh Heisenberg pada tahun 1932. Dari beberapa penemuan yang terkumpul dapat disimpulkan bahwa setiap atom dapat diuraikan lebih lanjut menjadi partikel-partikel elementer penyusun atom yang sangat kecil, yaitu : elektron, proton dan neutron. Sebagai partikel penyusun inti atom, kesatuan dari proton dan neutron ini disebut nukleon.

Inti atom sebenarnya hanyalah bagian yang sangat kecil dari sebuah atom, sedang atom itu sendiri merupakan bagian yang terkecil dari sebuah materi. Meskipun demikian, dalam

membahas mengenai inti atom, ternyata kita harus berhadapan dengan bidang kajian yang sangat luas. Hal ini tentu saja sangat erat kaitannya dengan berbagai macam fenomena fisika beserta informasi lain yang terkandung di dalam inti atom yang berhasil dikuak oleh manusia. Bahkan hingga kini, banyak informasi yang terkandung di dalam inti atom masih terus dipelajari oleh manusia. Berbagai penelitian dalam skala besar yang melibatkan banyak ilmuwan terus dilakukan dalam rangka memperoleh informasi untuk mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi yang berkaitan dengan inti atom. Dalam kehidupan sehari-hari, kajian yang mengkhususkan pada masalah inti atom itu berada pada wilayah ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir.

Pada mulanya, perkembangan kajian fisika nuklir menghadapi masalah yang sangat pelik. Namun kini telah banyak sifat-sifat fisika dari inti atom yang berhasil diungkap melalui berbagai penelitian, sehingga pemahaman manusia tentang inti atom sudah demikian tingginya berkat studi intensif yang dilakukan oleh para fisikawan. Banyak bukti-bukti yang diperoleh dari eksperimen fisika nuklir karena digunakannya peralatan-peralatan khusus. Salah satu jenis peralatan khusus pertama yang digunakan dalam penelitian atom adalah spektrograf massa yang dikembangkan oleh Francis W. Aston untuk mengukur massa relatif suatu atom.

Jika satu atau lebih elektron di lepaskan dari atom, maka atom tersebut menjadi bermuatan positif yang disebut sebagai ion positif. Spektrograf massa mengarahkan ion positif pada plat fotografi. Perjalanan ion-ion itu akan dibelokkan oleh medan listrik dan medan magnet dalam spektrograf. Ion-ion dengan massa sama akan menuju suatu titik fokus tertentu sehingga membentuk garis tipis. Sementara ion-ion yang lebih berat mengalami pembelokan dengan sudut lebih kecil dibandingkan dengan ion-ion yang lebih ringan. Dengan teknik ini pada plat fotografi akan dihasilkan garis-garis tipis yang disebut spektrum massa. Dari penelitian ini akhirnya para ilmuwan menyimpulkan bahwa

atom-atom yang sama dapat memiliki massa inti yang berbeda. Banyak atom-atom yang telah dikenal pada saat itu menunjukkan gejala yang sama. Atom-atom sejenis yang memiliki massa berbeda ini disebut isotop.

Setiap atom memiliki nomor atom (Z) yang menyatakan jumlah proton dalam inti dan nomor massa (A) yang menyatakan jumlah proton dan neutron dalam inti. Karena itu, jumlah neutron dalam inti (N) dapat dinyatakan dengan $N = A - Z$. Inilah tahap awal jenis data nuklir yang diperkenalkan para ilmuwan. Dengan data nuklir itu, para ilmuwan dapat menjelaskan proses terbentuknya isotop-isotop suatu unsur. Isotop pada prinsipnya terjadi karena adanya perbedaan kandungan jumlah neutron dalam inti.

Selain masalah isotop, dari hasil penelitian yang telah dilakukan ternyata ada banyak fenomena fisika yang dapat ditunjukkan oleh inti atom. Kini sudah cukup banyak data nuklir yang berhasil diungkap para ilmuwan. Data nuklir adalah data-data yang diperoleh dari inti atom yang dapat dipakai untuk menggambarkan karakteristik inti atom tersebut. Banyak peristiwa fisika yang dapat terjadi di dalam inti atom, sehingga ada banyak data nuklir berhubungan sangat erat dengan peristiwa yang dapat terjadi dalam inti. Data nuklir dapat dipakai untuk menerangkan kestabilan maupun keradioaktifan suatu bahan. Pada atom radioaktif, data nuklir dapat dipakai untuk menentukan jenis maupun energi radiasi yang dipancarkan serta usia hidup rata-rata atom tersebut. Pada atom-atom tertentu, data nuklir juga menggambarkan peluang terjadinya reaksi atom tersebut dengan partikel-partikel tertentu. Pada atom-atom berat, data nuklir berkaitan dengan peluang terjadinya reaksi pembelahan inti atom maupun kemampuan inti dalam menyerap partikel-partikel tertentu.

PROSES FISIKA DALAM INTI ATOM

a. Peluruhan Inti

Awal pengenalan umat manusia dengan fenomena yang terjadi di dalam inti atom dimulai ketika fisikawan Perancis Antonie Henry Becquerel pada tahun 1896 menemukan gejala

radioaktivitas, yaitu terjadinya pancaran sinar-sinar radioaktif secara spontan dari suatu bahan radioaktif. Pada saat itu Becquerel menemukan unsur uranium (U) yang menunjukkan gejala aneh dan belum pernah diketahui sebelumnya. Beliau mendapatkan bahwa unsur-unsur uranium menunjukkan gejala radiasi tertentu dengan daya tembus yang sangat kuat, sama seperti daya tembus sinar-X yang ditemukan satu tahun sebelumnya (1895) oleh Wilhelm C. Roentgen. Bahan yang dapat menunjukkan gejala radioaktivitas disebut bahan radioaktif.

