

Nobel Fisika Berkat Sigupa?

L. Wilardjo

Kompas Rabu, 3.12.2014, melaporkan hasil penelitian Situs Gunung Padang (Sigupa), yang dilakukan oleh Tim Terpadu Riset Mandiri (TTRM). Mantan Ketua Arkeologi TTRM, Ali Akbar, menyatakan bahwa ditemukan dua umur Sigupa, yakni berdasarkan peninggalan dari masa 500 SM dan 5.200 SM. Berarti umur Sigupa sudah 2.500 tahun, atau 7.200 tahun lebih. Itu ditentukan dengan *Carbon Dating*, yakni pengukuran umur situs arkeologi dengan menggunakan radioisotop C-14 (atom karbon dengan inti 14 nukleon, 6 di antaranya proton dan yang 8 lainnya neutron).

Pengukuran umur benda-benda arkeologis memang lazim dilakukan dengan carbon dating, sebab umur-paruh (*half-life*) C-14, yakni 5.600 tahun, ideal untuk menentukan umur peninggalan kuno yang termasuk di dalam rentang antara 600 tahun sampai 10.000 tahun.

Tetapi Bagyo Prasetyo, pakar dari Pusat Arkeologi Nasional, mengatakan bahwa teknologi logam baru muncul sesudah tarikh Masehi, sehingga aneh kalau ada koin di Sigupa yang

berasal dari masa 5.200 SM. Sebaiknya umur berdasarkan *carbon dating* itu dibandingkan dengan yang didapatkan dari cara pendugaan lain, seperti catatan sejarah. "Arkeologi tidak dapat hidup tanpa konteks", katanya.

Cara lain yang *independent* terhadap carbon dating itu antara lain dipakai oleh Hadiwaratama, insinyur Fisika Teknis di Polman (Politeknik Manufaktur) Bandung yang menekuni Bahasa Jawa Kuno dan Budayanya. Hadiwaratama, berdasarkan telaah filologisnya meragukan pernyataan bahwa Sigupa berbentuk piramida besar dan dibangun di masa 5.200 SM.

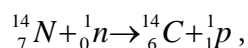
Carbon Dating

Carbon dating ialah pendugaan umur artefak arkeologis dengan menggunakan radioisotop C-14. Teknik ini selanjutnya kita sebut "pendumuran karbon". "Dumur" ialah akronim untuk "pendugaan umur".

Di Bumi, isotop karbon yang lazim ditemukan dan paling jerah (*the most abundant*) ialah C-12.

Tetapi ada juga C-14, sebab atmosfer Bumi senantiasa "dihujani" zarah-zarah energetik dari angkasa luar, yang disebut sinar kosmos (*cosmic rays*).

Sinar kosmos ini menyebabkan terjadinya disintegrasi nuklir, dan dari disintegrasi ini muncul neutron. Neutron-neutron ini ada yang bereaksi dengan nitrogen dan membentuk C-14. Reaksi nuklirnya ${}^{14}_7N(n, p){}^{14}_6C$, atau lebih jelasnya :



inti atom N-14 menangkap neutron lalu berubah menjadi inti atom C-14 sambil melepaskan proton. Karena itulah terdapat C-14 di dalam atmosfer, meskipun proporsinya rendah. Proporsi ini kira-kira tetap, sebab intensitas sinar kosmos tidak berubah selama beberapa milenia terakhir.

Karena dalam pernafasannya — untuk keperluan fotosintesis — tumbuhan menghirup karbon dalam bentuk gas CO_2 , dan menghasilkan oksigen dalam bentuk gas O_2 , sedang sebaliknya hewan dan manusia menghirup O_2 dari udara dan mengeluarkan CO_2 , maka terjadilah baktukar O_2 - CO_2 , antara fauna dan flora. Lagipula, hewan dan manusia makan tumbuhan dan hewan lain. Karena itu semua makhluk hidup mengandung sedikit C-14 di tubuhnya. Selama hidupnya, kadar C-14 itu kira-kira tetap saja. Tetapi bila makhluk hidup (baik dari dunia flora, maupun fauna) kemudian mati, proses respirasi dan metabolismenya berhenti, sehingga tidak lagi mendapat pasokan C-14. Karena peluruhan radioaktif C-14 itu masih terus berlangsung, maka kadar C-14 di dalam jasad atau fosil

menurun, menjadi separuh dari jumlahnya semula setiap 5.600 tahun. Maka dengan membandingkan kadar C-14 dalam jaringan tubuh makhluk hidup dengan kadar C-14 dalam fosilnya, dapat diketahui, berapa tahun umur fosil itu. Kalau Sigupa sudah berumur 7.200 tahun, jadi sekitar 1,5 umur paruh C-14, maka kadar C-14 dalam fosil dari Sigupa tinggal kurang dari separuhnya kadar C-14 dalam hewan atau tumbuhan yang sekarang masih hidup.

