

## PENGARUH ILMU PENGETAHUAN ALAM PADA ARKEOLOGI

S. Sartono

### Prakata

Di samping ilmu yang meneliti tatalingkungan, yang kini seolah-olah menjadi buah bibir masyarakat Indonesia sehari-hari, barangkali tidak ada ilmu lain yang mengikat ilmu pengetahuan alam dengan humaniora demikian erat dari pada ilmu arkeologi. Ilmu ini nampaknya mudah untuk diikuti akan tetapi nyatanya demikian sulit bak labirin (*labyrinth*).

Di negara kita ilmu arkeologi an sich dianggap sebagai ilmu non-eksakta dan diajarkan dalam Fakultas Sastra. Ini mungkin disebabkan oleh:

1. Tidak adanya pendidikan tinggi dalam ilmu pengetahuan alam di negara kita sebelum Perang Dunia II, ilmu mana baru diajarkan untuk pertama kali di Bandung di Fakultas Ilmu Pasti dan Ilmu Alam Universitas Indonesia, yang sekarang menjadi Institut Teknologi Bandung.
2. Sebelum Perang Dunia II para pakar arkeologi asing yang melakukan penelitian di negara kita terbatas pada orang-orang yang tidak atau sedikit mengikuti ilmu pengetahuan alam. Berbagai hasil penelitian para pakar itu menjadi sumber, serta tentunya menjadi "buku pintarnya" para pakar arkeologi Indonesia. Di samping itu para

pakar asing itu juga menjadi pengajar. Dengan demikian mereka itu menjadi "bapak" para pakar Indonesia sekarang. Walhasil dunia arkeologi kita kini di "monopoli" oleh para pakar Indonesia yang orientasinya lebih cenderung ke ilmu non-eksakta.

Itulah mungkin sebabnya mengapa arkeologi terasa demikian jauh dari ilmu pengetahuan alam dan dimasukkan dalam Fakultas Sastra, yakni fakultas non-eksakta. Dengan demikian ilmu dan teknologi kini banyak problema dalam arkeologi dapat dipecahkan dengan bantuan ilmu eksakta.

Tulisan dimaksudkan untuk menunjukkan bagaimana luas dan eratnya hubungan ilmu arkeologi (yang dianggap sebagai ilmu non-eksakta) dengan ilmu eksakta, terutama ilmu pengetahuan alam. Sekaligus makalah ini berupa suatu himbauan pada para pakar arkeologi serta para ilmu pengetahuan alam Indonesia untuk lebih erat bekerjasama demi kemajuan ilmu arkeologi.

### Arkeologi dan Ilmu Pengetahuan Alam

"Kebangkitan" ilmu arkeologi tidak lepas dari usaha gigih Prof. Dr. R.P. Soejono, sekarang mantan Kepala Pusat Penelitian Arkeologi Nasional. Pada sekitar tahun 1975/1976 beliau menghubungi Prof. Dr. T. Jacob dan



penulis untuk mengajukan gagasan bersama-sama memajukan ilmu arkeologi. Entah gagasan itu muncul dari diri beliau sendiri, ataupun menyontoh kerangka penelitian yang dilakukan di luar negeri, nyatanya beberapa tahun setelah itu dapat didirikan Laboratorium Bioanthropologi-Paleoanthropologi di Yogyakarta dan laboratorium Paleoekologi - Radiometri di Cinunuk (Bandung). Sejak itu kedua laboratorium itu erat bekerjasama dengan Puslit Arkenas di Jakarta dan Balai Arkeologi di Yogya dan Denpasar, serta pihak-pihak lain di dalam dan di luar negeri.

Banyak bidang dalam ilmu pengetahuan alam memiliki potensi untuk digunakan serta diterapkan sebagai penolong dalam memecahkan berbagai teka-teki dalam ilmu arkeologi. Di bawah ini akan dipaparkan secara singkat berbagai bidang ilmu pengetahuan alam yang paling sering digunakan oleh bidang arkeologi.

Ada ilmu-ilmu pengetahuan alam tertentu yang hingga kini belum dimanfaatkan secara tuntas oleh Puslit Arkenas dalam suatu penelitian. Untuk itu hendaknya Puslit Arkenas lebih agresif mulai mendekati instansi dan laboratorium yang bersangkutan.

## 1. Pertanggalan Radiokarbon

Menentukan usia sesuatu benda dengan menggunakan metoda ini sesuai untuk umur maksimum sekitar 70.000 tahun SS. Lebih dari usia itu metoda ini tidak akurat lagi.

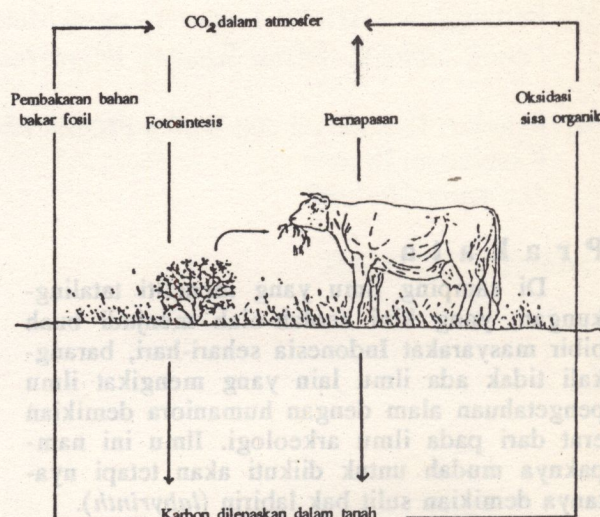
Produksi sinar kosmos yang membentuk atom-atom baru dan diserap oleh sesuatu benda di bumi merupakan dasar untuk pertanggalan radiokarbon, yaitu karbon-14. Karbon-14, atau dituliskan sebagai  $^{14}\text{C}$ , dapat bertahan tanpa terurai selama sekitar 8300 tahun sebelum berubah menjadi nitrogen-14. Dalam jangka waktu itu  $^{14}\text{C}$  dapat masuk ke dalam segala apa yang hidup dan juga ke dalam air maupun udara di bumi. Karbon dioksida merupakan bagian terpenting dalam proses itu, yaitu dari  $^{14}\text{C}$  menjadi  $^{14}\text{CO}_2$ .

Unsur karbon yang berada dalam tanah, misalnya dalam batubara dan gambut serta minyak bumi dan lain sebagainya, lepas ke dalam lapisan atmosfer sebagai akibat dari proses pembakaran bahan tersebut pun oleh sebab oksidasi bahan sisa (residue) organik. Sebagai akibat dari proses fotosintesis tetumbuhan maka karbon juga dilepaskan ke dalam tanah melalui akar-akar tetumbuhan bersangkutan. Berbagai tetumbuhan itu kemudian dimakan oleh hewan, sedangkan melalui pernafasan dan kotoran

hewan itu unsur karbon juga akan dilepaskan ke dalam atmosfer maupun ke dalam tanah. Dengan begitu siklus terjadinya unsur karbon dapat terus terjadi (Gambar 1).