Karena belum cukupnya pengetahuan tentang gejala radiasi yang ditimbulkan dari unsur uranium tersebut, maka Becquerel hanya menduga bahwa unsur itu menyimpan energi radiasi matahari yang diterima sebelumnya. Untuk menguji dugaan itu maka Becquerel menaruh biji uranium tersebut di dalam kotak timah yang tertutup rapat dan menyimpannya dalam waktu yang sangat lama. Dari hasil pengamatan terhadap bijih tersebut Becquerel mendapatkan bahwa bijih uranium tetap menunjukkan gejala radiasi meskipun tidak mendapatkan energi sinar matahari dalam waktu yang cukup lama. Dalam kesempatan yang lain Becquerel juga mendapatkan bahwa gejala radiasi yang dipancarkan oleh bijih uranium ternyata mampu menghitamkan pelat film fotografi tersimpan berdekatan dengan bijih tersebut.

Pada tahun 1896, Becquerel menerbitkan beberapa kertas kerja ilmiah tentang fenomena yang diketemukannya. Dengan diketemukannya gejala radiasi dari uranium itu maka fenomena keradioaktifan suatu bahan mulai dipelajari secara intensif oleh para peneliti. Beberapa ilmuwan yang membaca kertas kerja tersebut menjadi tertarik dan melakukan penelitian serupa. Pada tahun 1898, yaitu selang dua tahun dari penemuan uranium, pasangan suami-istri ahli kimia berkebangsaan Perancis Marie Curie (1867-1936) dan Pierre Curie (1859-1905) berhasil menemukan dua unsur baru yang dapat menunjukkan gejala sama seperti uranium yang telah ditemukan Becquerel sebelumnya. Kedua unsur baru tersebut dinamai Polonium (Po) dan

Radium (Ra). Dalam kurun waktu berikutnya, puluhan bahan lain yang menunjukkan gejala radioaktivitas semacam itu berhasil ditemukan.

Unsur-unsur radioaktif baik yang ditemukan oleh Becquerel maupun Curie merupakan unsur radioaktif alam. Unsur-unsur tersebut diduga terbentuk bersamaan dengan proses terbentuknya alam ini. Salah satu hal penting dari hasil penelitian Becquerel ini adalah bahwa radiasi tersebut tidak bergantung sama sekali pada bentuk senyawa kimia uranium. Dalam hal ini Becquerel menyadari bahwa gejala radiasi tersebut tidak berasal dari struktur kimia bahan, melainkan harus berasal dari uranium itu sendiri. Namun karena waktu itu pemahaman manusia tentang atom belum begitu detil, maka fenomena radioaktivitas masih tetap merupakan misteri, dan para ilmuwan belum berhasil menerangkan secara ilmiah dari mana radiasi yang dipancarkan oleh bahan-bahan radioaktif itu berasal.

Belakangan diketahui bahwa pancaran sinar-sinar radioaktif secara spontan berhubungan dengan peristiwa-peristiwa yang terjadi di dalam inti atom. Gejala radioaktivitas merupakan manifestasi dari ketidakstabilan inti atom, dimana inti atom yang stabil tidak menunjukkan gejala radioaktivitas, sebaliknya inti atom yang tidak stabil dapat menunjukkan gejala radioaktivitas berupa kemampuan memancarkan radiasi secara spontan. Umat manusia telah menempuh perjalanan yang begitu panjang untuk memahami gejala radioaktivitas. Pemahaman terhadap gejala itu menjadi semakin baik dengan berkembangnya pengetahuan manusia mengenai struktur inti atom.

Gejala radioaktivitas pada prinsipnya adalah proses peluruhan (*decay*) suatu inti atom yang tidak stabil menjadi inti atom baru yang stabil disertai pemancaran radiasi. Setiap atom radioaktif memiliki waktu paro ($T_{1/2}$), yaitu waktu yang diperlukan oleh atom radioaktif untuk meluruh sehingga jumlahnya menjadi setengah dari jumlah semula. Waktu paro merupakan salah satu jenis data nuklir yang hanya melekat pada atom-atom radioaktif.

b. Reaksi Fisi

Pada mulanya, pengetahuan manusia terhadap gejala radioaktivitas hanya sebatas pada unsur-unsur radioaktif yang ditemukan di alam seperti uranium, radium, polonium dan sebagainya. Namun ternyata ada fenomena fisika lainnya yang dapat terjadi di dalam inti atom, salah satunya adalah reaksi fisi berupa pacahnya inti atom berat menjadi inti-inti yang lebih ringan. Setelah penemuan uranium oleh Becquerel dan penemuan neutron oleh Chadwick, Otto Hahn dan Fritz Strassmann pada tahun 1938 melakukan penelitian di Institut Kaiser Wilhelm, Jerman, dengan cara menembaki unsur berat ^{235}U dengan partikel neutron yang bergerak sangat lambat dengan energi geraknya 0,025 elektron Volt (eV). Mereka mendapatkan bahwa inti atom berat ^{235}U terbelah menjadi dua inti yang lebih ringan. Inti-inti atom baru yang dihasilkan dari proses fisi ini ternyata juga bersifat radioaktif. Sejak saat penemuan reaksi fisi ini, para ilmuwan mulai menyadari bahwa atom-atom radioaktif selain terbentuk secara alamiah, juga dapat dihasilkan oleh manusia di laboratorium.