Perlu Ketelitian

Pendumuran karbon cukup baik sebagai cara untuk menentukan umur artefak arkeologis. Dalam rentang umur antara 600 sampai 10.000 tahun, peluang melesetnya dari umur yang benar tak sampai 100 tahun.

Tetapi pengukurannya harus dilakukan dengan sangat teliti, sebab lazimnya kadar C-14 dalam 1 gram cuplikan (*sample*) fosil cuma 1 dalam 1 triliun. Ini setara dengan laju disintegrasi 15 kali per menit dalam 1 gram karbon. Lagipula, energi zarah beta yang dilepaskan C-14 dalam peluruhannya kecil. Karena itu spesimennya harus tipis sekali, dan tameng pelindungnya (*shielding*) harus cukup tebal dan terbuat dari logam berat (misalnya timbel) yang tidak mengandung campuran zat radioaktif. Dengan demikian tidak ada gangguan cacah palsu (*spurious counts*) dari lingkungan. Sinar kosmos, karena sangat energetik, memang tak dapat dicegah untuk ikut masuk ke dalam detektor. Tetapi gangguannya dapat dikoreksi, sebab intensitas sinar kosmos itu rendah dan praktis tetap.

Ekakutub Magnetik

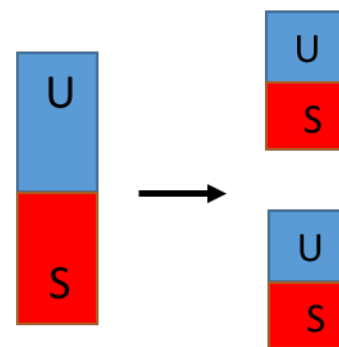
Dalam atikelyang berjudul "Gunung Padang Parahyangan", tertanggal 19 September 2014, Hadiwaratama mengatakan (tentu berdasarkan informasi dari peneliti Sigupa) bahwa ada "benda batu berserat dengan magnet berkutub satu yang diperkirakan asli dari dalam situs." Ini "hil yang mustahil" (pinjam ungkapannya pelawak Asmuni, alm.). Mana ada magnet berkutub satu?

Menurut hukum Biot-Savart dalam Elektrodinamika, yang dapat diungkapkan dengan lebih sederhana sebagai persamaan Maxwell yang ke-3, yakni $\text{div}.\mathbf{B} = 0$ (divergens medan imbas magnetik sama dengan nol) dapat dipastikan bahwa magnet itu berkutub dua. Tidak ada magnet yang hanya mempunyai kutub Utara, tanpa kutub Selatan. Juga tidak ada magnet yang berkutub Selatan saja; pasti ada kutub pasangannya, yakni kutub Utara.

Kalau sampai ada orang yang menemukan magnet berkutub satu, dunia (dan terutama komunitas ilmiah) akan gempar, dan Si Penemu akan mendapat hadiah Nobel dalam Fisika dari Komisi Nobel Stockholm.

Anda merasa tidak kekurangan akal, lalu memotong magnet batang yang ujung atasnya kutub Utara dan ujung bawahnya kutub Selatan menjadi dua bagian. Anda pikir akan Anda peroleh dua magnet batang yang lebih pendek, dengan ujung atas potongan atas berupa kutub Utara dan ujung bawah potongan bawah berupa kutub Selatan. Dengan demikian Anda mempunyai dua magnet batang yang masing-masing berkutub tunggal. Benarkah?

Jain, kata orang Jerman. *Ja und nein*, ya dan tidak. **Ya**, Anda memang memperoleh dua magnet batang dan magnet potongan atas itu ujung atasnya berupa kutub Utara, sedang magnet potongan bawahnya ujung bawahnya berupa kutub Selatan. Tetapi tidak. Anda tidak mempunyai dua magnet batang yang masing-masing berkutub tunggal, sebab di ujung bawah potongan atas muncul kutub Selatan dan di ujung atas potongan bawah muncul kutub Utara (lihat Gambar 1).



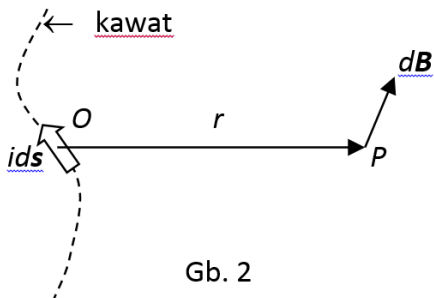
Gambar 1. Magnet batang dipotong menjadi dua. Masing-masing potongan menjadi dwikutub magnetik, dengan pasangan kutub Utara dan kutub Selatan.