Kesimpulan prosesnya dapat disingkat sebagai berikut:

- Sinar kosmik membuat segala yang hidup di bumi ini seolah-olah menjadi bersifat radioaktif melalui pangan yang diserapnya.
- Setelah hewan mati maka terhenti juga penambahan maupun penggantian  $^{14}\text{C}$ . Hanya setelah itu saja  $^{14}\text{C}$  dapat terbentuk.
- Banyaknya  $^{14}\text{C}$  digunakan untuk menentukan lamanya proses pembentukan itu sendiri. Atau dengan kata lain umur radioaktif.



Gambar 1 Bagian Daur Karbon

## 2. Geofisika

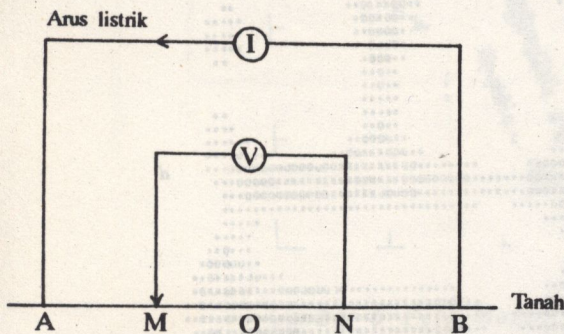
Berburu benda arkeologi dengan menerapkan ilmu geofisika tidak jarang disebut juga dengan cara arkeofisika. Metoda ini tidak merusak (*non-destructive*) terhadap artefak arkeologis yang berada dalam tanah. Ada beberapa cara yang digunakan yaitu: tahanan-jenis (*resistivity*), kemagnetan (*magnetics*), grafimetrimikro (*microgravimetry*), dan radar tembus tanah (*ground penetrating radar*).

### 2.1 Metoda tahanan-jenis (*electrical resistivity*).

Pengukuran tahanan jenis didasarkan atas perbedaan nilai tahanan jenis benda arkeologis

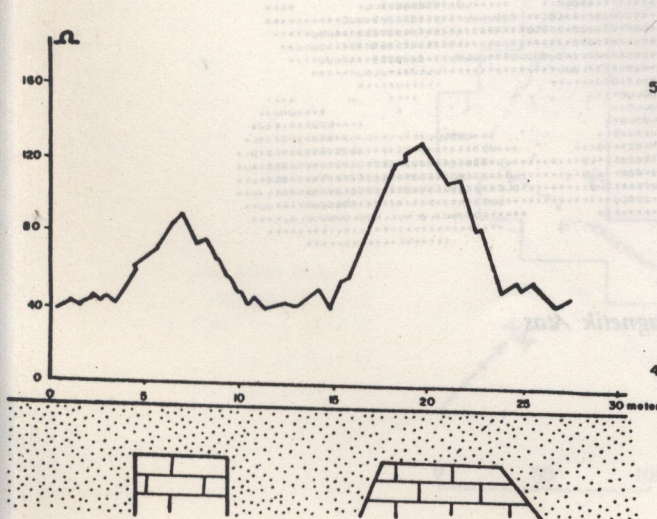


terhadap tempat sekelilingnya. Dengan pengukuran itu dapat dibedakan misalnya pondasi bangunan kuno atau parit-parit dan lain-lain benda yang terpendam dalam lapisan tanah yang mengelilinginya. Tahanan-jenis itu diperoleh dengan mengirimkan arus listrik ke dalam tanah dan kemudian mengukur benda titik-titik yang telah ditentukan (Gambar 2). Tidak hanya pondasi bangunan benda-benda arkeologis besar lainnya yang dapat dicari dengan menggunakan metoda ini, akan tetapi benda-benda kecil yang misalnya terdiri dari emas dan perak serta perunggu yang kesemuanya bersifat sebagai logam penghantar listrik dapat ditemukan dengan cara ini jika beronggok disuatu tempat (Gambar 3).



Gambar 2 Penjajakan Tahanan-jenis

- I = Pengukur kuat arus listrik
- V = Pengukur beda tegangan listrik
- A dan B = Elektroda pengirim arus listrik
- M dan N = Elektroda pengukur benda tegangan listrik
- O = Titik pusat pengukuran



Gambar 3 Hasil Pengukuran Tahanan-jenis

## 2.2 Kemagnetan

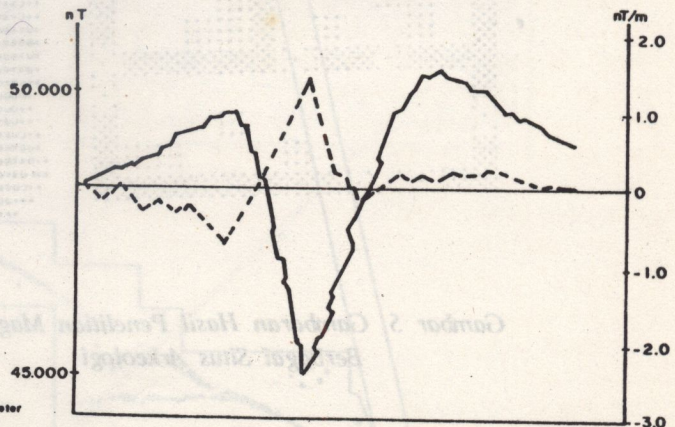
Cara ini diterapkan dalam pencarian benda arkeologis yang berada di bawah muka tanah dengan berpedoman pada perbedaan nilai kerentanan magnet (*magnetic susceptibility*) yang diperlihatkan oleh berbagai benda arkeologis bersangkutan terhadap lapisan tanah yang mengelilinginya. Benda arkeologis itu dapat berupa pondasi bangunan, guci, kerangka hewan besar dan lain sebagainya (Gambar 4,5,6 dan 7).

## 2.3 Gravimetri-mikro

Cara ini terutama diterapkan untuk mengetahui adanya rongga bawah tanah sungai atau lorong bawah tanah yang mungkin pada waktu dulu digunakan sebagai ruangan menyimpan benda arkeologis, ruang penguburan seperti halnya pada makam para pharao di Mesir, gua-gua bawah tanah dan lain sebagainya. Metoda ini didasarkan atas perbedaan rapatmasa (*density*) serta pengaruh saling tarik (gaya berat) antara berbagai benda bersangkutan (Gambar 8).

