



BAB 25

PROBLEMATIKA PENANGGALAN KUARTER DI SITUS ARKEOLOGI INDONESIA

THE QUATERNARY DATING PROBLEMS IN INDONESIAN ARCHAEOLOGICAL SITES

Unggul Prasetyo Wibowo

Abstract

Archaeological studies in Indonesia are in the Quaternary Period, which is the shortest period in the geological time scale. Quaternary archaeological sites in Indonesia are closely related to geological events that occurred during the Quaternary. The short time span presents a challenge to the accuracy of measuring the details of the age of archaeological layers. Working to measure rock layers spatially and temporarily is known as geochronology. In practical terms, geochronology can be grouped into numeric and correlative dating. The geological conditions of a site both locally and regionally need to be considered to increase the accuracy of conclusions about the age of a layer. Based on this concern, this article discusses the application of dating from the quaternary geology point of view in Indonesia with its various complexities.

Keywords: *correlative dating, numeric, quaternary geology, archaeology, Indonesia.*

ABSTRAK

Kajian arkeologi di Indonesia berada pada zaman Kuartar dimana zaman ini merupakan zaman yang terpendek dalam skala umur geologi. Situs-situs arkeologi di Indonesia yang berumur kuartar sangat erat kaitannya dengan peristiwa-peristiwa geologi yang terjadi di sepanjang zaman Kuartar. Rentang zaman yang pendek merupakan tantangan tersendiri dalam kedetailan mengukur umur lapisan-lapisan arkeologi. Usaha untuk mengurutkan lapisan-lapisan batuan dalam ruang dan waktu merupakan kajian dalam geokronologi. Geokronologi secara praktis bisa dikelompokkan menjadi penanggalan numerik dan korelatif. Kondisi geologi suatu situs baik secara lokal maupun regional perlu diperhatikan untuk meningkatkan keakuratan pengambilan kesimpulan tentang umur suatu lapisan. Berdasarkan hal tersebut, artikel ini membahas tentang penerapan penanggalan dari sudut pandang geologi kuartar di Indonesia dengan berbagai kompleksitasnya.

Kata kunci: penanggalan korelatif, numerik, geologi kuartar, arkeologi, Indonesia.

Unggul Prasetyo Wibowo

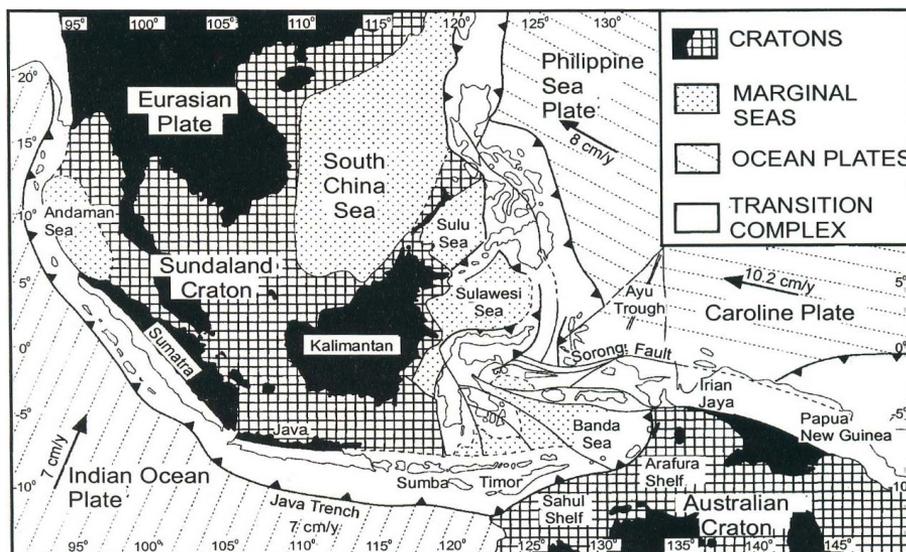
Museum Geologi, Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, e-mail: uungpw@yahoo.com

© 2024 Penerbit BRIN

U. P. Wibowo, "Problematika penanggalan kuartar di situs arkeologi Indonesia", dalam *Prosiding seminar nasional arkeologi 2021 "Teknologi di Indonesia dari masa ke masa"*, A. R. Hidayah, L. S. Utami, I. W. Sumerata, I. N. Rema, N. P. E. Juliawati, P. Y. Haribuana, G. Keling, I. A. G. M. Indria, dan N. Arisanti, Ed. Jakarta: Penerbit BRIN, September 2024, Bab 25, pp. 437—447, doi: 10.55981/brin.710.c1040, E-ISBN: 978-623-8372-95-9

A. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar di dunia secara geografis menjadi penghubung antara benua Asia dengan Australia (Darman dan Sidi, 2000). Dilihat dari tatanan geologinya, Kepulauan Indonesia merupakan daerah yang kompleks karena disamping berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik besar (lempeng Eurasia, Australia, dan Pasifik) dan pertemuan dua samudra (Samudra Hindia dan Pasifik) (Gambar 25.1), Kepulauan Indonesia juga berada pada daerah ekuator dan bagian dari sabuk gunung api dunia/*ring of fire*. Kerangka geologi kepulauan di Indonesia ini pun pada akhirnya menjadi salah satu poin penting dalam kajian prasejarah di Kepulauan Indonesia sejak kepulauan ini terbentuk dan mulai pada posisi, seperti sekarang ini di zaman kuartar sekitar kurang lebih 2,5 juta tahun yang lalu. Fenomena-fenomena geologi yang terjadi sepanjang zaman kuartar sangat memengaruhi keberadaan situs-situs arkeologi di Indonesia. Berdasarkan hal tersebut, maka tulisan ini bertujuan untuk memberikan gambaran tentang geologi kuartar terutama pada penerapan studi pertanggalannya dalam membantu penelitian-penelitian arkeologi, geologi, dan paleontologi di Indonesia.



Sumber: Simandjuntak dan Barber (1996)

Gambar 25.1 Tantanan Geologi Kepulauan Indonesia

Kajian geologi dalam penelitian arkeologi digunakan untuk mempelajari ciri serta hubungan dari lapisan pengandung objek penelitian arkeologi, seperti fosil manusia dan artefak. Hubungan perlapisan yang dimaksud disini berupa hubungan ruang dan waktu. Hubungan ruang dan waktu pada perlapisan batuan akan sangat terkait dengan kajian pertanggalan, seperti yang sudah diungkap di awal bahwa kerangka geologi terutama di zaman Kuarter di Kepulauan Indonesia sangat memengaruhi kondisi situs-situs di Indonesia, begitu juga usaha untuk mendapatkan umur pertanggalan. Pemahaman tentang kondisi geologi di suatu situs akan memberikan petunjuk untuk pemilihan metode *dating*/pertanggalan yang tepat. Secara umum metode penanggalan bisa dikelompokkan menjadi tiga, yaitu *dating* umur numerik, *dating* umur korelatif, dan *dating* umur relatif. Tulisan ini bermaksud untuk melihat kembali sekilas tentang geologi kuarter di Indonesia dengan tujuan mengkaji kembali metode *dating* yang biasanya dipakai di umur-umur kuarter di Indonesia, khususnya terkait dengan penelitian arkeologi.

B. METODE

Tulisan ini merupakan kajian referensi dengan didasarkan pada fakta-fakta di lapangan. Data-data yang didapatkan dari kajian referensi kemudian dielaborasi dan dibandingkan dengan data-data lapangan untuk membuat sintesis.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Geologi Kuarter Indonesia

Zaman yang paling muda dan paling pendek jangka waktunya dibanding dengan zaman-zaman lainnya di skala waktu geologi adalah zaman Kuarter. Zaman Kuarter kisaran umurnya hanya sekitar 2,6 juta tahun. Dibandingkan umur bumi yang sudah terbentuk sekitar 4,5 miliar tahun yang lalu, maka zaman Kuarter sangatlah pendek. Istilah kuarter/*quaternary* sendiri pertama kali diusulkan oleh Jules Desnoyer tahun 1829 (Renault-Miskovsky dan Semah, 1998). Beliau mengamati adanya sedimen muda yang menutupi batuan tersier di salah satu cekungan di Eropa (Rahardjo, 1993).

Zaman Kuarter memiliki ciri manusia yang mulai berkembang di bumi (Prat, 2007). Oleh karenanya, keberadaan manusia dan budayanya merupakan salah satu komponen yang utama di zaman ini. Satuan waktu geologi yang lebih kecil Zaman Kuarter terdiri atas kala Pleistosen dan Holosen. Batas keduanya adalah waktu berakhirnya masa pengesan Wurm, lebih kurang 11.500 tahun yang lalu. Apabila kita memakai masa pengesan sebagai dasar pembagian, maka kala Pleistosen dapat disebut sebagai masa pengesan (*glacial*), sedangkan kala Holosen disebut sebagai masa pascapengesan (*post-glacial*) (Fairbridge, 1968).