Hukum Biot-Savart ialah hukum empiris yang memberikan hubungan kuantitatif antara arus elektrik i yang ada (mengalir) di unsur (elemen) kawat penghantarnya, ds , dan medan imbas magnetik $d\mathbf{B}$ yang diimbaskan arus tersebut. Unsur kawat berarus, ids , itu terletak di titik sumber yang dapat kita jadikan titik-asal koordinat O , sedang medan $d\mathbf{B}$, diimbaskan di titik observasi $P(\mathbf{r})$ (lihat Gambar 2).

James Clerk Maxwell, fisikawan Skotlandia, menurunkan persamaannya yang ke-3,

$$\text{div}.\mathbf{B} = 0 \dots \dots \dots (1)$$

dari hukum Biot-Savart. Karena itu, persamaan Maxwell ke-3 ini selain matematis kuantitatif juga faktual.



Gb. 2

Gambar 2

Persamaan (1) itu diungkapkan dalam bentuk diferensial. Kalau diekspresikan dalam bentuk integral, jadinya begini:

$$\oint_s \mathbf{B} \cdot d\sigma = 0 \dots\dots\dots (2)$$

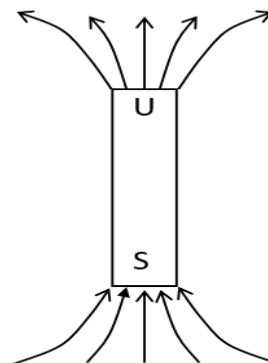
Secara verbal, integral muka medan imbas magnetik **B** melalui seluruh permukaan tertutup **S** sama dengan nol.

Integral **B** melalui sebarang permukaan disebut fluks **B**, lambangnya ϕ_B . Permukaan tertutup ialah permukaan yang membatasi bagian dalam dari bagian luar suatu ruang, seperti permukaan bola. Jadi, **fluks medan imbas magnetik melalui sebarang permukaan tertutup sama dengan nol**.

Medan dapat dibayangkan dengan garis-garis medannya. Garis-garis medan magnetik arahnya ke luar dari kutub Utara magnet tersebut dan masuk ke dalam kutub Selatannya (lihat Gambar 3).

Bayangkan sebatang magnet berada di sebelah dalam sebuah permukaan tertutup. Fluks

medannya yang ke luar dari permukaan itu positif, sedang yang masuk ke dalamnya negatif.



Gambar 3

Maka persamaan (2) menyatakan bahwa garis-garis medan magnetik yang ke luar dari kutub U semuanya masuk kembali ke dalam kutub S. Tidak ada yang ke luar tetapi tidak masuk kembali. Berarti tidak ada kutub U tanpa kutub S pasangannya yang sama kuatnya. Begitu pula sebaliknya, tidak ada kutub S yang tidak berpasangan dengan kutub U. Tidak ada magnet ber kutub tunggal!

Deret Uranium

Untuk pendumuran radioaktif peninggalan palaeontologis yang jauh lebih tua, dipakai uranium, yang deret peluruhan radioaktifnya berakhir pada timbel (*Pb*) yang mantap. Dua deret radioaktif lainnya, yakni deret aktinium dan deret torium juga dapat dipakai untuk menduga umur yang sangat panjang, misalnya umur serpihan batu meteorit. Satu deret radioaktif lagi, yakni deret neptunium, tidak dapat dipakai, sebab deret ini sudah tidak ada lagi secara alami, sebagai akibat dari umur paruh

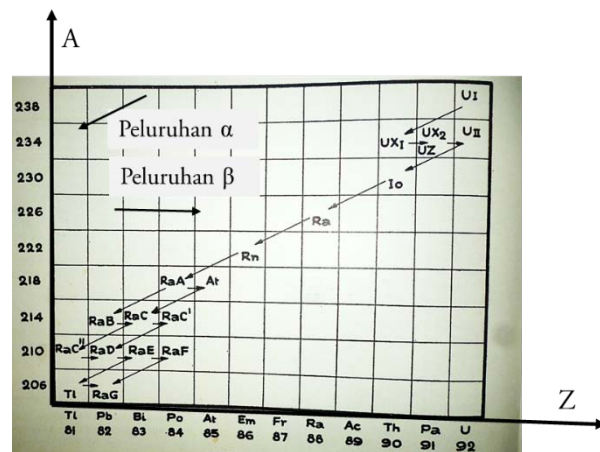
anggotanya yang paling panjang-umur yang hanya 2 juta tahun. Ini jauh sekali lebih pendek daripada umur Bumi, yang diperkirakan sudah 4,5 miliar tahun.