Reaksi yang ditemukan oleh Hahn dan Strassmann ternyata sangat berlainan dengan reaksi kimia biasa yang sudah dikenal pada saat itu. Pada reaksi kimia biasa, reaksi itu terjadi antar unsur-unsur kimia, dimana unsur-unsur yang bereaksi masih dapat ditemukan dalam senyawa hasil reaksi. Reaksi pembelahan inti atom ^{235}U disebut reaksi nuklir, karena setelah terjadi reaksi pembelahan tidak ditemukan lagi adanya inti atom ^{235}U . Reaksi ini sering kali disebut juga sebagai reaksi fisi (*fusion* atau pembelahan) karena inti ^{235}U pecah menjadi dua inti yang lebih kecil.

Reaksi nuklir yang pertama kali ditemukan oleh Hahn dan Strassmann hanya terjadi apabila dilakukan penembakan ^{235}U dengan neutron termik. Reaksi ini akan berhenti dengan sendirinya apabila penembakan ^{235}U dihentikan. Namun jika diperhatikan bahwa reaksi nuklir ini juga disertai dengan pemancaran dua hingga tiga buah neutron baru, maka dalam benak manusia timbul fikiran bahwa neutron tersebut dapat juga

dimanfaatkan untuk melangsungkan reaksi nuklir berikutnya. Apabila neutron yang keluar dari reaksi pembelahan tersebut dapat dimanfaatkan, maka reaksi pembelahan dengan sendirinya dapat berlangsung terus selama masih tersedia ^{235}U dalam jumlah yang mencukupi. Jika hal tersebut terjadi, maka reaksinya disebut sebagai reaksi nuklir berantai. Kemungkinan dapat diperolehnya reaksi nuklir berantai ini pertama kali diamati oleh Frederic Joliot-Curie, Hans von Halban dan Lew Kowarsky di Perancis pada tahun 1939.

Keberhasilan umat manusia dalam mengendalikan reaksi nuklir berantai dalam reaktor nuklir serta maraknya uji coba senjata nuklir pada pertengahan abad ke 20 telah memperkaya khasanah pengetahuan berkaitan dengan inti atom. Beberapa atom radioaktif baru hasil proses fisi bermunculan sehingga mulai dikenal dan dipelajari oleh para ilmuwan. Jika pada saat Dmitri Ivanovic Mendeleev pada tahun 1869 menyusun tabel periodik unsur-unsur baru dikenal adanya 70 jenis unsur kimia, kemudian ilmu pengetahuan modern berhasil menemukan unsur-unsur lain sehingga jumlahnya menjadi 92 unsur, maka proses fisi ^{235}U berhasil menghadirkan 11 unsur buatan baru sehingga jumlah unsur dalam tabel periodik menjadi 103 unsur.

c. Pengaktifan Inti

Proses fisika lainnya yang dapat berlangsung di dalam inti atom adalah proses pengaktifan (*activation*). Proses pengaktifan adalah proses ditembakinya inti-inti atom bahan oleh neutron sehingga bahan yang semula tidak radioaktif berubah sifatnya menjadi radioaktif dan mampu memancarkan radiasi. Dalam teras reaktor nuklir, proses pengaktifan ini dapat terjadi mengingat di dalam teras itu berlangsung proses fisi yang melepaskan neutron. Neutron-neutron hasil fisi ini selanjutnya dapat melakukan pengaktifan terhadap bahan-bahan struktur yang digunakan dalam teras tersebut.

Proses pengaktifan yang sengaja diusahakan oleh manusia antara lain adalah dalam proses produksi radioisotop. Dalam reaktor nuklir

neutron-neutron yang dipancarkan oleh proses fisi sebagian dimanfaatkan untuk memproduksi radioisotop. Dari proses pengaktifan ini akan diperoleh berbagai jenis radioisotop yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan. Proses pengaktifan dalam produksi radioisotop dilakukan dengan cara menembaki unsur-unsur stabil dengan neutron. Bahan yang akan diaktivasi ini disebut sasaran. Neutron yang ditembakkan ke arah sasaran akan masuk ke dalam inti atom sasaran sehingga jumlah neutron dalam inti atom bahan tersebut bertambah. Perubahan jumlah neutron dalam inti ini dapat mengakibatkan ketidakstabilan inti sehingga inti berubah sifat menjadi radioaktif.

Pengaktifan neutron dalam lingkup yang lebih kecil dipakai juga untuk menganalisa bahan dengan teknik yang dikenal sebagai analisa pengaktivasi neutron (APN). Dari proses aktivasi ini akan diperoleh sampel radioaktif yang mampu memancarkan radiasi. Dengan menganalisa radiasi yang dipancarkannya dapat ditentukan jenis dan jumlah unsur kelumit yang terdapat dalam sampel yang diaktivasi.