## 2.4. Radar Tembus Tanah

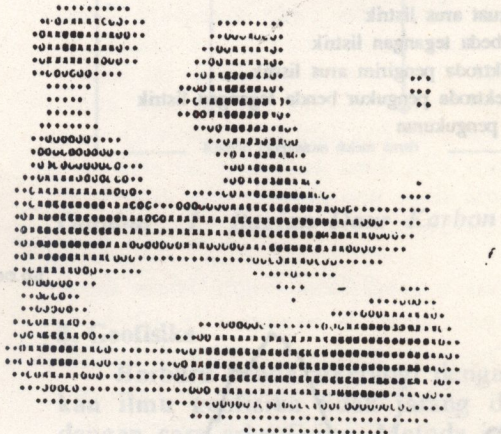
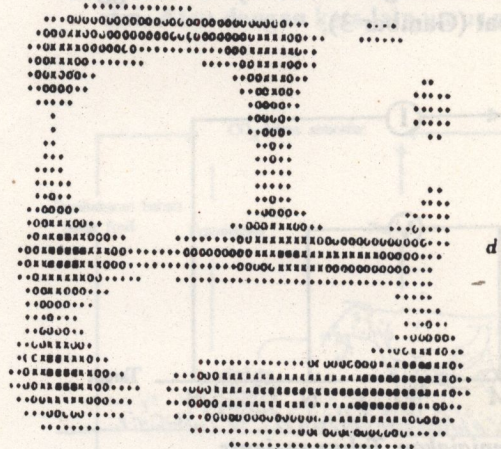
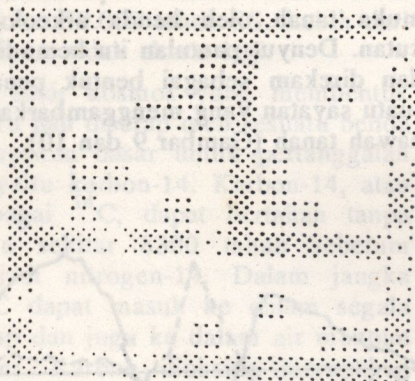
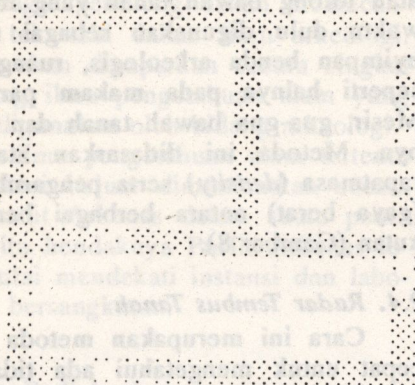
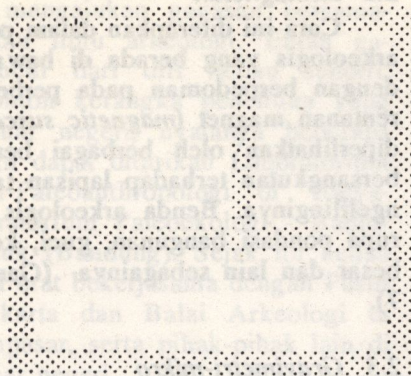
Cara ini merupakan metoda yang paling cepat untuk mengetahui ada tidaknya benda arkeologis terhadap lapisan tanah yang mengelilinginya. Denyut isyarat radar yang dipancarkan ke dalam tanah dipantulkan kembali ke muka tanah oleh benda arkeologis bersangkutan. Denyut pantulan itu kemudian ditangkap dan direkam sebagai bentuk penampang atau suatu sayatan yang menggambarkan keadaan di bawah tanah (Gambar 9 dan 10).



Gambar 4 Nilai Kemagnetan dan Landaian Tegak Suatu Benda di Bawah Tanah

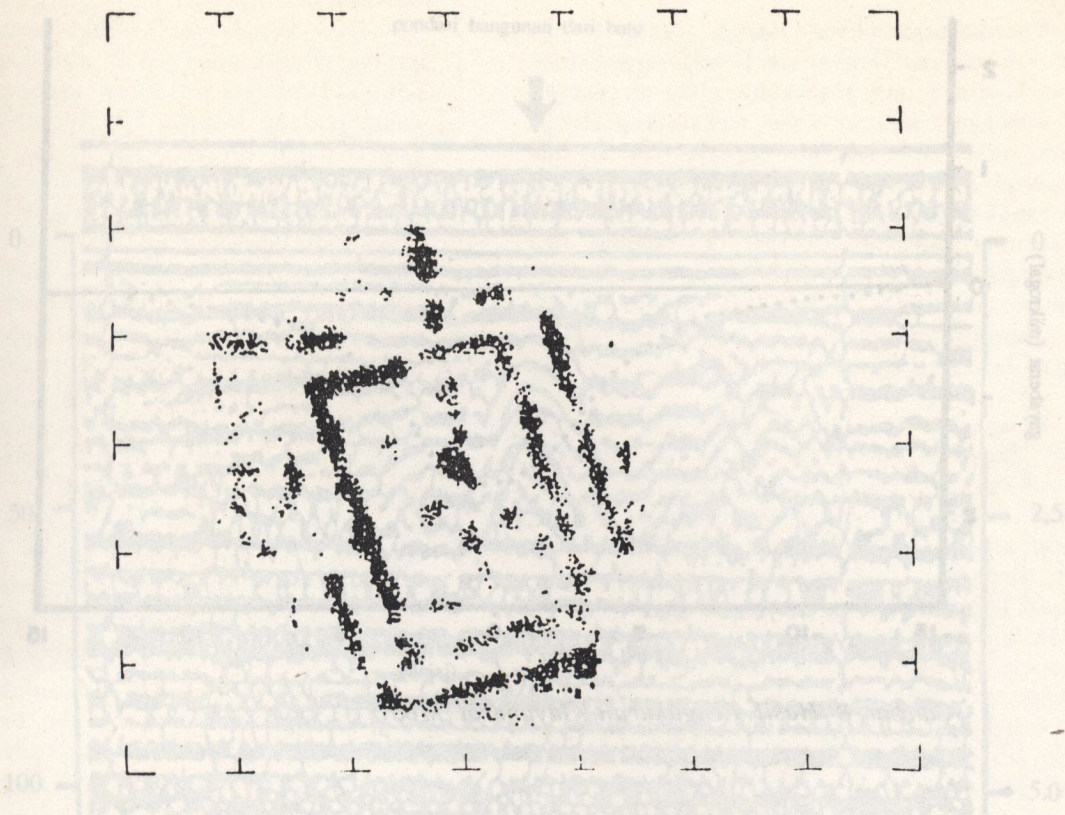
- n T = Kuat medan magnet total sebagai nano Tesla.
- n T/m = Landaian tegak (vertical gradient) nano Tesla per meter