Deret-deret radioaktif uranium, aktinium, dan torium berakhir pada isotop *Pb* (*plumbum*) yang mantap, sedang deret neptunium berujung mantap pada bismuth.

Peluruhan radioaktif dalam deret uranium itu sesudah timbel ($^{206}_{82}\text{Pb}$) mulai terbentuk dan sebelum uranium ($^{238}_{92}\text{U}$)-nya habis, mencapai keseimbangan sekular. Artinya, semua radioisotop dalam deret itu (kecuali "kepala" dan "buntut"-nya) jumlah intinya tetap, sebab tambahan dari peluruhan inti di depannya persis sama dengan pengurangan karena inti tersebut meluruh menjadi inti di belakangnya. Keadaannya seperti ember berisi air yang mendapat tambahan air kran dari atas, tetapi juga mengalami pengurangan sebab ada lubang (bocor) di pantat ember itu. Tambahan dari kran sama dengan pengurangan karena bocor itu, sehingga jumlah air di dalam ember itu — dengan kata lain tingginya permukaan air di dalam ember tersebut — tetap.

"Kepala" deret radioaktif uranium ialah isotop yang lambangnya $^{238}_{92}\text{U}$. Nomor massanya 238, artinya intinya terdiri atas 238 nukleon, 92 diantaranya berupa proton dan yang selebihnya (146) neutron. Semua "mata rantai" yang membentuk deret itu mempunyai nomor massa A yang memenuhi "rumus" $A = 4n + 2$. A -nya $^{238}_{92}\text{U}$ ialah 238 yang memenuhi rumus ini dengan $n = 59$; $[238 = (4 \times 59) + 2]$.

Semua anggota deret itu radioaktif, kecuali "buntut" deret tersebut, yakni timbel $^{206}_{82}\text{Pb}$, yang mantap. Ragam peluruhannya kebanyakan dengan melepaskan zarah alfa, yang tidak lain daripada inti helium (^4_2He). Tetapi ada juga yang aktif beta, artinya memancarkan zarah beta (yang adalah elektron), dan ada pula yang selain aktif alfa juga aktif beta. "Kepala" deret uranium melalui peluruhan alfa delapan kali dan peluruhan beta enam kali sebelum sampai ke "buntut"-nya yang mantap.



Gambar 4. Deret $(4n + 2)$

Dalam peluruhan beta, n dalam rumus $A = (4n + 2)$ tidak berubah, sebab yang terjadi ialah inti induk (*parent nucleus*) memancarkan elektron (zarah beta) secara spontan, sembari satu neutronnya berubah menjadi proton. Karena baik neutron, maupun proton, adalah nukleon (zarah pembentuk inti), maka jumlah nukleon dalam inti induk itu — dengan kata lain, nomor massa (A)-nya — tetap saja.

Tetapi dalam peluruhan alfa, n -nya inti induk seraya berubah menjadi inti anang (*daughter nucleus*) berkurang 1, sebab ia melepaskan zarah alfa, yakni inti atom helium yang terdiri dari 2

neutron dan 2 proton — jadi 4 nukleon. Polonium ($^{210}_{84}\text{Po}$), misalnya, meluruh dengan melepaskan zarah alfa lalu menjadi timbel ($^{206}_{82}\text{Pb}$). Nomor massanya, 206, berkurang dari 210 dengan 4 (yakni $4n$ dengan $n = 1$).

Oleh karena itulah semua anggota deret itu nomor massanya memenuhi rumus $A = 4n + 2$, mulai dari $n = 59$ (uranium), turun satu demi satu sampai $n = 51$ (timbel).

Karena semua anggotanya, nomor massanya memenuhi rumus $A = 4n + 2$, maka deret uranium juga disebut "deret ($4n + 2$)". Kepala deret ($4n + 2$) ini, yakni uranium-238, mempunyai umur-paruh (*half-life*) $1,42 \times 10^{17}$ sekon atau hampir 10^{12} (satu triliun) tahun. Artinya, suatu cuplikan (*sample*) yang mengandung N inti uranium-238, inti uraniumnya baru akan tinggal $\frac{1}{2}N$ setelah satu triliun tahun kemudian. Karena umurnya yang sangat panjang itulah, maka uranium-238 sesuai untuk pendumuran batuan palaentologis.