Orang umumnya mengenal kala Pleistosen dengan nama zaman es. Dahulu, batas Pliosen-Pleistosen atau awal zaman Kuarter berada pada 1,806 juta tahun yang lalu yang kemudian direvisi menjadi sekitar 2,588 (*International Chronostratigraphic*

Chart) juta tahun yang lalu (Ogg et al., 2008). Batas Plio-Pleistosen ini salah satu cirinya adalah perubahan paleomagnetik dari Gauss-Matuyama (Murray-Wallace dan Woodroffe, 2014). Menurut Rahardjo (1993), terdapat tiga peristiwa penting selama kala Pleistosen di Indonesia.

- a. Naik turunnya muka air laut akibat masa pengesahan dan antar pengesahan atau glasial-interglasial.
- b. Kegiatan gunung berapi yang sangat aktif sejak awal kala Pleistosen.
- c. Proses tektonik yang berlangsung sejak kala Plio-Pleistosen dan berlangsung menerus sepanjang zaman Kuartar.

Pada awal Pleistosen ketika terjadi masa pengesahan yang pertama di Eropa, muka air laut di daerah tropis turun akibat pembekuan es di daerah kutub. Pada saat itu, secara umum Indonesia menjadi bagian dari dua daratan besar yang dikenal dengan Paparan Sunda di bagian barat dan Paparan Sahul di bagian timur. Paparan Sunda merupakan daratan yang terdiri dari pulau Kalimantan, Jawa, dan Sumatra menyatu dengan benua Asia melalui semenanjung Asia Tenggara. Paparan Sahul terdiri dari Irian dan pulau-pulau kecil di sekitarnya menyatu dengan benua Australia (Voris, 2000). Dua paparan ini dipisahkan oleh lautan yang cukup dalam sehingga mengakibatkan adanya perbedaan flora dan fauna. Wilayah lautan dan pulau-pulau di dalamnya yang memisahkan kedua paparan dikenal dengan Zona Wallacea. Zona Wallacea ini pun pada akhirnya menunjukkan tingkat endemisitas yang tinggi.

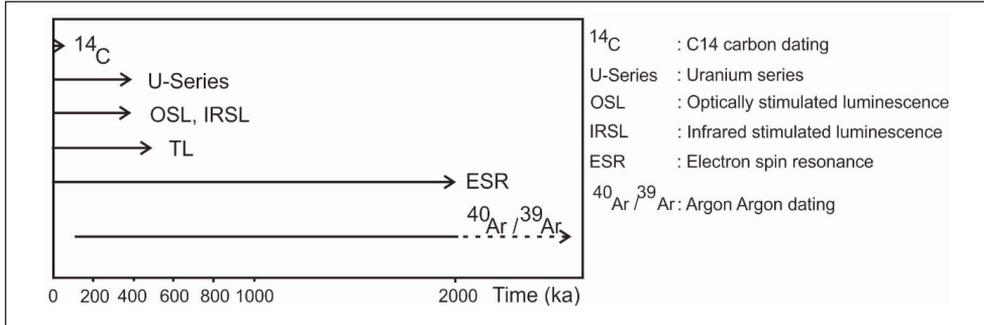
2. Penanggalan Kuartar

Urutan dan umur lapisan batuan sangat penting karena nilai suatu objek penelitian dalam suatu tubuh lapisan batuan akan berkurang jika umurnya tidak dapat dipercaya. Arah kedepan untuk mengukur umur suatu objek dalam lapisan batuan membutuhkan lebih dari satu metode *dating* karena tiap metode *dating* memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Disamping itu, beberapa metode *dating* juga memiliki kisaran umur yang berbeda-beda. Dalam penanggalan geokronologis, pengkombinasian metode penanggalan umur mutlak, ekuivalensi, dan relatif sudah mulai menjadi perhatian untuk mendapatkan kisaran umur yang tepat dari suatu objek. Jika hasil umur yang didapatkan dari beberapa kombinasi metode *dating* secara konsisten menunjukkan kisaran umur yang sama maka umur yang didapat dianggap sah.

3. Metode Penanggalan Umur Numerik

Metode ini menghasilkan umur angka secara langsung berdasarkan perubahan dalam komposisi isotop atau berdasarkan dampak kumulatif peluruhan radioaktif. Contoh pengaplikasian metode ini di Indonesia adalah *radiocarbon dating*/*carbon dating* C14, Uranium Series, ESR, OSL, dan Argon-argon (Rink, 1997). Berbagai metode *dating* tersebut memiliki kisaran umur efektif sehingga biasanya digunakan

untuk mengontrol validitas umur yang di dapat dan biasanya menggunakan lebih dari satu metode *dating* (Gambar 25.2).