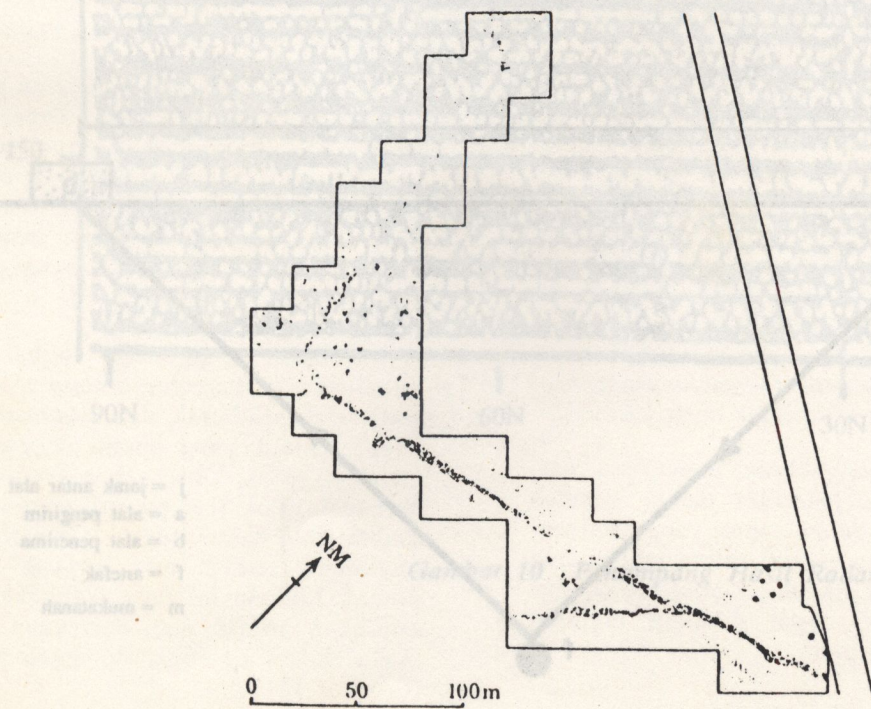


Gambar 5 Gambaran Hasil Penelitian Magnetik Atas Berbagai Situs Arkeologi



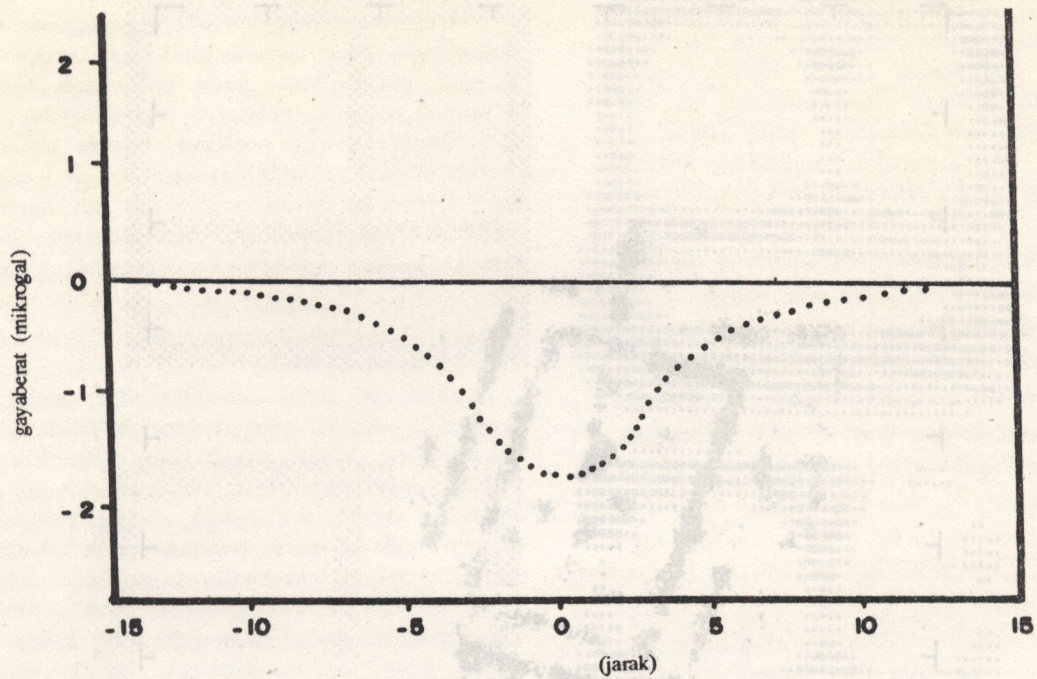


*Gambar 6 Peta Magnetik Suatu Daerah Arkeologi*

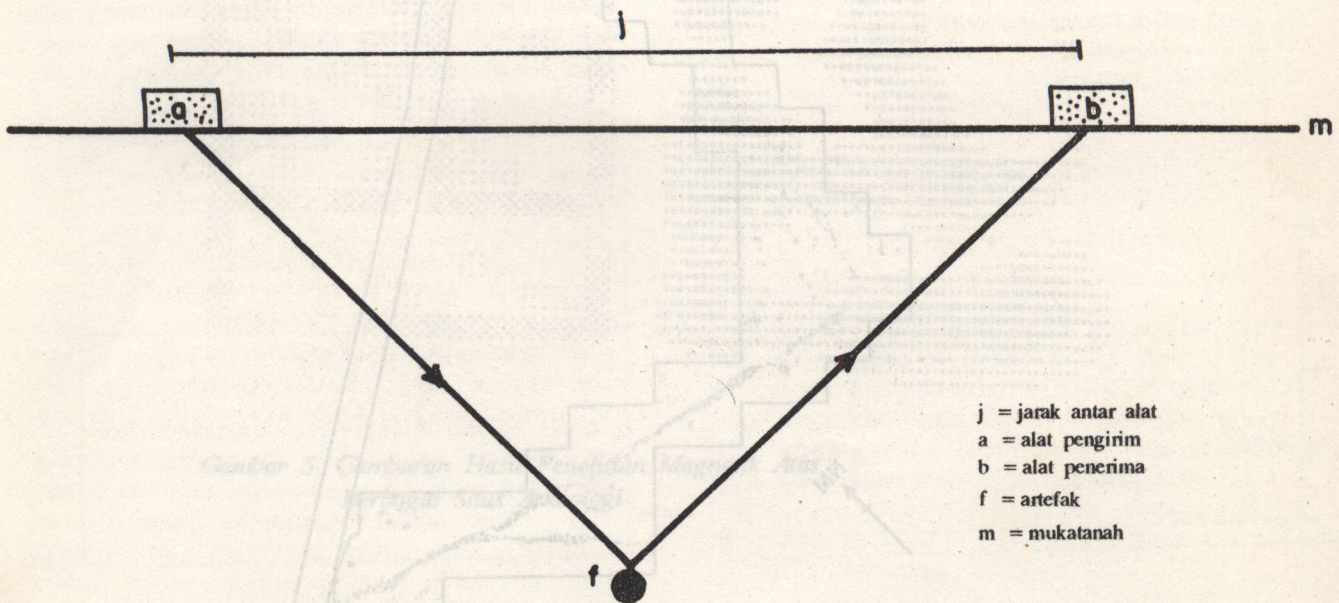


*Gambar 7 Gambaran Suatu Hasil Survei Magnetik*





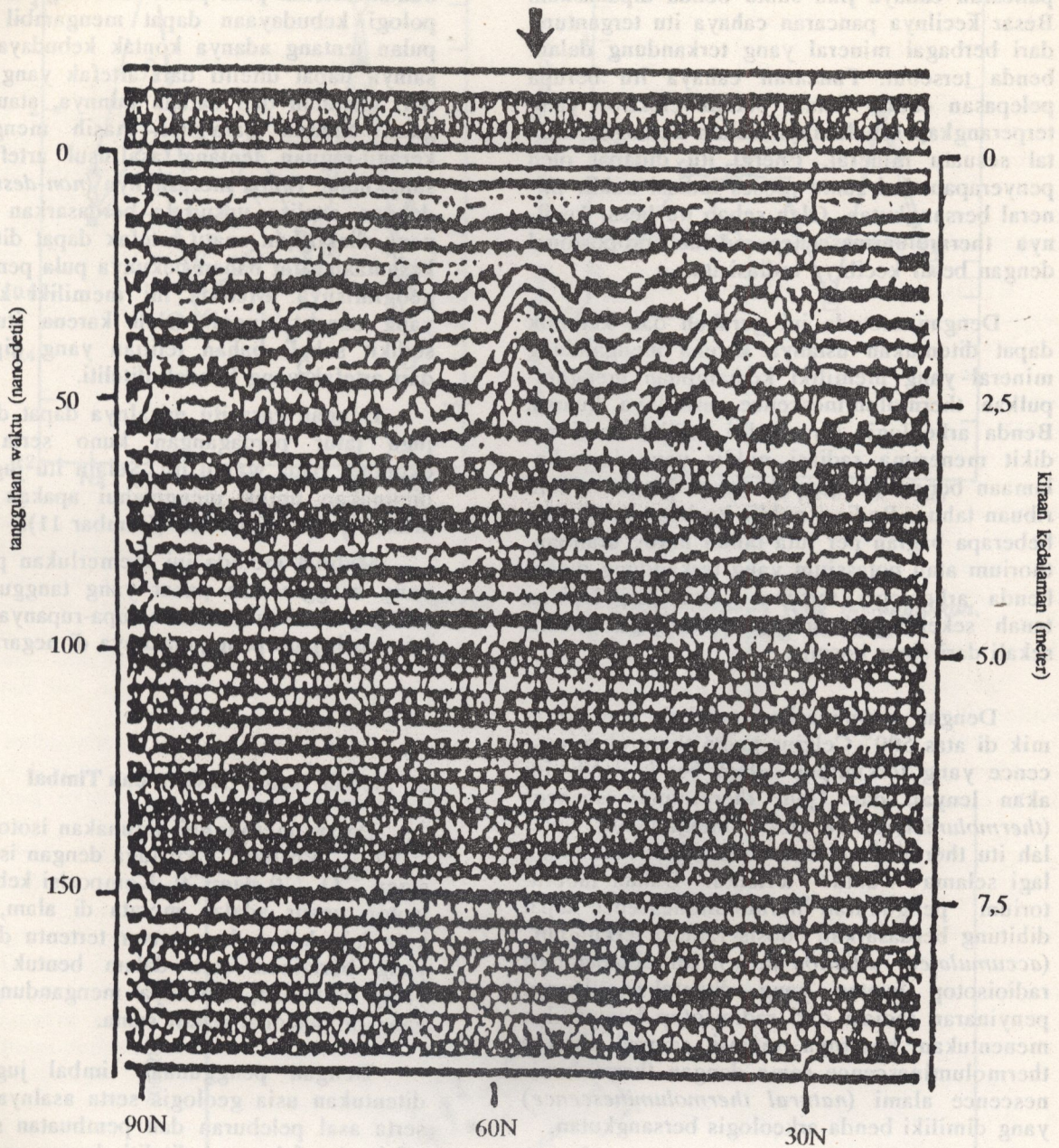
Gambar 8 Hasil Pengukuran Gayaberat Mikro



Gambar 9 Bagan Penelitian Metode Roda Tembus



pondasi bangunan dari batu



Gambar.10 Penampang Hasil Radar Tembus



### 3. Thermoluminescence

Thermoluminescence adalah suatu proses pancaran cahaya jika suatu benda dipanaskan. Besar kecilnya pancaran cahaya itu tergantung dari berbagai mineral yang terkandung dalam benda tersebut. Pancaran cahaya itu berupa pelepasan energi dalam bentuk elektron yang terperangkap sebelumnya dalam kerangka kristal sesuatu mineral. Energi itu didapat oleh penyerapan dari suatu proses radiasi nuklir mineral bersangkutan. Oleh sebab itu besar kecilnya thermoluminescence adalah proposional dengan besar kecilnya radiasi itu.

Dengan metoda ini gerabah dan keramik dapat ditentukan usianya karena mengandung mineral yang memiliki kemampuan mengumpulkan thermoluminescence, misalnya kuarsa. Benda arkeologis itu sendiri sedikit demi sedikit menerima radiasi nuklir yang lama-kelamaan berjumlah banyak dalam jangka waktu ribuan tahun. Radiasi nuklir itu besarnya hanya beberapa bagian per juta tahun untuk uranium, thorium atau potassium yang terkandung dalam benda arkeologis tersebut serta dari lapisan tanah sekeliling benda itu dan juga sedikit sekali dari sinar kosmis.