Proses pengaktifan bisa juga dilakukan menggunakan akselerator, yaitu alat pemercepat partikel yang dapat menghasilkan neutron cepat. Karena itu akselerator sering juga disebut sebagai generator neutron. Pemakaian akselerator sebagai generator neutron memungkinkan dihasilkannya neutron cepat berenergi tunggal. Prinsip dihasilkannya neutron pada akselerator ini adalah terjadinya reaksi inti. Dalam hal ini partikel bermuatan yang dipercepat dalam akselerator ditabrakkan ke target (sasaran) sehingga dihasilkan reaksi inti yang melepaskan neutron. Neutron yang dipancarkan oleh proses fisi dalam percobaan senjata nuklir juga mampu melakukan pengaktifan terhadap unsur-unsur kimia yang ada di sekitar lokasi percobaan.

d. Transmutasi Inti

Reaksi nuklir biasanya dihasilkan melalui proses penembakan inti atom target dengan partikel-partikel tertentu yang lebih sering disebut sebagai peluru (*projectile*), seperti neutron,

proton, partikel alfa dan sebagainya. Proses fisi maupun aktivasi sebagaimana telah dibahas sebelumnya merupakan dua contoh reaksi jenis ini. Masih ada jenis reaksi inti yang lainnya, yaitu proses transmutasi (*transmutation* atau perubahan) yang terjadi dalam inti. Reaksi nuklir ini dapat terjadi apabila ada interaksi antara peluru dengan inti target.

Transmutasi inti buatan mula-mula dihasilkan dengan cara menembaki target dengan partikel alfa yang dipancarkan oleh bahan radioaktif alam. Penembakan partikel alfa pada target beryllium menghasilkan neutron. Perkembangan dalam bidang transmutasi inti sangat terbatas karena partikel alfa yang diperoleh dari unsur radioaktif alam hanya menghasilkan berkas dengan intensitas rendah dan transmutasi ini hanya dapat dilakukan terhadap unsur-unsur bernomor atom rendah. Namun dalam perkembangan berikutnya manusia menyadari bahwa partikel-partikel inti lainnya seperti proton, deuteron dan bahkan sinar gamma ternyata dapat dimanfaatkan sebagai peluru untuk melangsungkan transmutasi inti. Keberhasilan umat manusia dalam melakukan proses transmutasi ini telah menghadirkan banyak sekali isotop-isotop baru yang sebelumnya tidak dikenal.

Transmutasi inti telah dimanfaatkan oleh para ilmuwan untuk menghadirkan unsur-unsur baru yang sebelumnya tidak pernah ditemukan di alam. Sebagaimana dikemukakan sebelumnya, jumlah unsur dalam tabel periodik baru mencapai 103 jenis unsur yang terdiri atas unsur-unsur alamiah dan buatan, terutama dari produk fisi. Namun para peneliti di Berkeley dengan menggunakan teknik reaksi nuklir berhasil menghadirkan dua unsur baru serta mengusulkan nama Rutherfordium (Rf) untuk unsur nomor 104 dan Hahnium (Ha) untuk unsur nomor 105. Dengan teknik yang sama, penemuan unsur ke-106 juga telah diklaim oleh beberapa kelompok peneliti, namun selama ini belum ada nama yang diusulkan untuk unsur tersebut.

Bukti-bukti awal adanya unsur ke-107 dan 109 telah didapatkan oleh sekelompok peneliti di

Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) di Darmstadt, Jerman. Juga belum ada nama diusulkan untuk unsur-unsur tersebut. Para ahli fisika masih terus menyelidiki unsur-unsur *transuranium* (unsur-unsur dengan nomor atom lebih besar dari uranium). Unsur-unsur tersebut bersifat tidak stabil dan kebanyakan berupa unsur buatan yang diusahakan di laboratorium, seperti unsur dengan nomor atom 109 yang atom tenggalnya dihasilkan pada tahun 1982 namun hanya bertahan selama 5×10^{-3} detik.

Sebagian besar unsur yang dikenal muncul sesudah uranium (nomor atom 92) adalah unsur buatan manusia yang bersifat tidak stabil sehingga meluruh dan berubah menjadi unsur lain. Para ilmuwan berspekulasi bahwa masih terdapat kemungkinan beberapa unsur super berat yang berada jauh di belakang uranium yang stabil atau mempunyai waktu paro relatif panjang dan terjadi secara alamiah. Unsur dengan nomor atom 114 dengan jumlah neutron dalam intinya 184 merupakan salah satu unsur sangat berat yang diramalkan mempunyai sifat fisika seperti itu. Unsur ini diramalkan muncul dalam tabel periodik di bawah dan dalam kolom yang sama dengan timbal (Pb), artinya mempunyai sifat-sifat yang sama dengan timbal.