Sumber: Rink (1997)

Gambar 25.2 Beberapa kisaran efektifitas metode pentakhiran umur absolut dalam skala waktu yang dipakai di umur Kuartar.

Penanggalan pecimenon C14 merupakan metode dating umur mutlak yang lazim digunakan dalam bidang arkeologi. *Carbon dating* C14 diaplikasikan pada objek-objek yang masih mengandung materi organik (Tabel 25.1). Metode ini hanya efektif digunakan pada sampel yang berumur tidak lebih tua dari 50.000 tahunan (Hajdas, 2008). Metode lain yang mirip dengan *Carbon dating* C14 adalah uranium series/*U-series* dengan kandungan kalsium karbonat pada suatu spesimen sebagai targetnya, seperti speleothem atau karang. *U-series* ini bisa diaplikasikan di spesimen yang tidak lebih tua dari 500.000 ribu tahun. Kisaran umur yang bisa digunakan dengan *U-series* juga mirip dengan dating OSL. *Dating* OSL biasanya diaplikasikan pada batuan sedimen yang mengandung banyak kuarsa dan feldspar yang umum dijumpai di endapan-endapan darat di Indonesia. *Dating* lainnya adalah ESR, *dating* ini biasanya diaplikasikan pada spesimen yang memiliki enamel, seperti gigi, dengan menganalisa kondisi enamel hidroksiapatit (*hydroxyapatite*) yang ada dalam enamel gigi. Selain *dating-dating* tersebut, ada *dating* yang memiliki kisaran umur yang cukup panjang, yaitu *dating* argon-argon. Berbeda dengan dating umur mutlak atau numerik lainnya, *dating* Argon-argon secara umum memiliki kisaran umur yang panjang hingga lebih dari 2 juta tahun yang lalu. *Dating* ini biasanya diaplikasikan pada batuan beku dan batuan vulkanik.

Tabel 25.1 Kriteria Spesimen yang Cocok untuk *Dating* Mutlak

Dating	Kayu	Tulang	Enamel gigi	Kerang	Koral	Speleothem	Sedimen	Mineral vulkanik
Radiocarbon/ C14	xxx	xxx	x	xxx	xx	xx	xx	
U-series		xx	xx	x	xxx	xxx	x	xxx
ESR			xx xx		xxx	xx		xx
OSL						xx	xxx	xx
Argon-argon								xxx

Keterangan:

x : hasil sering tidak bagus;

xx: hasil kadang tidak bagus;

xxx: material yang cocok

1. Metode Penanggalan Umur Korelatif

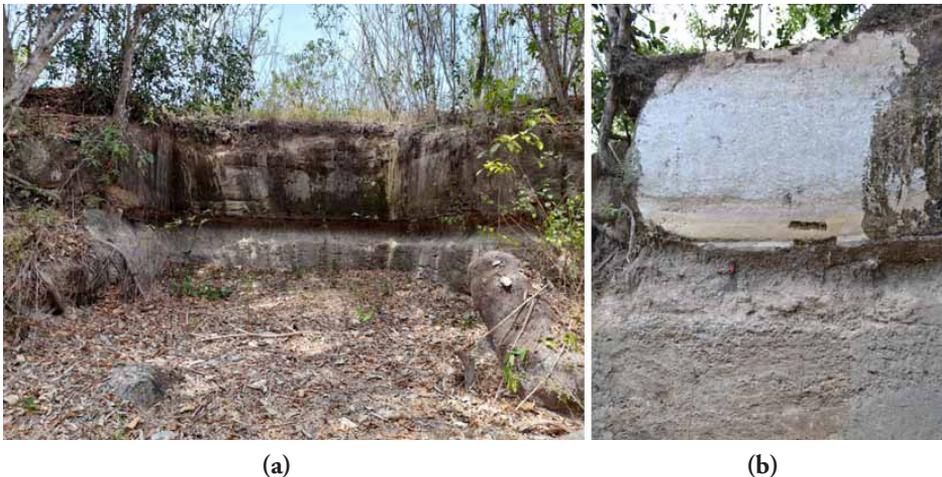
Metode ini tidak menghasilkan umur dan angka secara langsung karena sifatnya yang hanya membandingkan dengan suatu digram/*chart* yang telah diakui oleh komunitas ilmiah. Pengambilan kesimpulan umur membutuhkan *dating* lainnya sebagai titik ikat penanggalan. Contoh dari metode ini yang pernah diaplikasikan di Indonesia adalah penanggalan tephrokronologi dan paleomagnet. Termasuk juga biostratigrafi (mikrofosil seperti foraminifera, nannoplanton dan polen).