Dengan memanaskan gerabah atau keramik di atas 500° Celcius maka thermoluminescence yang terkumpul dalam benda-benda itu akan lenyap dan "jam thermoluminescence" (*thermoluminescence clock*) menjadi nol. Setelah itu thermoluminescence kembali bertambah lagi selama waktu tertentu. Dalam laboratorium pengukuran thermoluminescence dapat dihitung berdasarkan "dosis radiasi terkumpul" (*accumulated radiation dose*). Ini didapat dari radioisotop buatan yang ditentukan dengan penyinaran radiasi dari radioisotop buatan dan menentukan besarnya radiasi sampai tingkat thermoluminescence sama dengan thermoluminescence alami (*natural thermoluminescence*) yang dimiliki benda arkeologis bersangkutan.

Berdasarkan pengukuran banyaknya uranium, thorium dan potassium dalam gerabah atau keramik serta dalam tanah yang mengandungnya maka dosis radiasi setiap tahun yang diterima oleh benda arkeologis tersebut, dengan kata lain umurnya, dapat dihitung menurut hitungan sebagai berikut:

$$\text{Usia} = \frac{\text{dosis radiasi terkumpul}}{\text{dosis setiap tahun}}$$

### 4. Analisa Neutron yang Diaktifkan

Dari kesamaan tipologi serta cara pembuatan artefak para pakar arkeologi dan antropologi kebudayaan dapat mengambil kesimpulan tentang adanya kontak kebudayaan, misalnya dapat diteliti dari artefak yang terbuat dari obsidian dan batuan lainnya, ataupun logam. Namun cara itu masih mengundang keragu-raguan tentang asal-usul artefak bersangkutan. Tanpa merusaknya (*non-destructive*) dengan analisa unsurnya berdasarkan neutron yang diaktifkan suatu artefak dapat ditentukan kesamaan sifat bahan bakunya pula penyebaran geografisnya. Metoda ini memiliki kepekaan yang sangat tinggi. Oleh karena itu hanya sedikit sekali bahan telitian yang diperlukan dari artefak yang hendak diteliti.

Dengan cara itu misalnya dapat ditelusuri juga jalur perdagangan kuno serta sistem ekonomi pada waktu itu. Selain itu juga dapat digunakan untuk mengetahui apakah sesuatu artefak palsu atau tidak (Gambar 11).

Melihat metoda ini memerlukan peralatan yang canggih dan pakar yang tangguh untuk mengoperasikannya maka rupa-rupanya metoda ini masih jauh penggunaannya di negara kita.