DATA NUKLIR DALAM PETA NUKLIDA

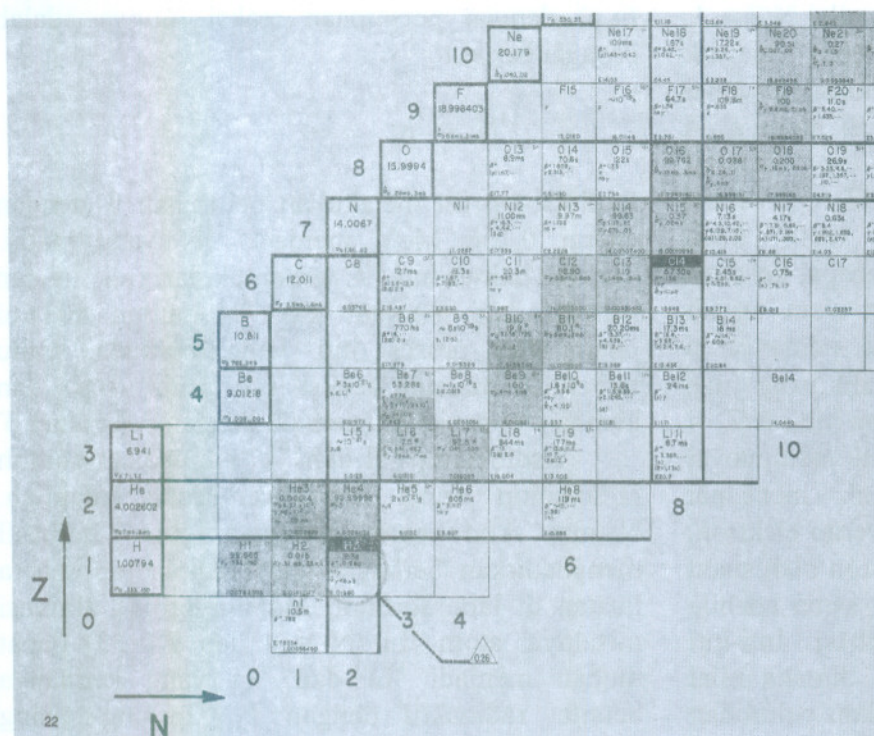
Proses-proses fisika dalam inti atom sebagaimana telah diuraikan sebelumnya mampu menghadirkan atom-atom maupun isotop-isotop baru dalam jumlah banyak. Diantara isotop-isotop yang dihasilkan banyak diantaranya yang bersifat radioaktif yang lebih dikenal dengan sebutan radioisotop. Ledakan senjata nuklir yang terjadi di Hirushima dan Nagasaki pada tahun 1945 menghasilkan antara 30-40 radioisotop baru yang semula belum dikenal. Unsur-unsur baru tersebut masih melakukan peluruhan sehingga menghasilkan unsur-unsur lain yang juga bersifat radioaktif, sehingga jumlah unsur yang keluar dari ledakan senjata nuklir dalam bentuk debu-debu radioaktif dapat mencapai sekitar 200 jenis radioisotop.

Meski dalam tabel periodik baru dikenal adanya 105 jenis unsur yang terdiri atas unsur-

unsur alamiah dan buatan, namun karena banyak diantara unsur-unsur itu yang dapat membentuk isotop, maka kini umat manusia telah berhasil mengenali sekitar 1440 macam isotop yang saat ini dikenal, 340 diantaranya terdapat di alam dan sekitar 1100 diproduksi di laboratorium, reaktor nuklir dan ledakan senjata nuklir. Sebagian besar dari unsur-unsur tersebut bersifat radioaktif, namun beberapa diantara unsur-unsur tersebut (284 jenis) merupakan unsur stabil.

Sudah sejak lama istilah nuklida (*nuclide*) diterima secara luas untuk menyatakan jenis atom yang dicirikan dengan keadaan intinya, yaitu disertakannya nilai Z dan A pada atom tersebut. Istilah radionuklida dipakai untuk menyebut nuklida yang bersifat radioaktif. Cara penulisan ini ternyata cukup informatif karena banyak atom-atom yang telah diketahui ternyata dapat membentuk isotop baik secara alamiah maupun setelah melalui proses reaksi nuklir. Dengan penyertaan Z dan A maka antara isotop yang satu dengan isotop yang lain dapat dibedakan. Ambil contoh unsur yang mempunyai isotop sangat banyak, misal timah (Sn). Unsur kimia bernomor atom 50 ini membentuk 10 macam isotop dengan nilai A bervariasi dari 112, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 122 dan 124. Isotop-isotop Sn tersebut berbeda antara satu dengan lainnya. Meski masing-masing mengandung 50 proton dan 50 elektron, namun masing-masing intinya mengandung jumlah neutron yang berbeda-beda, bervariasi dari 62 sampai 74. Dengan penyertaan penulisan A , kita dapat membedakan ke 10 isotop Sn tersebut berdasarkan perbedaan nomor massanya, yaitu ^{112}Sn , ^{113}Sn dan seterusnya sampai dengan ^{124}Sn . Demikian juga untuk isotop-isotop lainnya.

Penyajian atom-atom pada tabel periodik dapat memudahkan kita dalam mengenali sifat atom-atom tersebut. Namun karena banyak di antara atom-atom itu membentuk isotop, maka keberadaan isotop yang jumlahnya mencapai sekitar 1440 macam ternyata tidak dapat ditampilkan seluruhnya secara bersamaan di dalam tabel periodik. Karena itu diperlukan cara lain untuk menyajikan berbagai jenis atom



Gambar 1. Potongan penyajian unsur-unsur dalam peta nuklida.

beserta isotop-isotopnya dalam satu bentuk sajian yang menyeluruh, sehingga karakteristik dari atom-atom itu dapat ditampilkan dalam satu tampilan yang terpadu. Untuk keperluan tersebut, para ilmuwan telah menghadirkan data atom beserta isotop-isotopnya dalam bentuk peta nuklida seperti disajikan pada Gambar 1.