2. Tephrokronologi

Tephrokronologi merupakan metode pengurutan stratigrafi untuk menghubungkan umur, kondisi lingkungan masa lalu, sejarah geologi, atau juga urutan sekuan arkeologi. *Tephra* sendiri dalam bahasa Yunani berarti abu vulkanik (Lowe, 2011). Objek yang digunakan adalah lapisan tephra atau debu vulkanik dari tiap kejadian letusan. Substansi dari metode ini adalah menemukan kandungan kimia unik dari setiap produk debu letusan gunung api yang disebut sebagai *geochemical fingerprint* atau sidik jari geokimia. Kandungan kimia yang unik ini bisa digunakan untuk menghubungkan perlapisan debu vulkanik secara horizontal karena debu vulkanik biasanya akan tersebar secara horizontal dan menutupi area yang cukup luas. Jika lapisan debu vulkanik ini sudah diketahui umurnya, maka lapisan debu vulkanik ini akan menjadi lapisan umur rujukan untuk perlapisan-perlapisan batuan lainnya, baik dibawah maupun di atas lapisan *tephra* yang sudah diketahui umurnya. Salah satu contoh pengaplikasian tephrokronologi di Indonesia adalah studi Cekungan Soa di Flores Tengah, Nusa Tenggara Timur (Brumm et al., 2016).

Cekungan Soa merupakan cekungan *intramountain* atau suatu morfologi cekungan yang dikelilingi oleh pegunungan. Cekungan Soa sendiri di dalamnya terdapat endapan perlapisan batuan vulkanik hasil dari beberapa letusan gunung api,

seperti breksi vulkanik, lahar, dan debu vulkanik. Di antara lapisan vulkanik tersebut, ada beberapa lapisan yang bisa dihubungkan secara horizontal berdasarkan sidik jari geokimianya. Salah satunya adalah lapisan ignimbrite Wolosege yang sudah dilakukan penanggalan, yaitu berumur sekitar 1 juta tahun yang lalu (Gambar 25.3). Ignimbrite Wolosege ini memiliki gelas kaca vulkanik yang khas sehingga bisa dihubungkan dengan lokasi lain jika menemukan lapisan vulkanik yang memiliki gelas kaca yang mirip dengan gelas vulkanik ignimbrite Wolosege.



Keterangan:

(a) lokasi Wolosege

(b) lapisan ignimbrite Wolosege (atas) dan lapisan paleosol (bawah) di lokasi Wolosege