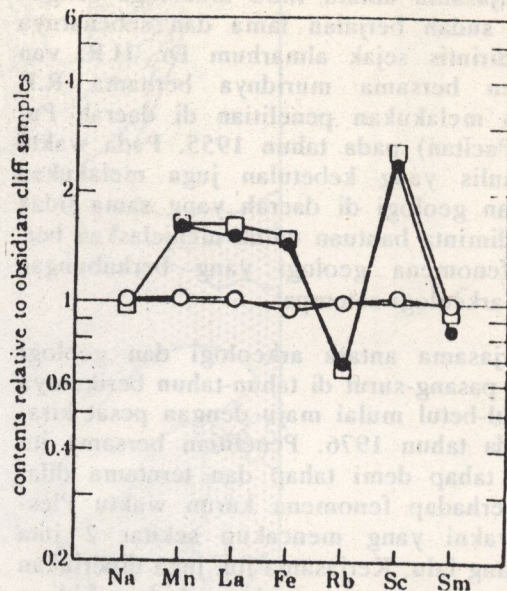
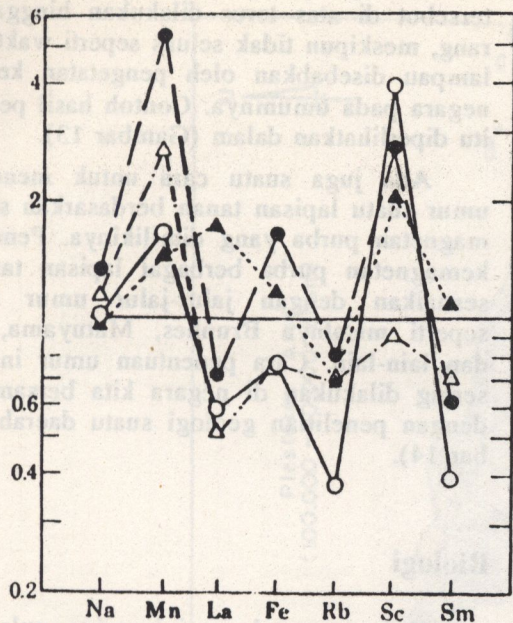
### 5. Metode Isotop Oksigen dan Timbal

Dalam metoda ini digunakan isotop timbal  $^{204}\text{Pb}$ ,  $^{206}\text{Pb}$  dan  $^{208}\text{Pb}$  juga dengan isotop oksigen  $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$  dan  $^{18}\text{O}$ . Komposisi kebanyakan isotop unsur adalah merata di alam, dengan kata lain keberadaan unsur tertentu di tempat yang berlainan atau dalam bentuk kimiawi yang berlainan, biasanya mengandung isotop yang proposional relatif sama.

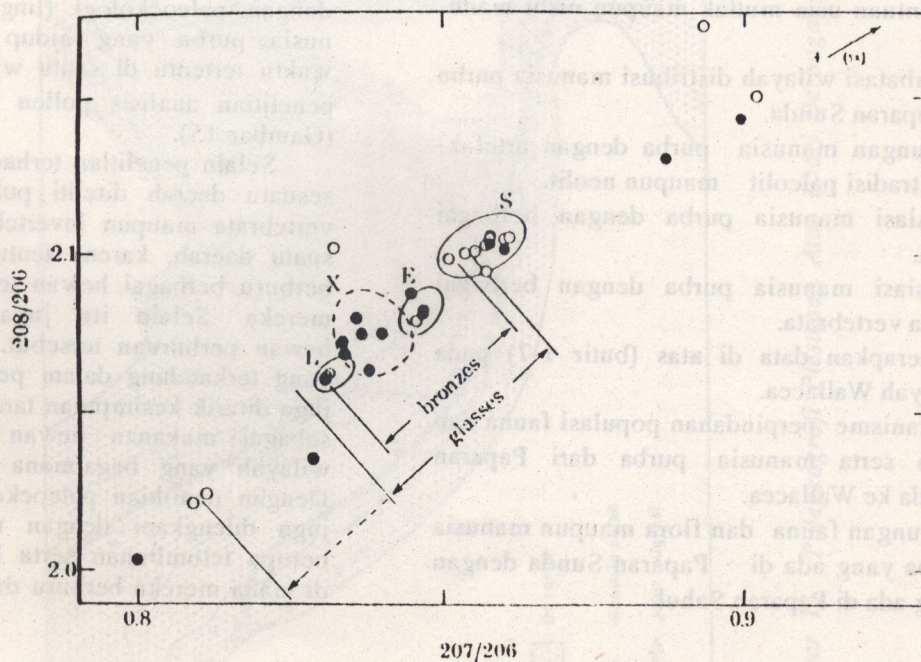
Dengan penggunaan timbal juga dapat ditentukan usia geologis serta asalnya artefak, serta asal peleburan dan pembuatan suatu artefak. Artefak yang diteliti dengan metoda ini misalnya gelas, kaca, bahan kosmetika, cat dan berbagai alloy (campuran) yang mengandung timbal serta bahan korosi (*Corrosion*) yang kesemuanya sedikit atau banyak mengandung timbal. Metoda ini juga digunakan untuk memisahkan artefak satu dari yang lain, artefak mana secara tipologis dianggap sama asalnya (Gambar 12).

Dalam penelitian ini hanya sedikit saja bahan telitian yang diperlukan.





Gambar 11 Komposisi Obsidian yang Menunjukkan Daerah Asalnya yang Berlainan



Gambar 12 Kisaran Isotop Timba Berbagai Benda Arkeologi



## Geologi

Kerjasama antara ilmu arkeologi dengan geologi sudah berjalan lama dan sebenarnya sudah dirintis sejak almarhum Dr. H.R. van Heekeren bersama muridnya bernama R.P. Soejono melakukan penelitian di daerah Pungung (Pacitan) pada tahun 1955. Pada waktu itu penulis yang kebetulan juga melakukan penelitian geologi di daerah yang sama tidak jarang diminta bantuan untuk menjelaskan berbagai fenomena geologi yang berhubungan dengan arkeologi setempat.

Kerjasama antara arkeologi dan geologi berjalan pasang-surut di tahun-tahun berikutnya dan betul-betul mulai maju dengan pesat kira-kira pada tahun 1976. Penelitian bersama itu dimulai tahap demi tahap dan terutama dilakukan terhadap fenomena kurun waktu Plestosen, yakni yang mencakup sekitar 2 juta tahun yang lalu. Kerjasama itu, juga diperlukan diperluas dengan mencakup bidang-bidang biologi dan penentuan usia mutlak endapan dan batuan berdasarkan metode kemagnetan purba (*paleomagnetisma*). Untuk yang akhir ini dimintakan pertolongan pula dari laboratorium di Paris untuk membantu.