Peta nuklida pada Gambar 1 menggambarkan distribusi isotop-isotop dalam bentuk grafik Cartesian antara jumlah neutron (N) sebagai absis (sumbu X) dan jumlah proton (Z) sebagai ordinat (sumbu Y). Pada peta nuklida, atom-atom yang berada pada satu baris horizontal inti atomnya memiliki Z yang sama dengan N yang berbeda-beda sehingga membentuk isotop. Ambil contoh atom helium (He) dengan $Z = 2$. Berdasarkan data yang tersaji dalam peta nuklida itu, atom He secara alamiah membentuk dua jenis isotop (kotak beralas agak gelap), yaitu : ^3He dengan kelimpahan isotopnya hanya 0,00014 (%) dan ^4He dengan kelimpahan isotopnya mencapai 99,99986 (%). Namun proses nuklir telah berhasil menghadirkan tiga isotop buatan He lainnya (kotak putih/polos) yang semuanya bersifat

radioaktif, sehingga dalam peta disajikan pula data nuklir yang melekat pada atom radioaktif, yaitu waktu paro ($T_{1/2}$). Ketiga isotop buatan itu adalah : ^5He dengan $T_{1/2} : 2 \times 10^{-21}$ detik, ^6He dengan $T_{1/2} : 805$ milidetik dan ^8He dengan $T_{1/2} : 119$ milidetik.

Dari peta nuklida, atom-atom yang berada pada satu garis vertikal inti atomnya memiliki N yang sama dengan Z yang berbeda-beda sehingga membentuk isoton. Ambil contoh isotop ^3H ($Z = 1$ dan $A = 3$), membentuk isoton dengan atom ^4He ($Z = 2$ dan $A = 4$), ^5Li ($Z = 3$ dan $A = 5$), ^6Be ($Z = 4$ dan $A = 6$) dan ^8C ($Z = 6$ dan $A = 8$). Jumlah neutron (N) dalam masing-masing atom tersebut adalah

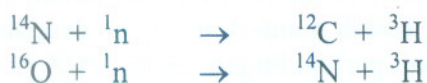
$N = A - Z = 2$. Sementara itu, atom-atom yang membentuk isobar dapat ditentukan dengan cara menarik garis diagonal ke kiri sehingga menghubungkan dua posisi dengan nilai N dan Z sama. Misal kita menarik garis diagonal yang menghubungkan kotak dengan $N = 6$ dan $Z = 6$. Garis tersebut akan melewati kotak-kotak yang berisi atom ^8He , ^8Li , ^8Be , ^8B dan ^8C . Kelima jenis atom tersebut membentuk isobar.

Hasil dari berbagai jenis proses inti yang terjadi pada suatu atom dapat dilihat secara langsung pada peta nuklida. Salah satu jenis proses inti adalah peluruhan inti atom radioaktif. Kestabilan suatu inti atom ditandai dengan perbandingan nilai N dan Z yang ada dalam inti atom tersebut. Untuk atom-atom ringan dengan $Z < 20$, jika nilai perbandingan antara $N/Z = 1$, maka inti atom tersebut bersifat stabil, sedang jika nilai N/Z tidak sama dengan satu ($N/Z < 1$ atau $N/Z > 1$), maka ada kemungkinannya inti atom tersebut tidak stabil atau bersifat radioaktif..

Jenis radiasi yang dipancarkan oleh inti radioaktif juga dipengaruhi oleh nilai N/Z dalam

intinya. Untuk inti-inti ringan, jika nilai $N/Z > 1$, berarti jumlah neutron (n) lebih banyak dibandingkan jumlah proton (p). Untuk mencapai keadaan inti yang stabil, dalam inti atom akan terjadi perubahan n menjadi p disertai pemancaran radiasi β^- . Jika nilai $N/Z < 1$, berarti jumlah n dalam inti atom lebih kecil dibandingkan jumlah p . Untuk mencapai keadaan inti yang stabil, dalam inti atom akan terjadi perubahan p menjadi n disertai pemancaran positron atau radiasi β^+ . Istilah lain yang juga sering digunakan untuk atom dengan nilai $N/Z < 1$ ini adalah bahwa atom jenis ini mempunyai kelebihan proton sehingga untuk mencapai kondisi inti yang stabil perlu menyerap elektron. Jadi dalam hal ini penyerapan elektron oleh suatu atom akan memberikan hasil yang sama apabila atom tersebut memancarkan positron. Inti-inti berat dengan nomor atom tinggi, dimana nilai N/Z lebih besar dari 1,6, maka dalam peluruhan inti-inti jenis ini akan selalu disertai pemancaran radiasi α atau inti atom helium-4 (^4He).

Sebagai gambaran, dari potongan peta nuklida Gambar 1 kita dapat menemukan dua jenis radioisotop alamiah, yaitu ^3H dengan $T_{1/2}$: 12,3 tahun (posisi $N = 2$ dan $Z = 1$) dan ^{14}C dengan $T_{1/2}$: 5.730 tahun (posisi $N = 8$ dan $Z = 6$). Radioisotop ^3H terbentuk melalui proses pengaktifan neutron (dari sinar kosmis) terhadap atom ^{14}N maupun ^{16}O dan meluruh memancarkan radiasi β^- (dikenal juga dengan sebutan peluruhan β^-) dengan energi 0,01860 MeV menjadi atom ^3He yang stabil. Radioisotop ^3H terbentuk melalui proses yang persamaan reaksi intinya adalah sebagai berikut :