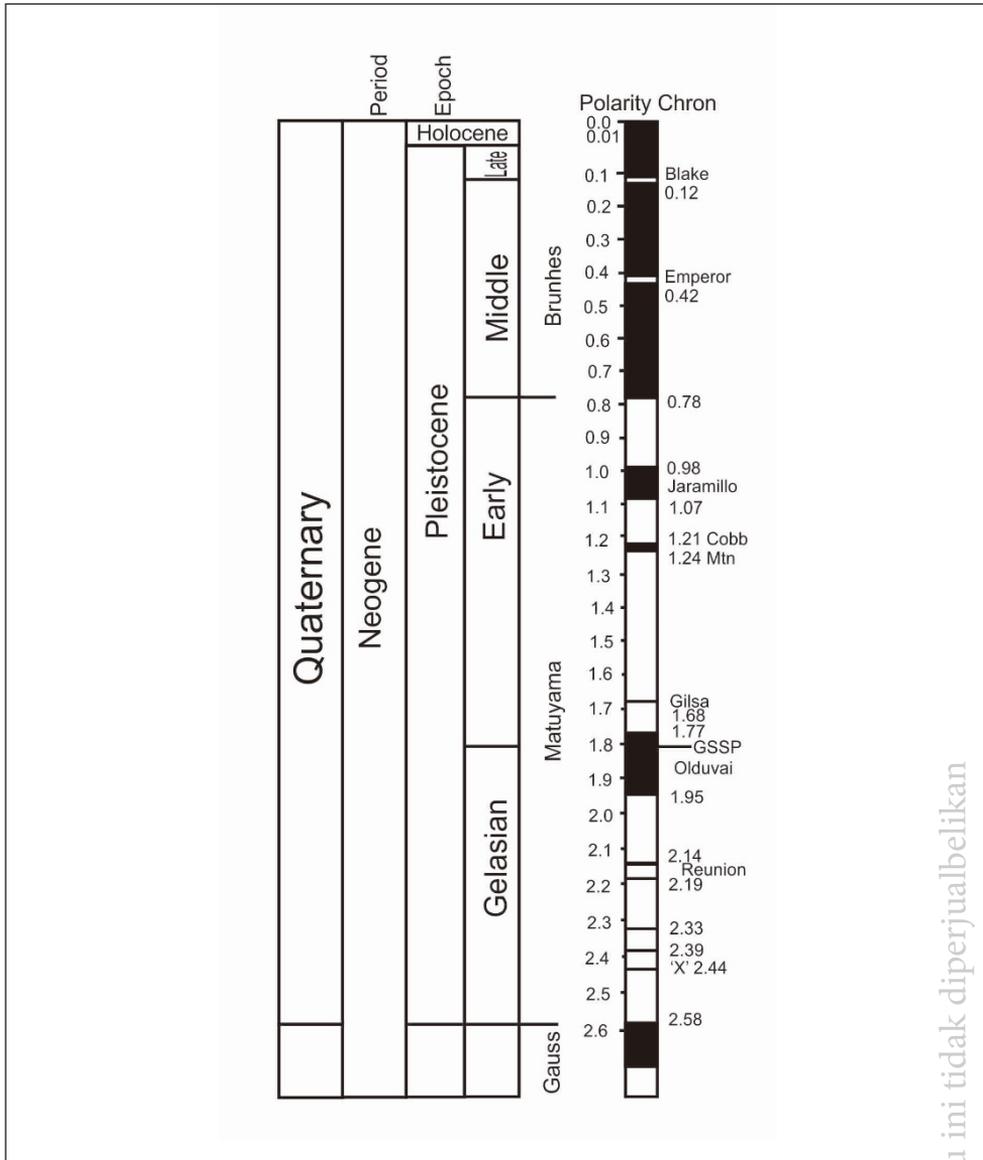
Foto: Unggul Prasetyo Wibowo (2016)

Gambar 25.3 Lokasi Wolosege dengan lapisan ignimbrite Wolosege di bagian atas dan lapisan paleosol di bagian bawah.

3. Paleomagnet

Paleomagnet adalah studi tentang medan magnet bumi pada masa lalu melalui catatan magnetisme yang ada dalam bebatuan. Arah magnetisasi batuan tersebut digunakan untuk menyimpulkan posisi relatif kutub magnet bumi ke lokasi penelitian pada masa lalu (Torsvik et al., 2013). *Dating* paleomagnet sendiri didasarkan pada perubahan pola arah kemagnetan suatu batuan yang dibandingkan dengan *Geomagnetic Polarity Time Scale* (GPTS) (*International Commission of Stratigraphy-ICS*, 2010). *Dating* paleomagnet dianggap sebagai *dating* ekuivalensi karena hasil yang dikeluarkan bukanlah angka. Hasilnya berupa arah kemagnetan purba dari suatu batuan yang kemudian dibandingkan dengan tabel paleomagnet global. *Dating* paleomagnet ini biasanya dikombinasikan dengan *dating* umur mutlak maupun relatif untuk mendapatkan kisaran umur yang lebih valid (Gambar 25.4).

Situs-situs paleontologi di Kepulauan Indonesia juga sudah menerapkan metode penanggalan ini, seperti Sangiran (Matsu'ura dkk. 2020) dan Cekungan Soa Flores (Brumm et al., 2016).



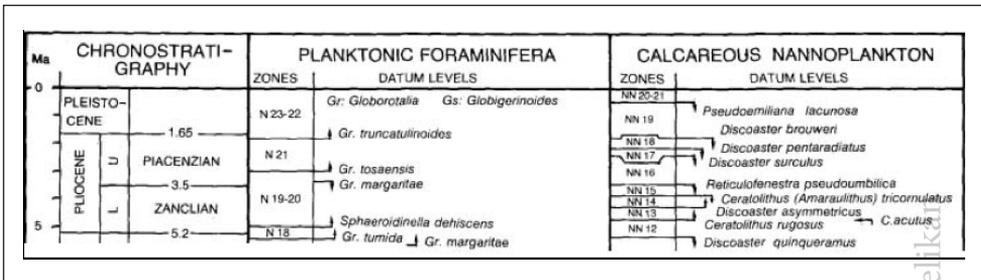
Sumber: Modifikasi dari Murray-Wallace dan Woodroffe (2014)