Tahapan penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Penentuan lokasi manusia purba
2. Menentukan berbagai tipe manusia purba
3. Penentuan usia mutlak maupun nisbi manusia
4. Membatasi wilayah distribusi manusia purba di Paparan Sunda.
5. Hubungan manusia purba dengan artefaknya, tradisi paleolit maupun neolit.
6. Asosiasi manusia purba dengan berbagai flora.
7. Asosiasi manusia purba dengan berbagai fauna vertebrata.
8. Menerapkan data di atas (butir 1-7) pada wilayah Wallacea.
9. Mekanisme perpindahan populasi fauna dan flora serta manusia purba dari Paparan Sunda ke Wallacea.
10. Hubungan fauna dan flora maupun manusia purba yang ada di Paparan Sunda dengan yang ada di Paparan Sahul.

Berbagai penelitian yang dilakukan seperti tersebut di atas terus dilakukan hingga sekarang, meskipun tidak seluas seperti waktu yang lampau disebabkan oleh pengetatan keuangan negara pada umumnya. Contoh hasil penelitian itu diperlihatkan dalam (Gambar 13).

Ada juga suatu cara untuk menentukan umur suatu lapisan tanah berdasarkan sifat kemagnetan purba yang dimilikinya. Pembalikan kemagnetan purba berbagai lapisan tanah disesuaikan dengan jalur-jalur umur tertentu seperti misalnya Brunhes, Matuyama, Gauss dan lain-lain. Cara penentuan umur ini sudah sering dilakukan di negara kita bersama-sama dengan penelitian geologi suatu daerah (Gambar 14).

## Biologi

Ilmu pengetahuan ini sering pula bekerjasama dengan ilmu geologi dan arkeologi untuk memecahkan berbagai problema arkeologi, khususnya meneliti berbagai macam tetumbuhan yang hidup dalam suatu wilayah untuk kurun waktu tertentu. Dengan demikian dapat diketahui bagaimana cara hidup fauna dan manusia purba pada waktu itu, pun lingkungan tempat hidup mereka.

Penelitian ini lazim disebut-sebut dengan analisis pollen (serbuk sari) dan erat kaitannya dengan paleoekologi (lingkungan purba) manusia purba yang hidup pada suatu kurun waktu tertentu di suatu wilayah. Contoh hasil penelitian analisis pollen diperlihatkan dalam (Gambar 15).

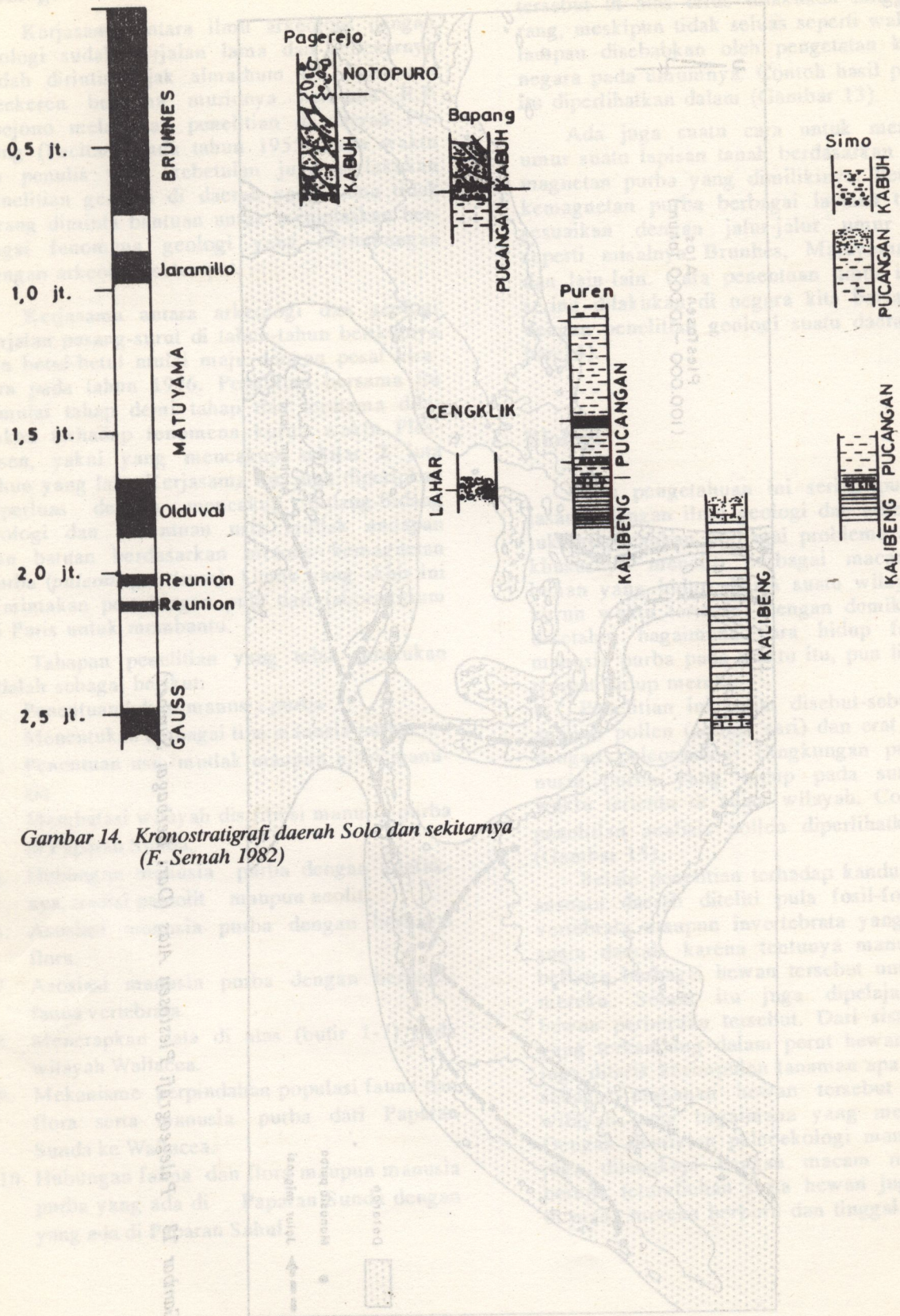
Selain penelitian terhadap kandungan flora sesuatu daerah diteliti pula fosil-fosil hewan vertebrata maupun invertebrata yang hidup di suatu daerah, karena tentunya manusia purba berburu berbagai hewan tersebut untuk makan mereka. Selain itu juga dipelajari evolusi hewan perburuan tersebut. Dari sisa makanan yang terkandung dalam perut hewan itu dapat juga ditarik kesimpulan tanaman apa digunakan sebagai makanan hewan tersebut dan juga wilayah yang bagaimana yang mereka huni. Dengan demikian paleoekologi manusia purba juga dilengkapi dengan macam makanannya berupa tetumbuhan serta hewan juga wilayah di mana mereka berburu dan tinggal.