Radioisotop ^{14}C terbentuk melalui pengaktifan n terhadap ^{14}N disertai pelepasan p dari inti target atau lebih sering dikenal dengan istilah reaksi

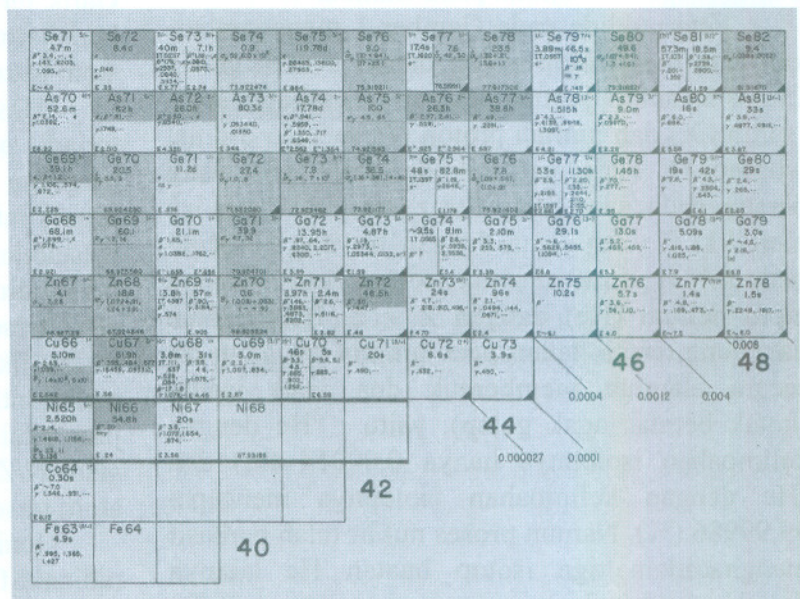
(n,p) dengan persamaan reaksi intinya adalah sebagai berikut :



Radioisotop ini melakukan peluruhan β^- dengan energi 0,156 MeV menjadi ^{14}N yang stabil. Terlihat bahwa inti ^{14}C terbentuk dari inti ^{14}N dan kembali lagi menjadi inti ^{14}N namun melalui jalan atau proses inti yang berbeda, yaitu terbentuk melalui reaksi inti jenis (n,p) dan kembali ke posisi inti semula dengan peluruhan β^- .

Radioisotop ^3H dan ^{14}C merupakan contoh radioisotop yang terbentuk secara alamiah. Namun kini para ilmuwan juga berhasil menghadirkan berbagai jenis radioisotop secara buatan di laboratorium. Melalui proses aktivasi misalnya, atom ^7Li ($N = 4$ dan $Z = 3$) dapat diubah menjadi ^8Li dan ^9Li yang keduanya bersifat radioaktif dengan $T_{1/2}$ masing-masing 84,4 milidetik 177 milidetik. Keduanya dapat melakukan peluruhan β^- dengan energi masing-masing 16 MeV dan 13,6 MeV. Sedang dari atom ^{11}B ($N = 6$ dan $Z = 5$) dapat dihasilkan atom-atom buatan ^{12}B , ^{13}B dan ^{14}B yang semuanya bersifat radioaktif yang umurnya sangat pendek karena $T_{1/2}$ berorde milidetik.

Dalam peta nuklida, atom-atom hasil proses fisi ditampilkan dengan tanda khusus berupa



Gambar 2. Potongan peta nuklida yang menyajikan atom-atom hasil fisi.

segitiga hitam di pojok kanan bawah kotak nuklida yang bersangkutan seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Dari potongan peta nuklida itu kita dapat mengenali radionuklida hasil fisi seperti ^{72}Cu dan ^{73}Cu , juga radionuklida dari ^{72}Zn hingga ^{78}Zn dan sebagainya. Pada peta tersebut juga disajikan data nuklir yang melekat pada masing-masing radionuklida, seperti $T_{1/2}$ dan jenis serta energi radiasi yang dipancarkannya.

PENUTUP

Pengetahuan dasar mengenai struktur inti atom serta proses-proses fisika yang dapat terjadi di dalamnya diperlukan agar seseorang dapat membaca dan memahami sistem penyajian atom-atom dalam suatu peta nuklida. Pemahaman yang baik terhadap peta nuklida akan mempermudah seseorang dalam menemukan informasi data mengenai suatu atom. Informasi yang melekat pada suatu atom dan disertakan dalam peta nuklida itu dikenal dengan nama data nuklir. Dari peta nuklida dapat diperoleh informasi mengenai kestabilan inti dan sebaran isotopnya di alam. Atom-atom yang membentuk isotop, isoton dan isobar juga sangat mudah ditentukan berdasarkan informasi dari peta nuklida. Pada atom radioaktif, peta nuklida dapat dipakai untuk mendapatkan informasi mengenai jenis dan energi radiasi yang dipancarkan, waktu paro serta proses terbentuknya radionuklida tersebut. Keberadaan radionuklida hasil fisi juga sangat mudah dikenali karena radionuklida tersebut diberi tanda khusus pada peta nuklida.