Gambar 25.4 Korelasi periode Kuartar dengan skala waktu paleomagnet

Buku ini tidak diperjualbelikan

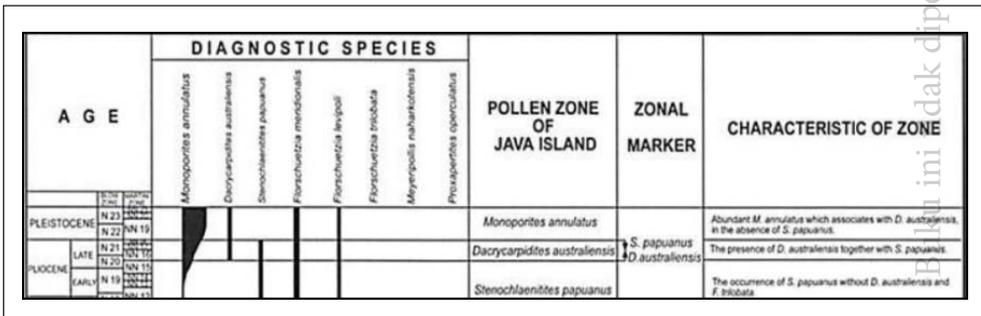
4. Biostratigrafi Mikrofosil

Metode ini tidak menghasilkan umur angka, tetapi menghasilkan umur skala waktu geologi berdasarkan kemunculan maupun kepunahan suatu mikroorganisme. Di Indonesia sendiri, paling tidak dikenal tiga penanggalan biostratigrafi mikrofosil, seperti foraminifera, nannoplankton, dan palinologi (Van Gorsel, 1988) (Gambar 25.5 dan Gambar 25.6). Permasalahannya perkembangan biostratigrafi foraminifera dan nannoplankton di umur Kuartar belum detail, karena merupakan fauna laut sehingga hanya dapat diterapkan di lapisan-lapisan batuan yang diendapkan secara alami di laut, sedangkan kajian arkeologi secara umum berada di darat. Palinologi juga tidak memiliki umur detail di umur Kuartar, tetapi akan sangat membantu dalam interpretasi iklim pada masa lalu (Gambar 25.6). Melihat hal tersebut semua pemakaian penanggalan mikrofosil di endapan Kuartar akan optimal jika diterapkan dan dikombinasikan dengan umur Pliosen-Pleistosen dimana Kepulauan Indonesia sudah mulai terbentuk dan berada diposisinya seperti sekarang. Contoh penerapan penanggalan mikrofosil dalam kajian paleontologi Kuartar adalah penerapan mikrofosil foraminifera pada situs Wallanae, Sulawesi Selatan. Pada situs ini foraminifera penciri Pliosen Akhir digunakan untuk mendukung penentuan batas Plio-Pleistosen di stratigrafi Kuartar daerah Walanae (van den Bergh, 1999).



Sumber: Van Gorsel (1988)

Gambar 25.5 Biostratigrafi Mikrofosil Foraminifera dan Nannoplankton di Umur Plio-Pleistosen



Sumber: Rahardjo (1993) dalam Lelono (2012)