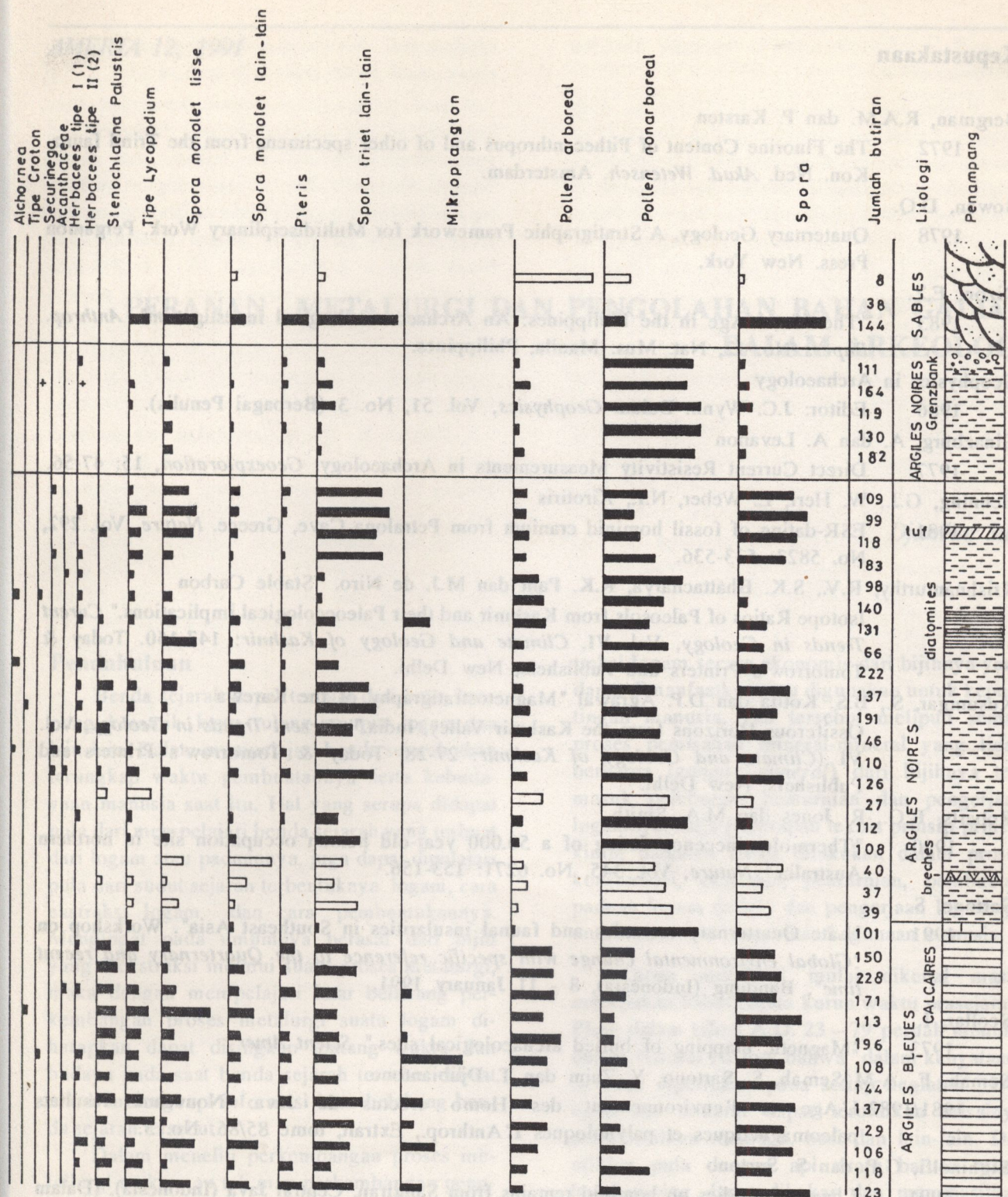
Gambar 13 Paleogeografi Plestosen Atas (Dari Berbagai Sumber)





Gambar 14. Kronostratigrafi daerah Solo dan sekitarnya (F. Semah 1982)





Gambar 15. Diagram pollen daerah Sangiran  
Sebagian dari tabel A-M. Semah 1982



## Kepustakaan

- Bergman, R.A.M. dan P. Karsten  
1972 The Fluorine Content of Pithecanthropus and of other specimens from the Trinil fauna. Kon. Ned. Akad. Wetensch. Amsterdam.
- Bowen, D.Q.  
1978 Quaternary Geology. A Stratigraphic Framework for Multidisciplinary Work. Pergamon Press. New York.
- Dizon, E.Z.  
1983 "The Metal Age in the Philippines: An Archaeometallurgical investigation". *Anthrop. Papers* No. 12, Nat. Mus. Manila, Philippines.
- Geophysics in Archaeology  
1986 Editor: J.C. Wynn. Dalam *Geophysics*, Vol. 51, No. 3 (Berbagai Penulis).
- Ginazburg, A. dan A. Levanon  
1977 Direct Current Resistivity Measurements in Archaeology. *Geoexploration*, 15: 47-56.
- Henning, G.J., W. Herr, E. Weber, N.I., Xirotiris  
1981 ESR-dating of fossil hominid cranium from Petralona Cave, Greece. *Nature*, Vol. 292, No. 5823: 533-536.
- Krishnamurthy, R.V., S.K. Bhattacharya, R.K. Pant dan M.J. de Niro. "Stable Carbon Isotope Ratios of Paleosols from Kashmir and their Paleoecological implications." *Current Trends in Geology*, Vol. VI. *Climate and Geology of Kashnir*: 147-150. Today & Tomorrow's Printers and Publishers, New Delhi.
- Kusumgar, S., B.S. Kotlia dan D.P. Agrawal "Magnetostatigraphy of the Karewa Ossiferous Horizons from the Kashmir Valley, India." *Current Trends in Geology*, Vol. VI (*Climate and Geology of Kashmir*: 27-28. Today & Tomorrow's Printers and Publishers, New Delhi.
- Roberts, R.G., R. Jones dan M.A. Smith  
1990 "Thermoluminescence dating of a 50.000 year-old human occupation site in northern Australia." *Nature*, Vol. 345, No. 6271: 153-156.
- Sartono, S.  
1991 "Late Quarternary tectonics and faunal insularities in Southeast Asia". Workshop on "Global environmental change with specific reference to the Quarternary and recent time", Bandung (Indonesia), 8 - 11 January 1991.
- Scollar, I.  
1973 "Magnetic mapping of buried archaeological sites." *Scient Amer*
- Semah, F., A-M Semah, S. Sartono, Y. Zaim dan T. Djubiantono  
1981/1982 L'Age et l'environnement des Homo erectus de Java: Nouveaux resultats paleomagnetiques et palynologiques L'Anthrop., Extrait, tome 85/86. No. 3.
- Sighinolfi, G.P. dan S. Sartono  
1991 Chemical studies on hominid remains from Sangiran, Central Java (Indonesia). (Dalam Penerbitan).
- Snow, B.E., J.M. d'Auria, R. Schutler Jr. dan J.G. Payne  
1983 "Archaeological ceramic differentiation using trace element pattern." *Canadian Journ. Chemistry*, Vol. 61, no. 4: 769- 779.
- The impact of the Natural Sciences on Archaeology*. Oxford Univ. Press. London 1970.  
(Berbagai Penulis)