DAFTAR PUSTAKA

- ALONSO, M. and FINN, E.J., Fundamental University Physics (volume III), Addison-Wesley Publishing Company, London, 1980.
- BIRCH, B., Marie Curie (alih bahasa oleh Alex Tri Kantjono Widodo), P.T. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1993.
- CHEMBER, H., Introduction to Health Physics (2nd edition), Pergamon Press, New York, 1987.
- COHEN, B.L., Concept of Nuclear Physics, Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd., New Delhi, 1982.
- COOK, J.E., Environmental Radiation and Radioactivity, Australian School of Nuclear Technology, Lucas Heights, NSW 2234, Australia, 1986.
- FOWLER, E., Radioisotop, *Ilmu Pengetahuan Populer*, Vol. 5, Grolier International Inc./P.T. Widyadara, pp. 131-135, 1997.
- FRIEDLANDER, G., et. al., Nuclear and Radiochemistry (3rd edition), John Wiley & Sons, New York, 1981.
- HALLIDAY, D. and RESNIC, R., Fisika Modern (alih bahasa oleh P. Silaban), Penerbit Erlangga, Jakarta 10430, 1990.
- HERMAN, A., The New Physics, the Route Into Atomic Age, International Bonn-bad Godesberg, Federal Republic of Germany, 1979.
- HODDESON, L., Teori Kuantum, *Ilmu Pengetahuan Populer*, Vol. 5, Grolier International Inc./P.T. Widyadar, pp. 137-148, 1997.
- KAPLAN, I., Nuclear Physics (2nd edition), Addison-Wesley Publishing Company, London, 1979.
- KRANE, K.S., Fisika Modern (Cetakan I, terjemahan oleh Hans J. Wospakrik & Sofia Niksolihin), Penerbit Universitas Indonesia, Salemba 4, Jakarta 10430, 1992.
- STANDEN, A., daftar Berkala, *Ilmu Pengetahuan Populer*, Vol. 4, Grolier International Inc./P.T. Widyadara, pp. 139-161, 1997.
- TAYLOR, JR. and ZAFIRATOS, C.D., Modern Physics For Scientist and Engineers, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632, 1991.
- WALKER, F.W., et. al., Nuclides and Isotopes (14th edition), GE Nuclear Energy, California 95125, USA 1989.

Para Pembaca yang budiman,

Buletin ALARA menerima naskah atau makalah iptek ilmiah populer yang membahas tentang "Aspek Keselamatan Radiasi dan Keselamatan Lingkungan dalam Pemanfaatan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir untuk Kesejahteraan Masyarakat". Naskah/makalah yang dikirimkan ke Redaksi Buletin ALARA adalah naskah/makalah yang khusus untuk diterbitkan oleh Buletin ALARA dengan melampirkan 1 eksemplar dan disket yang berisi file makalah tersebut. Apabila naskah/makalah tersebut telah pernah dibahas atau dipresentasikan dalam suatu pertemuan ilmiah, harus diberi keterangan mengenai nama, tempat dan saat berlangsungnya pertemuan tersebut. Redaksi berhak mengubah susunan bahasa tanpa mengubah isi dan maksud tulisan.

Naskah/makalah ditulis dalam Bahasa Indonesia yang baku dan mengikuti tata cara (*format*) penulisan suatu makalah yang benar. *Istilah asing* dalam naskah/makalah harus ditulis *miring* dan diberi padanan kata Bahasa Indonesia yang benar. Naskah/makalah diketik menggunakan *font 12 Times New Romans* dengan 1,5 spasi pada kertas ukuran kuarto, satu muka, margin kiri 3 cm; margin atas, bawah, kanan 2,5 cm. Lebih disukai bila panjang tulisan kira-kira 8 - 15 halaman kuarto. Nama (para) penulis ditulis lengkap disertai dengan keterangan lembaga/fakultas/institut tempat bekerja dan bidang keahlian (jika ada) pada catatan kaki. Tabel/skema/grafik/ilustrasi dalam naskah/makalah dibuat sejelas-jelasnya dalam satu file yang sama. Kepustakaan ditulis berdasarkan huruf abjad, mengikuti ketentuan penulisan kepustakaan, dan sangat diharapkan menggunakan literatur 5 tahun terakhir, adalah sbb ;

AFFANDI, Pengukuran Radionuklida Alam pada Bahan Bangunan Plaster Board Fosfogipsum dengan Menggunakan Spektrometer Gamma, Skripsi S-1, Jurusan Fisika FMIPA UI, 2006. (*Bila yang diacu skripsi/thesis*)

HATTORI, T., ICHIJI, T., ISHIDA, K., Behavior of Radon and Its Progeny in Japanese Office, Radiat. Prot. Dosim. Vol. 62 (3), pp. 151-155, 2005. (*Bila yang diacu jurnal/majalah/prosiding*)

MARTINA and HARBISON, S.A., An Introduction to Radiation Protection, Chapman and Hall, London, New York, 2008

NEVISSI, A.E., Methods for Detection of Radon and Radon Daughters, In : Indoor Radon and Its Hazards, edited by D. Bodansky, M.A. Robkin, D.R. Stadler, University of Washington Press, pp. 30 - 41, 2007 (*Bila yang diacu dalam satu buku yang merupakan kumpulan tulisan, seperti Handbook, Ensiklopedi dll*).

Tim Redaksi



Naskah/makalah dapat ditujukan kepada :

Tim Redaksi Buletin ALARA
u.p. **Setyo Rini, SE**
PTKMR - BATAN

- Jalan Lebak Bulus Raya No. 49,
Kawasan PPTN Pasar Jumat Jakarta (12440)
- PO. Box 7043 JKSKL, Jakarta 12070
- e-mail : alara_batan@yahoo.com atau
ptkmr@batan.go.id