Selain rentang umur yang diduga, ada perbedaan lain antara pendumuran karbon dan pendumuran uranium. Pada pendumuran karbon, yang diperkirakan umurnya ialah artefak arkeologis, dan pendumuran itu didasarkan pada radioisotop C-14 **yang masih tersisa** di dalam cuplikan (*sample*) artefak itu. Sedangkan pada pendumuran uranium, yang diperkirakan umurnya ialah batuan palaentologis, dan pendumuran itu didasarkan pada isotop timbel yang mantap **yang sudah terbentuk** dalam spesimen yang didumur.

Menghapus Penasaran

Paul Adrien Maurice Dirac ialah fisikawan Inggris pemenang hadiah Nobel (1933). Dalam rentang waktu selama usianya likuran tahun, artinya antara 20 – 30 tahun, ia cemerlang dan kreatif. Dirac muda dikagumi Werner Heisenberg waktu mereka sama-sama menjadi peneliti di Universitas Cambridge. Heisenberg sedikit lebih senior daripada Dirac. Ia bersama Born dan Jordan terkenal sebagai "Trio Goetingen". Heisenberg (1932), dan kemudian juga Max Born (1954), juga mendapat hadiah Nobel. Selain Heisenberg, Richard P. Feynman (pemenang Nobel untuk Elektrodinamika Kuantum) ketika masih anak muda juga mengagumi Paul Dirac.

Dalam atikelnya, "The Test", Dirac menuturkan reaksi Einstein ketika diberi tahu tentang ekspedisi Eddington. Ekspedisi yang dipimpin astronom Inggris, Arthur Eddington (1919) itu berhasil membuktikan kejituan ramalan Einstein dalam teori Relativitas Umumnya, bahwa cahaya bintang mengalami pembelokan ketika melintas di dekat Matahari. Observasi di saat-saat terjadi gerhana matahari di pulau Principe, di lepas pantai Barat Afrika, itu merupakan pembuktian yang pertama atas Relativitas Umum Einstein, padahal lima tahun sebelumnya (1914) pun, Erwin F. Freundlich, astronom Jerman, sudah berusaha menguji ramalan Einstein tersebut dalam ekspedisinya (yang gagal) di Semenanjung Krimea. Karena itu, orang pada umumnya membayangkan betapa serunya Einstein berteriak-teriak sambil berjingkrak-jingkrak mendengar berita besar itu.

Ternyata tidak! Menurut Paul Dirac, Einstein bersikap dingin-dingin saja. Bagi Einstein, kebenaran prediksi teoretisnya itu bukan kejutan, sebab sejak semula ia sudah yakin bahwa temuannya tentang pembelokan cahaya itu benar adanya.

Perasaan biasa-biasa saja seperti Einstein itu juga akan kita rasakan bila — dan jika — "temuan" magnet berkutub tunggal itu diuji, dan ternyata salah. Komunitas ilmuwan, pada umumnya *yakin-haq'ul-yakin* bahwa mau diuber sampai *jabalekat* pun, ekakutub magnet (*magnetic-monopole*) itu tidak akan ditemukan.

Namun *tokh* mungkin ada yang masih penasaran di kalangan para peneliti Sigupa yang menemukan batu bergurat logam magnetik itu. Neutrino, yang sejak ditemukan oleh Enrico Fermi pada tahun 1934, sampai enam dasawarsa kemudian, disangka nirmassa (*massless*, artinya massanya nol), ternyata mempunyai massa, meskipun kecil sekali. Para peneliti di Kamiokande (*Kamioka Nuclear Detection Experiment*), di Jepang, berhasil membantah kenirmasaan neutrino! Daripada penasaran terus, kenapa tidak diuji saja secara ilmiah, dugaan tentang magnet berkutub tunggal itu? Sigupa dekat dengan Bandung, dan di Bandung ada ITB. Di ITB ada Departemen Fisika di FMIPA, dan Departemen Teknik Elektro di STEI. Di dekat kampus ITB, di Cisitu, ada Puslit Fisika yang merupakan cabang LIPI. Di salah satu dari ketiga tempat tersebut di atas pengujian terhadap magnet Sigupa itu dapat dilakukan. Siapa tahu, pengujian itu membantah "hil yang mustahal"-nya Asmuni

almarhum. Hebat, bukan, kalau ada putra bangsa kita meraih hadiah Nobel Fisika?

=====

L. Wilardjo adalah seorang fisikawan asal Purworejo, mendapat gelar M.Sc. dari Michigan State University (1965) dan meraih gelar doktor dalam bidang fisika pada tahun 1970. Sejak 1962 ia menjadi dosen di Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga, dan tahun 1998 ia diangkat sebagai Guru Besar. Tahun 1990 ia mendapat gelar Dr. H.C. dalam Sains dari Vrije Universiteit Amsterdam.