Gambar 25.6 Zona Palinologi Pulau Jawa di Umur Pliosen Pleistosen

D. KESIMPULAN

Proses geologi yang terjadi selama zaman Kuartar, seperti tektonik, letusan gunung api, dan naik turunnya permukaan laut di Indonesia berdampak luas terhadap ruang lingkup penelitian arkeologi prasejarah, terutama dalam menentukan kronologi lapisan batuan. Kondisi geologi tersebut merupakan tantangan tersendiri dalam bidang geokronologi kuartar jika dikaitkan dengan arkeologi di Indonesia. Dalam perkembangannya, dengan melihat adanya kelebihan dan kelemahan tiap metode penanggalan, maka kombinasi metode penanggalan akan menjadi suatu tuntutan dalam upaya meningkatkan tingkat kedetailan umur suatu objek yang ditarget, seperti kombinasi antara penanggalan umur numerik dan korelatif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya penulisan makalah ilmiah ini kami ucapkan terima kasih kepada Bapak Prof. DR. Yahdi Zaim, DR. Yan Rizal dan DR. Aswan dari Teknik Geologi di Institut Teknologi Bandung (ITB) yang sudah memberikan waktunya untuk mendiskusikan substansi pada penyusunan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Brumm, Adam, Gerrit D. Van Den Bergh, Michael Storey, Iwan Kurniawan, Brent V. Alloway, Rully Setiawan, Erick Setiyabudi, et al. 2016. "Age and Context of the Oldest Known Hominin Fossils from Flores." *Nature* 534 (7606): 249–53. <https://doi.org/10.1038/nature17663>.
- Darman, Herman, dan F. Hasan Sidi. 2000. *An Outline of the Geology of Indonesia*. Jakarta: Ikatan Ahli Geologi Indonesia IAGI. https://www.researchgate.net/publication/312092249_An_outline_of_the_geology_of_Indonesia.
- Fairbridge, Rhodes W. 1968. "Holocene, Postglacial or Recent Epoch." In *Kluwer Academic Publishers EBooks*, 525–36. https://doi.org/10.1007/3-540-31060-6_178.
- Hajdas, Irka. 2008. "Radiocarbon Dating and Its Applications in Quaternary Studies." *Eiszeitalter Und Gegenwart* 57 (1/2): 2–24. <https://doi.org/10.3285/eg.57.1-2.1>.
- Lelono, Eko Budi. 2022. "The Migration Pathway Of Some Selected Australian Palynomorphs From Their Origin To Se Asia." *Scientific Contributions Oil & Gas* 35 (2): 49–56. <https://doi.org/10.29017/scog.35.2.777>.
- Lowe, David J. 2011a. "Tephrochronology and Its Application: A Review." *Quaternary Geochronology* 6 (2): 107–53. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2010.08.003>.
- Matsu'ura, Shuji, Megumi Kondo, Tohru Danhara, Shuhei Sakata, Hideki Iwano, Takafumi Hirata, Iwan Kurniawan, et al. 2020. "Age Control of the First Appearance Datum for Javanese *Homo Erectus* in the Sangiran Area." *Science* 367 (6474): 210–14. <https://doi.org/10.1126/science.aau8556>.
- Murray-Wallace, Colin, dan Collin Woodroffe. 2014. "Quaternary Sea-Level Changes: A Global Perspective." *Quaternary Science Reviews* 97 (August): 197–99. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.04.003>.

- Ogg, J., Ogg, G. dan Gradstein, F. M. 2008. *The Concise Geologic Time Scale*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Prat, Sandrine. 2007. "The Quaternary Boundary : 1.8 or 2.6 Millions Years Old? Contributions of Early Homo." *Quaternaire*, no. vol. 18/1 (March): 99–107. <https://doi.org/10.4000/quaternaire.1313>.
- Rahardjo, A. T. 1993. "Pengembangan Penelitian Geologi Kuartar di Indonesia." Lokakarya Geologi Kuartar: Pelepasan Purnabakti Profesor DR. Sartono Sastromidjojo.
- Renault-Miskovsky, J. dan Semah, A. M. 1998. "Palynology of the Quaternary in Temperate and Tropical Areas: Chronostratigraphy, Palaeoclimatology and Vegetal Palaeoenvironment of Fossil Man." Di: *Current Concepts in Pollen-Spore and Biopollution Research (Professor Sumirmal Chanda 60th Birth Anniversary Felicitation Volume)*. Research Periodicals & Book Publishing House. Texas, USA.
- Rink, W.J. 1997. "Electron Spin Resonance (ESR) Dating and ESR Applications in Quaternary Science and Archaeometry." *Radiation Measurements* 27 (5–6): 975–1025. [https://doi.org/10.1016/s1350-4487\(97\)00219-9](https://doi.org/10.1016/s1350-4487(97)00219-9).
- Simandjuntak, T. O. dan Barber, A. J. 1996. "Contrasting Tectonic Styles in the Neogene Orogenic Belts of Indonesia." Di: Hall, R. dan Blundell, D. *Tectonic Evolution of Southeast Asia*. Geol. Soc. Spec. Publ. 106.
- Torsvik, Trond H., Pavel V. Doubrovine, dan Mathew Domeier. 2013. "Continental Drift (Paleomagnetism)." In *Springer EBooks*, 1–14. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6326-5_107-1.
- van den Bergh, G. D. 1999. "The Late Neogene elephantoid-bearing faunas of Indonesia and their palaeozoogeographic implications; a study of the terrestrial faunal succession of Sulawesi, Flores and Java, including evidence for early hominid dispersal east of Wallace's Line." *Scripta Geologica*, vol.117, pp.1-419.
- Van Gorsel, J.T., 1988. "Biostratigraphy in Indonesia: Methods, Pitfalls and New Directions." *Proceedings 17th Ann. Conv. Indon. Petrol. Assoc.*, Jakarta, 1, p. 275-300.
- Voris, H. 2000. "Maps of Pleistocene Sea Levels in Southeast Asia: Shorelines, River Systems and Durations." *Journal of Biogeography*, vol.27, pp.1153–1167.